

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOMÁTICA**

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL POR  
GEOPROCESSAMENTO, COMO BASE AO  
PLANO DIRETOR MUNICIPAL DE  
FAXINAL DO SOTURNO - RS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Diogo Silveira Kersten**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2009**

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL POR  
GEOPROCESSAMENTO, COMO BASE AO  
PLANO DIRETOR MUNICIPAL DE  
FAXINAL DO SOTURNO - RS**

por

**Diogo Silveira Kersten**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do  
Programa de Pós-Graduação em Geomática,  
Área de Concentração em Tecnologia da Geoinformação,  
da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),  
como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Geomática.**

**Orientador: Prof. José Américo de Mello Filho**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2009**

**Kersten, Diogo Silveira, 1984-**

**K41a**

Avaliação ambiental por geoprocessamento, como base ao Plano Diretor Municipal de Faxinal do Soturno – RS / por Diogo Silveira Kersten ; orientador José Américo de Mello Filho. - Santa Maria, 2009.

126 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Geomática, RS, 2009.

1. Geomática 2. Planejamento municipal 3. Áreas propícias ao uso e ocupação 4. Vulnerabilidade natural 5. Sistema Aquífero Guarani 5. SAG I. Mello Filho, José Américo de, orient. II. Título

CDU: 711.4

Ficha catalográfica elaborada por  
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160  
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Geomática**

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

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL POR  
GEOPROCESSAMENTO, COMO BASE AO  
PLANO DIRETOR MUNICIPAL DE  
FAXINAL DO SOTURNO - RS**

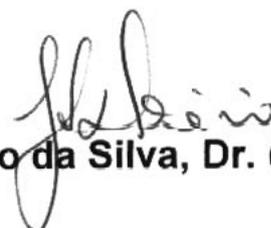
elaborada por  
**Diogo Silveira Kersten**

Como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Geomática**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**



**José Américo de Mello Filho, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)



**José Luiz Silvério da Silva, Dr. (UFSM)**



**Paulo Roberto Jaques Dill, Dr. (UFRPE)**

Santa Maria, 14 de julho de 2009.

## DEDICATÓRIA

Somos o que pensamos e acreditamos, devemos viver cada momento como um presente que, na realidade, é o presente. Acreditamos na vida, no amor que circunda e está em nós, nas pessoas com as quais vivemos e aprendemos a viver.

Dedico essa dissertação de mestrado que é um sonho para mim a vocês; Pai, Mãe, Mana, Tio, Tia, Namorada e Amigos do Peito, pois são vocês que me proporcionam coragem, alegrias e entusiasmo para acreditar em meus sonhos, a buscar novas metas de vida, e principalmente, perceber a felicidade que está em mim, em nós.

Dedico de todo coração às pessoas que me amam e que gostam de mim.

Dedico às pessoas que acreditam em seus potenciais.

Dedico ao ser humano que ajuda o amigo ao lado, sem pensar em retribuição.

E por fim dedico também a mim, pois tive coragem e vontade para chegar a mais um degrau das metas de minha vida.

**Muito Obrigado**, Pai Celestial, Mãe Jurumi Silveira Kersten, Pai Olmir Richter Kersten, Mana Denise Silveira Kersten e a você, Ana Paula Silva de Castro.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a Deus pela vida e por desfrutar deste mundo maravilhoso, uma oportunidade única. À população brasileira, pela oportunidade de poder estudar em uma Universidade Pública gratuita.

Aos amigos verdadeiros que deram todo o apoio e participação no desenvolver da pesquisa, e no cotidiano da vida: Jarbas Espinosa Niederauer, Michael Poloni, Fabiano André Marion, Ana Rúbia Fontoura, Lenon da Silva, Luis Gonzaga, Milton Lozekan, Angélica Cirolini, Alison Marcelo Wagner, Kátia Fagundes, Fábio Vidal, Leonice Vidal, Luciano Abreu, Helton Abreu, Gilson, Vinícius Blanco, Carini Ferigolo, Adão London de Bem, Tereza Soares Gonsálves, Elizia Kersten de Bem.

Agradecemos ao Prof. José Américo de Mello Filho, ao Prof. Argentino Aguirre, e toda a equipe do LAGEO – Laboratório de Análise Ambiental por Geoprocessamento do Depto. de Engenharia Rural, Fabiano André Marion, Atahualpa Ayala, Fernanda, José Augusto Sapucaia, Maurício Vassali, Valéria Q. Garcia e Danielli B. Saquet. Pela recepção, apoio e oportunidades geradas do primeiro dia que ingressamos no mestrado até os dias de hoje.

Ao Professor e Orientador, José Américo de Mello Filho, pela força, orientação e oportunidades que proporcionou.

Ao Professor José Sales Mariano da Rocha e sua equipe do CIPAM, pois foram eles que abriram a oportunidade de ingressar como estagiário na Instituição, e hoje concluir o mestrado muito almejado.

Aos professores, Paulo Pillar, Pedro Roberto de Azambuja Madruga, Rudiney Soares Pereira, Carlito V. Moraes, Enio Giotto, colegas e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Geomática.

Ao Professor José Luiz Silvério da Silva que sempre esteve presente em cada passo e tomada de decisão, nas coletas e avaliações das análises da dissertação.

Ao nosso secretário do Programa de Pós-Graduação em Geomática, Wanderley Vasconcellos, que sempre esteve disposto a ajudar e muitas vezes dar bons conselhos em momentos oportunos.

À Universidade Federal de Santa Maria, pois esta Entidade de Ensino possibilitou estar defendendo hoje a dissertação de Mestrado em Geomática.

Agradecemos o apoio da Secretaria da Saúde e Prefeitura Municipal de Faxinal do Soturno que nos disponibilizou tempo e transporte para realizar a pesquisa.

Ao vigilante sanitário Luiz, conhecido “Pepo”, e sua equipe, que acompanhou e ajudou em todas as tarefas de coleta de dados na cidade de Faxinal do Soturno.

E ao mesmo tempo peço desculpas pelos companheiros que não citei, mas queiram saber que os bons amigos sempre serão lembrados nos momentos certos.

Apenas quando somos instruídos  
pela realidade é que podemos  
mudá-la.

*Bertolt Brecht*

Nenhum homem realmente produtivo  
pensa como se estivesse  
escrevendo uma dissertação.

*Albert Einstein*

Quando a gente acha que tem todas  
as respostas, vem a vida e muda  
todas as perguntas...

*Luis Fernando Veríssimo*

## RESUMO

**Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Geomática  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil**

### **AVALIAÇÃO AMBIENTAL POR GEOPROCESSAMENTO, COMO BASE AO PLANO DIRETOR MUNICIPAL DE FAXINAL DO SOTURNO - RS**

**AUTOR: DIOGO SILVEIRA KERSTEN  
ORIENTADOR: JOSÉ AMÉRICO DE MELLO FILHO  
Santa Maria, 14 de julho de 2009.**

A crescente demanda por qualidade de vida ocasionada, sobretudo, pelo consumismo, tem gerado uma maior exploração dos recursos naturais, aumentando os desmatamentos, ocupações urbanas em áreas inadequadas, a expansão do consumo das águas superficiais como também das águas subterrâneas, para suprir os mais diversos usos, com conseqüente aumento indiscriminado de poluições. O presente estudo, realizado no Município de Faxinal do Soturno, localizado na região central do Estado do Rio Grande do Sul – RS, com área total de 169,9 Km<sup>2</sup>, como parte de convênio entre a Universidade Federal de Santa Maria e o consórcio de municípios que formam a Quarta Colônia do RS, tem, por objetivos, enriquecer e oferecer modelo para os fundamentos cartográficos e analíticos a subsidiar o plano diretor municipal, e, para tal, identificar as áreas propícias ao uso e ocupação, áreas vulneráveis à contaminação de lençóis aquíferos subterrâneos e identificar algumas atividades antrópicas potencialmente contaminantes que podem afetar a qualidade das águas subterrâneas da região, parte do Sistema Aquífero Guarani, visto que estas são utilizadas em grande escala pela população faxinalense. Neste estudo foram utilizados dados primários, obtidos em campo, e dados pré-existentes, obtidos do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas e, espacializados nos aplicativos ArcGIS 9.2 e Surfer 8.0, onde se gerou a cartografia temática básica. A pesquisa baseou-se no modelo de avaliação ambiental por geoprocessamento embasado no aplicativo Sistema de Análise Geo-Ambiental, pelo qual pode-se realizar a interação das planimetrias, com os mapas de declividade, geologia, nível estático e solos, para obter o mapa de vulnerabilidade natural a contaminação dos aquíferos, o qual foi confrontado com o mapa das atividades potencialmente contaminantes. As análises mostraram área de 3.950,95 hectares como de baixa vulnerabilidade, esta apta a uso e ocupação sem grandes restrições, e 25,85 hectares como de vulnerabilidade extrema, a qual sugere medidas mitigadoras imediatas. Nas avaliações realizadas no SAGA, constatou-se que a cidade de Faxinal do Soturno situa-se em uma área de vulnerabilidade média, onde encontram-se atividades potencialmente contaminantes, como hospital, postos de saúde, os cemitérios, e postos de combustíveis, as quais foram georreferenciadas. As áreas propícias e também as inadequadas ao uso e ocupação foram encontradas pela avaliação complexa do mapa de vulnerabilidade natural, cotejado frente ao mapa de risco ambiental, pela qual foi encontrada área de 1.440,85 ha sem restrição ao uso e ocupação, e 2.666,82 ha de áreas inadequadas ao uso. Assim, com esses resultados obtidos pela análise ambiental, pode-se afirmar que a área sem restrição deve ser prioritária para a ocupação, e exigir-se o cumprimento de medidas limitantes ao livre à alocação de atividades potencialmente contaminantes, que vierem a ser instaladas no município de Faxinal do Soturno.

**Palavras-chave:** Áreas propícias a uso e ocupação, planejamento municipal, vulnerabilidade natural, Sistema Aquífero Guarani - SAG.

## ABSTRACT

Dissertation of Master's Degree  
Programa de Pós-Graduação em Geomática  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **GEOPROCESSING ENVIRONMENTAL ASSESSMENT, AS THE BASIS TO MUNICIPAL PLANNING DIRECTOR OF FAXINAL DO SOTURNO - RS**

AUTHOR: DIOGO SILVEIRA KERSTEN  
ADVISOR: JOSÉ AMÉRICO DE MELLO FILHO  
Santa Maria, July, 14<sup>th</sup>, 2009.

The growing demand for life quality due, mainly, by consumerism, has created a greater exploitation of natural resources, increasing deforestation, urban occupations in inappropriate areas, the expansion of consumption of surface water but also groundwater, to meet the many different uses, with a consequent increase in indiscriminate pollution. This work, realized in Faxinal do Soturno city, situated in the central region of Rio Grande do Sul state, has as objectives identify the suitable areas for the use and occupancy, vulnerable areas to contamination and identify some potential contaminants human activities that can affect the groundwater quality, as they are used in large-scale by Faxinal do Soturno population. In this study we used primary data, obtained in the field, and pre-existing data, obtained from SIAGAS (*Sistema de Informação de Águas Subterrâneas*) and spatialized in ArcGIS 9.2 and Surfer 8.0 applications, which generated the basic thematic mapping. The research was based on the type of geoprocessing environmental assessment based on SAGA (*Sistema de Análise Geo-Ambiental*) application, which could be performed the planimetry interaction with the maps of slope, geology, soil and static level, to get the map of natural vulnerability of aquifers contamination, which was faced with a map of potentially contaminating activities. The analysis showed one area of 3,950.95 hectares as of low vulnerability, this able to use and occupation, and 25.85 hectares as of extreme vulnerability, which suggests immediate mitigating measures. In SAGA evaluations, we found that the Faxinal of Soturno is located in an average vulnerability area, where there are potentially contaminating activities such as the cemetery, the hospital and fuel stations, which were georeferenced. The suitable and unsuitable areas for the use and occupation were found by the evaluation of the complex map of natural vulnerability, collate before the map of environmental risk, which was found an area of 1,440.85 ha without restriction on the use and occupation, and area of 2,666.82 ha for unsuitable areas for use. So, with those results obtained by the environmental analysis, one can say that the area without restriction must be a priority for the occupation, and demand the fulfillment of measures limiting the free use to the allocation of potentially contaminating activities, which will be installed in the municipality of Faxinal do Soturno.

**Keywords:** suitable areas for use and occupation, municipal planning, natural vulnerability, SAG.

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
DSG	Divisão de Serviços Geográficos do Exército Brasileiro
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute (autora ArcGis)</i>
FEE	Fundação de Economia e Estatística – RS
Fm.	Formação geológica
GPS	<i>(Global Positioning System)</i> = Sistema Global de Posicionamento
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE/CRS	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Centro Regional Sul
Lageop/UFRJ	Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal do RJ.
Mb.	Membro
MS	Ministério da Saúde
N.D.	Nível Dinâmico dos poços tubulares
N.E.	Nível Estático dos poços tubulares
N.P.	Nível Potenciométrico dos poços tubulares
RS	Estado do Rio Grande do Sul
SAG	Sistema Aquífero Guarani
SAGA	Sistema de Análise Geo-Ambiental (Lageop-UFRJ)
SEMA	Secretaria Estadual do Meio Ambiente – RS
SIG	Sistema Geográfico de Informação
SIAGAS	Sistema de Informação de Águas Subterrâneas
UTM	Universal Transversa de Mercator (Sistema de Projeção)

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b> - Área de ocorrência do Sistema Aquífero Guarani.....	23
<b>FIGURA 2</b> - Classificação dos problemas de qualidade da água subterrânea.....	26
<b>FIGURA 3</b> - Contaminantes comuns da água subterrânea e fontes de poluição.....	27
<b>FIGURA 4</b> - Atividades potencialmente contaminantes.....	28
<b>FIGURA 5</b> - Carta imagem da 4ª Colônia de Imigração Italiana.....	45
<b>FIGURA 6</b> - Mapa Geológico do Município de Faxinal do Soturno.....	48
<b>FIGURA 7</b> - Perfil Geológico do Município de Faxinal do Soturno, RS.....	49
<b>FIGURA 8</b> - Mapa de solos.....	52
<b>FIGURA 9</b> - Mapa da Rede de Drenagem.....	55
<b>FIGURA 10</b> - Grau de Urbanização nos municípios da Quarta Colônia, por décadas.....	57
<b>FIGURA 11</b> - Árvore de decisão e seus respectivos pesos usados na pesquisa.....	63
<b>FIGURA 12</b> - Árvore de decisão para elaboração do mapa final.....	66
<b>FIGURA 13</b> Mapa da declividade do município de Faxinal do Soturno, RS.....	70
<b>FIGURA 14</b> - Mapa da superfície potenciométrica.....	72
<b>FIGURA 15</b> - Mapa do nível estático dos poços tubulares do município de Faxinal do Soturno.....	74
<b>FIGURA 16</b> - Organograma de formação do mapa de vulnerabilidade natural.....	77
<b>FIGURA 17</b> - Mapa de vulnerabilidade natural a contaminação.....	79
<b>FIGURA 18</b> - Mapa de vulnerabilidade das águas subterrâneas com atividades contaminantes.....	83
<b>FIGURA 19</b> - Mapa do zoneamento das áreas propícias ao uso e ocupação .....	89

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>17</b>
2.1	Recursos Naturais	17
2.1.1	Geologia	17
2.1.2	Relevo	18
2.1.3	Solos	19
2.1.4	Hidrografia	21
2.2	Águas subterrâneas	21
2.2.1	Grau de confinamento dos Aquíferos	24
2.3	Classificações das atividades contaminantes	28
2.4	Zoneamento Ambiental	29
2.5	Legislação Ambiental	32
2.6	Geotecnologias	34
2.6.1	Geotecnologia Aplicada a Análise Ambiental	38
2.6.1.1	Vulnerabilidade de Aquíferos	39
2.6.1.2	Aplicação do Índice de Vulnerabilidade <i>GOD</i>	40
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>42</b>
3.1	Caracterização da área de estudo	43
3.2	Aspectos Físicos	46
3.2.1	Formação geológica	46
3.2.2	Relevo	49
3.2.3	Solos	51
3.2.4	Rede Hidrográfica	53
3.3	Condições Climáticas	56
3.4	Urbanização	57
3.5	Município de Faxinal do Soturno	58
3.5.1	Coleta de lixo	58
3.5.2	Esgotamento Sanitário	59
3.6	Procedimentos Técnicos	59
3.6.1	Avaliação ambiental no SAGA	61
3.6.2	Avaliação da Vulnerabilidade Natural de aquíferos	62
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>68</b>
4.1	Bases Físicas para Avaliação do Aquífero	68
4.1.1	Declividade	68
4.1.2	Superfície Potenciométrica	71
4.1.3	Nível Estático dos poços tubulares	74
4.2	Avaliações da vulnerabilidade das águas subterrâneas	75
4.2.1	Integração das variáveis ambientais por geoprocessamento	75
4.2.2	Avaliação do risco de contaminação	80
4.3	Aplicação do SAGA na avaliação dos Riscos Ambientais	84
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>91</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO</b>	<b>96</b>
<b>7</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>101</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A ambiência do nosso planeta está em constante transformação, por ser uma resposta à evolução natural e também às atividades humanas. Entre as consequências dessa mudança estão os riscos ambientais, a vulnerabilidade natural e as atividades antrópicas, os quais ocasionam muitas vezes prejuízos irreversíveis à qualidade de vida, esses danos são gerados pelas atividades potencialmente poluidoras, como: a construção de indústrias em locais inadequados, esgotos lançados na rede de águas pluviais e em córregos sem tratamento prévio dos resíduos, depósitos de lixo nos chamados aterros sanitários, cemitérios etc., sem antes, porém, realizar um planejamento destinado à região.

O conhecimento ambiental é necessário para a proteção à natureza e para o aproveitamento das suas riquezas. Entretanto, em alguns aspectos a interação entre o homem e o ambiente ultrapassou a questão da simples sobrevivência. A natureza mostrou ser fonte de alegria, beleza, identidade e status pessoal, de inspiração para a música, arte, religião, enfim, valores internos e perenes pelos quais se quer lutar.

Com o desenvolvimento urbano, a percepção do ambiente mudou drasticamente, a natureza começou a ocupar uma posição de subserviência em relação à humanidade. Passou a ser conhecida com a finalidade de ser dominada e explorada. A parte da ambiência considerada inútil era estudada basicamente para satisfazer a curiosidade das pessoas a respeito do seu mundo.

As ciências designadas para o estudo do ambiente tornaram-se uma ciência prática de extração de recursos com fins educacionais, ou "um estudo do mundo natural" - catálogo e descrições das maravilhas naturais. A natureza era considerada como algo separado e inferior à sociedade humana. Nos dias atuais as concepções do homem em relação à natureza mudaram, hoje o homem além de manipular e estudar, considera-se parte do ambiente.

Um importante recurso natural hoje utilizado para o abastecimento de água das áreas urbanas e rurais são as águas subterrâneas, obtidas através da perfuração de poços, e/ou, captações como cacimbas, mananciais, "olhos d'água, fontes. Visto que as águas superficiais que também são utilizadas no abastecimento tornam-se cada vez mais poluídas, (alteradas) e, dependendo da região, há uma

baixa distribuição espacial devido à irregular frequência das chuvas e suas precipitações dispersas.

Por isso torna-se crescente a demanda pela busca de águas subterrâneas para o abastecimento da população. Essas captações, quando mal manejadas ou abandonadas, tornam-se ponto potencial de contaminação. No ano de 2005, as estimativas eram de que existiam no Brasil, pelo menos, 400.000 poços distribuídos por todo o País, conforme Zoby e Oliveira (2005).

O aquífero é uma formação ou grupo de formações geológicas que pode armazenar água subterrânea. São rochas porosas e permeáveis, capazes de reter água e de cedê-la. São utilizadas pelo homem como fonte de água para seu abastecimento humano, industrial, agrícola etc..

A contaminação das águas subterrâneas devido ao descuido no consumo acaba sendo corriqueira, pois a população, de maneira geral, possui pouco conhecimento sobre os recursos hídricos subterrâneos e por isso acredita, em sua maioria, que dispensam maiores cuidados na sua utilização, incluindo as suas potencialidades. Para isso, tornam-se necessários estudos que orientem e planejem a exploração das águas subterrâneas, alicerçadas na prevenção à sua poluição (MARION et al, 2008).

Como instrumento de proteção dos recursos hídricos subterrâneos, o mapeamento da vulnerabilidade natural serve como ferramenta que espacializa áreas com maior suscetibilidade à contaminação, considerando o uso e a ocupação da superfície do terreno onde se desenvolvem as atividades de transformação dos recursos naturais, (FOSTER e HIRATA, 1993). Frente à sua grande importância no planejamento territorial, conforme o Código Estadual do Meio Ambiente, Lei Estadual nº 11.520/2000, as áreas vulneráveis a contaminação, deverão ser indicadas na elaboração de Planos Diretores e demais instrumentos de planejamento urbano e rural.

Para tanto, durante o trabalho desenvolvido no município de Faxinal do Soturno, estruturou-se um banco de dados dos poços cadastrados, para o posterior estabelecimento dos índices de vulnerabilidade natural das águas subterrâneas. Além do banco de dados utilizado no estudo de vulnerabilidade natural, elaborou-se também um cadastro das atividades potenciais de contaminação, a fim de relacionar a vulnerabilidade da dinâmica natural do aquífero frente às possibilidades de contato

com cargas contaminantes e, às atividades antrópicas desenvolvidas em superfície sobre o mesmo.

O conhecimento das características naturais deste meio aquífero é indispensável para estabelecer sua potencialidade e suscetibilidade diante das dinâmicas antropogênicas, informações estas indispensáveis para o gerenciamento adequado e racional, com vistas ao bem estar sócio-ambiental e o desenvolvimento municipal.

A localização de atividades produtoras de cargas contaminantes potenciais, em áreas sobrejacentes ao aquífero, como postos de combustível, lavagens de automóveis, indústrias que produzem resíduos químicos, entre outros, evidencia a importância da ampliação dos estudos para a compreensão e entendimento do comportamento e gestão do uso e ocupação no município.

Os fatores citados justificam a execução deste trabalho de vulnerabilidade, salientando as possibilidades de impacto aos recursos hídricos subterrâneos a partir das variadas atividades desenvolvidas no município, que podem vir a provocar a alteração de qualidade das águas em determinadas condições.

A realização deste trabalho e a elaboração destes documentos e diagnósticos buscam, entre outros fins, servir como subsídio à análise de processos de outorga e licenciamento ambiental de empreendimentos que utilizem água subterrânea e o subsolo para disposição de resíduos capazes de alterar a qualidade desses recursos, e ainda a gestão racional dos recursos naturais no município de Faxinal do Soturno – RS.

Ao final do estudo de vulnerabilidade natural das águas subterrâneas, foi realizado o mapeamento das áreas de risco ambiental que se procedeu por avaliação complexa e sobreposição de Planos de Informações (PI) considerando-se o mapa de solos com o mapa de geologia, atribuindo pesos aos mesmos de forma a alocar áreas de maiores e menores riscos ambientais naturais. Assim foram considerados a geologia e os solos mais vulneráveis a erosão e aos escorregamentos em áreas consideradas de risco no município. Esses locais quando ocupados pelo homem podem desencadear ou acelerar tais danos ambientais, por isso faz-se de suma importância a restrição dessas áreas ao uso e ocupação.

A metodologia possibilita identificar onde são encontradas tais situações de risco pela interação dos mapas. Os resultados obtidos nas avaliações podem ser

hierarquizados, quantificados e espacializados de modo a servir de base na tomada de decisão do poder público, ao definir áreas a serem ocupadas ou áreas em que se devem corrigir possíveis conflitos identificados no município.

Os pesos destinados a cada classe de geologia foram definidos conforme relevância e seus riscos ambientais naturais de importância ao desenvolvimento municipal. Da mesma forma se procedeu para as classes do mapa de solos.

Para ser elaborado o mapa de Áreas de Preservação Permanentes do município de Faxinal do Soturno foi necessário o conhecimento da declividade e das áreas das matas ciliares que devem recobrir a área de estudo; para assim com a combinação deles ter conhecimento das dimensões e da localização das áreas de APP.

As declividades foram elaboradas a partir da digitalização das cartas topográficas do Exército Brasileiro, assim pode-se com o Sistema de Informação Geográfico ArcGis ArcMap 9.2, importar as cartas em meio digital e digitalizar as curvas de nível com suas respectivas cotas. De posse das curvas digitalizadas foi possível encontrar as áreas com declividades acima de 45° estas consideradas como Área de Preservação Permanente conforme Legislação Ambiental.

Para serem encontradas as áreas de APP das matas ciliares foram necessárias as cartas do exército no formato digital, para digitalizar no SIG ArcGis ArcMap 9.2 a rede de drenagem que recobre o município de Faxinal do Soturno e, assim criar sua faixa marginal das APP dos rios, córregos e nascentes.

E pela interação das áreas de APP com as áreas de Risco Ambiental será possível encontrar as áreas de conservação ambiental, as áreas de preservação permanente e as áreas que podem ser destinadas ao uso e ocupação.

Assim, o presente estudo, objeto dessa dissertação de mestrado, realizado no Município de Faxinal do Soturno - RS, como parte de convênio entre a Universidade Federal de Santa Maria e a Prefeitura Municipal de Faxinal do Soturno – RS, tem os seguintes objetivos: alocar áreas de vulnerabilidade natural, áreas de risco ambiental natural, áreas propícias ao uso e ocupação e áreas de preservação permanente, como suporte ao planejamento municipal por meio do geoprocessamento, que teve suporte em:

- Identificação das características do município de Faxinal do Soturno;
- Levantar as atividades potencialmente contaminantes no município;

- Cadastrar os poços tubulares ('artesianos') no município, com apoio da cartografia e georreferenciamento;
- Buscar dados existentes referentes à geologia, solos, relevo, rede de drenagem;
- Elaborar mapas de declividade do terreno a partir das cartas topográficas oficiais; mapas do nível estático e mapas da superfície potenciométrica dos poços tubulares;
- Realizar avaliações ambientais, com o auxílio do aplicativo SAGA, nas áreas de risco ambiental, áreas de preservação permanente e as áreas destinadas a uso e ocupação.

Nesta dissertação abordam-se os seguintes assuntos relevantes, relacionados à área de estudo:

- ✓ Recursos Naturais que formaram base para todas as avaliações ambientais sejam: geologia, relevo, solos, hidrografia, aquífero;
- ✓ Legislação Ambiental Brasileira, como suporte para o planejamento municipal;
- ✓ Geoprocessamento, com seus aspectos técnicos e metodológicos relevantes, como as análises por integração de Mapas que, por avaliação ambiental, foram definidas áreas de risco ambiental, áreas de maior vulnerabilidade à contaminação, áreas propícias e inadequadas ao uso e ocupação municipal.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A fundamentação teórica serve de suporte ao desenvolvimento de pesquisa em meio científico e profissional. No primeiro momento será dedicada aos recursos naturais como geologia, relevo, solos, hidrografia, aquíferos, zoneamento ambiental, legislação ambiental e, em segundo momento, às geotecnologias: aspectos técnicos e metodológicos relevantes.

### **2.1 Recursos Naturais**

#### **2.1.1 Geologia**

Geologia é a ciência natural que se dedica ao estudo da estrutura da crosta terrestre, sua origem, minerais constituintes e alterações e sua história, por meio das ciências exatas (Matemática, Física e Química), investiga o meio natural do planeta, ao interagir com a Biologia, Climatologia e outras ciências naturais. Geologia e Biologia são as ciências naturais que permitem conhecer o nosso habitat e, por consequência, agir de modo responsável nas atividades humanas de ocupar, utilizar e controlar os materiais e os fenômenos naturais.

A geologia não se originou como uma ciência por meio de estudos detalhados de forças elementares individuais naturais; somente na última centena de anos a geologia voltou-se para a investigação de processos geológicos contemporâneos, e mesmo assim, eles são estudados em algum detalhe principalmente por ciências técnicas e naturais que são distantes da geologia.

Conforme Potapova (1968), os processos geológicos são processos naturais bem conhecidos, bastante familiares a especialistas nos mais diversos ramos da ciência e tecnologia. Somente após o homem ter aprendido a distingui-los nas suas formas “fixadas” nas estruturas geológicas, composição, estrutura e textura de rochas locais; foram reconhecidos como geológicos, embora geralmente tenham permanecido dentro do domínio das respectivas ciências naturais ou tecnológicas.

Desta forma, todos os processos naturais contemporâneos, ocorrendo no domínio do planeta Terra, são em certo sentido geológicos. São estudados

normalmente por diferentes ciências, mas a geologia procura por traços de tais processos em estado fixado, de modo a conseguir uma compreensão de como se desenvolveram historicamente.

As formações geológicas que ocorrem na microrregião de Santa Maria fazem parte da formação sedimentar Gondwânica, que preenche a Bacia Sedimentar do Paraná constituído por: siltitos, argilitos, arenitos e folhelhos de diferentes formações geológicas no período Cretáceo, Triássico e Jurássico associado à sequências de derrames de lavas, estas de origem do vulcanismo fissural que recobre os sedimentos da Bacia do Paraná no período Cretáceo (SCHERER et al., 2002).

Embora tenha permanecido distante dos conhecimentos gerais da população no Brasil, a Geologia tem um papel marcante e decisivo na qualidade da ocupação e aproveitamento dos recursos naturais, que compreendem desde os solos, onde se cultiva e se constrói, até os recursos energéticos e as diferentes matérias-primas industriais.

De acordo com o Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul (CARRARO et al., 1974), a área em estudo situa-se entre as províncias geomorfológicas da Depressão Periférica ou Central e o Planalto.

Outros ramos da Geologia são aplicados, como a Hidrogeologia, a Geologia de Engenharia, a Geotecnia, Geofísica, as quais interagem com outras ciências em estudos ambientais.

### 2.1.2 Relevo

O relevo é reconhecido como um dos principais agentes de formação do solo. Atua de forma indireta, modificando características climáticas da sua região, e de forma direta, através do controle de sua drenagem. Além disso, suas formas refletem propriedades do material de origem, características geológicas e processos de formação pedogenética, sendo por estes motivos, apontado como uma das informações mais importantes para a fotopedologia e fotogeologia (MONIZ, 1972).

A organização espacial das formas de relevo do território brasileiro não somente respondem às características da morfodinâmica da superfície terrestre, como também às litologias as quais apresentam características e/ou locais regionais e também à altimetria, produzindo formas de relevo com características próprias numa escala de tempo geológico.

O contorno da superfície terrestre é designado por topografia ou relevo. Este influencia a formação do solo, particularmente pelas suas associações com os fatores umidade e temperatura. Normalmente, os solos que se localizam em zonas com desníveis acentuados e abruptos são pouco espessos, pois, a água circula pelo perfil com maior velocidade devido ao maior efeito do escoamento superficial. Os solos localizados em zonas mais planas são mais espessos e, conseqüentemente, havendo água subterrânea a vegetação é mais luxuriante. Esta comparação apenas pode ser feita tendo em conta solos que se situem sob o mesmo clima e sob o mesmo tipo de rochas, conforme Brilha (2007).

Os agentes mais atuantes na dinâmica externa do relevo são as águas continentais, o vento, o gelo, água dos oceanos e os organismos. A ação contínua e conjugada destes agentes provoca à eterna modificação do relevo da Terra, cujos principais processos são a erosão das rochas expostas na superfície, o transporte dos materiais intemperizados de áreas topograficamente mais elevadas e sua deposição em grandes depressões topográficas (POPP, 1987).

De acordo com Carraro et al. (1974), o Estado do Rio Grande do Sul pode ser subdividido em quatro grandes domínios geomorfológicos:

- O Escudo Uruguaio–Sul Riograndense, constituído por rochas cristalinas do embasamento;
- A Depressão Periférica, constituída por rochas sedimentares clásticas de diferentes idades geológicas;
- O Planalto da Serra Geral, constituído por derrames vulcânicos de composição ácida (riólitos e granófiros) e básica (basaltos);
- A Planície Costeira, constituída por sedimentos inconsolidados do Quaternário, formando depósitos de dunas lacustres e aluviais.

### 2.1.3 Solos

O solo é um recurso natural que sustenta a flora e a fauna, a agricultura, a pecuária, o armazenamento da água e as obras de engenharia humana. Além de ser um meio insubstituível para a agricultura, é também um componente vital do agroecossistema no qual ocorrem processos e ciclos de transformações físicas, químicas e biológicas. Por outro lado, quando seu uso e ocupação forem mal

manejados e receber o aporte de resíduos indesejáveis, em curto espaço de tempo o solo poderá contribuir para a degradação do ecossistema (STRECK et al., 2008).

O solo sob condições naturais de vegetação nativa, tanto florestas como campos enfim, apresenta atributos físicos de permeabilidade, estrutura, densidade do solo e porosidade adequados ao desenvolvimento normal das plantas (ANDREOLA et al., 2000).

Em condições adequadas, as plantas desenvolvem-se sem dificuldades e o volume de solo explorado pelas raízes é relativamente grande. Com a expansão agrícola, o solo vai sendo submetido a alterações dos atributos físicos como exemplo a mecanização agrícola dos solos pode afetar tanto a micro como a macroporosidade, pode ser citado também à superlotação de animais de produção agropecuária vindo a causar a compactação do solo. Dessa forma sofrem alterações geralmente desfavoráveis ao desenvolvimento radicular das culturas.

O solo, também conhecido por regolito ou manto de intemperismo, é considerado como um meio natural capaz de suportar o crescimento das plantas. O Rio Grande do Sul tinha 42% de suas terras propícias às florestas (florestamento) e, no entanto, a agricultura ocupa a totalidade do Estado, deixando menos de 6% em cobertura florestal natural (ROCHA, 1997).

Os fatores mais importantes na formação do solo são o clima, o tipo de rocha, a vegetação, o relevo e o tempo de formação do solo.

De acordo com Foster et al. (1993), a maioria dos processos que causam atenuação e eliminações de contaminantes em subsuperfície é muito mais efetiva na zona de solos biologicamente ativa associado à porcentagem de fração argila, matérias orgânicas e da presença maior de população bacteriana.

As características dos solos influenciam na escala de lixiviação de nutrientes e de pesticidas aplicados a uma dada atividade agrícola, bem como na neutralização da acidez. Desta forma é preferível não incorporar à capacidade de atenuação do solo a vulnerabilidade do aquífero, mas, sim, torná-lo em consideração indiretamente quando se estima a carga de contaminante no subsolo de diversas fontes de contaminação dispersa (FOSTER, 1987).

#### 2.1.4 Hidrografia

A rede de drenagem advém da interação dos fatores associados ao relevo, geologia, clima, vegetação, textura e permeabilidade do solo. O padrão de drenagem, definido pelo arranjo espacial dos rios e seus afluentes, foi amplamente explorado na definição de zonas homólogas em estudos de segmentação do meio físico, conforme França (1968).

As preocupações suscitadas com a realidade dos recursos hídricos, isto é, as águas destinadas a usos, têm induzido, em todo o mundo, a uma série de medidas governamentais e sociais, objetivando viabilizar a continuidade das diversas atividades públicas e privadas que têm como foco as águas doces, em particular, aquelas que incidem diretamente sobre a qualidade de vida da população (MACHADO, 2002).

O Rebordo do Planalto como o próprio nome indica, rodeia o planalto, separando-o da Depressão Periférica e é caracterizado por escarpas abruptas. A drenagem flui no sentido da Depressão Periférica e é caracterizada por um padrão dendrítico com forte presença dos vales em “V”, que por erosão regressiva provocam o festonamento da escarpa (ROCHA, 2005).

## 2.2 Águas subterrâneas

A água é uma substância fundamental para os ecossistemas da natureza, solvente universal e importante para a absorção de nutrientes do solo pelas plantas, e sua elevada tensão superficial possibilita a formação de franja capilar no solo, além de imprescindível às formações hídricas atmosféricas, influenciando o clima das regiões; no ser humano, é responsável por aproximadamente três quartos de sua constituição. Infelizmente, este recurso natural encontra-se cada vez mais limitado e exaurido pelas ações impactantes do homem nas bacias hidrográficas, degradando a sua qualidade e prejudicando os ecossistemas (PAZ et al., 2000).

De acordo com a Resolução Nº 15 de 11/01/2001 do CNRH, Aquífero é o corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através de seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos. Os aquíferos podem apresentar zonas de descarga e recarga pertencentes a uma ou mais bacias hidrográficas.

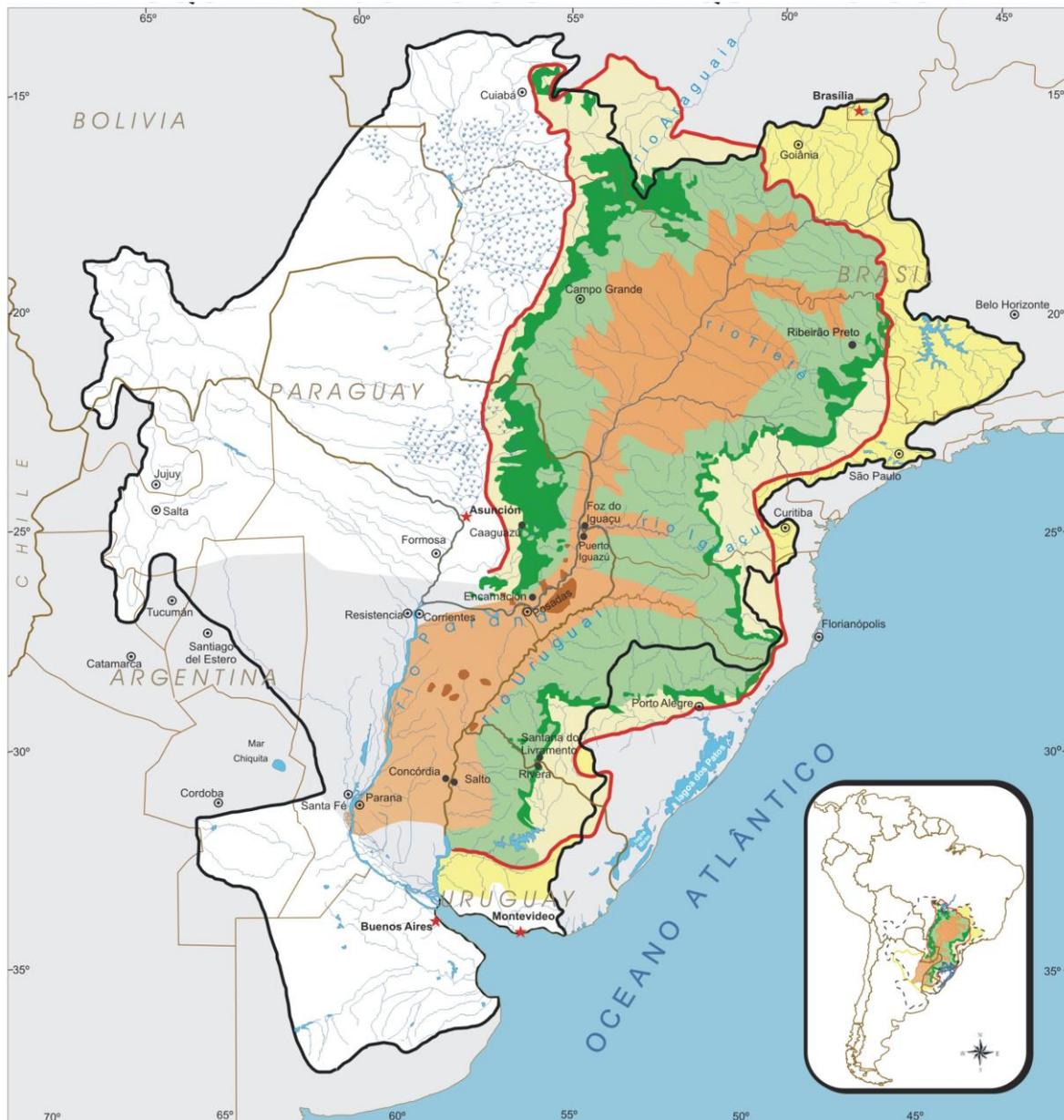
As rochas sedimentares que formam o Sistema Aquífero Guarani (SAG) constituem um aquífero de dimensões continentais, localizado nas Bacias Sedimentares do Paraná e Chaco-Paraná, formado pelo conjunto de rochas arenosas das formações Triássicas (Formações Pirambóia e Rosário do Sul, no Brasil, e Buena Vista no Uruguai) e Jurássicas (Formações Botucatu, no Brasil, Misiones no Paraguai e Tacuarembó na Argentina e no Uruguai) destas bacias, (ARAÚJO et al., 1995).

O SAG está inserido no contexto geológico da Bacia Sedimentar do Paraná, estendendo-se pelos territórios brasileiro, argentino, paraguaio e uruguaio, representando um exemplo típico de aquífero transfronteiriço. No território brasileiro, ocorre nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul. Neste último, ocupa toda porção centro-leste com área de aproximadamente 213.200 km<sup>2</sup>, dos quais, cerca de 36.000 km<sup>2</sup> correspondem às áreas de afloramento das Formações Botucatu e Pirambóia (GASTMANS; KIANG, 2005). Ver figura 1, área de ocorrência do SAG.

É nas áreas de afloramento deste aquífero, que o mesmo encontra-se exposto e, portanto, mais suscetível à contaminação. No Estado do Rio Grande do Sul, boa parte da área de afloramento ocorre na região central, coincidindo em parte com a Depressão Central comenta Carraro et al., (1974), onde está localizado o município de Faxinal do Soturno – RS. Na figura 1 pode-se observar a abrangência do SAG, suas áreas de recarga como também suas áreas de descargas.

Faxinal do Soturno encontra-se em área de afloramento do SAG, portanto está na zona de recarga direta através da precipitação pluviométrica.

Por outro lado observa-se na figura 1 que o SAG é coberto pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral que pode constituir o importante Sistema Aquífero Serra Geral.



**LEGENDA**

- Drenagens não relacionadas ao Aquífero Guarani (não integram o Sistema)
  - Área potencial de recarga indireta
    - a partir da drenagem superficial
    - a partir do fluxo subterrâneo
  - Área potencial de recarga direta
    - regime poroso: afloramento do Guarani
    - regime fissural/poroso: basaltos e arenitos
  - Área potencial de descarga
    - regime fissural /poroso: basaltos e arenitos (indivisos)
    - regime poroso: afloramentos do Guarani
    - regime fissural /poroso (relação com o Guarani a definir)
  - ~ Limite bacia hidrográfica do Prata
  - Limite bacia sedimentar do Paraná
  - Rios
  - Áreas alagadas
  - Limite político de País
  - Limite político de Estados/Provincias
  - Cidade
  - ⊙ Capitais Estados/Provincias
  - ★ Capital dos Países
- Escala Aproximada 1: 13.600.000  
0 100 200 300 km

**Notas:**

- Figura ilustrativa elaborada pela CAS/SRH/MMA (UNPP/Brasil) aprovada pelo Conselho Superior de Preparação do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani (Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai - GEF/Banco Mundial - OEA).  
- As porções coloridas representam as áreas que, em potencial, compõe o Sistema Aquífero Guarani. As áreas em branco e cinza não integram o Guarani. Os limites do Aquífero Guarani não estão totalmente definidos na Argentina e no Paraguai, tampouco se as áreas de descarga assinaladas estão a ele relacionadas.

**Fontes:**

- Mapa Hidrogeológico de America del Sur, 1996, DNP/CPRM/Unesco.  
- Mapa Hidrogeológico do Aquífero Guarani, 1999, Campos H.C.  
- Mapa de Integração Geológica da Bacia do Prata, 1998, MERCOSUL/SGT2.  
- Mapa de Integração Hidrogeológica da Bacia do Prata, em elaboração, MERCOSUL/SGT2.  
- Mapa Geológico do Brasil, 2ª Ed., 1995, MME/DNPM.  
- Mapa Geológico de la Cuenca del Rio de la Plata, 1970, OEA.

**Figura 1 - Área de ocorrência do Sistema Aquífero Guarani.**  
Fonte: ANA (2005).

A água subterrânea é um recurso natural vital para fornecimento econômico e seguro da água potável, desenvolvimento das comunidades em áreas urbanas e rurais; sem embargo em escala mundial os aquíferos estão experimentando uma crescente ameaça de contaminação causada pela urbanização, desenvolvimento industrial, atividades agrícolas, extração de minerais etc. Tem-se como consequência das atividades humanas que se desenvolvem na superfície e geram descargas, que são lixiviadas quando não controladas adequadamente, formam cargas reais de potencial contaminação da água subterrânea (FOSTER et al., 2006).

Afirma Silvério da Silva et al. (2004) que as águas subterrâneas devem ser reconhecidas primeiramente como um recurso esgotável, contaminável, a curto, médio e longo prazo; soma-se a este quadro, ainda, que nem toda água dos aquíferos são doces e próprias para o consumo humano. Portanto, cabe a toda a população preservar este recurso, evitando-se dispor resíduos poluentes, sejam líquidos, gasosos ou sólidos, na superfície do terreno. Lembrem que os poços desativados, os quais devem ser mantidos lacrados, pois são pontos potenciais de contaminação do aquífero.

A classificação de cargas contaminantes é uma importante ferramenta para identificar as atividades que representam a maior probabilidade de geração de importantes cargas contaminantes ao aquífero; é fundamental estabelecer prioridades para definir as atividades que deverão ser estudadas e detalhadas, incluindo monitoramento, investigações de campo e a evolução dos riscos ambientais a saúde humana (HIRATA, 2002).

### 2.2.1 Grau de confinamento dos Aquíferos

Um aquífero não confinado é um aquífero livre e ao mesmo tempo freático, sendo aquele em que as camadas rochosas sedimentares são permeáveis e encontra-se em equilíbrio com a pressão atmosférica externa, estando todos os poros constituintes saturados em água, formando um aquífero. Por exemplo, sedimentos aluviais e sedimentos litorâneos; possuem maior permeabilidade e porosidade e, portanto, são mais vulneráveis as contaminações por substâncias orgânicas ou inorgânicas pelas atividades antrópicas geradas pelo homem.

Um aquífero confinado ou artesiano é aquele em que há uma camada rochosa impermeável ou o contato de uma camada permeável com uma impermeável, no qual a pressão dos poros e/ou fissuras das rochas, supera-se à pressão externa. Se a pressão litostática sobre o corpo hídrico subterrâneo for superior a atmosférica, teremos a ocorrência de um poço surgente e/ou jorrante, conforme Silvério da Silva et al. (2004).

Deve-se salientar que para a correta construção de um poço tubular existem normas que regulamentam como a ABNT 12212 e 12244/2006 as quais fixam os quesitos exigíveis no projeto e na construção de poço tubular para captação de água subterrânea, estabelecendo procedimentos técnicos para o acesso seguro aos mananciais subterrâneos, objetivando a extração de água de forma eficiente e sustentável. Estes procedimentos buscam tornar a exploração da água subterrânea em condições de potabilidade.

A avaliação dos riscos à contaminação do aquífero é necessária para definir, de forma mais clara, as ações requeridas para proteger a qualidade natural da água subterrânea. Quando realizada pelas companhias de abastecimento de água, espera-se que as autoridades municipais e órgãos de regulamentação tomem ações preventivas, a fim de evitar contaminação futura. O Decreto Federal nº 5.440/ prevê que as companhias de distribuição de água devem fornecer aos usuários as concentrações de alguns parâmetros de potabilidade em suas contas mensais. Dentre elas cita-se: o ph, a turbidez, a cor, o Fluoreto, o Cloro residual, os coliformes totais e termos-tolerantes. Este procedimento visa prevenir riscos de transmissão de doenças de veiculação hídrica, mas está restrita a populações urbanas.

As áreas rurais normalmente possuem abastecimento próprio de água, através de poços escavados de grande diâmetro = cacimbas = nascentes = olhos d'água = fontes; de poços tubulares construídos com pequenos diâmetros e a captação realizada com equipamentos como compressores, que estão sujeitos a possível contaminação por óleos e graxas.

A vulnerabilidade do aquífero à contaminação pode ser mapeada de forma eficiente, para possível planejamento e conservação dos recursos naturais. Com os mapas, pode-se realizar a interação dos resultados levantados e avaliar as possíveis cargas contaminantes, a fim de facilitar a avaliação dos riscos de contaminação da água subterrânea. A expressão "riscos de contaminação de aquífero" designa a probabilidade de que as águas subterrâneas venham a apresentar concentrações de

contaminantes superiores ao valor estabelecido pela OMS (Organização Mundial da Saúde), para o consumo humano. No Brasil a qualidade da água para consumo humano é estabelecida pela Portaria do Ministério da Saúde nº 518/2004 e complementada para as águas subterrâneas através da Resolução CONAMA nº 396/2008.

Há várias causas possíveis para a deterioração da qualidade de um aquífero subterrâneo. Estas são classificadas segundo sua origem e encontram-se descritas na figura 2, extraída do guia consultado. Existe um maior interesse na proteção contra a poluição do aquífero e a contaminação junto ao poço ou captação, referentes às ações humanas, mas é preciso estar ciente de que outros processos contaminantes decorrentes de ações naturais também podem ocorrer, sempre observando o local / região que esta sendo realizado o estudo.

TIPO DE PROBLEMA	CAUSA SUBJACENTE	CONTAMINANTES PRINCIPAIS
CONTAMINAÇÃO DO AQUIFERO	proteção inadequada de aquíferos vulneráveis contra emissões e lixiviados provenientes de atividades urbanas/industriais e intensificação do cultivo agrícola	microorganismos patógenos, nitrato ou amônio, cloreto, sulfato, boro, arsênico, metais pesados, carbono orgânico dissolvido, hidrocarbonetos aromáticos e halogenados, certos pesticidas
CONTAMINAÇÃO NO PRÓPRIO POÇO OU CAPTAÇÃO	poço ou captação cuja construção/projeto inadequado permite o ingresso direto de água superficial ou água subterrânea rasa poluída	principalmente microorganismos patógenos
Intrusão Salina	água subterrânea salina (e às vezes poluída) que, por excesso de extração, é induzida a fluir para o aquífero de água doce	principalmente cloreto de sódio, mas pode incluir também contaminantes persistentes produzidos antropicamente
Contaminação Natural	relacionada com a evolução química da água subterrânea e a dissolução de minerais (pode ser agravada pela poluição ocasionada pela atividade humana e/ou extração excessiva)	principalmente fluoreto e ferro solúvel, às vezes sulfato de magnésio, arsênico, manganês, selênio, cromo e outras espécies inorgânicas

**Figura 2. Classificação dos problemas de qualidade da água subterrânea**

Fonte: (FOSTER et al, 2006).

Há muitos contaminantes oriundos de atividades potencialmente contaminantes que podem acabar chegando às águas subterrâneas, pela lixiviação superficial do terreno como resultado de seu uso e ocupação pode citar uso agrícolas que utilize insumos químicos, a própria criação intensiva de gado que geram resíduos como  $\text{NO}_3^-$ , amônia, coliformes, etc.; podendo estar próximos a poços desativados abertos, dentre eles existem fontes pontuais de contaminação. Algumas delas podem-se visualizar na figura 3.

ORIGEM DA POLUIÇÃO	TIPO DE CONTAMINANTE
Atividade agrícola	nitrito; amônio; pesticidas; organismos fecais
Saneamento <i>in situ</i>	nitrito; hidrocarbonetos halogenados; microorganismos
Garagens e postos de serviço	hidrocarbonetos aromáticos e halogenados; benzeno; fenóis
Disposição de resíduos sólidos	amônio; salinidade; hidrocarbonetos halogenados; metais pesados
Indústrias metalúrgicas	tricloroetileno; tetracloroetileno; hidrocarbonetos halogenados; fenóis; metais pesados; cianureto
Pintura e esmaltação	alquilbenzeno; hidrocarbonetos halogenados; metais; hidrocarbonetos aromáticos; tetracloretileno
Indústrias de madeira	pentaclorofenol; hidrocarbonetos aromáticos; hidrocarbonetos halogenados
Limpeza a seco	tricloroetileno; tetracloroetileno
Indústria de pesticida	hidrocarbonetos halogenados; fenóis; arsênico
Despejo de lodo do esgoto	nitrito amônio; hidrocarbonetos halogenados; chumbo; zinco
Curtumes	cromo; hidrocarbonetos halogenados; fenóis
Extração/exploração de gás e petróleo	salinidade (cloreto de sódio); hidrocarbonetos aromáticos
Mineração de carvão e metalíferos	acidez; metais pesados; ferro; sulfatos

**Figura 3. Contaminantes comuns da água subterrânea e fontes de poluição antrópicas.**

Fonte: (FOSTER et al., 2006).

A prevenção a uma futura contaminação deve ser levada em consideração no planejamento do uso do solo, o que, infelizmente, não é uma prática habitual. Por exemplo, na expansão de uma área urbana ou para a realocação de uma zona industrial, geralmente não é realizado um estudo prévio de impacto ambiental das áreas mais propícias a execução do projeto para saber se os locais são aptos a receber tais empreendimentos.

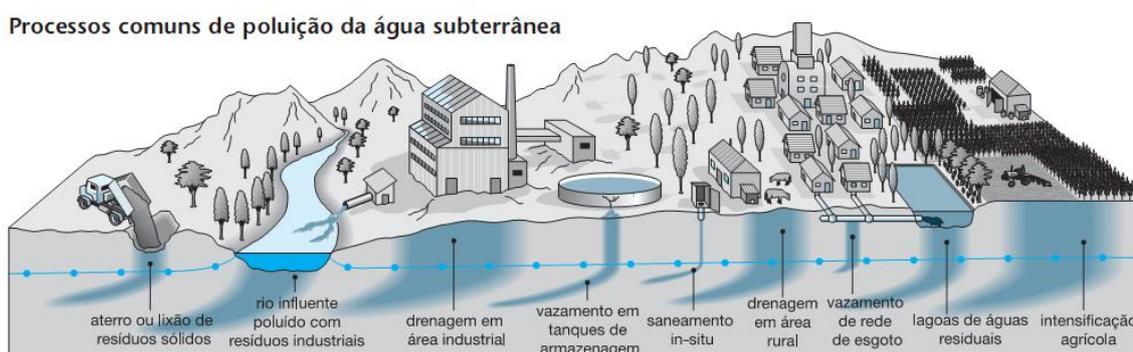
A utilização dos mapas de vulnerabilidade é uma ferramenta valiosa para efetuar tal planejamento de modo a reduzir o risco de contaminação da água subterrânea. Estes mapas podem identificar as áreas mais propícias à contaminação, permitindo que atividades que representam perigo potencial sejam proibidas ou evitadas nesses locais, realizando, assim, uma ocupação ambientalmente responsável, um zoneamento.

### 2.3 Classificações das atividades contaminantes

Atualmente é necessário dar importância à carga contaminante no subsolo gerado por atividades humanas em superfície, mesmo que haja uma grande variedade de tais atividades, observa-se que somente algumas delas são responsáveis pelo risco máximo da contaminação das águas subterrâneas em uma dada área.

Para prevenção de tais danos é importante ao planejamento técnico a obtenção de informações de boa qualidade para realizar uma avaliação mais precisa possível do risco de contaminação das águas subterrâneas, e também para definir medidas mitigadoras / compensatórias para controlar os componentes mais danosos a carga contaminante por ventura existente, além de passivos ambientais.

A evolução urbana e industrial, e por consequência, o aumento na demanda de alimentos, bem como dos produtos industrializados acaba afetando certos pontos na ambiência. Esses processos ocasionam um aumento no consumo de recursos hídricos pelo homem, em decorrência disso, pode causar a contaminação da água, que muitas vezes é realizada pelos resíduos industriais despejados em córregos, rios, mares sem o tratamento adequado. Essa ação degradativa, pode vir a contaminar / poluir os biomas como também afetar a qualidade das águas subterrâneas. Observando a figura 4 podem-se visualizar a distribuição de atividades contaminantes na zona urbana e rural.



**Figura 4. Atividades potencialmente contaminantes**

Fonte – (FOSTER et al., 2006).

Atualmente, devido às várias atividades humanas desenvolvidas na superfície do terreno, a principal preocupação em relação à poluição das águas subterrâneas é a carga contaminante disposta no subsolo associada com saneamento urbano sem rede de esgoto instalada ou por meio de fossas, tanques sépticos e latrinas, em

áreas residenciais com ligação de rede incompleta ou inexistente. Deve ser levado em consideração que podem existir pequenas indústrias de serviço, gerando uma carga potencialmente contaminante. Também se deve reconhecer que os processos de urbanização exercem uma grande influência nos mecanismos de recarga do aquífero e a instalação da rede de água potável e/ou de esgoto é muito significativa neste sentido (FOSTER, 1993).

Outra atividade que se dá em áreas urbanas e/ou rurais é a implantação de cemitérios que são potencialmente causadores de riscos ao meio ambiente, quando instalados em locais inadequados, tornam-se um risco real para os recursos hídricos. Por este motivo torna-se necessário avaliar as condições geológicas, o tipo de solo, a hidrogeologia, a profundidade do nível das águas subterrâneas e a geomorfologia da área. Esses locais podem contaminar os recursos hídricos subterrâneos, através da infiltração de necrochorume até o aquífero transportado pelas chuvas infiltradas nas covas, ou pelo contato dos corpos com a água subterrânea (MATOS, 2001).

A legislação brasileira relativa ao licenciamento desta atividade é regulamentada pelas resoluções n<sup>os</sup> 001 e 237 do CONAMA.

Conforme descrito na figura 4 os depósitos de resíduos sólidos ou lixões são uma crescente preocupação nas cidades brasileiras.

Os postos de combustíveis por armazenarem substâncias potencialmente contaminantes como o óleo diesel, a gasolina e o álcool também são atividades potencialmente contaminantes do subsolo e dos aquíferos. A Resolução n<sup>o</sup> 273/2000 do CONAMA regulamenta o licenciamento ambiental desta atividade.

## **2.4 Zoneamento Ambiental**

O zoneamento ambiental é um instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente<sup>1</sup>, consiste em procedimento de divisão de determinado território em áreas onde “se autorizam determinadas atividades ou interditam-se, de modo absoluto ou relativo, o exercício de outras”<sup>2</sup> em razão das características ambientais e sócio-econômicas do local. Pelo zoneamento ambiental são instituídos diferentes tipos de

---

<sup>1</sup> Art. 9<sup>o</sup>, II da Lei 6938/1981.

<sup>2</sup> MACHADO, Paulo Affonso Leme. Direito ambiental brasileiro: 11. ed. São Paulo: Malheiros, 2003. p. 177.

zonas nas quais o Poder Público estabelece regimes especiais de uso, gozo e fruição da propriedade na busca da melhoria e recuperação da qualidade ambiental e do bem-estar da população. Suas normas, que deverão obrigatoriamente respeitar o disposto em legislação ambiental, vinculam todas as atividades exercidas na região de sua incidência, o que implica na inadmissibilidade de ali serem exercidas atividades contrárias a elas.

A construção de um cenário desejável para a conservação e a proteção dos recursos ambientais, sintetiza a busca de uma meta ideal, que tem como objetivo principal promover um processo de desenvolvimento sustentável, viabilizando a conjugação das limitações, potencialidades e fragilidades do ecossistema com as necessidades econômicas e sociais do município.

A formulação desse cenário consubstancia-se com o zoneamento ambiental estabelecido, que se constitui em um instrumento de apoio e orientação à gestão ambiental, capaz de fornecer orientações programáticas e respectivas normas gerais para o disciplinamento do uso dos recursos ambientais e do uso e ocupação do solo.

Nessa perspectiva, o zoneamento ambiental é formado pelas zonas de proteção, zonas de conservação e por áreas de ocorrência ambiental, cujas conceituações estão abaixo apresentadas (CPRM, 1995):

- Zonas de Proteção: são espaços que terão a função principal de proteger os sistemas naturais existentes, cuja utilização dependerá de normas de controle rigorosas. Incluem:
  1. Os remanescentes dos ecossistemas e paisagens pouco ou nada alterados ou com alterações pouco significativas;
  2. As áreas que possuam configurações geológico-geomorfológicas especiais;
  3. Áreas com cobertura vegetal natural remanescente dos ecossistemas locais;
  4. Refúgio de fauna;
- Conjuntos representativos do patrimônio arqueológico e paleontológico, espeleológico e cultural.

- Zonas de Conservação: são aqueles espaços cuja função principal é o de permitir a ocupação do território sob condições adequadas de manejo e utilização dos recursos e fatores ambientais.

Em geral, os recursos e os fatores enquadrados nessas zonas estão alterados pelo processo de uso e ocupação do solo, apresentando níveis diferenciados de fragilidade e de conservação.

- Áreas de Ocorrência Ambiental: são áreas que correspondem a situações particulares dos meios físicos e bióticos e que ocorrem de forma dispersa e generalizada em quaisquer das zonas ambientais estabelecidas. Devido às suas particularidades, requerem normalização específica, mais restritiva que o conjunto de normas comuns à zona ambiental. São passíveis de enquadramento nessa categoria:

1. APP - Áreas de Preservação Permanente são aquelas que possuem uma cobertura vegetal de preservação permanente, entre as quais as matas ciliares, declividade acima de 45° conforme legislação florestal.
2. AIE - Áreas de Interesse Especial, são aquelas não compreendidas nas categorias definidas como importantes na composição da Unidade de Conservação, quer pelo caráter representativo de conjunto cultural, histórico ou paisagístico, quer pelo grau de fragilidade física e biótica que possam representar riscos que comprometam os ecossistemas locais.

O zoneamento ambiental seguramente é um instrumento que pode contribuir de forma substancial para que sejam adotadas políticas locais, regional e nacional no desenvolvimento sustentável. Contudo, a não participação da sociedade civil em fase de elaboração do zoneamento, ou até mesmo a manipulação dos dados por parte de alguns atores do setor público ou privado, podem comprometer a sua efetividade e adequação à realidade. Outro problema surge quando normas não levam em conta os interesses de todos os atores envolvidos na utilização dos recursos naturais. As normas devem buscar minimizar conflitos e o zoneamento deve levar em conta a legislação brasileira e particularmente a legislação ambiental, sempre em busca do desenvolvimento sustentável.

## 2.5 Legislação Ambiental

O Poder público, como responsável por gerir uma nação, tem por obrigação zelar pela proteção dos recursos hídricos subterrâneos dentro dos seus instrumentos de planejamento, como consta nos parágrafos do Art. 134 e 136 do Código Estadual do Meio Ambiente.

A vulnerabilidade dos lençóis d'água subterrâneos será prioritariamente considerada na escolha da melhor alternativa de localização de empreendimentos de qualquer natureza potencialmente poluidores das águas subterrâneas (LEI ESTADUAL 11.520 de 03/08/2000 - Art. 134, § 2º). Os municípios deverão manter seu próprio cadastro atualizado de poços profundos e de poços rasos perfurados sob sua responsabilidade ou interveniência direta ou indireta (LEI ESTADUAL 11.520 de 03/08/2000 - ART. 134, § 5º).

Na elaboração de Planos Diretores e outros instrumentos de planejamento urbano deverão ser indicadas: I - a posição dos lençóis de águas subterrâneas vulneráveis; II - as áreas reservadas para o tratamento e o destino das águas residuais e dos resíduos sólidos, quando couber (LEI ESTADUAL 11.520 de 03/08/2000 - Art. 136).

Assim como a responsabilidade do Estado, o Código prevê através do artigo 133 em parágrafo único e do artigo 134 parágrafo 4, que toda a pessoa jurídica pública ou privada, ou física, tem obrigações ao perfurar um poço de cadastrá-lo junto aos órgãos competentes, assim como os responsáveis devem tapar adequadamente as perfurações e, em caso de não identificados estes, os proprietários dos terrenos onde estiverem localizados deverão fazê-lo.

O ciclo hidrológico é uma grande máquina de reciclagem da água. O grande motor deste ciclo é o calor irradiado pelo sol. Quando uma chuva precipita, uma parte da água se infiltra através dos espaços que encontra no solo e nas rochas. Pela ação da força da gravidade, esta água vai se infiltrando até não encontrar mais espaços, e começa então a se movimentar horizontalmente em direção às áreas de baixa pressão. A água da chuva, que não se infiltra, escoar sobre a superfície em direção às áreas mais baixas, indo alimentar diretamente os riachos, rios, mares, oceanos e lagos. A cobertura vegetal tem um papel importante neste ciclo, pois uma parte da água que cai é absorvida pelas copas e raízes e acaba voltando à atmosfera pela transpiração das plantas e dos animais ou pela simples e direta evaporação da água no solo (KARMANN, 2000).

A recarga dos aquíferos pode ocorrer através da precipitação pluviométrica direta, pela infiltração e também devido à conexão hidráulica do sistema aquífero poroso e permeável. Os poros apresentam intercomunicação dependente das variações granulométricas que afetam a porosidade e a permeabilidade e

condicionam o fluxo subterrâneo conforme Marion, Capoane e Silvério da Silva, (2007). Assim, em estudos como este sobre águas subterrâneas, faz-se de fundamental importância o conhecimento dos aspectos ambientais da área.

Conforme Resolução n. 303, de 20 de março de 2002 do CONAMA, tem-se:

Art. 3º Constitui Área de Preservação Permanente a área situada:

I - em faixa marginal, medida a partir do nível mais alto, em projeção horizontal, com largura mínima, de:

- Trinta metros, para o curso d'água com menos de dez metros de largura;
- Cinquenta metros, para o curso d'água com dez a cinquenta metros de largura;
- Cem metros, para o curso d'água com cinquenta a duzentos metros de largura;
- Duzentos metros, para o curso d'água com duzentos a seiscentos metros de largura;
- Quinhentos metros, para o curso d'água com mais de seiscentos metros de largura;

Há limitação dos usos do solo com relação ao descarte de resíduos, a qual está também associada à proximidade dos cursos d'água. De acordo com a NBR 8419 (ABNT, 1984), aterros sanitários não podem ser instalados em faixa de 200 metros dos cursos d'água, sejam eles perenes ou intermitentes, assim como, numa proximidade inferior a 1,5 metros do lençol freático.

O CONAMA, pela Resolução nº 396, (2008), dispõe de norma específica com diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, justificado na “necessidade de se promover a proteção da qualidade das águas subterrâneas, uma vez que poluídas ou contaminadas, sua remediação é lenta e onerosa”.

A Resolução nº 22 do CNRH, (2002) afirma que no conteúdo mínimo dos planos de recursos hídricos, deverão ser apresentadas as medidas de uso e proteção dos aquíferos e que, deverá ser realizada uma estimativa das fontes pontuais e difusas de poluição, e a avaliação das características e usos do solo. Todas essas atividades conduzem à definição da vulnerabilidade e risco de poluição das águas em associação com as características do zoneamento territorial.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente e o Conselho Nacional de Recursos Hídricos dispõem de regulamentos que visam à conservação dos mananciais

hídricos subterrâneos, e apresentam legislação específica sobre instalação de postos de combustíveis, aterros sanitários, cemitérios, e demais atividades potencialmente contaminantes.

Segundo o Artigo 120 do Código Estadual do Meio Ambiente, as águas constituem um bem natural indispensável à vida e às atividades humanas, dotado de valor econômico em virtude de sua limitada e aleatória disponibilidade temporal e espacial. Por constituir um bem público de domínio do Estado, deve ser por este gerido, em nome de toda a sociedade, tendo em vista seu uso racional sustentável.

A capacidade de infiltração de água, nos solos cultivados do Estado, de uma média de 150 mm/hora (infiltração média da água em solos com cobertura florestal), está hoje reduzida a 6mm/hora (infiltração da água em solos com cultivos agrícolas - transformação de florestas nativas em lavouras). Isto representa uma perda de 96% das águas de chuva que caem:  $P = \left\{ (150 \text{ mm} - 6 \text{ mm} / 150 \text{ mm}) \times 100 = 96\% \right\}$ . E, como consequências estão aí as enchentes e as secas sazonais. As imagens orbitais mostram, continuamente, esta perda d'água pela erosão acentuada das terras, retratada na poluição de rios, lagos, açudes e represas conforme Rocha e Kurtz, (2001).

## 2.6 Geotecnologias

Geotecnologias são as ciências como a Geodésia, Fotogrametria, Cartografia e o Sensoriamento Remoto que, em interação às tecnologias da Computação, CAD, PDI, deram origem ao Geoprocessamento, que denota a disciplina do conhecimento e utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e influencia de maneira crescente as áreas de Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional.

O termo Geografia que, do latim é *geographia*, vem do grego **gewgrafia**, que é o somatório de gh – Terra e grafia – grafia, ou seja, a grafia, a representação da terra. Vem também dos gregos o pensamento geográfico sistematizado, objetivando a localização dos lugares, ainda muito ligada à matemática e à geometria. Já o sufixo “processamento”, de **Geoprocessamento**, vem de processo, que é do latim *processus*, que significa “andar avante”, “progresso”. Os vocábulos latinos *processus* e *progressus* têm o mesmo significado, que é “andar avante”, “avançar”. Assim, pode-se acreditar que o termo **Geoprocessamento**, surgido do sentido de processamento de dados georreferenciados, significa implantar um processo que traga um progresso, um andar avante, na grafia ou representação da Terra; não é somente representar, mas é associar a esse ato um novo olhar sobre o espaço, um ganho de conhecimento, que é a informação (MOURA, 2003).

A introdução do Geoprocessamento no Brasil inicia-se a partir do esforço de divulgação e formação de pessoal feito pelo prof. Jorge Xavier da Silva (UFRJ), no início dos anos 80. A vinda ao Brasil, em 1982, do Dr. Roger Tomlinson, responsável pela criação do primeiro SIG (*Canadian Geographical Information System*), incentivou o aparecimento de vários grupos interessados em desenvolver tecnologia, entre os quais se pode citar: UFRJ: O grupo do Laboratório de Geoprocessamento do Instituto de Geociências da UFRJ, sob a orientação do Professor Jorge Xavier da Silva, desenvolveu o SAGA (Sistema de Análise Geo-Ambiental). O SAGA tem seu forte na capacidade de análise geográfica e, vem sendo utilizado com sucesso com veículo de estudos e pesquisas (ASSAD; SANO, 1998).

O Geoprocessamento tornou-se possível, em uma escala inimaginada, analisar a Geotopologia de um ambiente, ou seja, investigar sistematicamente as propriedades e relações posicionais dos eventos e entidades representados em uma base de dados georreferenciados, transformando dados em informação destinada ao apoio à decisão. Esta é a atividade precípua do Geoprocessamento, a qual permite distingui-lo de campos correlatos como o Sensoriamento Remoto, destinado, principalmente a identificar entidades e eventos, registrados à distância por diversos detectores (XAVIER da SILVA; ZAIDAN, 2004).

No século XX, a confecção de mapas topográficos e temáticos foi intensificada; a fotogrametria e o sensoriamento remoto permitiram o mapeamento de amplas áreas, com elevado grau de exatidão. Também surgiram os métodos matemáticos e estatísticos para o tratamento das informações geográficas contidas nos mapas. Estas técnicas de produção e análise tomaram grande impulso com a evolução dos computadores nas duas últimas décadas, possibilitando uma maior aproximação entre as várias disciplinas relacionadas com a identificação, o registro e a apresentação dos fenômenos geográficos (ASSAD; SANO, 1998).

O Sensoriamento Remoto pode ser entendido como um conjunto de atividades que permite a obtenção de informações dos objetos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com os mesmos; estas atividades envolvem a detecção, aquisição e análise (interpretação e extração de informações) da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensoriamento remoto (MORAES, 2002).

O termo Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam

informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial; oferece ao administrador (urbanista, planejador, engenheiro) uma visão inédita de seu ambiente de trabalho, em que todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance, inter-relacionadas com base no que lhes é fundamentalmente comum a localização geográfica. Para que isto seja possível, a geometria e os atributos dos dados num SIG devem estar georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica conforme Davis, (2000).

Um SIG é uma estrutura georreferenciada de registros ambientais, cuja principal função é a capacidade de analisar relações taxonômicas e topológicas entre variáveis e entre localidades. Sua estrutura permite entrada, armazenamento, atualização, transformação, recuperação, análise e exibição de dados ambientais, composta de uma base geocodificada, com um banco de dados a ela acoplado, e um sistema de transformações de seus dados, destinado a analisar situações ambientais de interesse. Permite, assim, uma visão holística do ambiente estudado e, através de análises particularizadas, propicia a aplicação de procedimentos heurísticos ao volume de dados ambientais sob investigação, segundo Mello Filho, (2003).

De acordo com Davis Júnior, (2007), em geral, um GIS é capaz de:

1. Representar graficamente informações de natureza espacial, associando a estes gráficos informações alfanuméricas tradicionais. Representar informações gráficas sob a forma de vetores (pontos, linhas e polígonos) e/ou imagens digitais (matrizes de pixels).
2. Recuperar informações com base em critérios alfanuméricos, à semelhança de um sistema de gerenciamento de bancos de dados tradicionais, e com base em relações espaciais topológicas, tais como continência, adjacência e interceptação.
3. Realizar operações de aritmética de polígonos, tais como união, interseção e diferença. Gerar polígonos paralelos (*buffers*) ao redor de elementos ponto, linha e polígono.
4. Limitar o acesso e controlar a entrada de dados através de um modelo de dados, previamente construído.

5. Oferecer recursos para a visualização dos dados geográficos na tela do computador, utilizando para isto uma variedade de cores.
6. Interagir com o usuário através de uma interface amigável, geralmente gráfica.
7. Recuperar de forma ágil as informações geográficas, com o uso de algoritmos de indexação espacial.
8. Possibilitar a importação e exportação de dados de/para outros sistemas semelhantes, ou para outros softwares gráficos.
9. Oferecer recursos para a entrada e manutenção de dados, utilizando equipamentos como mouse, mesa digitalizadora e scanner.
10. Oferecer recursos para a composição de saídas e geração de resultados sob a forma de mapas, gráficos e tabelas, para uma variedade de dispositivos, como impressoras e plotters.
11. Oferecer recursos para o desenvolvimento de aplicativos específicos, de acordo com as necessidades do usuário, utilizando para isto alguma linguagem de programação, inclusive possibilitando a customização da interface do GIS com o usuário.

Todos estes recursos podem ser agrupados em categorias, para facilitar a comparação entre diferentes sistemas. Estas categorias básicas são: entrada de dados, gerenciamento de informações, recuperação de informações, manipulação análise ambiental e produção de saídas.

Conforme Xavier da Silva, (2001), as tarefas de entrada e edição de dados constituem procedimentos cuja importância é, por vezes, mal aquilatada. É através desses procedimentos, afinal, que são criadas as imagens digitais das entidades ambientais julgadas relevantes. Durante a entrada e a edição dos dados, é preciso ter atenção, tanto com a transferência do conteúdo lógico das entidades para as imagens, quanto com a acuidade de representação das propriedades espaciais das entidades consideradas, principalmente sua localização e extensão, definidoras básicas de relações espaciais.

A falta de consistência encontrada em muitas bases de dados, por vezes responsável pela invalidação parcial e até abandono de algumas delas, pode ter sua origem em procedimentos desavisados de captura e edição dos dados.

A evolução dos métodos científicos torna disponível, ao homem de hoje, caminhos para se realizar a análise ambiental, assim como todas as atividades e observações, conforme dois princípios fundamentais: o analítico e o holístico. O *princípio analítico*, também denominado cartesiano ou reducionista, constitui a base de todo o conhecimento científico contemporâneo, e fundamenta-se na análise das partes e dos elementos constituintes de uma unidade, como processo metodológico para melhor conhecê-la. O *princípio holístico*, ou fenomenológico, considera a unidade, ou o fenômeno, como o *todo*, o indivíduo a ser analisado. Segundo este preceito, determinadas características da unidade só poderão ser distinguidas a partir da análise da unidade como uma *totalidade*. Analisar constitui, então, um processo contínuo de fragmentação cartesiana e de posterior reestruturação, com fulcro na visão holística, como caminho e método pelos quais se obtém e se amplia o conhecimento (XAVIER da SILVA; ZAIDAN, 2004).

### 2.6.1 Geotecnologia Aplicada a Análise Ambiental

A análise ambiental fundamenta-se no método de base científica para a investigação, empregada pela humanidade para apreender a realidade. Todo o processo investigativo inicia-se pela observação e identificação de fato ou questionamento intrigante, elabora-se a estruturação argumentativa e estabelecimento de proposição, evolui-se para o seu desenvolvimento, e se conclui pela elaboração de síntese, fundamento do processo dialético. Assim, “analisar um ambiente equivale a desagregá-lo em suas partes constituintes e apreender as suas funções internas e externas, com a conseqüente criação de conjunto integrado de informações, que constitui o conhecimento assim adquirido” conforme Mello Filho, Xavier da Silva e Abdo, (2006).

A capacidade de realizar análises espaciais é uma exclusividade do homem com suporte dos SIGs, estes sistemas possuem uma série de funções que permitem explorar as características espaciais e as descritivas da base de dados, possibilitando a interação de temas distintos que podem, inclusive, não possuir nenhuma outra relação que não seja a geográfica. Através das análises espaciais, é possível realizar uma série de simulações, o que permite um melhor planejamento de como atuar no espaço, dando suporte técnico a estas decisões.

Um das análises que podem ser realizadas é a interação de temas, esta é possivelmente a funcionalidade mais importante de análise de um SIG; ele permite

que informações de temas distintos sejam cruzadas, gerando um produto que contém novas relações espaciais. Neste trabalho, utilizaram-se os seguintes mapas base para realizar as avaliações de risco ambiental e vulnerabilidade a contaminação de aquíferos:

- Mapa de hidrografia;
- Mapa geológico;
- Mapa de solos;
- Mapa de declividade;
- Mapa do nível estático dos poços tubulares.

Para a elaboração de planos diretores os mapas base são de grande valia para zonear as áreas de risco ambiental, áreas de vulnerabilidade e suas áreas críticas, ou seja, áreas impróprias para a ocupação humana. Como também é possível zonear as áreas propícias ao uso e ocupação humana com esses recursos que os SIGs nos disponibilizam.

Estas áreas só são possíveis alocar pela interação de mapas base, estes fundamentados e classificados por sua importância. Como exemplo o mapa de declividade, quanto maior a declividade associado ao tipo de solo pode ser uma área de risco, dentre outros fatores que serão descritos nesta dissertação.

#### 2.6.1.1 Vulnerabilidade de Aquíferos

As condições das águas subterrâneas referem-se à situação natural da estrutura do aquífero e identificam se este encontra-se confinado ou não, pois, dependendo do grau de confinamento, estará mais suscetível a contaminações. A litologia geral trata do tipo de substrato existente na área, pois áreas arenosas são mais propensas à contaminação, devido à porosidade, isto é, a existência de conexão entre os poros, portanto da condição de propagação de um contaminante em um aquífero poroso, bem como de sua permeabilidade elevada, ou seja, facilidade de percolação de fluídos, segundo Silvério da Silva et al. (2005).

### 2.6.1.2 Aplicação do Índice de Vulnerabilidade “GOD”

O método “GOD” de avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação foi amplamente testado na América Latina e no Caribe durante a década de 1990 e, graças a sua simplicidade conceitual e de aplicação.

Para determinar a vulnerabilidade do aquífero à contaminação, são considerados dois fatores básicos:

- O nível de inacessibilidade hidráulica da zona saturada do aquífero
- A capacidade de atenuação dos estratos de cobertura da porção saturada do aquífero.

Esses fatores, no entanto, não podem ser medidos diretamente e dependem, por sua vez, da combinação de outros parâmetros. Uma vez que geralmente não se dispõe de dados sobre muitos desses parâmetros, a simplificação da lista é uma medida inevitável se o objetivo é desenvolver um esquema de mapeamento da vulnerabilidade do aquífero à contaminação.

Com base em tais considerações, o índice de vulnerabilidade “GOD” (Foster, 1987; Foster e Hirata, 1988) caracteriza a vulnerabilidade do aquífero à contaminação tendo em conta os seguintes parâmetros (geralmente disponíveis ou facilmente determinados):

- O confinamento hidráulico da água subterrânea no aquífero em questão (G);
- Os estratos de cobertura (zona vadosa ou camada confinante), em termos da característica hidrogeológica e do grau de consolidação que determinam sua capacidade de atenuação do contaminante (O);
- A profundidade até o lençol freático ou até o teto do aquífero confinado (D).

Quanto à profundidade do nível freático, como as águas subterrâneas encontram-se protegidas por camadas de solos e/ou rochas, deve-se destacar que aquelas que se encontram em menor profundidade são as mais vulneráveis a contaminantes, oriundos da superfície do terreno, uma vez que estas agem como filtros e, sendo a sua espessura menor, mais facilmente podem atingir o nível potenciométrico. Por outro lado, aquelas que se encontram em maior profundidade, estarão mais protegidas, uma vez que maior será o percurso do possível contaminante até elas, (FOSTER; HIRATA, 2003). Assim, o método GOD atribui notas maiores aos aquíferos com nível d'água mais rasos em relação do parâmetro D.

O método *DRASTIC*, atualmente é a metodologia mais difundida para determinar o risco de contaminação de aquíferos, foi desenvolvido pela *National Ground Water Association* e empregado pela Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (US-EPA). Segundo Aller et al., (1987), *DRASTIC* significa: D – *Depth to water* (Profundidade das águas subterrâneas); R – *Recharge* (Recarga total); A – *Aquifer media* (Meio aquífero); S – *Soil media* (Solos); T – *Topography* (Topografia); I – *Impact of the vadose zone* (Impacto na zona vadosa); C – *Hydraulic conductivity* (Condutividade hidráulica). Constitui-se num modelo qualitativo para avaliar a poluição potencial das águas subterrâneas que usa variáveis hidrogeologias da região em estudo. Essa metodologia pode sofrer alterações, ou seja, podem ser feitas adaptações conforme as características específicas da área em estudo.

Informa-se que existem vários outros métodos para realizar-se uma avaliação da vulnerabilidade a contaminação do aquífero.

Deve-se salientar que a primeira aplicação do Aplicativo SAGA na avaliação da vulnerabilidade à contaminação de aquíferos foi realizada por Marion (2008) e Marion et al., (2008) para o município de Itaara no estado do Rio Grande do Sul.

### 3 METODOLOGIA

Os danos a ambiência vem ao longo dos anos afetando a qualidade de vida animal como vegetal, as fuligens emitidas por indústrias, automóveis, queimadas, as contaminações por vazamentos, acidentes em estradas vem trazendo questões como doenças infectocontagiosas, doenças respiratórias. Com posse desses dados os Órgãos governamentais, entidades de ensino tem investido em políticas de preservação e conservação do ambiente, como também tem intensificado as pesquisas com respeito à prevenção de acidentes que venham interferir na qualidade de vida humana.

Conforme Kersten (2008) a educação ambiental é uma ferramenta útil para a conservação da ambiência, a população muitas vezes, agride o ambiente sem ter o conhecimento necessário para preservá-lo. Se não houver uma conscientização de toda a população municipal, bem como uma ação conjunta dos órgãos públicos visando preservar as riquezas naturais proporcionadas pela natureza, o homem continuará sendo o principal agente e conseqüentemente vítima de suas próprias ações na ambiência

O primeiro passo para avaliar a ambiência é buscar informações da área de estudo, posteriormente realizar pesquisas a campo, com objetivo de coletar dados que comprovem a eficácia e importância do estudo proposto.

O mapeamento das áreas municipais, tanto urbanas como rurais, é de grande valia para o plano diretor, pois é ele que vai direcionar as possíveis locações de empreendimentos, equipamentos urbanos, áreas propícias a implantação de lavouras, florestas dentre outras.

Os fatores ambientais naturais são base para elaboração dos mapas base, o qual pela intersecção deles podem se gerar as áreas de risco, as áreas críticas e as áreas de possível vulnerabilidade de aquífero que são de suma importância ao planejamento municipal.

A pesquisa de campo foi realizada nos meses de agosto de 2008 a abril de 2009, para o reconhecimento prévio da extensão de toda a área em análise, além de conversas com os usuários dos recursos hídricos subterrâneos no município envolvido na pesquisa, destacando-se a secretaria da saúde municipal.

Ainda, buscou-se identificar, georreferenciar com o suporte do equipamento receptor GPS este de marca *Garmin Etrex*, que registra a coordenada UTM do local com uma precisão de aproximadamente 10 metros; como registrar nessas áreas as fontes potenciais de contaminação que podem alterar a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos como os cemitérios, postos de combustível, o hospital, serrarias.

No que se refere às fontes potenciais de contaminação, examinou-se os cemitérios localizados na área urbana do município, procedendo-se ao seu respectivo registro fotográfico, além de conversas com os proprietários, gerentes ou responsáveis de postos de distribuição de combustíveis localizados no município de Faxinal do Soturno.

### **3.1 Caracterização da área de estudo**

O Rio Grande do Sul é o estado mais meridional do Brasil e está situado na fronteira com o Uruguai e a Argentina, possuindo uma área de 281.748,538 Km<sup>2</sup>. É formado por 496 municípios e por uma população de 10.749.595 habitantes, 5,79% da população brasileira, além de possuir o melhor Índice de Desenvolvimento Humano (IDH – ONU), menor índice de analfabetismo (pelo IBGE) e a população mais longa do Brasil (pela OMS).

Com relação à economia, o Estado tem o quarto maior Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil com R\$ 149,2 bilhões, possui 20% da produção de grãos do país, sendo o primeiro na produção de arroz e fumo no cenário nacional, além de se destacar na pecuária nacional. A indústria gaúcha destaca-se ainda na área de calçados, autopeças, tecnologia de informação, móveis e outros, sendo responsável por 10,2% da exportação de produtos brasileiros.

O Estado ainda é responsável pela produção de 70% das colheitadeiras e 50% dos ônibus e tratores produzidos no país.

O Rio Grande do Sul possui uma logística e infra-estrutura – linhas ferroviárias, rodovias e portos – que garantem bom escoamento da produção e integração entre os municípios. O transporte rodoviário é responsável por 90% do transporte de carga no Estado, possuindo 12.384 km de vias pavimentadas, entre estaduais, federais e municipais. Também produz 70% da energia elétrica que é consumida no Estado.

Com relação ao turismo, o Estado recebe anualmente 1,5 milhões de turistas, na maioria sul-americana, e em menor número turistas europeus. Um dos atrativos turísticos é a Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, que abrange vários municípios do Estado, incluindo Faxinal do Soturno.

#### Produção Agrícola do Estado em relação ao Brasil:

- 47,8% do total de arroz;
- 52,2% do fumo;
- 11% do milho;
- 11,3% da soja;
- 37,7% do trigo;
- 36,6% da produção de maçã;
- 53,9% da produção de uva.

A região da Quarta Colônia de Imigração Italiana é formada por nove municípios: Agudo, Dona Francisca, Faxinal do Soturno, Ivorá, Nova Palma, Pinhal Grande, Restinga Seca, São João do Polêsine e Silveira Martins. Destes nove, sete foram criados a partir do desmembramento da Colônia Italiana de Silveira Martins. Agudo (imigração alemã) e Restinga Seca agregaram-se à região por razões políticas e econômicas.

A Quarta Colônia, denominada de Silveira Martins, foi criada em 1875, completando, assim, o núcleo básico inicial da imigração italiana no Estado. A ocupação dessa região teve como impulso inicial, a imigração italiana. A Quarta Colônia situa-se na região central do Estado, próxima à Santa Maria, na figura 5 podem-se observar as cidades que compõem a 4ª Colônia de Imigração Italiana. Possui uma população de aproximadamente 63 mil habitantes, o que representa apenas 0,6% da população total do estado do Rio Grande do Sul.

## Carta Imagem da 4ª Colônia de Imigração Italiana-RS

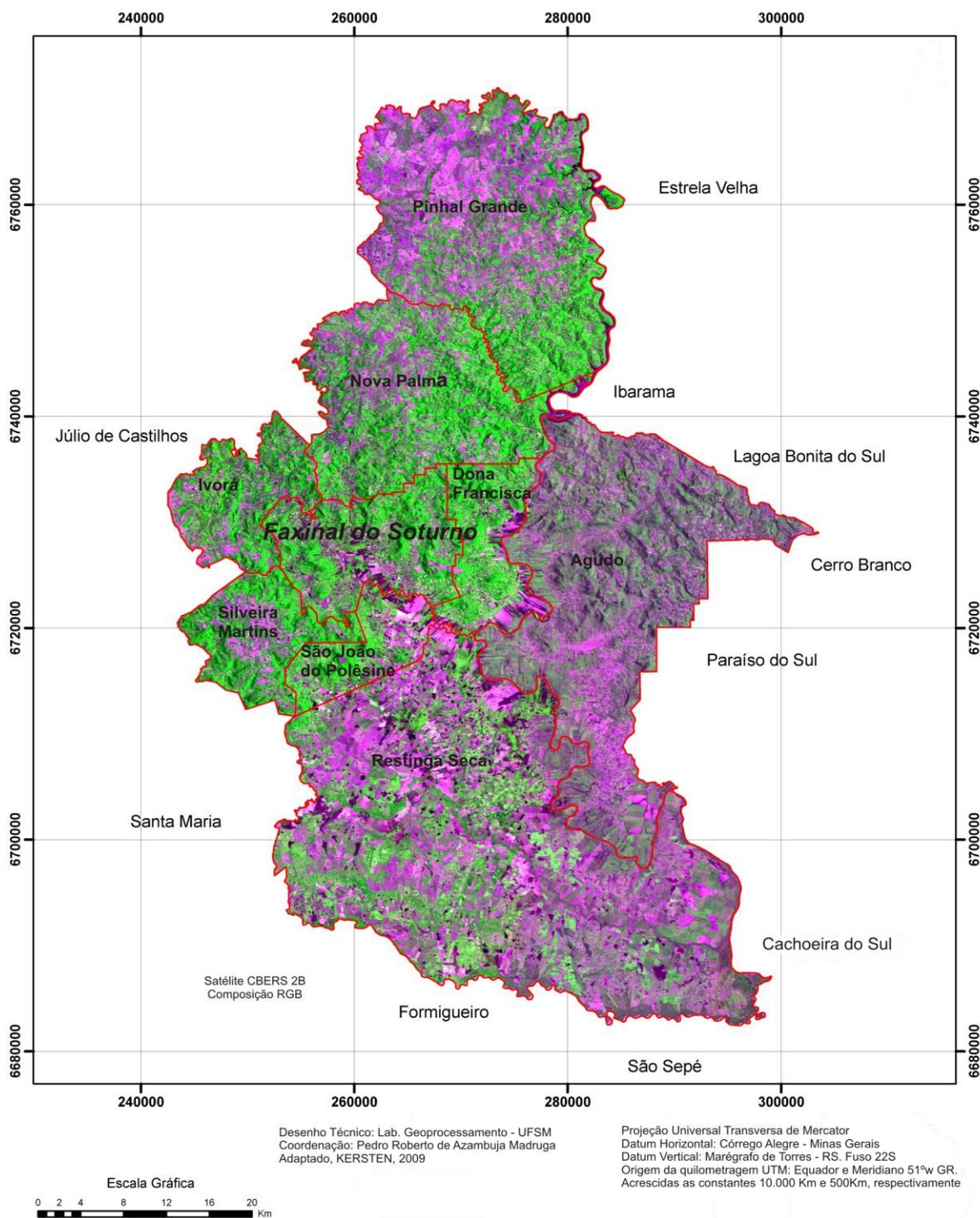


Figura 5 - Carta imagem da 4ª Colônia de Imigração Italiana

## 3.2 Aspectos Físicos

### 3.2.1 Formação geológica

Para a descrição destes aspectos utilizou-se a Carta de Geologia de Santa Maria SH.22-V-C, elaborada através de convênio entre o Estado do Rio Grande do Sul, através da Secretaria de Agricultura e Abastecimento e IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), com escala de 1:250.000, do ano de 2003. Apresenta-se uma breve descrição destas unidades constituídas por:

Depósitos Aluvionares, areias, cascalheiras e sedimentos siltico-argilosos de planícies de inundação, terraços e depósitos de calha da rede fluvial atual e subatual, datados do Cenozóico Quaternário.

Formação Serra Geral – Efusivas básicas, continentais, toleíticas, comumente basalto e fenobasaltos. Normalmente, capeando as efusivas básicas, ocorre uma sequência de rochas de composição ácida, constituída por riolitos felsítitos, dacitos felsíticos e seus correspondentes termos vítreos. Ocupa parte mais elevada do município de Faxinal do Soturno, composta por rochas ígneas – basalto – de granulação fina e coloração cinza-escura.

Formação Botucatu – São arenitos de coloração vermelha, rósea e amarelo clara, finos a médios, feldspáticos, bimodais, com grãos bem arredondados e foscos. Apresentam estratificação cruzada tangencial de grande porte, tendo sido depositados por ação eólica em ambiente desértico. Limita-se a uma faixa intermediária entre os derrames basálticos da Formação da Serra Geral e os arenitos da Formação da Caturrita, possuindo litologia de arenitos de cor esbranquiçadas.

Grupo Rosário – composta por arenitos médios a finos, siltitos argilosos e lamitos, friáveis com coloração vermelha, castanho-avermelhada, cinza-amarelo e branca. Os arenitos são subarcoseanos e arcoseanos, mal selecionados, com granulação subangulosos e subarredondados, mostrando estratos descontínuos, lenticulares, com estratificação cruzada acanalada e tangencial. Localmente, ocorrem níveis de conglomerados Intraformacionais e petromíticos. Os sedimentos mais finos mostram-se maciços, com fratura conchoidal e concreções carbonáticas (Fm. Santa Maria, Mb. Alemoa com fósseis répteis), observando-se a presença de níveis lenticulares de arenito com pouca continuidade lateral.

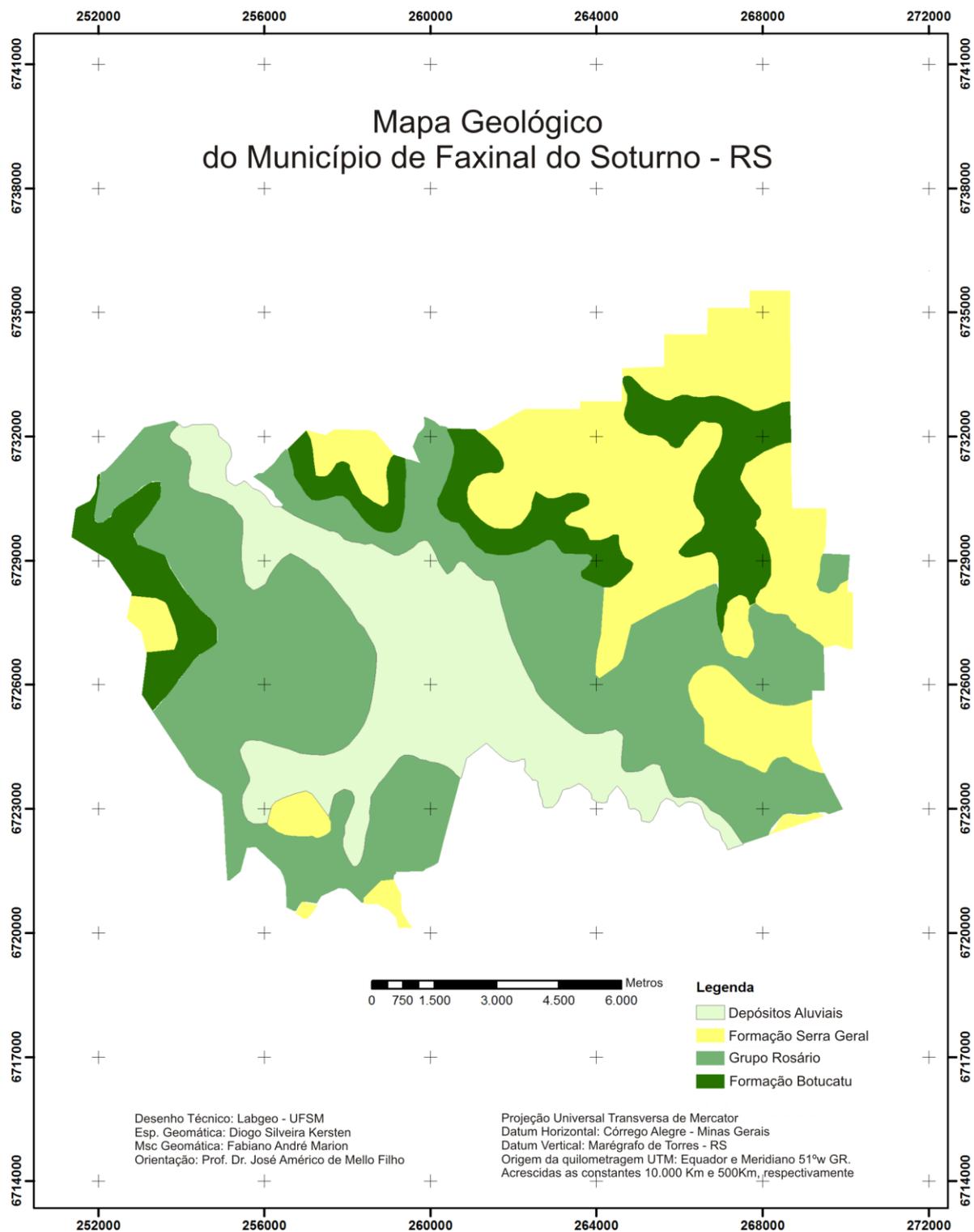
De acordo com Giardin e Faccini, (2004) tem sua ocorrência restrita à borda sudeste da Bacia do Paraná, no Estado do RS. Constituído por depósitos continentais Permo-Triássicos, o Grupo Rosário do Sul é composto pelas Formações Sanga do Cabral, Santa Maria e Caturrita.

A geologia reflete-se na capacidade de atenuação natural das rochas, isto é, uma propriedade intrínseca, natural de cada meio poroso e/ou cristalino (SILVÉRIO da SILVA, et al., 2004). Assim, para melhor análise pode ser observado na figura 6 o mapa geológico do município de Faxinal do Soturno e, na figura 7 tem-se a descrição das formações geológicas que ocorrem em Faxinal do Soturno, através de seu perfil geológico.

Assim considerando-se as rochas como um reservatório elas podem formar aquíferos porosos livres ou confinados enquanto as rochas vulcânicas podem formar aquíferos confinados. Seus produtos de intemperismo e/ou seus solos formados “in situ” ou transportados constituem aquíferos livres e portanto com mais risco de contaminação.

Com base em Silvério da Silva et al., (2004) as rochas sedimentares clásticas pertencentes à Depressão Central do Estado Rio Grande do Sul formam aquíferos do tipo poroso granular. Citaram como exemplo a Formação Botucatu composta de arenito finos a médios, bem selecionados, constituído em geral por mais de 95% de areia quartzosa, apresentando uma elevada relação porosidade/permeabilidade. Em razão do arredondamento dos grãos podem apresentar vazões elevadas, mas apresentam elevado risco à contaminação. Araújo et al., (1995) citou uma porosidade do Aquífero Botucatu de ordem de 17 a 30%.

Ainda Silvério da Silva et al., (2004) consideram os derrames vulcânicos pertencentes à Formação Serra Geral como aquífero do tipo Cristalino fissural, constituído por rochas maciças. Apresentam uma baixa porosidade primária em torno de 1%. Mas que podem apresentar uma porosidade secundária constituída por amígdalas, visículas e brechas. Lembram que as rochas ácidas apresentam fissuras tabulares enquanto que nas básicas há predominância de fissuras verticais. O que conduz com facilidade a água de infiltração por ação gravitacional.



**Figura 6 - Mapa Geológico do Município de Faxinal do Soturno**  
Escala original: 1: 250.000

Ao analisar a figura 6, nota-se que afloram quatro unidades geológicas:

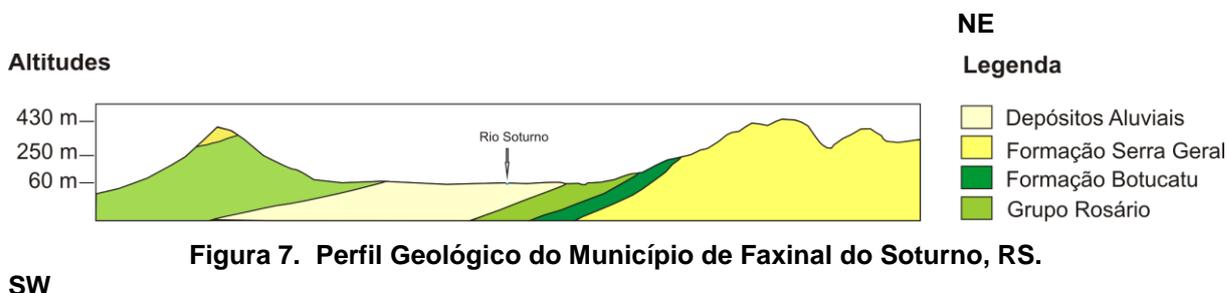
Depósitos Aluviais, que ocorrem nos cursos de água como no rio Soturno. Nestes cursos d'água é cultivado o arroz irrigado. Deve-se lembrar que nesse tipo de cultura são utilizados, além de fertilizantes NPK, os agroquímicos tóxicos. Estes podem representar pontos potenciais de contaminação para os aquíferos.

A Formação Serra Geral ocorre em altitudes mais elevadas, constituindo o Planalto; nela inserem-se partes dos municípios de Nova Palma e Pinhal Grande, visualizado na figura 5.

A Formação Botucatu ocorre bordejando os derrames vulcânicos da Formação Serra Geral, e ocupa a parte nordeste e noroeste do município de Faxinal do Soturno.

O Grupo Rosário do Sul ocupa as menores cotas altimétricas, mas fora dos cursos de água; nestas rochas e/ou seus solos ocorrem cultivos de soja, tabaco, etc.

A partir do Mapa Geológico e das curvas de nível extraídas das cartas topográficas do Exército, elaborou-se um perfil Geológico, com um exagero de duas vezes na altimetria, para se observarem as cotas de cada formação. As formações geológicas mostram um mergulho de 5° em direção ao centro da Bacia Sedimentar do Paraná, localizada a oeste no Estado de São Paulo, conforme Oliveira (1998).



### 3.2.2 Relevo

A topografia da região pode ter influenciado para o baixo grau de desenvolvimento alcançado pela Quarta Colônia. Este fator foi bastante limitador em relação ao escoamento da produção, que ficava bastante dificultado, o que refletia no aumento do custo dos produtos junto aos consumidores, diminuindo assim a competitividade destes produtos.

A topografia também influenciou na capacidade de produção da região, pois nos lotes coloniais muitas áreas eram impróprias para cultivo, ou muito íngremes, ou muito pedregosas com solos rasos, ou ainda não dispunham de água. Estas situações eram bastante comuns, e ocorriam porque a demarcação dos lotes não levou em consideração as características topográficas do terreno.

A configuração natural da região é mais propícia a algumas culturas, como o arroz, pois as margens dos rios são planas, como a do rio Jacuí e seus afluentes (resultantes da acumulação fluvial), e há áreas brejosas sujeitas a inundações periódicas (várzeas atuais ou áreas levemente inclinadas), ideais para este cultivo.

O município de Faxinal do Soturno está situado sobre o Rebordo do Planalto, o qual é composto basicamente por rochas basálticas e secundariamente por areníticas, formado por sucessivos derrames de lavas da Era Mesozóica. Essas lavas deram origem a rochas efusivas continentais, comumente basaltos, com diques e corpos tabulares de diabásio, cujo conjunto é denominado de Formação Serra Geral, conforme Müller Filho, (1970).

O município de Faxinal do Soturno localiza-se em uma região acidentada, no fim do Planalto Meridional, começo da Depressão Central. A área urbana localiza-se no vale que se forma através do rio Soturno, possuindo a leste, oeste e norte área de aclive.

Em grande parte do município 28,11% de sua área são encontrados vales em torno do rio Soturno com declividades de 0 - 1° e onde se desenvolvem as atividades rurais e urbanas. Outra porcentagem relevante são os declives de 25 – 45° que representam 19,96% da área do município.

De posse das cotas altimétricas do terreno obtidas a partir das cartas do Exército pode-se realizar o Mapa Hipsométrico que é uma técnica de representação da elevação de um terreno através de tonalidades de cores. As cores utilizadas possuem, por graduação, uma equivalência com a elevação do terreno.

O conhecimento da hipsometria de uma região nos ajuda a reconhecer prováveis fenômenos que nela podem ocorrer, especialmente quando associado a outros elementos naturais, tais como posição geográfica, deslocamento de ventos entre outros.

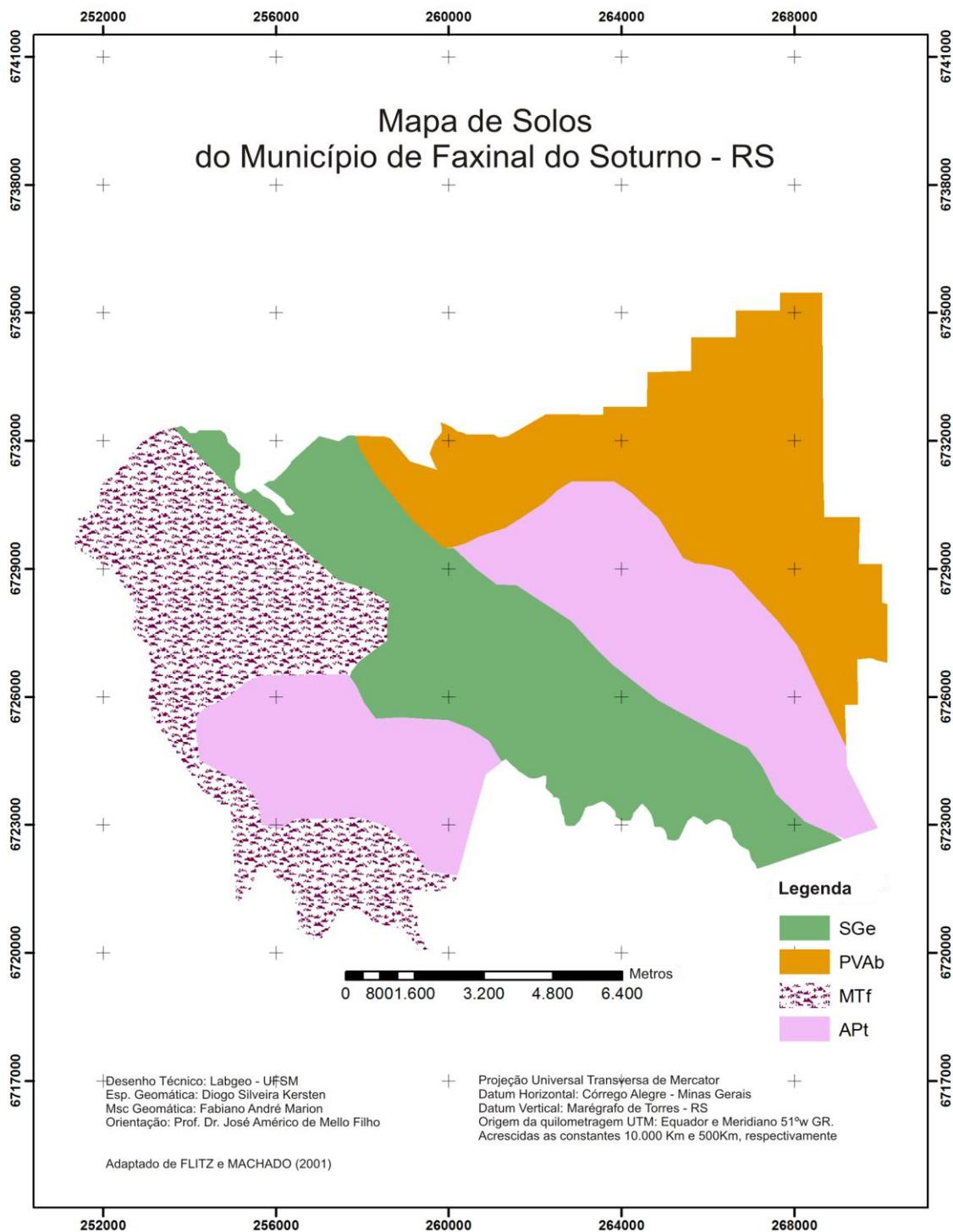
Com os dados do mapa de hipsometria pode-se formar o mapa de declividades, que serão utilizados nas análises ambientais. Com base em De Biase, (1992).

### 3.2.3 Solos

Segundo Machado e Flitz, (2001), o Município de Faxinal do Soturno possui quatro tipos de solos. Classificados como: PVAb, APt, SGe, MTf.

- Argissolo vermelho amarelo (PVAb), o termo Argissolo deriva da presença de um horizonte subsuperficial mais argiloso no perfil. Os argissolos são solos geralmente profundos a muito profundos, variando de drenados a imperfeitamente drenados. Este solo apresenta tipicamente um perfil com um gradiente textural, onde o horizonte B é significativamente mais argiloso que o horizonte A e E. podendo ter sua origem de materiais como basalto, granitos, arenitos, argilitos e siltitos.
- Alissolo hipocrômico argilúvico (APt), os alissolos são comuns na região da Depressão Central, sendo medianamente profundos, originados principalmente de siltitos e arenitos, de textura média. Sua ocorrência é em relevo suavemente ondulado. São solos com acidez elevada na maior parte do perfil, estabelecendo uma condição de baixa fertilidade química e elevada toxidez por alumínio para as plantas que possuem sistema radicular profundo. As limitações físicas relacionam-se com a drenagem imperfeita e susceptibilidade à erosão.
- Planossolo hidromórfico eutrófico (SGe), os planossolos são solos imperfeitamente ou mal drenados, encontrado em áreas de várzea, com relevo plano a suave ondulado. Apresentam perfil com sequência de horizontes A – E – Bt – C, com horizonte A geralmente na cor escura e o horizonte E de cor clara, ambos de textura mais arenosa, com passagem abrupta para o Bt (que é do tipo B plânico) bem mais argiloso e adensado, de cor acinzentada com ou sem mosqueados vermelhos e/ou amarelos. Este solo muito se destina para agricultura irrigada, em especial a cultura do arroz.
- Chernossolo argilúvico férrico (MTf), os chernossolos são solos rasos a profundos, caracterizam-se por apresentarem razoáveis teores de matéria orgânica, o que confere cores escuras ao horizonte superficial, além disso apresenta uma alta fertilidade química (saturação por bases  $\geq 65\%$ ) e alta CTC e todo perfil; argilúvico quando apresenta acumulação de argila no horizonte B textural, e férrico por apresentar teor  $\geq 18\%$  de ferro na sua composição química.

A espacialização dos tipos de solo que caracterizam o município de Faxinal do Soturno é apresentada na figura 8.



**Figura 8 - Mapa de solos**  
Escala original 1: 250.000

### 3.2.4 Rede Hidrográfica

O município de Faxinal do Soturno está localizado numa área que abrange parte dos tributários da margem direita e esquerda do rio Soturno e também alguns tributários do rio Jacuí e pertence à Bacia do rio Jacuí, mais especificamente da sub-bacia do rio Soturno.

O rio Soturno caracteriza-se por ser um rio de águas límpidas e leito pedregoso. Nasce no município de Júlio de Castilhos, no topo do Planalto, e banha as cidades de Nova Palma, Faxinal do Soturno e São João do Polêsne. Tem inicialmente uma direção norte-sul, até as imediações da cidade de Faxinal do Soturno, onde toma o sentido noroeste-sudeste, desaguando no rio Jacuí, próximo à Dona Francisca.

O comportamento da drenagem predominante no município é do tipo dendrítica<sup>3</sup> (figura 9). Este padrão de drenagem está vinculado à ocorrência de formações sedimentares da Depressão do rio Jacuí e das formações vulcânicas e sedimentares da Serra Geral, as quais representam certa de 40% a 60% da área do município, Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente (CONDEMA, 2000).

Definição de Bacia hidrográfica, Sub-Bacia Hidrográfica e Microbacias Hidrográficas segundo Rocha (2001):

Bacia Hidrográfica é a área delimitada por um divisor de águas que drena as águas de chuvas por ravinas, canais e tributários, para um curso principal, com vazão efluente, convergindo para uma única saída e desaguando diretamente no mar ou em um grande lago.

As Bacias Hidrográficas não têm dimensões superficiais definidas.

Exemplo: Bacia do Rio Camaquã (pequena Bacia Hidrográfica que deságua na Laguna dos Patos – RS); Bacia Amazônica (deságua no mar). A primeira muito pequena em relação à segunda.

Sub-Bacia Hidrográfica é o mesmo de Bacia Hidrográfica, acrescido do enfoque de que o deságüe se dá diretamente em outro rio. As Sub-Bacias Hidrográficas têm dimensões superficiais que variam entre 20.000 ha e 300.000 ha.

<sup>3</sup>Dendrítica é uma rede hidrográfica caracterizada por afluentes e subafluentes, comum em regiões de clima com chuvas abundantes. O termo vem do grego, *dendron* (galho), já que visto em um mapa os cursos d'água formam um traçado que lembra os galhos da copa de uma árvore (GUERRA, 1987).

Essas áreas podem variar de acordo com a região do País e o tipo de cartas topográficas existentes.

O limite inferior (20.000 ha) refere-se à área máxima que uma equipe de campo pode e deve trabalhar em um Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas.

Esse dado é válido para o Sul do Brasil, Uruguai e Norte da Argentina e é proveniente da experiência de campo.

O limite superior (300.000 ha) restringe-se ao fato de ser uma área facilmente manuseável no sistema cartográfico tradicional do Sul do País: cartas com escala 1:50.000.

Microbacias Hidrográficas é o mesmo de Bacia Hidrográfica, acrescido de que o deságüe se dá também em outro rio, porém, a dimensão superficial da Microbacia é menor que 20.000 ha. Pode haver Microbacia até de 10, 20, 50, 100, 500 ha, etc.. Sub-Bacias maiores que 300.000 ha, para efeito de Planejamento Integrado, deverão ser divididas em duas ou quantas Sub-Bacias forem necessárias.

A Sub-Bacia pode ser dividida em várias Microbacias, assim como a Microbacia pode ser dividida em Minibacias e as Minibacias podem ser divididas em secções (parte da minibacia até o talvegue).

Como preparar as cartas básicas para trabalhar em uma Sub-Bacia de 1.800.000 ha, por exemplo?

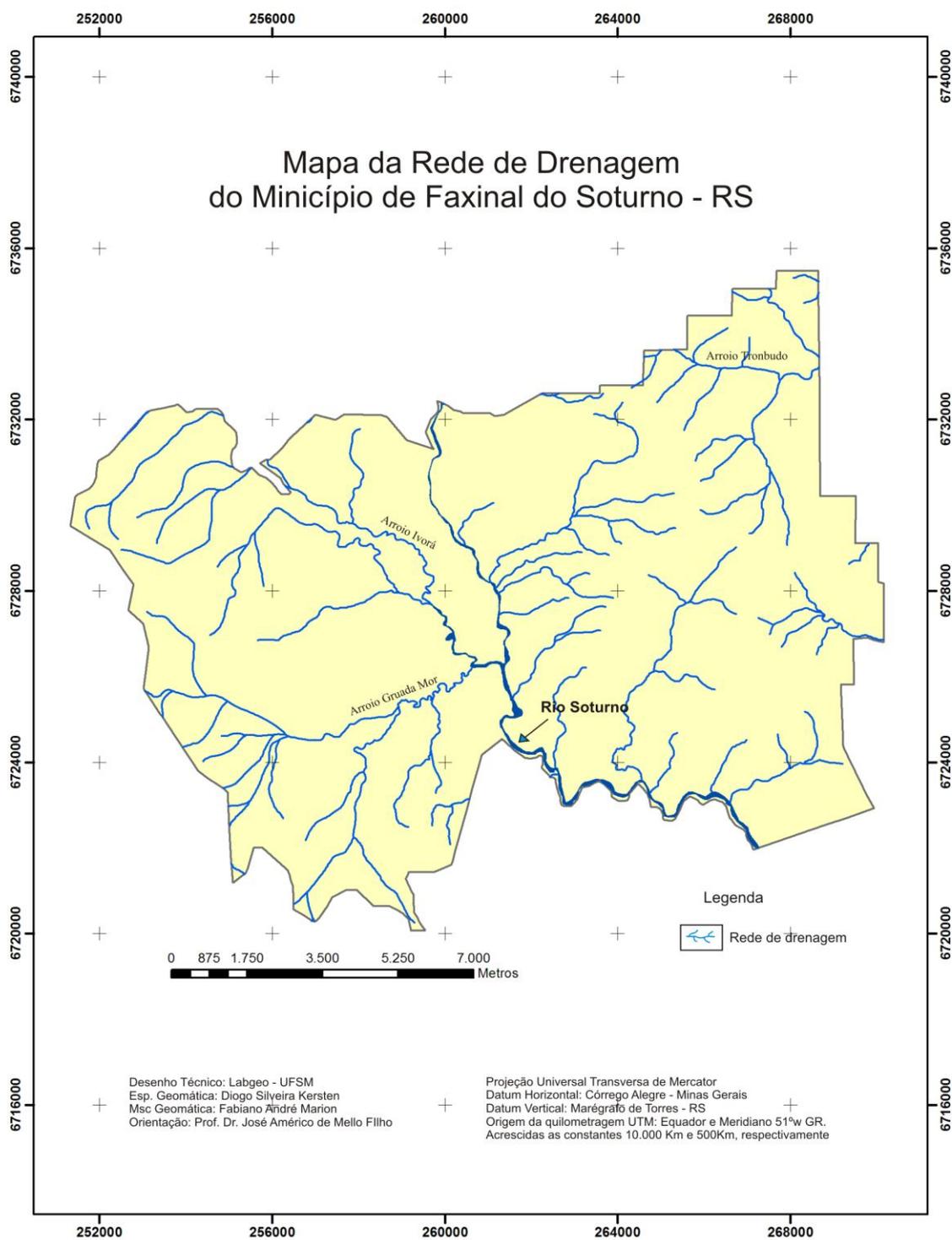
$$1.800.000 \text{ ha} / 300.000 \text{ ha} = 06 \text{ Sub-Bacias de } 300.000 \text{ ha (no mínimo).}$$

$$1.800.000 \text{ ha} / 20.000 \text{ ha} = 90 \text{ Microbacias de } 20.000 \text{ ha (no mínimo).}$$

A Bacia, Sub-Bacia ou Microbacia é formada por divisores de água e por uma rede, padrão ou sistema de drenagem, rico em ravinas, canais e tributários, caracterizados pela sua forma, extensão, densidade e tipo. Deve-se salientar a necessidade de respeitar: ravinas, canais e tributários ao se traçar os limites das Microbacias.

Estes componentes retratam que as águas superficiais e subsuperficiais, referindo-se diretamente às águas de escoamento por saturação, estão relacionadas com a “capacidade de campo” do solo.

Obs.: Em áreas florestadas a densidade de drenagem é sempre menor, significando que há maior infiltração de águas das chuvas.



**Figura 9 - Mapa da Rede de Drenagem**

### 3.3 Condições Climáticas

De acordo com CONDEMA, (2000) o clima do município é considerado subtropical, pois nos meses de dezembro a março a temperatura média mensal do ar é superior a 22°. Os meses mais quentes são dezembro, janeiro e fevereiro, com médias entre 23 e 25° centígrados. Os mais frios são os meses de junho, julho e agosto, com médias que oscilam entre 14 e 15° positivos.

Predominam os ventos do sul, na época do inverno, e do norte, geralmente um ou dois dias antes da chuva. A insolação é, em média, de 21,2 dias de sol, 5,2 dias de chuva e 3,9 dias encobertos.

Com relação à precipitação, verifica-se no município que não existe uma estação seca bem definida. No período de dezembro a março, devido à abundância de energia solar, a evaporação é maior e, aliada a elevada variabilidade temporal e geográfica da precipitação, resulta em períodos de deficiência hídrica. Em um a cada cinco anos ocorrem deficiências hídricas significativas de até 60 mm em janeiro e até 40 mm nos meses de dezembro, fevereiro e março. Estas deficiências coincidem com o sub-período crítico de muitos cultivos anuais de verão e afetam o rendimento destes cultivos.

No verão prevalece o ar seco, já no inverno verificam-se muitos dias de neblina pela manhã. As precipitações médias anuais nos últimos 30 anos foram de 1.770 milímetros. Precipitaram mensalmente entre 121 e 191 milímetros, sendo os meses mais chuvosos maio, junho, agosto e setembro e o menos chuvoso março, novembro e dezembro.

Segundo o CONDEMA, as condições climáticas do município favorecem os cultivos de alfafa, arroz, fumo, milho, soja, bergamota, limão e olerícolas. Tolera-se climaticamente o cultivo de sorgo, cana-de-açúcar, laranja, batata, mandioca e pêssego. A Região Cultural da Quarta Colônia de Imigração Italiana, RS observa-se a ação antrópica sobre o meio ambiente, ocorrendo atividades voltadas principalmente à ocupação do solo e uso das águas para o desenvolvimento de atividades agrícolas, tais como os cultivos de fumo, arroz, milho e soja, dentre outros.

O clima da Quarta Colônia de Imigração Italiana, segundo a classificação climática de Köppen (1948), é a variedade climática tipo Cfa, clima subtropical úmido, com chuvas bem distribuídas e média anual de 1.769 mm, sendo que a temperatura do mês mais quente é superior a 22°C e a do mês mais frio é superior a -3°C. Ainda, os verões são quentes, sem estação seca definida, precipitação regular, sendo os meses menos chuvosos março, novembro e dezembro.

### 3.4 Urbanização

Em base FEE, (2002) o grau de urbanização do Estado é de 81,6%, porém, em municípios com menos de 10 mil habitantes, como é o caso da maioria dos municípios da Quarta Colônia, o índice normalmente é inferior a 50%, ou seja, mais da metade da população do município vivendo no meio rural. Na Quarta Colônia verifica-se esta tendência, com exceção de Faxinal do Soturno e Dona Francisca, que apresentaram grau de urbanização em 2000, superior a 50% (figura 10).

Municípios	Grau de Urbanização (%)				
	1960	1970	1980	1991	2000
Agudo	8,1	11,75	15,53	20,4	32,42
Faxinal do Soturno	21,01	28,7	38,6	50,76	59,9
Restinga Seca	10,41	14,27	31,98	43,91	49,95
Nova Palma	criado em 1960	12,63	18,24	27,23	42,17
Dona Francisca	criado em 1965	30,15	32,49	54,24	54,24
Silveira Martins	criado em 1987			30,97	40,49
Ivorá	criado em 1988			23,25	27,98
São João do Polêsine	criado em 1992				38,58
Pinhal Grande	criado em 1992				31,81
Total RS	44,89	53,31	67,55	76,56	41,95

**Figura 10 - Grau de Urbanização nos municípios da Quarta Colônia, por décadas.**

Fonte: FEE, (2002)

### 3.5 Município de Faxinal do Soturno

O município de Faxinal do Soturno está localizado na região central do Rio Grande do Sul, na Depressão Central e Rebordo do Planalto Meridional, faz divisa com Nova Palma a norte, Ivorá e Silveira Martins a oeste, São João do Polêsine a sul e Dona Francisca a leste.

População Total do município de Faxinal do Soturno em 2005:

6.656 habitantes (2.311 na área rural e 4.335 na área urbana)

Área total (2005): 169,9 Km<sup>2</sup>

Densidade Demográfica (2005): 39,2 hab./Km<sup>2</sup>

PIB (2004): R\$ 64.094 milhões

Data de criação: 12/2/1959 (Lei nº 3711)

Município de origem: Cachoeira do Sul e Júlio de Castilhos. FEE, (2006).

Faxinal do Soturno possui aproximadamente 60% da população vivendo em território urbano, o que pode demonstrar que o município sofre com o êxodo rural, ou enfrenta crise na agricultura ou apresenta um aumento crescente na demanda por serviços.

O município de Faxinal do Soturno localiza-se entre as coordenadas UTM 6.719.000 a 6.737.000 N e a 251.000 a 271.500 E. Possui as seguintes comunidades: Sítio dos Mellos, Sítio Alto, Linha Guarda-Mor, Val-Veronês, Linha Saxônia, Santos Anjos, Linha Nova Palma, Linha São Luiz, Novo Treviso, Colonial, Linha Formosa, Linha Dona Francisca e a sede administrativa do município, conforme Zannon (1999).

#### 3.5.1 Coleta de lixo

No que se refere à coleta e destinação do lixo, a maioria dos municípios participam de um consórcio intermunicipal (CONDESUS), onde uma empresa terceirizada é responsável pela coleta de lixo, cuja destinação é o município de Paraíso do Sul Nesse município, o lixo passa por um processo de triagem, e os resíduos que não são aproveitados para reciclagem são levados para o município de Minas do Leão, onde há um aterro sanitário.

O entulho é recolhido uma vez por semana, ou quando houver necessidade. Não existe mais aterro sanitário em Faxinal do Soturno, o lixo recolhido é levado para a usina de reciclagem e compostagem do lixo, localizada em Paraíso do Sul.

### 3.5.2 Esgotamento sanitário

Em Faxinal do Soturno há um curso de água na zona urbana que recebe a canalização de esgotos do município, vindo a desembocar no Rio Soturno, onde ocorre a disposição final dos esgotos, sem nenhum tratamento. Com relação ao esgotamento sanitário, tem-se que 18,89% dos domicílios estão ligados à rede geral de esgoto ou pluvial, 58,86% possuíam fossa séptica, 10,36% possuíam fossa rudimentar, rio, sanga ou arroio, 17,19%, ou seja, 0,77% possuíam outra espécie de escoadouro, e 5,65% não possuíam banheiro ou sanitário (IBGE, 2005).

## 3.6 Procedimentos Técnicos

Os procedimentos utilizados, em primeira instância foram, a busca de referenciais teórico-metodológicos, como a consulta de bibliografias pré-existentes através de livros, revistas e artigos, pertinentes à temática em questão, além de visitas junto à Secretaria da Saúde e à Prefeitura Municipal de Faxinal do Soturno, setor de Vigilância Ambiental.

A pesquisa foi realizada a partir de dados primários e de dados pré-existentes disponíveis via on-line (<http://www.siagas.cprm.gov.br>) pelo SIAGAS/CPRM (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais). Informa-se que em seu cadastro, o SIAGAS/CPRM utiliza 10 dígitos como código identificador (o ID do poço), sendo para o Estado do Rio Grande do Sul esse código iniciado com o número 43.

O passo seguinte foi a realização das pesquisas de campo através de um levantamento cadastral dos poços tubulares, conforme previsto no Art. 134 do Código Estadual do Meio Ambiente, utilizando-se para isso o receptor GPS (*Global Position System*). Também foram identificadas atividades potencialmente contaminantes às águas subterrâneas na área em estudo, como os cemitérios, oposto de combustível, o hospital, dentre outros.

A partir destas informações, foi gerado um banco de dados georreferenciados, tais como: identificação do poço, proprietário, cota altimétrica, coordenadas UTM, profundidade, localidade, formação geológica e nível estático dos poços, os quais foram organizados e tabulados numa planilha do aplicativo Microsoft Excel 2007.

Após, esse banco de dados foi integrado com o mapa base do município, com a utilização do aplicativo computacional ArcMap do ArcGIS 9.2.

Para a extração das informações como limite municipal, estradas, rede de drenagem, limite urbano, sobrepostas nos cartogramas, foram utilizadas cartas topográficas da DSG (Diretoria do Serviço Geográfico do Exército), Folha de Faxinal do Soturno (SH.22-V-C-V-1), de Nova Palma (SH.22-V-C-II-3), de Val de Serra (SH.22-V-C-I-4), e a carta de Camobi (SH.22-V-C-IV-2), ambas na escala 1:50.000. As cartas topográficas foram transferidas do modo analógico para digital – “raster” via “scanner”.

Com os arquivos digitais montaram-se o mosaico das cartas para obter todo limite municipal de Faxinal do Soturno com o programa Adobe Photoshop 7.0. No programa ArcMap do ArcGIS 9.2, realizou-se o georreferenciamento das cartas, para posteriormente fazer a digitalização dos temas, e após, inserir as coordenadas dos poços e das atividades potencialmente contaminantes.

Para a avaliação da vulnerabilidade natural foi utilizado o Nível Estático de 28 poços, obtidos por meio de dados pré-existentes SIAGAS/CPRM e dados obtidos em campo com o uso do freatímetro sonoro Jacirí, o qual possibilita medir o nível freático do poço até 100 m de profundidade. O intervalo de classes e os pesos, foram adaptados do método DRASTIC, fundamentado em Aller et al (1987) para a situação do município de Faxinal do Soturno. Para cada parâmetro, foi atribuída uma nota que será vista na tabela 1.

O mapa da superfície potenciométrica, o qual possibilita inferir-se a provável direção do fluxo subterrâneo da água, foi obtido através da diferença entre a cota altimétrica do terreno na boca do poço, e o nível estático do mesmo, ou seja, o nível d'água em estado de repouso. A cota altimétrica do terreno foi obtida através de dados pré-existentes SIAGAS/CPRM e pelo receptor de GPS *Garmin Etrex Lend*, ou pela interpolação das curvas de nível das cartas topográficas do Exército e as coordenadas do poço.

Essa relação possibilita uma estimativa da altura da coluna d'água em relação ao Datum vertical, nível do mar no Marégrafo de Torres-RS, uma vez que foi utilizado o Datum horizontal Córrego Alegre.

Para realizar as avaliações ambientais, foi necessária a elaboração dos mapas base, que foram o mapa geológico, mapa de solos, mapa de declividade e mapa do nível estático da água, para assim, com o aplicativo SAGA poder-se realizar as interações por geoprocessamento, a fim de identificar a vulnerabilidade das águas subterrâneas.

### 3.6.1 Avaliação ambiental no SAGA

As avaliações ambientais fazem parte das prospecções ambientais e contribuem para o diagnóstico da área em estudo. Têm como objetivo a delimitação de áreas para uma finalidade específica, baseada nas características ambientais contidas na base de dados. As avaliações ambientais diretas podem ser divididas no mapeamento de riscos e de potenciais, e são elaboradas a partir dos dados originalmente coletados (XAVIER DA SILVA; CARVALHO FILHO, 1993).

O SAGA/UFRJ apresenta um módulo próprio para realização das avaliações ambientais. Consiste na interação dos mapas pelo cálculo da média ponderada. Cada mapa, selecionado para fazer parte da avaliação recebe um peso atribuído pelo usuário, de acordo com sua importância no evento/dano/impacto a ser estudado.

Para a realização da interação dos mapas, a partir dos pesos e das notas, foi utilizado o aplicativo SAGA 2007. Nele, ao realizar uma avaliação de forma direta, cada classe dos mapas recebe uma nota (de 0 a 10 ou 0 a 100), de acordo com a possibilidade de associação da classe com o fenômeno estudado. Como produto final, tem-se a geração de um mapa onde cada *pixel* contém o respectivo resultado do cálculo da média ponderada, apresentando classes que variam de 0 a 10 ou de 0 a 100, de acordo com o intervalo escolhido para as notas.

A seguir, a fórmula da média ponderada utilizada nas avaliações ambientais, conforme Xavier da Silva (2001).

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^n (P_k.N_k) \quad [ 1 ]$$

Onde:

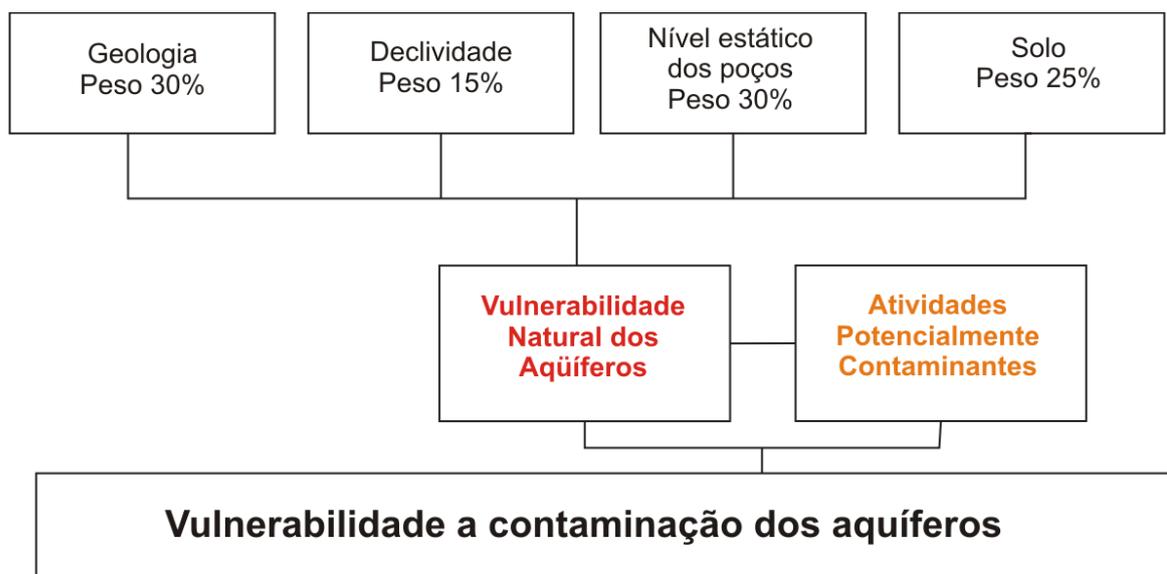
- $A_{ij}$  = célula qualquer da matriz e valor da respectiva avaliação;
- $n$  = número de parâmetros envolvidos;
- $P$  = peso atribuído ao parâmetro;
- $N$  = nota atribuída à categoria ou classe do parâmetro.

Para a realização dessa aplicação, utilizou-se o módulo Avaliação do SAGA 2007. Pelo ícone Adicionar, abriram-se os mapas utilizados na avaliação e neles foram colocados seus respectivos pesos e as notas para as classes. As classes não importantes para a avaliação foram bloqueadas, ou seja, foram excluídas do processo avaliativo, porém, registradas no mapa final.

Depois de distribuídos corretamente os pesos, inicia-se a avaliação, para a qual se escolheu a opção com relatório, a qual gera um arquivo “txt” que registra todas as integrações efetuadas entre as planimetrias e possibilita uma análise mais aprofundada do mapa gerado.

### 3.6.2 Avaliação da Vulnerabilidade Natural de aquíferos

A vulnerabilidade natural de aquíferos está diretamente relacionada com a infiltração, processo mais importante de recarga da água subterrânea no subsolo. O volume, a velocidade de infiltração e a proximidade do lençol freático dependem de vários fatores, que podem ser espacializados em planos de informação e integrados por geoprocessamento. As definições adotadas para os pesos dos planos de informação e das notas das classes foram baseadas no modelo *DRASTIC* (veja tabela 1), com auxílio complementar de outros autores, de acordo com as características da área estudada. Podem-se observar as notas atribuídas pela árvore de decisão representada na figura 11. Estas notas foram definidas com base em metodologia de Marion, (2009) na pesquisa referente à vulnerabilidade natural de aquífero no *campus* da UFSM – Santa Maria, RS.



**Figura11 - Árvore de decisão e seus respectivos pesos usados na pesquisa.**

A árvore de decisão foi elaborada com base nos dados obtidos em laboratório, pesquisa e a campo, que possibilitaram montar esse fluxograma pelas características naturais do município de Faxinal do Soturno, como a geologia, a declividade do terreno, o nível estático dos poços tubulares e os tipos de solos. Os pesos definiram-se com ênfase de sua importância para elaboração do Mapa de Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos.

Na tabela 1 são apresentados os fatores *DRASTIC* que serviram de base para elaboração da figura 11.

Tabela 1. Fatores *DRASTIC* que serviram de base para a elaboração da tabela.

Fatores <i>DRASTIC</i>	Faixas	Carga
<i>Depth to water</i> (Profundidade das águas subterrâneas)	0 – 1,5 m	10
	1,5 – 4,6 m	9
	4,6 – 9,1 m	7
	9,1 – 15,2 m	5
	15,2 – 22,9 m	3
	22,9 – 30,5 m	2
	>30,5 m	1
<i>Aquifer media</i> (Meio aquífero)	Folhelho maciço (rocha argilosa)	1 – 3
	Metamórfica/Ígneas (rochas cristalinas)	2 – 5
	Rochas Metamórficas/ ígneas intemperizadas	3 – 5
	Till Glacial (depósitos de degelo glacial)	4 – 6
	Calcários, arenitos e folhelhos acamadados	5 – 9
	Arenito maciço	4 – 9
	Calcário maciço	4 – 9
	Cascalho com matriz arenosa (conglomerado)	4 – 9
	Basalto fraturado	2 – 10
	Calcário cárstico (poroso)	9 – 10
<i>Topography</i> (Topografia)	0 – 2 %	10
	2 – 6 %	9
	6 – 12 %	5
	12 – 18 %	3
	> 18%	1
<i>Soil</i> (solo)	Cascalho	10
	Arenoso	9
	Turfa	8
	Argila agregada e/ou expansiva	7
	Franco arenoso	6
	Franco	5
	Franco siltoso	4
	Franco argiloso	3
	<i>Muck</i>	2
	Argiloso não expansivo e não agregado	1

CAMPONOGARA (2006). Adaptado por KERSTEN, (2009).

O fator declividade constitui um dos fatores do modelo *DRASTIC* e, embora não apareça em alguns métodos, como no *GOD*, é de fundamental importância no levantamento da vulnerabilidade natural dos aquíferos. Quanto maior for à inclinação de um determinado terreno, maior será o escoamento superficial direto, diminuindo a infiltração. Superfícies suavemente onduladas permitem o escoamento superficial menos veloz, aumentando a possibilidade de infiltração. O intervalo das classes utilizadas nesse trabalho, e suas respectivas notas para a declividade, são as mesmas do modelo *DRASTIC*.

A Profundidade das águas subterrâneas é a variável que mais tem interferência no risco de poluição, uma vez que, quanto mais próximo da superfície for o lençol freático, mais facilmente um contaminante o atingirá. É obtido pela mensuração do Nível Estático (NE), ou seja, quando o poço encontra-se em situação de repouso.

A determinação das notas para os intervalos de classes foram baseadas no modelo *DRASTIC*, entretanto, foi aumentado o número das mesmas, respeitando as notas originais do modelo. Conforme tabela 2.

**Tabela 2 - Notas e pesos usados na avaliação da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas.**

<b>Peso</b>	<b>Variável e fundamentação</b>	<b>Classe</b>	<b>Nota</b>
<b>30 %</b>	<b>Profundidade da água subterrânea</b> (Aller et al., 1987)	0 – 1,5 m	10
		1,5 – 4,6 m	9
		4,6 – 9,1 m	7
		9,1 – 13 m	5
		13 – 18 m	4
		18 – 23 m	3
		23 – 31 m	2
		>31 m	1
<b>30 %</b>	<b>Geologia</b> (Aller et al., 1987; Maciel Filho, 1990)	Formação Botucatu	8
		Depósitos Fluviais de várzea	6
		Fm. Serra Geral	2
		Grupo Rosário	4
<b>15 %</b>	<b>Declividade</b> (Aller et al., 1987)	0 – 1 °	10
		1 – 3 °	9
		3 – 5 °	5
		5 – 10 °	3
		> 10 °	1
<b>25 %</b>	<b>Solo</b> (Machado e Flitz, 2001)	APt	6
		PVAb	4
		SGe	3
		MTf	3

Na pesquisa em questão, as declividades do modelo *DRASTIC* que estão em porcentagem, foram convertidas para graus, uma vez que a legislação ambiental usa as classes em graus, ao classificar as áreas de preservação permanente como aquelas com declividades acima de 45°. Observe à tabela 3 a conversão de porcentagem em graus.

Tabela 3. Tabela de conversão de valores de declividade.

DRASTIC (%)	DRASTIC (°)
0 – 2	0 – 1
2,1 – 6	1 – 3
6,1 – 12	3 – 5
12,1 – 18	5 – 10
> 18	> 10

Para elaboração do Mapa Zoneamento das Áreas Propícias ao Uso e Ocupação, foram necessários os mapas de Geologia, Solos, Declividade, Áreas de Preservação Permanente (APP) e o mapa de Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas obtidas através das Avaliações observadas na figura 11.

Assim, para se chegar ao mapa final, definiu-se a seguinte estrutura representada pela árvore de decisão (figura 12) por meio de avaliação complexa e combinações.

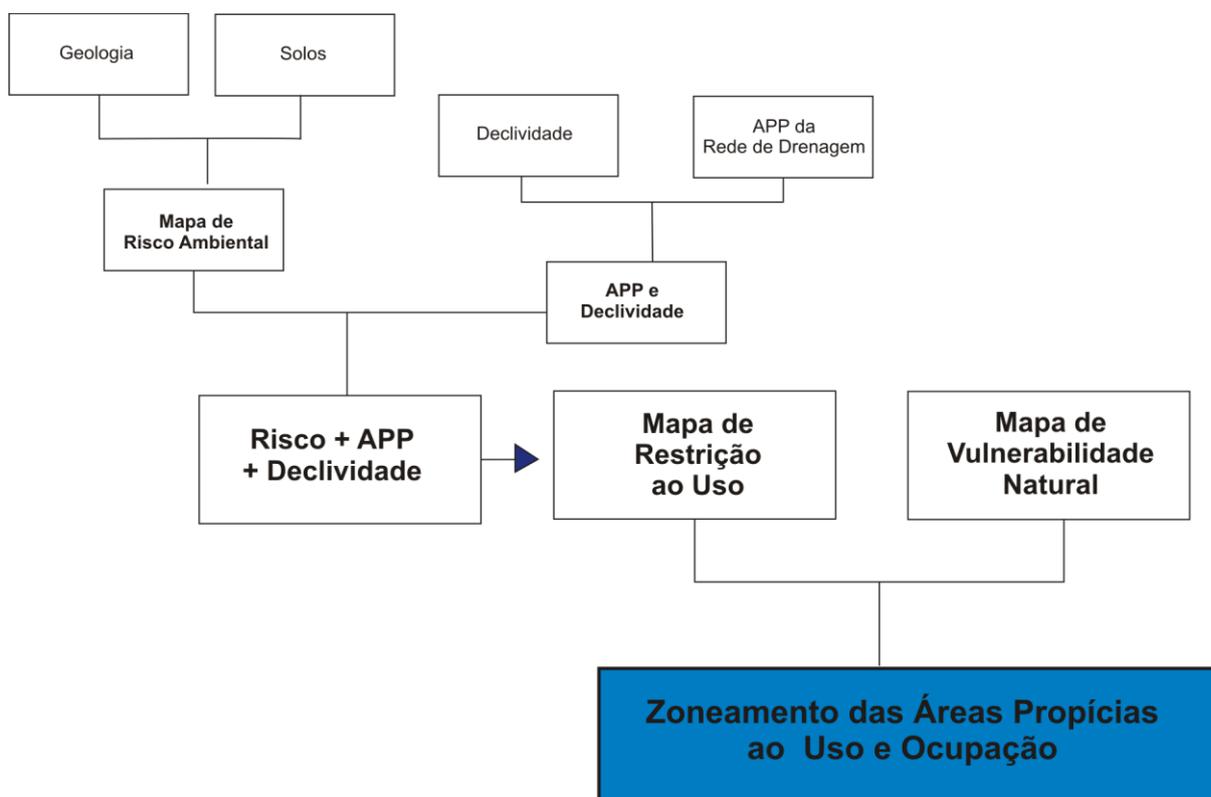


Figura 12 - Árvore de decisão para elaboração do mapa final

Por avaliação complexa, elaborou-se o Mapa de Risco Ambiental, para o qual utilizaram-se os mapas de Geologia e Solos, alocando assim as áreas com riscos a erosão e a desmoronamentos, de acordo com as características naturais.

Possibilitou-se, com a interação do mapa de APP (mata ciliar) e o mapa da Declividade do terreno, elaborar o Mapa de APP e Declividade, que permitiu saber onde se inserem as APP das matas ciliares e as APP das declividades acima de 45°, conforme específica legislação ambiental brasileira vigente.

E pela interação do mapa de Risco Ambiental com o mapa de APP e Declividade foi elaborado o mapa de Risco + APP + Declividade, que nomeou-se Mapa de Restrição ao Uso.

De posse do Mapa de Restrição ao Uso foi realizada a interação com o Mapa de Vulnerabilidade Natural, gerando assim o mapa 'Zoneamento das Áreas Propícias ao Uso e Ocupação para o município de Faxinal do Soturno', objetivo final de nosso trabalho.

## 4 RESULTADOS

Para estabelecer as áreas de risco ambiental, as áreas de vulnerabilidade ambiental, visando o desenvolvimento uso e ocupação urbana no município de Faxinal do Soturno, realizaram-se levantamentos e georreferenciamento das atividades potencialmente contaminantes e poços tubulares em atividade no município em estudo, distribuídos numa área de aproximadamente 170,20 Km<sup>2</sup> no município de Faxinal do Soturno em que foram cadastrados cemitério, posto de combustível, hospital, serrarias, olaria e poços tubulares pela equipe do Laboratório de Geoprocessamento em Análise Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria RS.

Nas atividades potencialmente contaminantes foram observadas suas condições de uso e avaliado as suas possíveis contaminações no ambiente local.

Os dados oriundos do levantamento dos poços, para a avaliação foram: o nível estático, as coordenadas UTM, sua cota altimétrica e se havia proteção na estrutura externa do poço.

Depois desse levantamento, procedeu-se a elaboração do mapa de declividade, geológico, solos, mapa da superfície potenciométrica, mapa do nível estático; de posse desses mapas base foi possível elaborar o mapa de vulnerabilidade natural e o mapa de zoneamento das áreas propícias ao uso e ocupação, de grande valia ao planejamento físico conservacionista municipal.

### 4.1 Bases Físicas para Avaliação do Aquífero

#### 4.1.1 Declividade

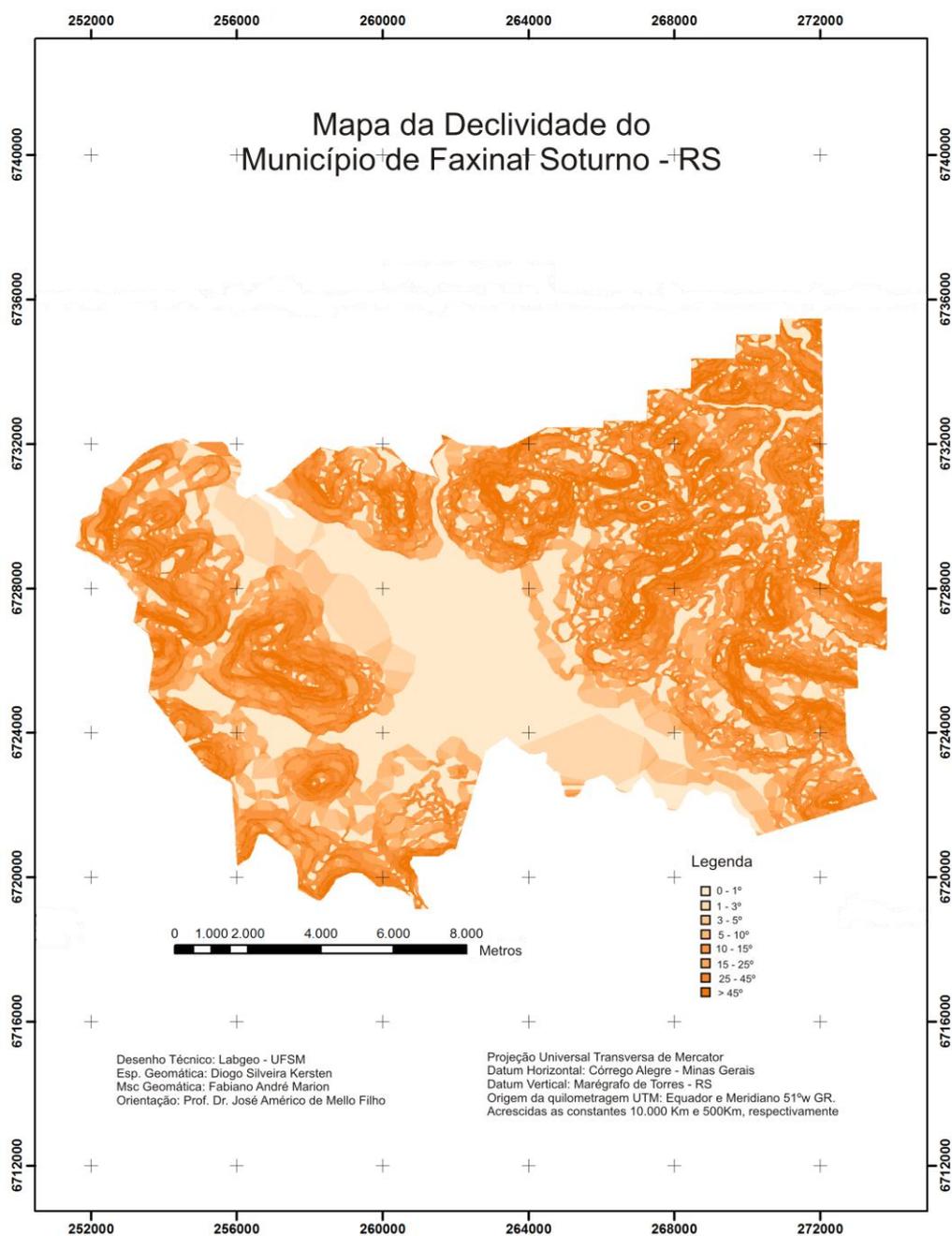
As declividades encontradas na área do município podem ser visualizadas na tabela 4, em que pelo método de avaliação de vulnerabilidade natural a contaminação das águas subterrâneas pelo método *DRASTC* foi separadas por classes sejam:

Tabela 4. Classes de declividade

Declividade	Área (ha)	Área (%)
0 – 1°	4.780,24	28,11
1 – 3°	740,54	4,35
3 – 5°	450,11	2,64
5 – 10°	1.277,47	7,55
10 – 15°	1.571,86	9,24
15 – 25°	2.890,65	17
25 – 45°	3.393,67	19,96
> 45°	1.895,66	11,15

As primeiras cinco classes tiveram origem no Método *DRASTIC* adaptado, cujas declividades foram transformadas para graus, conforme ilustrado na tabela 3.

As declividades foram classificadas pelas cotas das curvas de nível digitalizadas do município de Faxinal do Soturno. A partir das curvas de nível digitalizadas foi possível elaborar, com o GIS *ArcGIS ArcMap* 9.2, o Mapa da Declividade, observado na figura 13.



**Figura 13 - Mapa da declividade do município de Faxinal do Soturno, RS.**

A classe de declividade de 0 – 5° representa cerca de 35 % da área do município, e compõe uma área de grandes possibilidades para uso e ocupação tanto urbana quanto rural, porém é importante levar em consideração outros fatores como geologia, solos, área de preservação permanente, dentre outros.

Deve-se levar em consideração que há uma área de aproximadamente 31 % da área total do município com declividades acima de 25°, cujo uso e ocupação é de restrição e ou inadequada para tais finalidades, como também o são as áreas acima de 45° de declividade, segundo a legislação ambiental para APP, devendo estas ser preservadas.

#### 4.1.2 Superfície Potenciométrica

Com intuito de ilustrar a distribuição espacial dos poços tubulares, bem como elaborar os mapas de Superfície Potenciométrica e o mapa do Nível Estático dos poços tubulares do município de Faxinal do Soturno, através do aplicativo Surfer 8.0, utilizaram-se 12 poços tubulares cadastrados no SIAGAS/CPRM, e os 16 cadastrados pela equipe do LaGeo – UFSM, procedendo-se da seguinte forma, como mostra o **tutorial descritivo**.

Os parâmetros a serem representados cartograficamente e as coordenadas UTM são tabulados em um banco de dados em planilha fornecida pelo programa Surfer 8.0 (Menu *New, Worksheet*);

A planilha é salva no formato.dat;

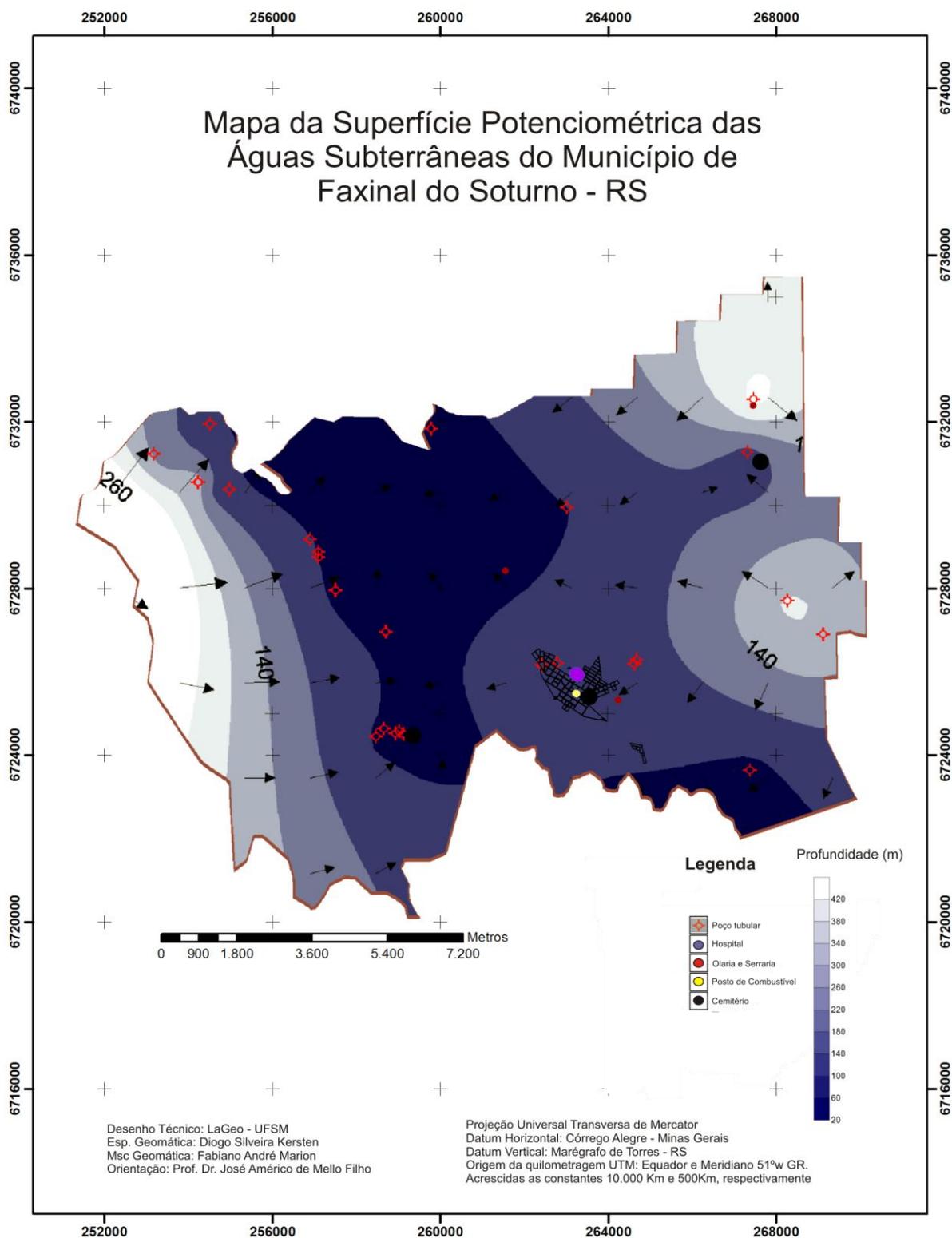
Menu *File, New*, abre novo *Plot Document*;

Menu *Grid, Data*, seleciona-se a planilha gerada anteriormente, indica o método de interpolação Krigagem, Ok;

Menu *Map, Contour Map, New Contour Map*, seleciona-se o arquivo gerado, e automaticamente é gerado um plano com a distribuição das isolinhas que representam o comportamento do parâmetro;

Menu *Map, Post Map, New Post Map*, seleciona-se o arquivo gerado e os poços tubulares são sobrepostos à representação em isolinhas do parâmetro.

Para o cálculo da superfície potenciométrica dos poços da área em análise, obteve-se inicialmente a altitude do terreno na “boca” dos poços, subtraindo-se esse valor da profundidade do nível estático dos mesmos. A superfície potenciométrica representa o peso da coluna de água sobre o Datum Vertical (Marégrafo de Torres RS) e indica a direção do fluxo subterrâneo. No aplicativo Surfer 8.0, foram incluídos vetores indicativos da direção de fluxo da água subterrânea. Assim, podem-se indicar as direções gerais de fluxo subterrâneo, o qual muitas vezes não coincide com o fluxo das águas superficiais. Veja a figura 14.



**Figura 14 - Mapa da superfície potenciométrica**

Na figura 14 pode-se fazer uma análise em relação as atividades potencialmente contaminantes que foram georreferenciados sejam os cemitérios, as serrarias, as olarias, o posto de combustível e o próprio hospital.

Os cemitérios foram encontrados na zona urbana e rural, em que após alocado com suas coordenadas UTM foi inserido um *buffer* este abrange um rio circular em seu entorno de 200 metros, esta é uma área média de possível risco de contaminação do necrochorume dos cemitério, em que estes podem vir a alterar a qualidade da água subterrânea, além de estarem próximos de poços tubulares o fluxo das águas subterrâneas convergem para os mesmos, que pode visualizar na figura 14 na cor preta.

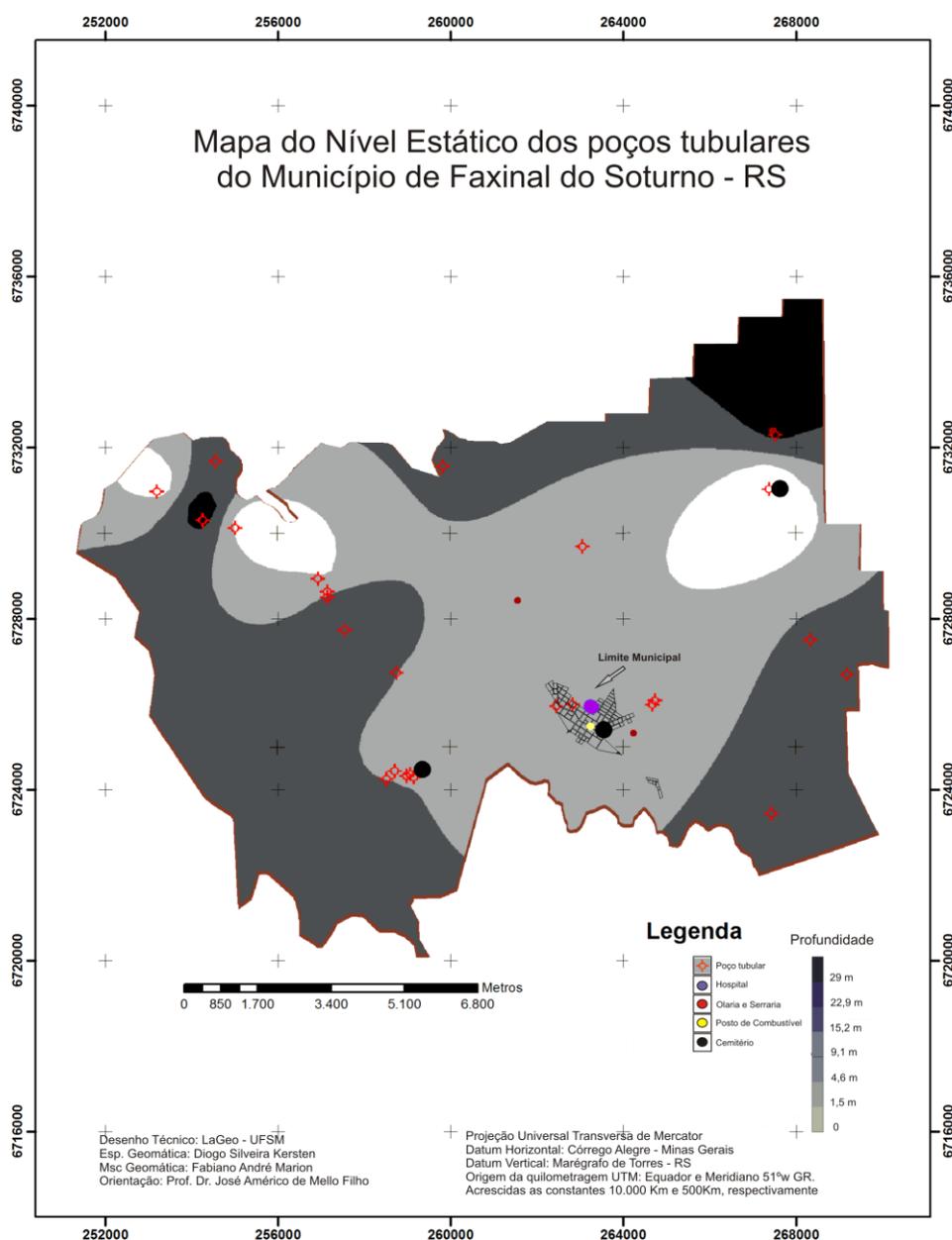
As serrarias e olarias foram alocadas no cartograma na forma de círculos que também foi inserido *Buffers* em seu entorno num raio de 80 metros, este valor definido por ser atividades que geram resíduos químicos como óleos e combustíveis fósseis para lubrificação e funcionamento dos maquinários, que podem vir a contaminar o lençol e os próprios curso d'água. Este identificado na cor vermelha na figura 14.

No perímetro urbana inserem se também atividades potencialmente contaminantes como o hospital e postos de combustíveis, o hospital é uma atividade contaminante por realizar cirurgias, receber pacientes com algum problema infecto contagioso que podem vir a contaminar o meio que está inserido sendo diretamente como indiretamente, a própria água que é lavada as roupas de cama como as roupas pessoais dos pacientes, esta água muitas vezes não passa por nenhum tratamentos antes de ser jogada na ambiência, ou mesmo seringas e medicamentos que não foram totalmente ocupados enfim diversos fatores que podem vir a modificar a qualidade do meio que está inserido; o hospital foi georreferenciado no município de Faxinal do Soturno e com um raio de 100 metros feito sua área de possível influência de contaminação em especial a contaminação das águas subterrâneas.

O posto de combustível georreferenciado insere-se na zona urbana do município, este utiliza combustíveis fósseis para atender a demanda da população local, como também há um lava jato de automóveis, que muitas vezes esta água utilizada para lavar carros como também manter a higiene do posto acaba se contaminando com os resíduos tanto de óleo como dos próprios combustíveis que caem no piso do ambiente local, estes possíveis de infiltrar e vir a contaminar o lençol freático local. Foi inserido um raio de 80 metros de abrangência de possível área de possível contaminação. Este visualizado na figura 14 na cor amarela.

#### 4.1.3 Nível Estático dos poços tubulares

O mapa do nível estático das águas subterrâneas foi elaborado conforme dados coletados a campo como suas coordenadas geográficas leste e norte associada ao nível estático de cada poço tubular naquele momento; a leitura do nível estático é realizado com o equipamento freatímetro sonoro que possibilita a leitura até a uma profundidade de 100 metros o que possibilita saber a profundidade que está o nível de água subterrânea em relação a superfície local do terreno. Pode-se observar na figura 15 o mapa do nível estático dos poços tubulares do município de Faxinal do Soturno.



**Figura 15 - Mapa do nível estático dos poços tubulares do município de Faxinal do Soturno**

No mapa de nível estático também foi inserido as atividades potencialmente contaminantes com sua possível área de influência como inserido no Mapa da Superfície Potenciométrica das Águas Subterrâneas.

Com relação ao nível estático dos poços tubulares, pode-se observar que os poços a nordeste e a noroeste do município de Faxinal do Soturno, alocados em áreas representada na cor branca do cartograma, estão mais próximos a superfície terrestre chegando a estar em torno de 1 metro de profundidade seu nível da água, estes por estarem muito próximos a superfície são mais suscetíveis a contaminação que os poços com seu nível de água a profundidades superiores a 20 metros.

## 4.2 Avaliações da vulnerabilidade das águas subterrâneas

### 4.2.1 Integração das variáveis ambientais por geoprocessamento

Para a avaliação da vulnerabilidade natural, as notas foram dispostas na escala de 0 a 10. A partir dos resultados obtidos pela integração dos Planos de Informação, no aplicativo SAGA, e pelo relatório gerado na avaliação (Anexo), pode-se hierarquizar a vulnerabilidade natural dos aquíferos no município de Faxinal do Soturno.

As notas resultantes da avaliação oscilaram entre 2 a 8. As classes de vulnerabilidade foram baseadas em Foster et al. (2003), que vão de 0 a 1. Para adaptarem-se as notas geradas pelo SAGA, multiplicou-se essa escala por 10. Assim, as notas resultantes da avaliação entre 2 (nota mais baixa obtida) a 3, foram definidas como de vulnerabilidade baixa. A partir da nota 4 até a nota 5, definiu-se como de Média Vulnerabilidade. Já as notas 6 e 7, foram definidas como de Vulnerabilidade Alta, e acima de 7,5 classificada como Extrema Vulnerabilidade. Observe a tabela 5.

**Tabela 5: Hierarquia das Classes de Vulnerabilidade Natural determinadas no zoneamento**

<b>Classe de Vulnerabilidade Natural</b>	<b>Notas obtidas na avaliação</b>	<b>Área (%)</b>
<b>Baixa</b>	2 – 3	23,5 %
<b>Média</b>	4 – 5	54,3 %
<b>Alta</b>	6 – 7	22,05 %
<b>Extrema</b>	8	0,15 %

Observou-se com o uso desta técnica que, no município de Faxinal do Soturno, predomina a classe Vulnerabilidade Média, em cor laranja no Mapa da Vulnerabilidade Natural (figura 16), com 54,3 % de abrangência sobre a área, o que corresponde a mais da metade da área total do município de Faxinal do Soturno de 170,20 km<sup>2</sup>. Já a Vulnerabilidade Alta possui 22,05 % de abrangência, a qual ocorre em sua maior concentração a oeste do limite da área urbana, acompanhando a Planície Aluvial ou a várzea do rio Soturno da área em estudo. E a Vulnerabilidade Extrema, com 0,15% da área municipal, ilustrada no cartograma de vulnerabilidade, na cor preta, a nordeste do cartograma da figura 17.

Na área de Vulnerabilidade Alta, situada a oeste da cidade, e representada pela cor vermelha, é desenvolvida a maioria das atividades agrícolas, e onde há também poços tubulares que abastecem a população rural.

Já a Vulnerabilidade Baixa foi identificada em algumas regiões alocando-se ao entorno do limite municipal, porém afastada da área urbana, cobrindo 23,5 % do município (representada pela cor verde). Em termos de conservação das águas subterrâneas, os locais com Baixa Vulnerabilidade são os mais adequados para a ocupação urbana, a qual suportaria a quantidade de nitrato gerada pelos dejetos do homem e/ou animais, que também constitui um potencial poluidor.

Não foi encontrada combinação que resultasse em Vulnerabilidade Desprezível. Isso ocorreu porque as menores notas atribuídas para as variáveis com maior importância, a Geologia, foram 2,35; e nível estático foi 2,4 referente à Formação Serra Geral, e SGe Planossolo hidromórfico eutrófico consecutivamente, o que elimina a possibilidade de gerar combinação que resultasse em notas inferiores a 2,0.

Na figura 16 podem-se visualizar os cartogramas utilizados para realizar tal avaliação com seus respectivos pesos, atribuída conforme a sua importância. Esta integração gerou o Mapa de Vulnerabilidade Natural e alocou as áreas mais propícias a contaminação por atividades potencialmente contaminantes. Nas áreas identificadas como de Alta e de Extrema vulnerabilidade, é recomendável a realização de análises da água com frequência, para assim garantir que a população inserida em tais áreas não esteja consumindo uma água que pode estar com suas características de potabilidade alteradas, devido, pois, haver alguma atividade contaminante que esteja causando tais mudanças na qualidade da água.

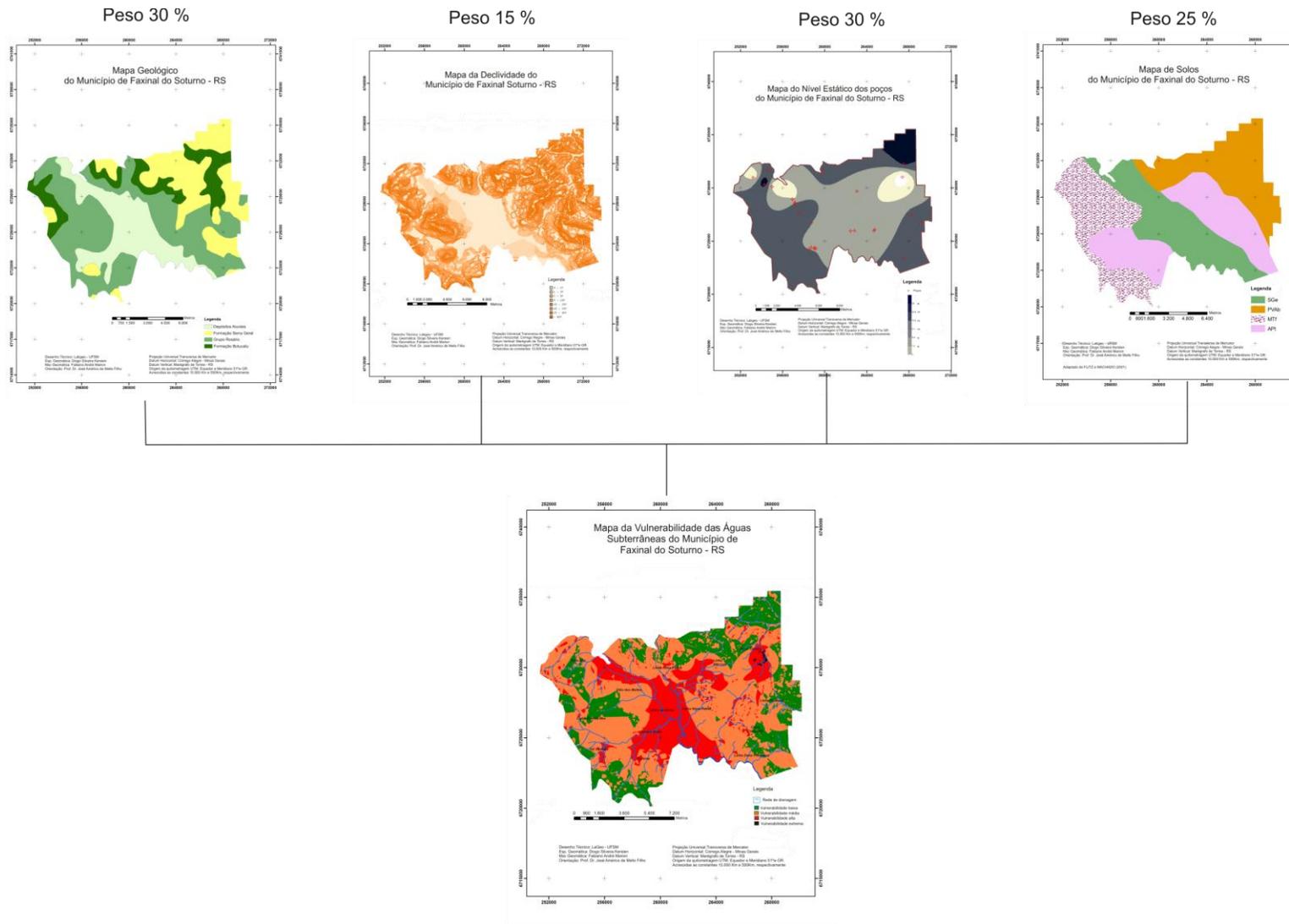


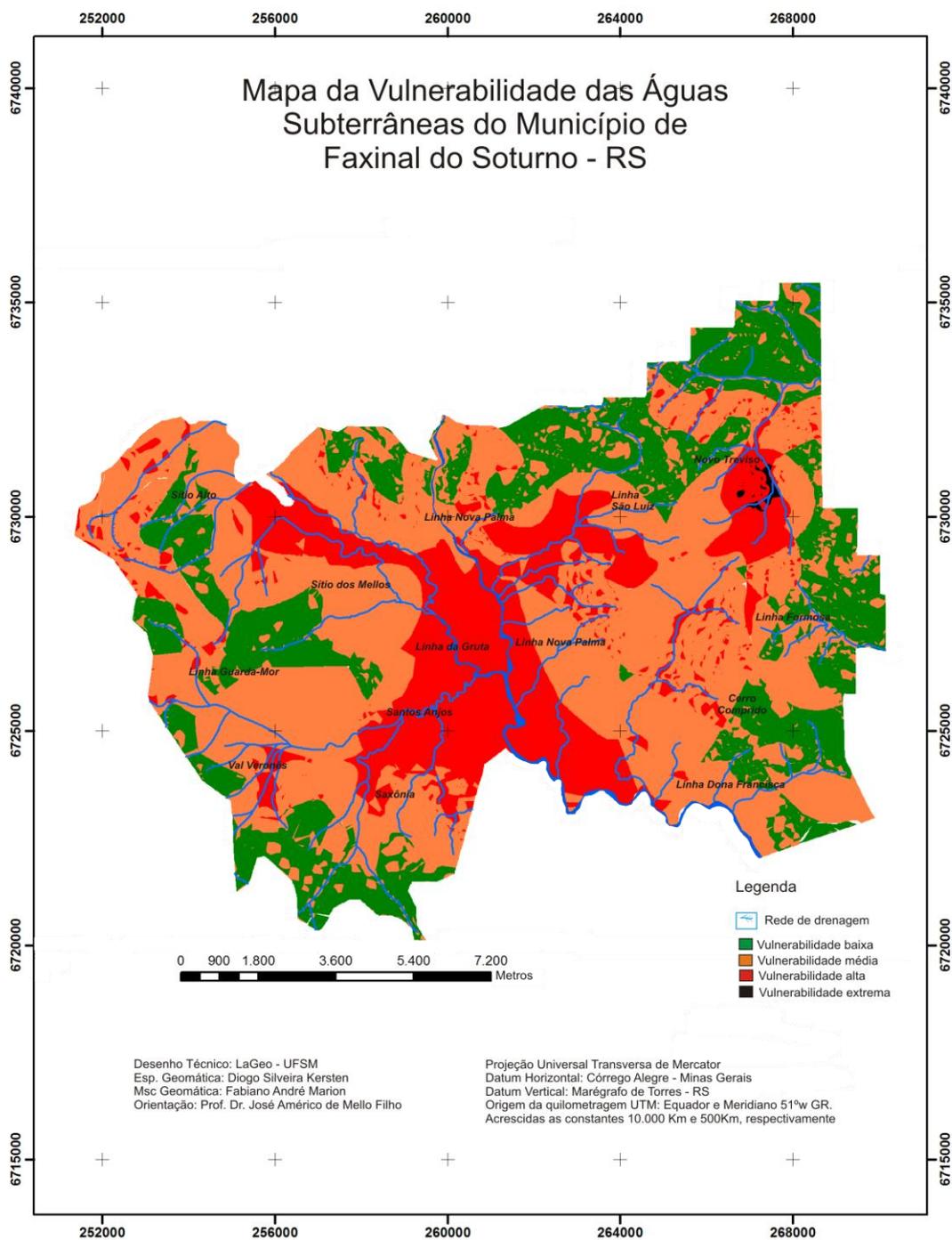
Figura 16. Organograma de formação do mapa de vulnerabilidade natural

Pela interação dos mapas, e pela quantificação das combinações no módulo *Assinatura* do SAGA, foi obtido o Mapa de Vulnerabilidade dos Aquíferos, representado na figura 17.

Na identificação da Vulnerabilidade Natural, constatou-se uma área de 3.703,57 ha como de Alta Vulnerabilidade. Essa área, apresentada em cor vermelha no Mapa da Vulnerabilidade à Contaminação (figura 17), requer atenção dobrada, e permanente, uma vez que, se houver infiltração proveniente de alguma atividade potencialmente contaminante, poderá ocorrer poluição das águas subterrâneas. As principais atividades potencialmente contaminantes encontradas nessa área são serrarias, cemitérios e olarias.

Com relação à área de Vulnerabilidade Média, a provável área de influência de atividades potencialmente contaminantes abrange 9.139,16 há, identificados no Mapa da Vulnerabilidade à Contaminação (figura 18) com a cor laranja. As principais atividades potencialmente contaminantes que ocorrem na área de Média Vulnerabilidade são um cemitério, o hospital, um posto de combustível e olaria.

Já nas áreas de Baixa Vulnerabilidade não foram encontradas atividades potencialmente contaminantes sobre elas desenvolvidas. Por isso, é recomendável que essas sejam utilizadas para a locação de futuras atividades que apresentem algum potencial contaminante, como, por exemplo, para a expansão da área urbanizada.



**Figura 17. Mapa de vulnerabilidade natural a contaminação**

Houve, também, a combinação de variáveis que pudessem gerar notas acima de 7,0 (Vulnerabilidade Extrema). Cabe ressaltar que, conforme Hirata (2002), áreas com vulnerabilidade extrema são consideradas como áreas de proteção imediata, e recomendado que nas mesmas seja restrita qualquer atividade que possa oferecer risco de contaminação aos aquíferos.

Pela análise do relatório final, inserido como anexo, gerado pelo aplicativo SAGA 2007 durante a avaliação, a combinação que mais contribuiu para a identificação da Vulnerabilidade Alta foi principalmente da classe de formação geológica: “Fm. Botucatu, e os Depósitos Aluviais” rochas sedimentares clásticas com alta relação porosidade/permeabilidade e, portanto, fonte de maior risco de contaminação, conforme assevera Silvério da Silva et al. (2004). E, ainda, o solo classificado, segundo Machado e Flitz (2001), como Argissolo Vermelho Amarelo (PVA<sub>b</sub>), uma vez que esses solos são geralmente profundos a muito profundos, variando de drenados (maior risco a contaminação) a imperfeitamente drenados (menor risco de contaminação), e que recebeu nota 4, na tabela 2.

Outras combinações, como as ocorridas entre a Fm. Botucatu, Declividade de 0 - 2 % e o Solo PVA<sub>b</sub>, obtiveram notas superiores a 7,0, estas classificadas como Vulnerabilidade Extrema.

#### 4.2.2 Avaliação do risco de contaminação

A caracterização mais aproximada da idéia de risco de poluição das águas subterrâneas consiste na associação e interação da vulnerabilidade natural do aquífero com as atividades desenvolvidas em superfície ou em sub-superfície. Pode-se configurar uma situação de alta vulnerabilidade, porém sem risco de contaminação, se não existir carga poluidora significativa, ou vice-versa, uma vez que é o tipo, a intensidade, a forma, e o tempo de disposição das atividades que determinam a real situação do risco a que o aquífero e, mais precisamente, os recursos hídricos estão submetidos. No caso do município de Faxinal do Soturno, a maioria das atividades potencialmente contaminantes ocorre sobre áreas de Média e de Alta Vulnerabilidade, conforme observado na figura 17.

A seguir, a tabela 6 apresenta as atividades potencialmente contaminantes identificadas em trabalho de campo no município de Faxinal do Soturno, a forma de dispersão e sua provável área de influência.

**Tabela 6 - Atividades potencialmente contaminantes identificadas em Faxinal do Soturno e sua possível área de influência.**

<b>Atividades</b>	<b>Forma de dispersão</b>	<b>Raio de Influência</b>
Cemitério	Pontual	200m
Hospital Municipal	Pontual	100 m
Posto de combustível	Pontual	80m
Serraria	Pontual	80m
Olaria	Pontual	80m

As fontes de contaminação, como os postos de combustíveis, também merecem muita atenção, pois utilizam produtos não biodegradáveis e, considerando-se o tempo de execução, a idade dos tanques e o seu contato com o solo, poluentes podem atingir os recursos hídricos subterrâneos, dependendo do grau de vulnerabilidade da área, que, no local onde se encontra o posto de combustíveis da cidade de Faxinal do Soturno, é área com Vulnerabilidade Média. Além do mais, o posto de combustíveis, localizado dentro da área urbana do município, possui lava-jato, o que aumenta o potencial poluidor.

Esse posto encontra-se numa área de Média Vulnerabilidade e pode, por exemplo, caso houver vazamento de algum tanque de armazenamento, causar contaminação. De acordo com o proprietário, existem poços de monitoramento para indicar a existência de vazamentos de combustíveis e óleos graxos.

O Hospital, embora seja de pequeno porte, tem atividades potencialmente contaminadoras, uma vez que realizam cirurgias e tratam doenças infecto-contagiosas. O mesmo é obrigado a utilizar água de excelente qualidade, de acordo com as normas da Portaria do MS nº 518/2004, o que reforça a necessidade de conservação da qualidade das águas subterrâneas na cidade.

Os resíduos sólidos, quando lançados inadequadamente em superfície, assim como os cemitérios, representam uma significativa fonte de contaminação para as águas superficiais e subterrâneas. Por isso, devem-se selecionar de modo mais adequado possível suas locações, para que o meio ambiente não seja mais gravemente atingido, especificamente os recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Nas serrarias existem atividades com maquinários de médio a grande porte em que utilizam muitas vezes combustíveis fósseis para gerar energia para os equipamentos, como também lubrificá-los, e, se não houverem os necessários cuidados com os resíduos gerados, pode haver contaminação do solo e, conseqüentemente, haver também contaminação das águas subterrâneas.

Da mesma forma, as olarias utilizam grandes fornos que, para realizarem a elaboração das peças, empregam maquinários pesados que precisem de manutenção e utilizam-se também de combustível fóssil para sua operacionalização.

A seguir, na figura 18, pode-se observar o Mapa da Vulnerabilidade Natural com a área de influência das atividades potencialmente contaminantes nas zonas urbana e rural do município de Faxinal do Soturno.

Foram identificadas incongruências de uso pela interação de mapas temáticos. As avaliações e integrações temáticas possibilitam a identificação de áreas que podem constituir risco para a saúde pública, associado à vulnerabilidade dos aquíferos, ou mesmo, neste zoneamento ambiental, que podem indicar áreas de interesse econômico direto ou indireto, nas áreas urbana ou rural, recomendando-se práticas conservacionistas para o seu uso, conforme a legislação brasileira e a ética na boa administração pública recomendam.

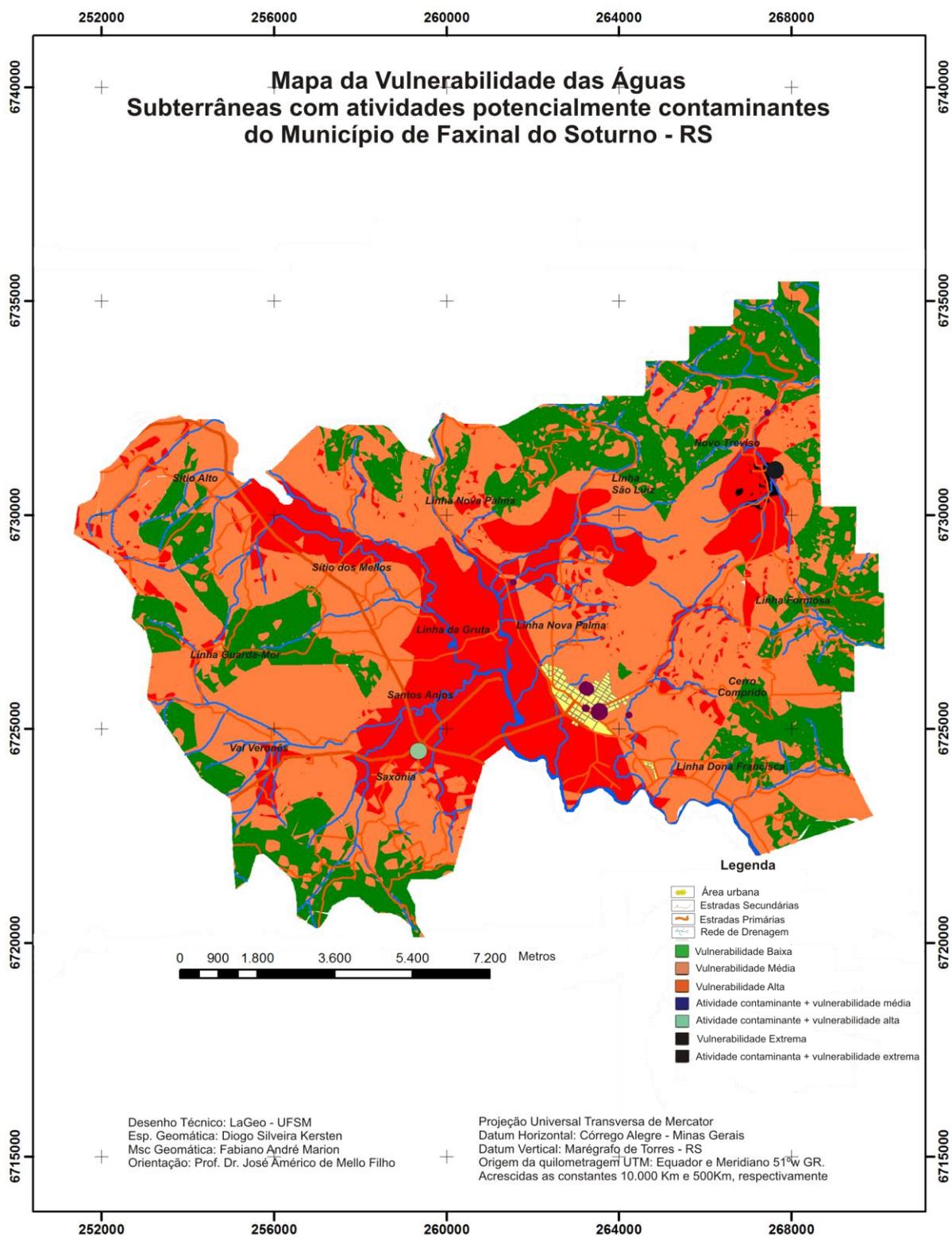


Figura 18. Mapa de vulnerabilidade das águas subterrâneas com atividades contaminantes.

### 4.3 Aplicação do SAGA na avaliação dos Riscos Ambientais

Os riscos ambientais são as formas de reação do ambiente ao uso inadequado, quer seja por alteração lenta e progressiva das condições ambientais, por fenômenos ou catástrofes naturais, ou por ação antrópica. Estimativas de riscos de diversos tipos podem ser combinadas, o que pode gerar a identificação de áreas críticas, com diferentes níveis de risco ambiental. Posteriormente, as áreas de risco foram confrontadas com as Áreas de Preservação Permanente (APP) e com a vulnerabilidade das águas subterrâneas.

Num primeiro momento, para avaliação das áreas de risco ambiental, realizou-se uma avaliação complexa entre o Mapa Geológico e o Mapa de Solos com base em Xavier da Silva e Zaidan, (2004), a partir desta interação formou-se o Mapa de Risco Ambiental.

Optou-se pela avaliação complexa uma vez que a tabela 7, facilita a classificação das combinações obtidas para posterior hierarquizar.

**Tabela 7. Avaliação complexa geologia e solos**

	<b>GEOLOGIA</b>	Fm. Botuc.	Dep. Fluviais	Fm. Serra Geral	Gp. Rorário
<b>SOLOS</b>	Notas	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>
APt	0	0	1	2	3
PVAb	8	4	NE*	6	7
SGe	16	8	9	10	11
MTf	24	12	13	14	15

NE\* Nota não Encontrada

Pela tabela das notas, montada a partir da lógica Booleana, definiram-se as seguintes classes de Risco:

Risco Extremo (notas encontradas na tabela 7 com fundo vermelho) - esta definição foi assim classificada devido às suas características, com relação ao solo por ser susceptível a erosão, e associado com a formação geológica de caráter arenítico a qual pode, além de provocar escorregamentos de encostas, ter característica de ser propícia à lixiviação superficial, pela qual poderá afetar a qualidade das águas subterrâneas.

Alto Risco (na tabela, as classes com fundo laranja) - mesmo estando em uma geologia constituída pelos derrames vulcânicos de Fm. Serra Geral, encontra-se em região com solo APt, o qual tem características de drenagem imperfeita e susceptibilidade à erosão, conforme Machado e Flitz, (2001).

Baixo Risco (com fundo na cor azul celeste) - as áreas de Baixo Risco são propícias para o uso e ocupação, porém com algumas restrições.

Áreas Propícias (com fundo na cor azul marinho) - as áreas propícias ao uso e ocupação são adequadas a esse fim por seus fatores ambientais manterem-se aptos e suportarem com mais eficiência as atividades antrópicas, sem comprometimento dos elementos naturais, fundamentais à qualidade de vida.

Na tabela 8 encontram-se as classes do Mapa de Risco Ambiental, com as respectivas áreas em hectares.

**Tabela 8. Classes dos riscos ambientais**

<b>Id</b>	<b>Classes</b>	<b>Área (ha)</b>
1	Risco Extremo	2.278,90
2	Alto Risco	4.636,92
3	Baixo Risco	5.738,59
4	Áreas Propícias a uso e ocupação	4.345,79

Para a elaboração do mapa de Área de Preservação Permanente foi realizada a combinação entre o Mapa de Declividade e o Mapa APP da Rede de Drenagem (Mata Ciliar), a fim de obter o Mapa de APP, uma vez que a legislação ambiental determina uma faixa marginal ao longo dos cursos d'água, assim como um raio de 50 metros nas nascentes, além das encostas acima de 45° de declividade.

A seguir são ilustradas, na tabela 9, as classes do Mapa de APP, suas aglutinações e suas áreas respectivas.

**Tabela 9. Mapa da Declividade com Mapa APP da Rede de Drenagem = APP**

<b>Id</b>	<b>Classes</b>	<b>Classes Aglutinadas</b>	<b>Áreas (ha)</b>
1	> 45°+APP_h	APP	30,61
2	25 - 45°+APP_h	APP	105,5
3	10 - 25°+APP_h	APP	179,97
4	0 - 10°+APP_h	APP	1212,45
5	> 45°+Fundo	APP	1863,69
6	25 - 45°+ Fundo	Área de Conservação	3286,04
7	10 - 25°+ Fundo	Uso Restrito	4282,51
8	0 - 10°+ Fundo	Área Propícia	6039,43

Fundo = área externa as faixas de APP por vegetação ciliar.

APP\_h: Área de Preservação Permanente das matas ciliares

Para classificação das Áreas de Preservação Permanente, foi selecionada como APP uma faixa de 100 metros ao longo do rio Soturno e de 30 metros, em ambos os lados dos demais rios, e uma área de 50 metros de raio para as nascentes, além das de declividade acima de 45°. Conforme legislação ambiental vigente, essas áreas são impróprias para qualquer tipo de uso e ocupação.

A tabela 10 mostra as aglutinações e suas respectivas áreas, estas encontradas pela integração do Mapa de APP com o Mapa das Áreas de Risco.

**Tabela 10. Classes aglutinadas da integração Mapa APP com Áreas de Risco**

<b>Id</b>	<b>Classes</b>	<b>Classes Aglutinadas</b>	<b>Áreas (ha)</b>
1	APP + Área de Conservação APP + Uso Restrito APP + Área Propícia	APP	3.376,775
2	Risco Extremo + Área de Conservação Risco Extremo + Uso Restrito Risco Extremo + Área Propícia	ÁREA INADEQUADA	2.781,895
3	Risco Alto + Área de Conservação Risco Alto + Uso Restrito Risco Alto + Área Propícia	ÁREA INADEQUADA	1.896,655
5	Risco Médio + Área de Conservação Risco Médio + Uso Restrito Risco Médio + Área Propícia	ÁREA COM RESTRIÇÃO DE USO	2.568,565
6	Risco Baixo + Área de Conservação Risco Baixo + Uso Restrito Risco Baixo + Área Propícia	ÁREA COM RESTRIÇÃO DE USO	4.601,635
7	Área propícia + Área Propícia	ÁREA PROPÍCIA	1.774,675

As classes aglutinadas com maior representação na área de estudo formaram a Área com Restrição de Uso, que ocupa 4.601,635 ha, ou cerca de 27% da área total do município.

Para a elaboração do Mapa Zoneamento das Áreas Próprias ao Uso e Ocupação, foi realizada a avaliação complexa entre o Mapa de Restrição ao Uso com o Mapa de Vulnerabilidade Natural, com o objetivo de alocar áreas de menor risco e áreas mais propícias tanto ao uso agrícola como a ocupação de residências, indústrias dentre outros. Esta avaliação pode ser observada na tabela 11.

**Tabela 11. Avaliação complexa para o Zoneamento das Áreas Propícias ao Uso e Ocupação no município de Faxinal do Soturno, RS.**

		RESTRIÇÃO AO USO				
		Classes →	Propícia	C/Restrição	Inadequada	APP
VULNERABILIDADE NATURAL	Classes	Notas →	0	2	4	6
	↓	↓				
	Baixa	0	0	1	2	3
	Média	8	4	5	6	7
	Alta	16	8	9	10	11
	Extrema	24	NE*	NE*	14	15

NE\* - Notas não Encontradas (12 e 13)

O Zoneamento Ambiental que determinou quais as áreas propícias ao uso e ocupação do solo, no município de Faxinal do Soturno, conforme a tabela 11, que expressa à avaliação complexa de integração temática por geoprocessamento, possibilitou identificarem-se as seguintes classes:

- **Área de Preservação Permanente (APP)**

As Áreas de Preservação Permanente, encontradas pela avaliação complexa conforme tabela 11, e identificadas na cor verde, são áreas de grande importância ecológica, cobertas ou não por vegetação nativa, que têm como função preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica dos taludes, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar da população humana, esta identificada no município como sendo a faixa marginal das matas ciliares, e as declividades acima de 45°, conforme Lei Federal nº 7.803/89.

- **Áreas Inadequadas ao Uso**

Estas áreas são inadequadas ao uso devido estarem situadas sob condições de Alta e de Extrema Vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas, associadas com áreas de conservação, áreas com declividades entre 25° e 45°, ou seja, constituídas por áreas íngremes, impedem o tráfego de máquinas agrícolas e o escoamento superficial é sempre muito rápido, podendo também os solos ser suscetíveis a erosão hídrica. Estão identificadas com a cor roxa, na tabela 11.

- **Alta Restrição ao Uso**

Mesmo estando em algumas áreas propícias ao uso, em função de declividade, estas áreas se encontram também em regiões com uma alta vulnerabilidade natural a contaminação dos aquíferos, como também em regiões inadequadas ao uso e podem, também, estar em áreas de conservação, conforme ilustrado na tabela 11, na cor vermelha

- **Média Restrição ao Uso**

Em laranja, conforme observada na tabela 11, pelo número 5, está identificada com média restrição por se alocar em área de média vulnerabilidade natural e em uma área que pode estar sob condições de conservação com uso restrito.

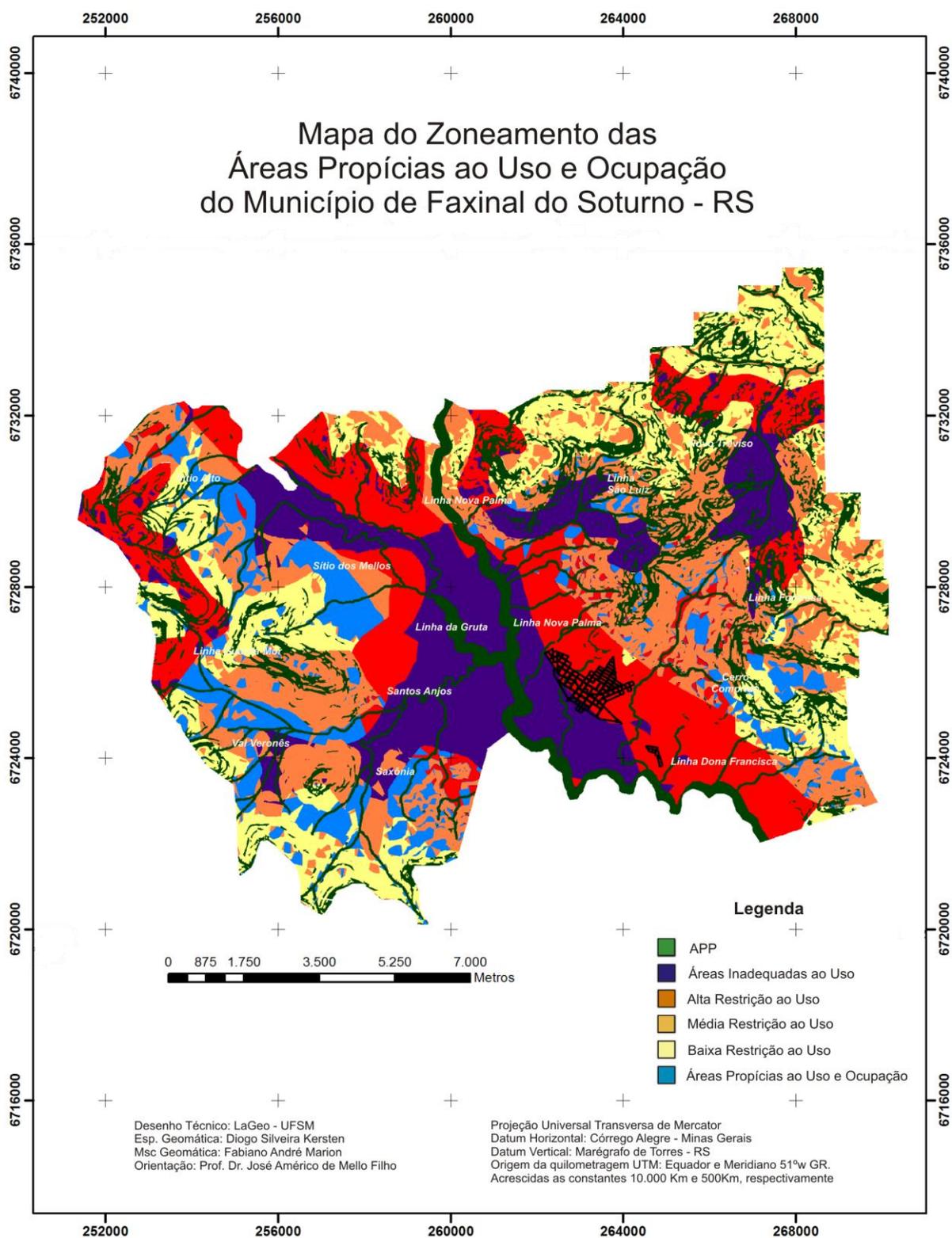
- **Baixa Restrição ao Uso**

Estas áreas inserem-se em regiões com uma baixa vulnerabilidade natural e em áreas classificadas com alguma restrição de uso. Identificadas na cor amarelo claro na tabela 11.

- **Áreas Propícias ao Uso e Ocupação**

São áreas de baixa declividade, e que não oferecem dificuldades ao desenvolvimento de atividades agrícolas, e também inserem-se em regiões classificadas como áreas propícias a ocupação, por ser também de baixa vulnerabilidade natural das águas subterrâneas. Está identificada com a cor azul, na tabela 11.

Para se permitir realizar os diagnósticos que indicaram o estado ambiental do município de Faxinal do Soturno, procedeu-se à identificação das reais condições ambientais, no contexto de vulnerabilidade dos recursos naturais, tanto para uso e ocupação urbana, quanto para avaliação da qualidade da água consumida pela população local. Formou-se, como resultado de várias análises e interações, o Mapa do Zoneamento das Áreas Propícias ao Uso e Ocupação no município. Este zoneamento pode ser visualizado na figura 19.



**Figura 19- Mapa do zoneamento das áreas propícias ao uso e ocupação.**

Para melhor compreensão das análises, foi realizada a quantificação das áreas de cada classe encontrada na avaliação (tabela12).

Por meio dela, identificou-se que somente 8,66% da área total do município estão aptos a destinação de uso e ocupação sem restrições, associada com uma baixa vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação.

Porém, com certos e rigorosos cuidados, pode àquela classe ser acrescida, para uso e ocupação, a classe de Baixa e Média Restrição, que unidas formam 37,06% da área municipal.

**Tabela 12. Classes com suas respectivas áreas**

CLASSES	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
APP	3.361,84	19,77
Área Inadequada ao Uso	2.697,19	15,86
Alta Restrição	3.171,80	18,65
Média Restrição	3.497,83	20,58
Baixa Restrição	2.800,34	16,48
Áreas Propícias ao Uso e Ocupação	1.471,22	8,66

Encontrou-se uma área de aproximadamente 20% do município como Áreas de Preservação Permanente, estas por representarem as matas ciliares e declividades acima de 45° que, são protegidas pela legislação ambiental.

As classes Área Inadequada ao Uso e a classe Alta Restrição ao Uso pelas análises e interações realizadas, são áreas inaptas para uso e ocupação urbana e rural, por serem áreas vulneráveis a contaminação dos recursos naturais, estarem em áreas de conservação, e representam uma área de 34,51% da área municipal.

Em primeira ordem a classe mais adequada ao uso e ocupação é Áreas Propícias ao Uso e Ocupação, que pelas combinações e avaliações dos recursos naturais foi à classe que teve maior segurança tanto para atenuar os potenciais de contaminação, como também são áreas com menores declividades, facilitando o desenvolvimento de atividades urbanas e rurais. Seguido das classes de Baixa Restrição e Média Restrição que, devem-se tomar medidas cautelosas rigorosas para um uso racional e atender um desenvolvimento sustentável, que representa 45,72% do município de Faxinal do Soturno.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ambiência em que vivem as populações humanas está em constantes mudanças, essas provocadas principalmente pela ação antrópica. Com estudos e pesquisas, será possível, com o apoio das instituições públicas, minimizar tais danos causados na ambiência, para uma situação sustentável.

O estudo realizado no Município de Faxinal do Soturno, básico para o planejamento de uso racional do espaço geográfico e, portanto, básico para a elaboração e configuração de Plano Diretor municipal, propôs alocar regiões propícias ao desenvolvimento, uso e ocupação além de indicar áreas com baixo risco ambiental e baixa vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos como sendo áreas mais indicadas a uso e ocupação.

Estes levantamentos estão associados à Política Nacional do Meio Ambiente, a qual dispõe de vários instrumentos para cumprir o seu objetivo que é o de preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida. Um deles é o zoneamento ambiental que, se bem elaborado e executado, contribuirá substancialmente no alcance objetivo. Contudo, para que haja maior eficiência na concretização desse objetivo, torna-se necessário que todos os elementos desse sistema operem de forma harmoniosa.

Por análise de contido no documento cartográfico da figura 19, que representa o Zoneamento das Áreas Propícias ao Uso e Ocupação, no município de Faxinal do Soturno, foram identificados 1.471,22 hectares que constituem áreas em primeira ordem para uso e ocupação, identificados pela cor azul, toda ela em baixa declividade, por ser esta uma área de menor risco à contaminação de ações antrópicas pelas variáveis ambientais estudadas.

Nas áreas classificadas de como sendo de Baixa e Média Restrição ao uso e ocupação, o estudo indica também como áreas para uso e ocupação, porém com algumas restrições de uso, pois são áreas com média e alta vulnerabilidade e em algumas regiões são áreas de conservação. Desta forma estão em segunda e terceira ordem de classificação, abrangendo uma área de 6298,17 hectares.

As áreas definidas como áreas de preservação permanente foram assim classificadas pelas suas características que foram declividades acima de 45° e

matas ciliares, sendo, portanto, áreas que não são destinadas a uso e ocupação, devendo estas ser preservadas e fiscalizadas para que não haja conflitos ambientais.

A cidade de Faxinal de Soturno pelas análises e interações procedidas chegou-se a conclusão que se insere em uma área de baixo risco por apresentar uma declividade entre 0 – 25° e uma vulnerabilidade média para vulnerabilidade das águas subterrâneas. Sendo de relevância realizar análises químicas da água subterrânea consumida pela população, uma vez que esta se encontram muitas vezes próximas da superfície terrestre.

As demais áreas não são aconselhadas para uso e ocupação pelos parâmetros avaliados nesse trabalho, pois requerem cuidados especiais, principalmente se forem destinadas às indústrias, (atividades potencialmente contaminantes), perfuração de poços tubulares ou atividades agrícolas que possam vir a modificar as condições de qualidade da água subterrânea.

Por conseguinte, torna-se importante a população local, tomar conhecimento de tais pesquisas que comprovam e descrevem as áreas de risco e vulnerabilidade. Gerando assim a eficiência das políticas públicas embasadas em dados científicos.

Com respeito à contaminação dos recursos hídricos subterrâneos vem se tornando uma preocupação cada vez maior para a população, em especial em grandes centros urbanos, em que ocorre um consumo indiscriminado destas e pelas perfurações indiscriminadas de poços sem licença e sem estudo prévio, o que pode oferecer risco de contaminação e exploração demasiada, conforme previsto na Lei Ambiental do Estado do Rio Grande do Sul Art. 134 e 136 as prefeituras municipais deverão manter atualizados os cadastros dos poços tubulares.

Esta pesquisa realizou esta sistematização em parceria com a vigilância sanitária municipal, o que representa um avanço no conhecimento das potencialidades e riscos de uso deste recurso hídrico.

Entretanto, a sua contaminação e exploração ainda continuam acontecendo em demasia. Estudos como este ajudam a alertar a população e os órgãos competentes à necessidade da conservação dos aquíferos, sempre lembrando que, após, contaminados, sua descontaminação torna-se difícil e onerosa e que, mesmo não apresentando vulnerabilidade significativa, um aquífero, quando exposto a sucessivas cargas contaminantes, torna-se vulnerável à contaminação.

Com o mapeamento da vulnerabilidade natural dos aquíferos, obtida através da aplicação com base no Modelo *GOD* e pesos do método *DRASTIC*, o qual relaciona fatores ligados ao meio natural, possibilitou a identificação de quatro classes de vulnerabilidade (vulnerabilidade baixa, vulnerabilidade média, vulnerabilidade alta e vulnerabilidade extrema) no município de Faxinal do Soturno. Os métodos utilizados mostraram resultados satisfatórios, e recomenda-se que o mesmo seja testado em diferentes áreas para comparar sua eficácia.

Desta maneira observou-se que diversos poços tubulares foram construídos em desacordo às normas técnicas da ABNT 12.212 e 12.244/2006 e representam riscos ao seu uso. Assim, cabe também ao Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia fiscalizar a execução de obras de perfuração de poços, a fim de efetivamente manter a excelência da quantidade e da qualidade desse recurso natural renovável.

De posse destas informações, podem-se identificar as áreas de maior susceptibilidade à contaminação frente a fontes potenciais de poluição, como pela formação geológica, o grau de confinamento do aquífero e a profundidade da lâmina de água associada a outros fatores naturais, assim, tem-se uma ferramenta de grande importância para a área de estudo, para alocar as áreas adequadas para novos poços ou para o desenvolvimento de atividades econômicas com potencial de poluição, que não vão inferir na qualidade dos recursos hídricos.

O município pode adotar medidas preventivas para a proteção de possíveis eventos que venham a contaminar os aquíferos ou a expansão e ocupação urbana evitando muitas vezes desmatamentos inadequados.

De posse dos mapas, foi elaborado o Mapa da Vulnerabilidade à Contaminação das Águas Subterrâneas, representado pela figura 17, de grande valia no ordenamento do uso e ocupação do solo, no qual é uma das responsabilidades dos Planos Diretores Municipais previsto no Estatuto das Cidades.

Propondo assim a locação de atividades potencialmente contaminantes em áreas de baixa vulnerabilidade, onde o terreno “as formações naturais” possa atenuar possíveis contaminantes, em conjunto com o Plano Diretor irá efetuar o uso racional do território e contribuir, dessa forma, na manutenção da qualidade dos recursos naturais para as atuais e futuras gerações, conforme especifica o Código Estadual do Meio Ambiente - Lei Estadual nº 11.520 de 03.08.2000.

Uma melhor caracterização do risco de contaminação das águas subterrâneas consiste, também, na associação e interação da vulnerabilidade natural do aquífero com as atividades desenvolvidas no solo ou em sub-superfície. Por isso, é extremamente importante, em estudos de vulnerabilidade de aquíferos, realizarem levantamentos das atividades potencialmente contaminantes, uma vez que a carga poluidora pode ser controlada e/ou modificada conforme prevê Resolução 396/2008 (CONAMA).

Desta forma novas atividades poluidoras a serem implantadas deverão seguir as sugestões apresentadas na pesquisa, buscando adequarem-se a legislação federal e estadual.

Neste ramo pode-se de posse do geoprocessamento, interrelacionar as informações coletadas a campo como as adquiridas com o município, pois, além de possibilitar a identificação das áreas vulneráveis pela integração de variáveis ambientais, os mesmos servem para realizar a interação da vulnerabilidade natural com as áreas de influência das atividades potencialmente contaminantes.

Vale salientar que a cidade de Faxinal do Soturno encontra-se em uma área de vulnerabilidade média, observado neste trabalho nas avaliações realizadas no SAGA, sendo uma área não iminente de preocupação, como é o caso da vulnerabilidade extrema que se sugere medidas mitigadoras imediatas. No município ocorrem atividades potencialmente contaminantes na área urbana, como o cemitério, hospital e postos de combustíveis, que vale avaliar a área de possível vulnerabilidade, área de influência, observada pelos *buffers* gerado pelo aplicativo ArcGis ArcMap 9.2 observados nas figuras 14 e 15.

Porém há uma área com vulnerabilidade extrema no limite municipal, esta locada na zona rural, que se encontram moradores. É, portanto, de primeira ordem a realizar as avaliações das águas consumidas pela população da localidade de Novo Treviso, a nordeste do município de Faxinal do Soturno.

O zoneamento das áreas propícias ao uso e ocupação é de primeira importância, pois constitui a base para expansões da área urbanizada, futuros empreendimentos industriais, uso de atividades agrícolas, atividades relacionadas ao turismo municipal, dentre outras que sejam de interesse municipal, estas devem estar inclusas no planejamento municipal.

Os resultados obtidos nesta pesquisa são importantes para o planejamento municipal, uma vez que fornecem subsídios para a gestão ambiental e apoio na

definição de futuras áreas de expansão, localização de áreas de riscos ambientais, identificação de áreas críticas, etc. Assim, poderão servir como subsídio imprescindível ao Plano Diretor de Faxinal do Soturno – RS, o qual se encontra em fase de implantação.

Desta forma conclui-se que os objetivos propostos foram parcialmente concluídos, salientando a dificuldade de execução dos trabalhos de campo como cadastro de poços tubulares com apoio parcial de veículo da vigilância sanitária municipal.

É importante continuar a pesquisa no município, tanto para atender às exigências sanitárias como às normas estaduais e federais que regulamentam a construção e elaboração de novos empreendimentos no município de Faxinal do Soturno, RS.

## 6 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ANA - Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília: ANA, 2005.

ANDREOLA, F. et al. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Rocha Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 857-865, jul./ago. 2000.

ABNT NBR 12244 e 12212. **Poço tubular – construção de poço tubular para captação de água subterrânea**, 2006.

ALLER, L., et al. **A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings: NWWA/EPA**. 1987. (Series, EPA-600/2-87-0350).

ARAÚJO, L. M.; FRANÇA, A. B.; POTER, P. E. – **Aquífero gigante do MERCOSUL no Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai; mapas hidrogeológico das formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do sul, Buena vista, Misiones e Tacaurémbo. Mapas**. Curitiba: UFPR / PETROBRÁS, 1995, 16 p.

ASSAD E. D., SANO E. E. – **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura – 2. ed.**, Brasília: EMBRAPA – SPI / EMBRAPA-CPAC, 1998.

BRASIL. CONAMA, **Resolução nº 396**, de 3 de abril de 2008, no DOU nº 066, em 07/04/2008.

\_\_\_\_\_. CONDEMA, **Processo n.º 013664-05.00/00-2**, Porto Alegre, 2 de julho de 2007.

\_\_\_\_\_. DECRETO Nº 5.440, DE 4 de maio DE 2005, publicado no DOU. de 05.5.2005.

\_\_\_\_\_. **Portaria do Ministério da Saúde nº 518/2004**, publicada pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

\_\_\_\_\_. CONAMA. **Resolução n. 303**, de 20 de março de 2002, DOU nº 90, de 13 de maio de 2002.

\_\_\_\_\_. CONAMA, **Resolução nº 273/2000**, Publicada no DOU nº 5, de 8 de janeiro de 2001, Seção 1.

\_\_\_\_\_. **Resolução Nº 15**, DE 11 DE JANEIRO DE 2001. Conselho nacional de recursos hídricos. Publicada no DOU de 22 de janeiro de 2001.

\_\_\_\_\_. CONAMA, **Resoluções n<sup>os</sup> 001**, de 23 de janeiro de 1986 e 237, de 19 de dezembro de 1997.

\_\_\_\_\_. **Lei Federal Nº 7.803** de 15 DE AGOSTO DE 1989, DOU Pub. 20/07/1989.  
 \_\_\_\_\_. Ministério da Agricultura. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul**. Recife: convênio MA/DPP – SA/ DRNR, 1973. 431 p. (Boletim Técnico, 30).

BRILHA, J. B. R, **Materiais e Recursos Geológicos**. Dep. de Ciências da Terra – Universidade do Minho – Portugal, 2007, 21 p.

CARRARO, C. C.; GAMERMANN, N.; EICK, N. C. **Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS/Instituto de Geociências, 1974. 29 p.

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução Nº 22, de 24 de maio de 2002**.

CPRM - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. Diretoria de Administração e Finanças. APP - **Análise de performance profissional - Ações Recomendadas**. Rio de Janeiro: Departamento de Recursos Hídricos, 1995. 42 p.

\_\_\_\_\_. **SIAGAS**. Disponível em: <<http://siagas.cprm.gov.br/wellshow/indice>>. Acesso em 27 jul. 2008.

DAVIS JÚNIOR, C. A., FONSECA, F. T. **Assessing the Certainty of Locations Produced by an Address Geocoding System**. [New York]: Springer, 2007. p. 103-129. (Geoinformática, v.11).

DE BIASE, M. A Carta clinográfica. Os métodos de representação e elaboração. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, n. 6, p. 45-61, 1992.

FAVILLA, C. A. C.; GRAZIA, C. A.; WILDNER, W. **Mapeamento geológico integrado da Bacia Hidrográfica do Guaíba**: Folha Santa Maria. Porto Alegre: Secretaria da Coordenação e Planejamento / Fundo Pró-Guaíba/CPRM, 1998.

FEE - Fundação de Economia e Estatística, Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em:  
[http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/resumo/pg\\_municipios\\_detalhe.php?municipio=Faxinal+do+Soturno](http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/resumo/pg_municipios_detalhe.php?municipio=Faxinal+do+Soturno). Acesso março 2009.

FOSTER, S. et al. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. São Paulo: SERVMAR, 2006. 114 p.

FOSTER, S.; HIRATA, R. C. A. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas**. São Paulo: Instituto Geológico, 2003.

FOSTER, S.; HIRATA, R. C. A. **Determinação de riscos de contaminação das águas subterrâneas**: um método baseado em dados existentes. São Paulo: Instituto Geológico, 1983. 87 p. (Boletim, n. 10).

FOSTER, S.; FOSTER, V. The economic dimension of aquifer protection or putting a price on groundwater pollution. **Groundwater economics**. Barcelona, 1987.

FRANÇA, G. V. **Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba**. 1968. 265 f(. Tese de Doutorado). Escola de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GASTMANS, D.; KIANG, C. H. Avaliação da hidrogeologia e hidroquímica do sistema aquífero guarani (SAG) no estado de Mato Grosso do Sul. **Águas Subterrâneas**, v. 19, n. 1, p. 35-48, jan./abr. 2005.

GIARDIN, A.; FACCINI, U. F. Complexidade hidroestratigráfica e estrutural do Sistema Aquífero Guarani: abordagem metodológica aplicada ao exemplo da área de Santa Maria-RS, Brasil. **Águas Subterrâneas**, v. 18, n.1 p 39 -54, jan./abr. 2004.

GUERRA, A. T. **Dicionário geológico-geomorfológico**. 7 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1987. 446 p.

HIRATA, R. C. A. Carga contaminante y peligros a las aguas subterráneas, **Revista Latino-Americana de Hidrogeologia**, n.2, p. 81-90, 2002.

KARMANN, I. Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA W. et al. (Org). **Decifrando a terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p. 113 - 138.

KERSTEN, D. S. **Educação ambiental técnica: clubes de ecologia e oficinas ambientais estudo de caso: município de Itaara – RS**. 2008. 60 f. Monografia (Especialização em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

KÖEPPEN, W. **Climatologia**: Con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478 p.

LEPSCH, I. F., et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade brasileira de Ciência do Solo, 1983, 175 p.

MACHADO, M. L. L.; FLITZ, P. R. **Mapa de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**: Geoprocessamento. Porto Alegre: Divisão Técnica EMATER-RS, 2001.

MACHADO, C. J. S. (Org.), **Gestão de água doce**: usos múltiplos, políticas públicas e exercício da cidadania no Brasil. Rio de Janeiro: UERJ, 2002.

MARION, F. **Avaliação da Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas por Geoprocessamento, no Campus da UFSM – RS**. 2009. 95 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MARION, F. A. et al. Zoneamento de proteção de aquíferos a partir de variáveis ambientais para o município de Itaara-RS, por geoprocessamento. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS, 15., 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: AGB, 2008. 1CD-ROM.

MARION, F. A.; CAPOANE, V.; SILVERIO DA SILVA, J. L. Avaliação da qualidade da água subterrânea em poço no Campus da UFSM, Santa Maria - RS. **Ciência & Natura**. Santa Maria, v. 29, n. 1, p 97 – 109, jun. 2007,.

MATOS, B. A. Avaliação da ocorrência e do transporte de microorganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo. 2001. 172 f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

MELLO FILHO, J. A. **Qualidade de vida na região da Tijuca, RJ, por geoprocessamento**. 2003. 288 f. Tese (Doutorado em Geografia – Geoprocessamento) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MELLO FILHO, J. A. de; XAVIER DA SILVA, J.; ABDO, O. E. Segurança e qualidade de vida na região da Tijuca, RJ. **Revista Geomática**. Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 19-32, jul/dez. 2006.

MORAES, E. C. de. **Fundamentos de sensoriamento remoto**. São José dos Campos: Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002.

MONIZ, A. C. **Elementos de Pedologia**. São Paulo: Poligno, 1972. 459 p.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. Belo Horizonte: Ed. da Autora, 2003 p. 8.

MÜLLER FILHO, I. L. **Notas para o Estudo da Geomorfologia do Rio Grande do Sul, Brasil**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 1970.

OLIVEIRA, A. M. S. et al. **Geologia de engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998, 573 p.

PAZ, V. P. da S. et al. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 465-473. jul./set. 2000.

POPP, J. H. **Geologia geral**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos Científicos, 1987, 291 p..

POTAPOVA M. S. Geology as a historical science of nature. In: **The Interaction of Sciences in the study of the Earth**. Moscou: Progress. 1968. p. 117-126.

RADAM BRASIL. **Levantamento de recursos naturais**. Rio de Janeiro: IBGE, 1986. v. 33.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente. **Código estadual do meio ambiente**. lei estadual nº 11.520 de 03.08.2000. Porto Alegre: SEMA/SEMA/FZB, 2000. 107 p.

- ROCHA, J. S. M. da; GARCIA, S. M.; ATAIDES, P. R. V.. **Manual de avaliações de impactos e passivos ambientais**. 2. ed. Santa Maria: Ed. Palloti, 2005. 479 p.
- ROCHA, J. S. M.; KURTZ, S. M. **Manejo integrado de bacias hidrográficas**. 4. ed. Santa Maria: UFSM CCR/UFSM, 2001. 181 p.
- ROCHA, J. S. M. . **Manual de Projetos Ambientais**. 1. ed. Brasília-DF: Gráfica Supercor., 1997. v. 1. 423 p.
- SHERER, C. M. S.; FACCINI, U.F.; LAVINA, E. I. Arcabouço estratigráfico do mesozóico da bacia do Paraná. In HOLTZ, M E ROS, L .F **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 2002, p. 335-354
- SILVÉRIO DA SILVA, J. L. et al. **Caracterização de áreas de recarga e descarga do Sistema Aquífero Guarani em Santana/Rivera e Quaraí/Artigas e estudo da vulnerabilidade natural em Quaraí/Artigas**. Santa Maria: UFSM/UDeLaR, 2005. 200 p.
- SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; MAZIERO, L.; SANTOS, E. F. dos. Impactos da atividade humana sobre o solo - Aquíferos. In: FÓRUM SOLOS E AMBIENTE, 1., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Pallotti, 2004. p. 145-167.
- STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre - EMATER/RS; UFRGS, 2002. p 107.
- STRECK, E. V.; et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER-ASCAR, 2008. 222 p.
- XAVIER DA SILVA, J.; ZAIDAN, R. T. (Org.). **Geoprocessamento & Análise Ambiental: aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 363 p.
- XAVIER DA SILVA, J.; **Geoprocessamento para análise ambiental**. Rio de Janeiro: Ed. do autor, 2001. 227 p.
- XAVIER DA SILVA, J.; CARVALHO FILHO, L. M. Sistemas de Informação Geográfica: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA SOBRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 4., 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1993.
- ZANNON, D. **Mapa pictórico qualitativo e a mobilidade da população no município de Faxinal do Soturno**. 1999. 71 f. Monografia (graduação em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- ZOBY, J. L. G.; OLIVEIRA, F. R. **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2005. Disponível em: <[http://www.ana.gov.br/pnrh\\_novo/documentos/panorama.pdf](http://www.ana.gov.br/pnrh_novo/documentos/panorama.pdf)>. Acesso em 16 dez. 2008

## **7 ANEXOS**

**ANEXO 1** – Banco de dados dos 28 poços utilizados na pesquisa, 16 cadastrados em campo e 12 obtidos do SIAGAS/CPRM.

**Tabela Anexo 1** - Banco de dados dos 28 poços utilizados na pesquisa, 16 cadastrados em campo e 12 obtidos do SIAGAS/CPRM.

Poço	Local	Coord. N (UTM)	Coord. E (UTM)	Cota (m)	NE (m)	Sup. Pot (Cota - NE)
001	Santos Anjos	259115	6724468	76	14,3	61,7
002	Santos Anjos	259194	6724516	66	11,55	54,45
003	Santos Anjos	259290	6724444	64	14,17	49,83
004	Santos Anjos	258657	6724391	66	14,8	51,2
005	Sítio dos Melo	257300	6728672	72	16	56
006	Sítio Alto	254478	6730472	104	22	82
007	Sítio Alto Chapadão	252054	6728917	428	18	410
008	Sítio Alto Gruta	253422	6731148	120	5	115
009	Sítio Alto – Linha Savegnago	254753	6731866	85	20,6	64,4
010	Linha São Luiz	263137	6729864	72	12	60
011	Sítio Alto	259944	6731748	62	18	44
012	Colonial	268322	6727653	205	17,3	187,7
013	Sítio dos Melo	258881	6726900	69	15,2	53,8
014	Novo Treviso	267529	6732466	262	28,8	233,2
015	Colonial	273093	6729632	63	17,3	45,7
016	Santos Anjos	269172	6726849	193	19,5	173,5
430000769	Sítio dos Melo	255200	6730300	72	4	68
430000770	Sítio dos Melo	257700	6727900	68	22	46
4300001028	Sítio dos Melo	257300	6728800	64	12	52
4300001029	Sítio dos Melo	257100	6729100	67	8	59
4300007750	Sede	262907	6726150	68	11	57
4300007751	Sede	262538	6726105	98	9	89
4300007752	Sede	264724	6726139	92	9,78	82,22
4300007753	Linha Colonial	264780	6726233	97	10,77	86,23
4300007754	Linha Dona Francisca	267447	6723588	67	18,99	48,01
4300007755	Santos Anjos	258838	6724578	70	12,2	57,8
4300007757	Novo Treviso	267392	6731193	196	0,3	195,7
4300007763	Sítio Alto	254466	6730478	88	34,73	53,27

**ANEXO 2** – Relatório das avaliações geradas no aplicativo SAGA:

## Relatório das Avaliações

Combinações que originaram a nota final: 002

Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	% área do mapa final
1	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
1	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
1	[004] 22,9 - 29	2	30	0,60			
1	[004] PVAB	4	25	1,00 = 2,35	46279 (462,790000)	70,680	1,315
2	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
2	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
2	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
2	[005] SGE	3	25	0,75 = 2,40	3298 (32,980000)	5,037	0,094
3	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
3	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
3	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
3	[006] MTF	3	25	0,75 = 2,40	15900 (159,000000)	24,283	0,452

Combinações que originaram a nota final: 003

Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	% área do mapa final
1	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
1	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
1	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
1	[004] PVAB	4	25	1,00 = 2,65	48728 (487,280000)	14,783	1,384
2	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
2	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
2	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
2	[007] APT	6	25	1,50 = 3,15	29113 (291,130000)	8,832	0,827
3	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
3	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
3	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
3	[004] PVAB	4	25	1,00 = 3,25	61863 (618,630000)	18,768	1,757
4	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
4	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
4	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
4	[005] SGE	3	25	0,75 = 3,00	6743 (67,430000)	2,046	0,192
5	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
5	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
5	[004] 22,9 - 29	2	30	0,60			
5	[006] MTF	3	25	0,75 = 2,70	227 (2,270000)	0,069	0,006

6	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
6	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
6	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
6	[004] PVAB	4	25	1,00 = 3,25	19750 (197,500000)	5,992	0,561
7	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
7	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
7	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
7	[005] SGE	3	25	0,75 = 3,00	8774 (87,740000)	2,662	0,249
8	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
8	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
8	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
8	[006] MTF	3	25	0,75 = 3,00	88398 (883,980000)	26,818	2,511
9	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
9	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
9	[004] 22,9 - 29	2	30	0,60			
9	[004] PVAB	4	25	1,00 = 2,65	4280 (42,800000)	1,298	0,122
10	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
10	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
10	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
10	[004] PVAB	4	25	1,00 = 2,95	9937 (99,370000)	3,015	0,282
11	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
11	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
11	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
11	[005] SGE	3	25	0,75 = 2,70	363 (3,630000)	0,110	0,010
12	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
12	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
12	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
12	[006] MTF	3	25	0,75 = 2,70	2869 (28,690000)	0,870	0,082
13	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
13	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
13	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
13	[007] APT	6	25	1,50 = 3,45	4971 (49,710000)	1,508	0,141
14	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
14	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
14	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
14	[005] SGE	3	25	0,75 = 3,30	1867 (18,670000)	0,566	0,053
15	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
15	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
15	[004] 22,9 - 29	2	30	0,60			
15	[006] MTF	3	25	0,75 = 3,00	109 (1,090000)	0,033	0,003

16	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45				
16	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20				
16	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90				
16	[005] SGE	3	25	0,75 = 3,30	7494 (74,940000)	2,274	0,213	
17	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45				
17	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20				
17	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90				
17	[006] MTF	3	25	0,75 = 3,30	26147 (261,470000)	7,933	0,743	
18	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75				
18	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60				
18	[004] 22,9 - 29	2	30	0,60				
18	[004] PVAB	4	25	1,00 = 2,95	134 (1,340000)	0,041	0,004	
19	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75				
19	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60				
19	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90				
19	[004] PVAB	4	25	1,00 = 3,25	2958 (29,580000)	0,897	0,084	
20	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75				
20	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60				
20	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90				
20	[005] SGE	3	25	0,75 = 3,00	39 (0,390000)	0,012	0,001	
21	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75				
21	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60				
21	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90				
21	[006] MTF	3	25	0,75 = 3,00	3975 (39,750000)	1,206	0,113	
22	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75				
22	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20				
22	[004] 22,9 - 29	2	30	0,60				
22	[006] MTF	3	25	0,75 = 3,30	879 (8,790000)	0,267	0,025	

**Combinações que originaram a nota final: 004**

Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	%	área do mapa final
1	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15				
1	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60				
1	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50				
1	[007] APT	6	25	1,50 = 3,75	49221 (492,210000)	8,372	1,398	
2	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15				
2	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60				
2	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10				
2	[004] PVAB	4	25	1,00 = 3,85	27036 (270,360000)	4,599	0,768	

3	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
3	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
3	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10			
3	[007] APT	6	25	1,50 = 4,35	5992 (59,920000)	1,019	0,170
4	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
4	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
4	[008] 1,5 - 4,5	9	30	2,70			
4	[004] PVAB	4	25	1,00 = 4,45	704 (7,040000)	0,120	0,020
5	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
5	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
5	[004] 22,9 - 29	2	30	0,60			
5	[004] PVAB	4	25	1,00 = 4,15	6887 (68,870000)	1,171	0,196
6	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
6	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
6	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
6	[004] PVAB	4	25	1,00 = 4,45	33089 (330,890000)	5,628	0,940
7	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
7	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
7	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
7	[006] MTF	3	25	0,75 = 4,20	28171 (281,710000)	4,792	0,800
8	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
8	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
8	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
8	[007] APT	6	25	1,50 = 3,75	61649 (616,490000)	10,486	1,751
9	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
9	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
9	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
9	[004] PVAB	4	25	1,00 = 3,85	4033 (40,330000)	0,686	0,115
10	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
10	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
10	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
10	[005] SGE	3	25	0,75 = 3,60	16059 (160,590000)	2,732	0,456
11	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
11	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
11	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
11	[006] MTF	3	25	0,75 = 3,60	10848 (108,480000)	1,845	0,308
12	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
12	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
12	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
12	[007] APT	6	25	1,50 = 4,35	38314 (383,140000)	6,517	1,088

13	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
13	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
13	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10			
13	[005] SGE	3	25	0,75 = 4,20	1166 (11,660000)	0,198	0,033
14	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
14	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
14	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10			
14	[006] MTF	3	25	0,75 = 4,20	4394 (43,940000)	0,747	0,125
15	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
15	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
15	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
15	[005] SGE	3	25	0,75 = 3,60	3208 (32,080000)	0,546	0,091
16	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
16	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
16	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
16	[006] MTF	3	25	0,75 = 3,60	1448 (14,480000)	0,246	0,041
17	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
17	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
17	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
17	[007] APT	6	25	1,50 = 4,35	10952 (109,520000)	1,863	0,311
18	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
18	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
18	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
18	[005] SGE	3	25	0,75 = 4,20	105 (1,050000)	0,018	0,003
19	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
19	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
19	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
19	[006] MTF	3	25	0,75 = 4,20	750 (7,500000)	0,128	0,021
20	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
20	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
20	[004] 22,9 - 29	2	30	0,60			
20	[004] PVAB	4	25	1,00 = 3,70	11562 (115,620000)	1,967	0,328
21	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
21	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
21	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
21	[004] PVAB	4	25	1,00 = 4,00	16780 (167,800000)	2,854	0,477
22	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
22	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
22	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
22	[005] SGE	3	25	0,75 = 3,75	443 (4,430000)	0,075	0,013

23	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
23	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
23	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
23	[006] MTF	3	25	0,75 = 3,75	3606 (36,060000)	0,613	0,102
24	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
24	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
24	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
24	[007] APT	6	25	1,50 = 4,50	6116 (61,160000)	1,040	0,174
25	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
25	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
25	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
25	[005] SGE	3	25	0,75 = 4,35	1914 (19,140000)	0,326	0,054
26	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
26	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
26	[004] 22,9 - 29	2	30	0,60			
26	[006] MTF	3	25	0,75 = 4,05	1841 (18,410000)	0,313	0,052
27	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
27	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
27	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
27	[005] SGE	3	25	0,75 = 4,35	7422 (74,220000)	1,262	0,211
28	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
28	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
28	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
28	[006] MTF	3	25	0,75 = 4,35	29322 (293,220000)	4,988	0,833
29	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
29	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
29	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
29	[004] PVAB	4	25	1,00 = 3,55	8404 (84,040000)	1,430	0,239
30	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
30	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
30	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
30	[007] APT	6	25	1,50 = 4,05	7427 (74,270000)	1,263	0,211
31	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
31	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
31	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10			
31	[004] PVAB	4	25	1,00 = 4,15	1185 (11,850000)	0,202	0,034
32	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
32	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
32	[004] 22,9 - 29	2	30	0,60			
32	[004] PVAB	4	25	1,00 = 4,45	1001 (10,010000)	0,170	0,028

33	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
33	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
33	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
33	[006] MTF	3	25	0,75 = 4,50	5857 (58,570000)	0,996	0,166
34	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
34	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
34	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
34	[004] PVAB	4	25	1,00 = 3,55	7129 (71,290000)	1,213	0,203
35	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
35	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
35	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
35	[007] APT	6	25	1,50 = 4,05	19469 (194,690000)	3,312	0,553
36	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
36	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
36	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
36	[004] PVAB	4	25	1,00 = 4,15	2432 (24,320000)	0,414	0,069
37	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
37	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
37	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
37	[005] SGE	3	25	0,75 = 3,90	12791 (127,910000)	2,176	0,363
38	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
38	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
38	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
38	[006] MTF	3	25	0,75 = 3,90	8993 (89,930000)	1,530	0,255
39	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
39	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
39	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10			
39	[005] SGE	3	25	0,75 = 4,50	105 (1,050000)	0,018	0,003
40	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
40	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
40	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10			
40	[006] MTF	3	25	0,75 = 4,50	882 (8,820000)	0,150	0,025
41	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
41	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
41	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
41	[005] SGE	3	25	0,75 = 3,90	1475 (14,750000)	0,251	0,042
42	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
42	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
42	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
42	[006] MTF	3	25	0,75 = 3,90	2357 (23,570000)	0,401	0,067

43	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45				
43	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80				
43	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50				
43	[005] SGE	3	25	0,75 = 4,50	130 (1,300000)	0,022	0,004	
44	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45				
44	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80				
44	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50				
44	[006] MTF	3	25	0,75 = 4,50	1101 (11,010000)	0,187	0,031	
45	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
45	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60				
45	[004] 22,9 - 29	2	30	0,60				
45	[004] PVAB	4	25	1,00 = 3,55	2 (0,020000)	0,000	0,000	
46	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
46	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60				
46	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90				
46	[004] PVAB	4	25	1,00 = 3,85	83 (0,830000)	0,014	0,002	
47	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
47	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60				
47	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90				
47	[006] MTF	3	25	0,75 = 3,60	1856 (18,560000)	0,316	0,053	
48	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
48	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60				
48	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90				
48	[007] APT	6	25	1,50 = 4,35	1190 (11,900000)	0,202	0,034	
49	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
49	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60				
49	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50				
49	[004] PVAB	4	25	1,00 = 4,45	207 (2,070000)	0,035	0,006	
50	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
50	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20				
50	[004] 22,9 - 29	2	30	0,60				
50	[006] MTF	3	25	0,75 = 3,90	1 (0,010000)	0,000	0,000	
51	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
51	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20				
51	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90				
51	[004] PVAB	4	25	1,00 = 4,45	1813 (18,130000)	0,308	0,052	
52	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
52	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20				
52	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90				
52	[005] SGE	3	25	0,75 = 4,20	10165 (101,650000)	1,729	0,289	

53	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35			
53	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
53	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
53	[006] MTF	3	25	0,75 = 4,20	4692 (46,920000)	0,798	0,133
54	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35			
54	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
54	[004] 22,9 - 29	2	30	0,60			
54	[006] MTF	3	25	0,75 = 4,50	58 (0,580000)	0,010	0,002
55	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
55	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
55	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
55	[007] APT	6	25	1,50 = 3,75	3690 (36,900000)	0,628	0,105
56	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
56	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
56	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
56	[004] PVAB	4	25	1,00 = 3,85	4413 (44,130000)	0,751	0,125
57	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
57	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
57	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
57	[005] SGE	3	25	0,75 = 3,60	812 (8,120000)	0,138	0,023
58	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
58	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
58	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
58	[007] APT	6	25	1,50 = 4,35	2228 (22,280000)	0,379	0,063
59	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
59	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
59	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10			
59	[004] PVAB	4	25	1,00 = 4,45	252 (2,520000)	0,043	0,007
60	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
60	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
60	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
60	[004] PVAB	4	25	1,00 = 3,85	2846 (28,460000)	0,484	0,081
61	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
61	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
61	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
61	[005] SGE	3	25	0,75 = 3,60	10985 (109,850000)	1,869	0,312
62	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
62	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
62	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
62	[006] MTF	3	25	0,75 = 3,60	25786 (257,860000)	4,386	0,733

63	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
63	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
63	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
63	[007] APT	6	25	1,50 = 4,35	18565 (185,650000)	3,158	0,527
64	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
64	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
64	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
64	[004] PVAB	4	25	1,00 = 4,45	823 (8,230000)	0,140	0,023
65	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
65	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
65	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
65	[005] SGE	3	25	0,75 = 4,20	18892 (188,920000)	3,214	0,537
66	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
66	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
66	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
66	[006] MTF	3	25	0,75 = 4,20	8388 (83,880000)	1,427	0,238
67	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
67	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
67	[004] 22,9 - 29	2	30	0,60			
67	[006] MTF	3	25	0,75 = 3,90	576 (5,760000)	0,098	0,016
68	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
68	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
68	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
68	[005] SGE	3	25	0,75 = 4,20	1693 (16,930000)	0,288	0,048
69	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
69	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
69	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
69	[006] MTF	3	25	0,75 = 4,20	4107 (41,070000)	0,699	0,117

Combinações que originaram a nota final: 005

Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	% área do mapa final
1	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
1	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
1	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
1	[004] PVAB	4	25	1,00 = 5,05	17740 (177,400000)	5,441	0,504
2	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
2	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
2	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
2	[005] SGE	3	25	0,75 = 4,80	14564 (145,640000)	4,467	0,414

3	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
3	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
3	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
3	[006] MTF	3	25	0,75 = 4,80	7746 (77,460000)	2,376	0,220
4	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
4	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
4	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
4	[004] PVAB	4	25	1,00 = 4,60	11421 (114,210000)	3,503	0,324
5	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
5	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
5	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
5	[007] APT	6	25	1,50 = 5,10	10222 (102,220000)	3,135	0,290
6	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
6	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
6	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10			
6	[004] PVAB	4	25	1,00 = 5,20	3551 (35,510000)	1,089	0,101
7	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
7	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
7	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
7	[004] PVAB	4	25	1,00 = 4,60	9160 (91,600000)	2,810	0,260
8	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
8	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
8	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
8	[007] APT	6	25	1,50 = 5,10	32590 (325,900000)	9,996	0,926
9	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
9	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
9	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
9	[004] PVAB	4	25	1,00 = 5,20	2934 (29,340000)	0,900	0,083
10	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
10	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
10	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
10	[005] SGE	3	25	0,75 = 4,95	39169 (391,690000)	12,014	1,113
11	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
11	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
11	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
11	[006] MTF	3	25	0,75 = 4,95	8976 (89,760000)	2,753	0,255
12	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
12	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
12	[004] 22,9 - 29	2	30	0,60			
12	[006] MTF	3	25	0,75 = 4,65	394 (3,940000)	0,121	0,011

13	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
13	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
13	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
13	[005] SGE	3	25	0,75 = 4,95	22714 (227,140000)	6,967	0,645
14	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
14	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
14	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
14	[006] MTF	3	25	0,75 = 4,95	9682 (96,820000)	2,970	0,275
15	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
15	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
15	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10			
15	[007] APT	6	25	1,50 = 4,65	181 (1,810000)	0,056	0,005
16	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
16	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
16	[008] 1,5 - 4,5	9	30	2,70			
16	[004] PVAB	4	25	1,00 = 4,75	222 (2,220000)	0,068	0,006
17	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
17	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
17	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
17	[004] PVAB	4	25	1,00 = 4,75	4304 (43,040000)	1,320	0,122
18	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
18	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
18	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
18	[004] PVAB	4	25	1,00 = 5,35	1477 (14,770000)	0,453	0,042
19	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
19	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
19	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
19	[005] SGE	3	25	0,75 = 5,10	3301 (33,010000)	1,013	0,094
20	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
20	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
20	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
20	[006] MTF	3	25	0,75 = 5,10	2220 (22,200000)	0,681	0,063
21	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
21	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
21	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
21	[007] APT	6	25	1,50 = 4,65	20269 (202,690000)	6,217	0,576
22	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
22	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
22	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
22	[007] APT	6	25	1,50 = 4,65	5675 (56,750000)	1,741	0,161

23	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45				
23	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80				
23	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50				
23	[007] APT	6	25	1,50 = 5,25	56 (0,560000)	0,017	0,002	
24	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
24	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60				
24	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50				
24	[007] APT	6	25	1,50 = 4,95	34 (0,340000)	0,010	0,001	
25	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
25	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60				
25	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10				
25	[004] PVAB	4	25	1,00 = 5,05	130 (1,300000)	0,040	0,004	
26	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
26	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40				
26	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90				
26	[006] MTF	3	25	0,75 = 5,40	228 (2,280000)	0,070	0,006	
27	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
27	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20				
27	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90				
27	[007] APT	6	25	1,50 = 4,95	2011 (20,110000)	0,617	0,057	
28	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
28	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20				
28	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50				
28	[005] SGE	3	25	0,75 = 4,80	16830 (168,300000)	5,162	0,478	
29	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
29	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20				
29	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50				
29	[006] MTF	3	25	0,75 = 4,80	5295 (52,950000)	1,624	0,150	
30	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
30	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20				
30	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10				
30	[006] MTF	3	25	0,75 = 5,40	2581 (25,810000)	0,792	0,073	
31	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
31	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80				
31	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90				
31	[005] SGE	3	25	0,75 = 4,80	6337 (63,370000)	1,944	0,180	
32	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
32	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80				
32	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90				
32	[006] MTF	3	25	0,75 = 4,80	3483 (34,830000)	1,068	0,099	

33	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35			
33	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
33	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
33	[005] SGE	3	25	0,75 = 5,40	15019 (150,190000)	4,607	0,427
34	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35			
34	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
34	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
34	[006] MTF	3	25	0,75 = 5,40	2554 (25,540000)	0,783	0,073
35	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
35	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
35	[008] 1,5 - 4,5	9	30	2,70			
35	[004] PVAB	4	25	1,00 = 5,05	133 (1,330000)	0,041	0,004
36	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
36	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
36	[004] 22,9 - 29	2	30	0,60			
36	[004] PVAB	4	25	1,00 = 4,75	24 (0,240000)	0,007	0,001
37	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
37	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
37	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
37	[004] PVAB	4	25	1,00 = 5,05	3431 (34,310000)	1,052	0,097
38	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
38	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
38	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
38	[006] MTF	3	25	0,75 = 4,80	5566 (55,660000)	1,707	0,158
39	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
39	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
39	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
39	[005] SGE	3	25	0,75 = 5,40	508 (5,080000)	0,156	0,014
40	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
40	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
40	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
40	[006] MTF	3	25	0,75 = 5,40	132 (1,320000)	0,040	0,004
41	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
41	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
41	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
41	[007] APT	6	25	1,50 = 4,95	19704 (197,040000)	6,044	0,560
42	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
42	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
42	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10			
42	[005] SGE	3	25	0,75 = 4,80	2 (0,020000)	0,001	0,000

43	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
43	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
43	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10			
43	[006] MTF	3	25	0,75 = 4,80	1841 (18,410000)	0,565	0,052
44	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
44	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
44	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
44	[007] APT	6	25	1,50 = 4,95	7552 (75,520000)	2,316	0,215
45	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
45	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
45	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
45	[005] SGE	3	25	0,75 = 4,80	1662 (16,620000)	0,510	0,047
46	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
46	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
46	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
46	[006] MTF	3	25	0,75 = 4,80	2077 (20,770000)	0,637	0,059
47	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
47	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
47	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10			
47	[005] SGE	3	25	0,75 = 5,40	48 (0,480000)	0,015	0,001
48	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
48	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
48	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10			
48	[006] MTF	3	25	0,75 = 5,40	273 (2,730000)	0,084	0,008

Combinações que originaram a nota final: 006

Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	% área do mapa final
1	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
1	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
1	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
1	[007] APT	6	25	1,50 = 5,55	23945 (239,450000)	6,718	0,680
2	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
2	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
2	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10			
2	[004] PVAB	4	25	1,00 = 5,65	15749 (157,490000)	4,418	0,447
3	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
3	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
3	[008] 1,5 - 4,5	9	30	2,70			
3	[004] PVAB	4	25	1,00 = 6,25	4630 (46,300000)	1,299	0,132

4	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
4	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
4	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10			
4	[007] APT	6	25	1,50 = 5,70	444 (4,440000)	0,125	0,013
5	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
5	[004] FORMAÇÃO SERRA GERAL	2	30	0,60			
5	[008] 1,5 - 4,5	9	30	2,70			
5	[004] PVAB	4	25	1,00 = 5,80	649 (6,490000)	0,182	0,018
6	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
6	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
6	[004] 22,9 - 29	2	30	0,60			
6	[004] PVAB	4	25	1,00 = 5,50	1135 (11,350000)	0,318	0,032
7	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
7	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
7	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
7	[004] PVAB	4	25	1,00 = 5,80	5285 (52,850000)	1,483	0,150
8	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
8	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
8	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
8	[006] MTF	3	25	0,75 = 5,55	6573 (65,730000)	1,844	0,187
9	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
9	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
9	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
9	[004] PVAB	4	25	1,00 = 6,40	2764 (27,640000)	0,775	0,079
10	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
10	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
10	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
10	[005] SGE	3	25	0,75 = 6,15	1804 (18,040000)	0,506	0,051
11	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
11	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
11	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
11	[006] MTF	3	25	0,75 = 6,15	1445 (14,450000)	0,405	0,041
12	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
12	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
12	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
12	[007] APT	6	25	1,50 = 5,70	33911 (339,110000)	9,514	0,963
13	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
13	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
13	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10			
13	[005] SGE	3	25	0,75 = 5,55	3556 (35,560000)	0,998	0,101

14	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
14	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20			
14	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10			
14	[006] MTF	3	25	0,75 = 5,55	3152 (31,520000)	0,884	0,090
15	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
15	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
15	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90			
15	[007] APT	6	25	1,50 = 5,70	11385 (113,850000)	3,194	0,323
16	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
16	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
16	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
16	[005] SGE	3	25	0,75 = 5,55	161682 (1616,820000)	45,359	4,593
17	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
17	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
17	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
17	[006] MTF	3	25	0,75 = 5,55	2035 (20,350000)	0,571	0,058
18	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
18	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
18	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
18	[007] APT	6	25	1,50 = 6,30	28510 (285,100000)	7,998	0,810
19	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
19	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
19	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10			
19	[005] SGE	3	25	0,75 = 6,15	9071 (90,710000)	2,545	0,258
20	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
20	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
20	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10			
20	[006] MTF	3	25	0,75 = 6,15	1107 (11,070000)	0,311	0,031
21	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
21	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
21	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
21	[007] APT	6	25	1,50 = 5,85	3695 (36,950000)	1,037	0,105
22	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
22	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
22	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10			
22	[004] PVAB	4	25	1,00 = 5,95	2603 (26,030000)	0,730	0,074
23	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
23	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
23	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10			
23	[006] MTF	3	25	0,75 = 5,70	2 (0,020000)	0,001	0,000

24	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
24	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40				
24	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90				
24	[004] PVAB	4	25	1,00 = 5,65	11 (0,110000)	0,003	0,000	
25	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
25	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40				
25	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50				
25	[004] PVAB	4	25	1,00 = 6,25	61 (0,610000)	0,017	0,002	
26	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
26	[006] GRUPO ROSÁRIO	4	30	1,20				
26	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50				
26	[007] APT	6	25	1,50 = 5,55	3381 (33,810000)	0,949	0,096	
27	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
27	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80				
27	[005] 15,2 - 22,9	3	30	0,90				
27	[007] APT	6	25	1,50 = 5,55	4214 (42,140000)	1,182	0,120	
28	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
28	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80				
28	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50				
28	[007] APT	6	25	1,50 = 6,15	4077 (40,770000)	1,144	0,116	
29	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
29	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80				
29	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10				
29	[005] SGE	3	25	0,75 = 6,00	2862 (28,620000)	0,803	0,081	
30	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35				
30	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80				
30	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10				
30	[006] MTF	3	25	0,75 = 6,00	9153 (91,530000)	2,568	0,260	
31	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75				
31	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40				
31	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50				
31	[004] PVAB	4	25	1,00 = 5,65	1181 (11,810000)	0,331	0,034	
32	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75				
32	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40				
32	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50				
32	[007] APT	6	25	1,50 = 6,15	4413 (44,130000)	1,238	0,125	
33	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75				
33	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40				
33	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10				
33	[004] PVAB	4	25	1,00 = 6,25	221 (2,210000)	0,062	0,006	

34	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
34	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
34	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
34	[007] APT	6	25	1,50 = 5,55	1744 (17,440000)	0,489	0,050

Combinações que originaram a nota final: 007

Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	% área do mapa final
1	[004] 18,1 - 21,29 %	1	15	0,15			
1	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
1	[009] 0 - 1,5	10	30	3,00			
1	[004] PVAB	4	25	1,00 = 6,55	61 (0,610000)	0,439	0,002
2	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
2	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
2	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
2	[007] APT	6	25	1,50 = 6,90	5978 (59,780000)	42,986	0,170
3	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
3	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
3	[007] 4,6 - 9	7	30	2,10			
3	[004] PVAB	4	25	1,00 = 7,00	5875 (58,750000)	42,245	0,167
4	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
4	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
4	[008] 1,5 - 4,5	9	30	2,70			
4	[004] PVAB	4	25	1,00 = 6,55	1367 (13,670000)	9,830	0,039
5	[006] 12,1 - 18 %	3	15	0,45			
5	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
5	[009] 0 - 1,5	10	30	3,00			
5	[004] PVAB	4	25	1,00 = 6,85	24 (0,240000)	0,173	0,001
6	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35			
6	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
6	[006] 9,1 - 15,2	5	30	1,50			
6	[007] APT	6	25	1,50 = 6,75	301 (3,010000)	2,164	0,009
7	[007] 2,1 - 6 %	9	15	1,35			
7	[007] DEPOSITOS ALUVIAIS	6	30	1,80			
7	[008] 1,5 - 4,5	9	30	2,70			
7	[006] MTF	3	25	0,75 = 6,60	4 (0,040000)	0,029	0,000
8	[008] 6,1 - 12 %	5	15	0,75			
8	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
8	[008] 1,5 - 4,5	9	30	2,70			
8	[004] PVAB	4	25	1,00 = 6,85	297 (2,970000)	2,136	0,008

Combinações que originaram a nota final: 008

Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	% área do mapa final
1	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
1	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
1	[008] 1,5 - 4,5	9	30	2,70			
1	[004] PVAB	4	25	1,00 = 7,60	2501 (25,010000)	96,750	0,071
2	[005] 0 - 2 %	10	15	1,50			
2	[005] FORMAÇÃO BOTUCATU	8	30	2,40			
2	[009] 0 - 1,5	10	30	3,00			
2	[004] PVAB	4	25	1,00 = 7,90	84 (0,840000)	3,250	0,002

#### Temas que fizeram parte desta Avaliação:

Arquivo	Peso
DECLIVIDADE	15
GEOLOGICO	30
NE	30
SOLO	25

Arquivo: DECLIVIDADE

Autor	Data	Resolução	Peso
	22/05/2009	10	15

Categ.	Legendas	Notas
0	FUNDO	BLOQUEADA
4	18,1 - 21,29 %	1
5	0 - 2 %	10
6	12,1 - 18 %	3
7	2,1 - 6 %	9
8	6,1 - 12 %	5

Arquivo: GEOLOGICO

Autor	Data	Resolução	Peso
	22/05/2009	10	15

Categ.	Legendas	Notas
0	FUNDO	BLOQUEADA
4	FORMAÇÃO SERRA GERAL	2
5	FORMAÇÃO BOTUCATU	8
6	GRUPO ROSÁRIO	4
7	DEPOSITOS ALUVIAIS	6

Arquivo: NE

Autor	Data	Resolução	Peso
	22/05/2009	10	15

Categ.	Legendas	Notas
0	FUNDO	BLOQUEADA
4	22,9 - 29	2
5	15,2 - 22,9	3
6	9,1 - 15,2	5
7	4,6 - 9	7
8	1,5 - 4,5	9
9	0 - 1,5	10

Arquivo: SOLO

Autor	Data	Resolução	Peso
	22/05/2009	10	15

Categ.	Legendas	Notas
0	FUNDO	BLOQUEADA
4	PVAB	4
5	SGE	3
6	MTF	3
7	APT	6

**Mapa Resultante**

AVALIAÇÕES FINAIS

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL DOS AQUÍFEROS NO MUNICÍPIO DE FAXINAL DO SOTURNO – RS

Arquivo: D:\PROJETO\_4ªCOLONIA\CIDADES\FAXINAL DO SOTURNO\MAPAS

SAGA\MAPAS NOVOS\MAPA 22 05\AVALIAÇÕES FINAIS.RS

Autor	Data	Resolução
<b>DIOGO</b>	<b>23/05/2009</b>	<b>10m</b>