

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

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS  
SUBTERRÂNEAS POR GEOPROCESSAMENTO, NO  
CAMPUS DA UFSM - RS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Fabiano André Marion**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2009**

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS  
SUBTERRÂNEAS POR GEOPROCESSAMENTO, NO  
CAMPUS DA UFSM - RS**

**por**

**Fabiano André Marion**

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**

**Marion, Fabiano André, 1984-**

**M341a**

Avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas por geoprocessamento, no Campus da UFSM – RS / por Fabiano André Marion ; orientador José Américo de Mello Filho. - Santa Maria, 2009.

89 f. ; il.

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

1. Geomática 2. Sistema Aquífero Guarani 3. SAGA 4. Recursos hídricos subterrâneos 5. Plano diretor 6. Vulnerabilidade natural I. Mello Filho, José Américo, orient. II. Título

CDU: 556.388:004.4

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

---

© 2009

Todos os direitos autorais reservados a Fabiano André Marion. A reprodução de partes ou o todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Rua dos Imigrantes, n. 634, Bairro Centro, Segredo, RS, 96910-000

Endereço Eletrônico: [fabiano\\_marion@yahoo.com.br](mailto:fabiano_marion@yahoo.com.br)

---

**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 DA VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS  
POR GEOPROCESSAMENTO, NO *CAMPUS* DA UFSM - RS**

elaborada por  
**Fabiano André Marion**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

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

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

**Elódio Sebem, Dr. (UFSM)**

**Carlos Alberto da Fonseca Pires, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, 26 de fevereiro de 2009.

## AGRADECIMENTOS

*Esta dissertação não seria realidade sem a colaboração de diversas pessoas. Muitos auxiliaram durante a sua elaboração. Por isso, talvez alguns não aparecerão nesta lista, mas deixo aqui o registro do meu agradecimento a todos.*

À Universidade Federal de Santa Maria e aos milhões de brasileiros que a mantêm pagando seus impostos, pela oportunidade de aperfeiçoamento pessoal, científico e profissional. Aos meus pais Ademar e Ermínia e minha madrinha Inês que sempre me apoiaram, juntamente com demais familiares.

Ao Professor/orientador José Américo, pela orientação, oportunidade, receptividade, carisma e amizade, pelas sugestões no decorrer do trabalho, conselhos e valiosos ensinamentos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geomática, pela oportunidade de aperfeiçoamento e conhecimentos transmitidos e, em especial, ao Prof. Argentino José Aguirre, pela amizade e pela realização da restituição aerofotogramétrica do *Campus* da UFSM, fundamental para a realização e qualificação deste trabalho.

Ao Prof. Felipe Martins Müller, Vice-Reitor da UFSM, pela concessão de bolsas de estudos para a realização desta pesquisa, à equipe de elaboração do Plano Diretor dos *Campi* da UFSM e, em especial, à Prof<sup>a</sup> Giane de Campos Grigoletti (coordenadora) e à Daiane Regina Valentini, também colega de laboratório e de curso. Ao Prof. José Luiz Silvério da Silva do Depto de Geociências, pela ajuda na realização do trabalho, empréstimo dos equipamentos, sugestões e disposição.

Ao Colégio Politécnico da UFSM pelo empréstimo dos equipamentos e disposição de transporte e, em especial, à equipe do Projeto SIG-UFSM, coordenada pelo Prof. Elódio Sebem, pelo apoio na realização dos trabalhos de campo e sugestões no trabalho, assim como aos bolsistas: Leonardo, Ruiz, Régis, Basin, Ricardo e Leopoldo.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Análise Ambiental por Geoprocessamento (Lageo): Danielli, Pierre, Valéria, Paulo, José Augusto, Fernanda e, em especial, ao Atahualpa e ao Diogo que auxiliaram nos levantamentos de campo. Agradeço também ao colega de mestrado Fabiano Brum, pela ajuda no tratamento dos dados.

Aos funcionários técnico-administrativos, Wanderley e André, pela atenção e competência junto à secretaria do Programa de Pós-Graduação em Geomática e ao Chefe de manutenção do Setor de Hidráulica e Saneamento do *Campus* da UFSM, Sr. Claudio da Rosa, pela disponibilidade, informações e apoio na realização do levantamento dos poços.

*“O software é apenas uma ferramenta,  
cujo uso adequado depende fundamentalmente  
do conhecimento, cujo depositário é o homem”.*

Dr<sup>a</sup> Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo.

## RESUMO

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

### **AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POR GEOPROCESSAMENTO, NO CAMPUS DA UFSM - RS**

AUTOR: FABIANO ANDRÉ MARION

ORIENTADOR: JOSÉ AMÉRICO DE MELLO FILHO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 26 de fevereiro de 2009.

A intensificação pela procura d'água em quantidade e qualidade, e o risco de contaminação causado por atividades potencialmente contaminantes, trazem à tona a importância de ordenamento dessas atividades. Assim, zoneamentos ambientais, apoiados pelo geoprocessamento, que visam a identificação de áreas vulneráveis a contaminação d'água subterrânea, tornam-se cada vez mais importantes no planejamento territorial e ambiental, e devem, por lei, constar nos instrumentos de planejamento urbano e nos Planos Diretores. Por tudo isso, a pesquisa teve, como objetivo central, realizar uma avaliação da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas no *Campus* da UFSM, localizado no município de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul (RS). A metodologia baseia-se na análise ambiental por geoprocessamento, conforme Xavier da Silva (2001) e Mello Filho (2003). Para isso, foram cadastrados os 24 poços responsáveis pelo abastecimento do *Campus*, distribuídos numa área de aproximadamente 1.130 ha. Com uso da cartografia digital, foram elaboradas as planimetrias referentes às seguintes variáveis ambientais: Geologia, Profundidade das águas subterrâneas, Recarga, Geomorfologia e Declividade. Pela interpolação dos níveis potenciométricos dos poços, gerou-se o mapa da superfície potenciométrica, que indica o provável fluxo d'água subterrânea. Por geoprocessamento, foi realizada a integração no aplicativo SAGA 2007 a partir da árvore de decisão, baseada no método *DRASTIC* (ALLER et. al., 1987), gerando-se assim, o Mapa de Vulnerabilidade Natural das Águas Subterrâneas. Após, foram levantados os pontos potenciais à contaminação e avaliadas as suas prováveis áreas de influência, os quais foram interagidos com a vulnerabilidade natural. Do total da área em estudo, 47,17% dela foi identificada como de média vulnerabilidade, 32,12% como de baixa vulnerabilidade e 20,71% como de alta vulnerabilidade. Essa última, embora seja a menor área, é aonde ocorrem a maioria das atividades por ser a área urbanizada do *Campus*. Com relação às atividades potencialmente contaminantes, a maioria delas ocorrem sobre áreas de alta e média vulnerabilidade, e o fluxo subterrâneo (provável dispersão dos contaminantes) é em sentido norte, para o bairro Camobi. Esses resultados servirão de base a planos de conservação das águas subterrâneas, integrados às diretrizes do Plano Diretor do *Campus* Universitário da UFSM, que se encontra em fase de elaboração.

**Palavras-chave:** Sistema Aqüífero Guarani; SAGA; recursos hídricos subterrâneos; Plano Diretor; vulnerabilidade natural.

## ABSTRACT

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

### **ASSESSMENT OF GROUNDWATER VULNERABILITY THROUGH GEOPROCESSING, IN UFSM CAMPUS - RS**

AUTHOR: FABIANO ANDRÉ MARION

ADVISOR: JOSÉ AMÉRICO DE MELLO FILHO

Date and place of the defense: Santa Maria, February 26<sup>th</sup>, 2009.

The intensifying demand for water in quantity and quality, and the risk of contamination caused by potentially contaminating activities, bring to light the importance of planning these activities. Thus, environmental zonings, supported by geoprocessing, which aim the identification of areas susceptible to contamination of groundwater, become increasingly important in environmental and territorial planning, and must, by law, be present as tools of urban planning and city plans. For all that, the research had as central objective, make an assessment of groundwater contamination vulnerability in UFSM *Campus*, located in Santa Maria, Rio Grande do Sul State (RS). The methodology is based on environmental analysis by geoprocessing, according Xavier da Silva (2001) and Mello Filho (2003). For this, the 24 wells responsible for supplying the campus, distributed in an area of approximately 1,130 ha. With the use of digital cartography, the planimetries of the following environmental variables were made: geology, depth to water, recharge, geomorphology and slope. By interpolation of potentiometric levels of the wells, a map of potentiometric surface was generated, which indicates the likelihood of groundwater flow. By geoprocessing, the integration was carried out in the application SAGA 2007 from the decision tree based in method DRASTIC (ALLER et. al., 1987), generating The Natural Map of Groundwater Vulnerability. After, the potential points to contamination were surveyed and their probable areas of influence were evaluated, which were interacted with the natural vulnerability. From the total area under study, 47.17% of it was identified as of moderate vulnerability, 32.12% as of low vulnerability and 20.71% as of high vulnerability. The latter, although being the smaller area, is where majority of the activities occur as it is the urbanized area of the Campus. With respect to potentially contaminating activities, most of them occur on areas of high and moderate vulnerability, and the underground flow (probable dispersion of contaminants) is towards north, to the Camobi District. These results will be use as the basis for groundwater conservation plans, integrated to the guidelines of the Campus City Plan of the UFSM, which is in its elaboration phase.

**Keywords:** Guarani Aquifer System; SAGA; groundwater hydric resources; city plan; natural vulnerability

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos  
CORSAN – Companhia Rio-Grandense de Saneamento  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais  
DER – Departamento de Engenharia Rural  
*DPI – (Dots per inch) = pontos por polegada*  
DSG – Divisão de Serviços Geográficos do Exército Brasileiro  
*ESRI – Environmental Systems Research Institute*  
Fm – Formação geológica  
*GPS – (Global Positioning System) = Sistema de Posicionamento Global*  
HCV – Hospital de Clínica Veterinária  
HUSM – Hospital Universitário de Santa Maria  
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 Rio de Janeiro.

Mb – Membro  
MS – Ministério da Saúde  
ND – Nível Dinâmico  
NE – Nível Estático  
NP – Nível Potenciométrico  
RS – Estado do Rio Grande do Sul  
SAGA – Sistema de Análise Geo-Ambiental  
SEMA – Secretaria Estadual do Meio Ambiente  
SGI – Sistema Geográfico de Informação  
SIAGAS – Sistema de Informação de Águas Subterrâneas  
STD – Sólidos Totais Dissolvidos  
UFSM – Universidade Federal de Santa Maria  
UTM – Universal Transversa de Mercator

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Diferenças entre as estruturas vetorial e matricial e a representação das atribuições a elas associadas por Banco de Dados.....	19
FIGURA 2 - Ampliação de imagem (Satélite CBERS Sensor CCD) para visualização da resolução espacial.....	20
FIGURA 3 - Fluxos subterrâneos .....	31
FIGURA 4 - Processos comuns de contaminação d'água subterrânea .....	33
FIGURA 5 - Mapa de localização da área em estudo. ....	38
FIGURA 6 - Perfil geológico mostrando corte (sentido NNO – SSE) no Rebordo do Planalto e sua localização junto ao Sistema Aqüífero Guarani (SAG). ....	41
FIGURA 7 - Arvore de decisão e seus respectivos pesos usados na pesquisa.....	51
FIGURA 8 - Localização dos poços no <i>Campus</i> da UFSM. ....	55
FIGURA 9 - Cartograma da superfície potenciométrica do <i>Campus</i> da UFSM.....	58
Figura 10 – Mapa Geológico do <i>Campus</i> Universitário da UFSM.....	60
FIGURA 11 – Mapa da profundidade do nível estático d'água subterrânea no <i>Campus</i> da UFSM.....	60
FIGURA 12 – Mapa de Uso e Cobertura da Terra para o <i>Campus</i> Universitário da UFSM .....	62
FIGURA 13 – Mapa da Declividade no <i>Campus</i> Universitário da UFSM .....	63
FIGURA 14 – Mapa Geomorfológico do <i>Campus</i> Universitário da UFSM. ....	63
FIGURA 15 – Mapa da Vulnerabilidade Natural à Contaminação e do Fluxo das águas subterrâneas no <i>Campus</i> Universitário da UFSM .....	66
FIGURA 16 – Mapa da Vulnerabilidade Natural à Contaminação das águas subterrâneas .....	66
FIGURA 17 – Mapa da Vulnerabilidade à Contaminação das águas subterrâneas e áreas de Conflito, no <i>Campus</i> Universitário da UFSM.....	71

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>Capítulo I</b> .....	<b>14</b>
<b>1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1 Geotecnologias</b> .....	<b>14</b>
1.1.1 Evolução das geotecnologias.....	14
1.1.2 Geoprocessamento e Sistemas Geográficos de Informação .....	15
1.1.3 Aspectos relevantes da entrada e edição de dados espaciais. ....	18
1.1.4 Geotecnologias aplicadas à análise ambiental.....	22
<b>1.2 Recursos hídricos e as águas subterrâneas</b> .....	<b>23</b>
1.2.1 Proteção de aquíferos e vulnerabilidade à contaminação.....	26
1.2.2 Fontes de contaminação de um aquífero .....	31
1.2.3 Legislação sobre as águas subterrâneas .....	34
<b>2. METODOLOGIA</b> .....	<b>37</b>
<b>2.1 Caracterização da área em estudo.</b> .....	<b>37</b>
2.1.1 Localização .....	38
2.1.2 Características ambientais .....	39
<b>2.2 Procedimentos técnicos</b> .....	<b>43</b>
2.2.1 Elaboração dos Planos de Informação (PI).....	43
2.2.2 Exportação dos dados vetoriais para <i>raster</i> (Tutorial SAGA).....	45
2.2.2.1 Criar um arquivo <i>raster</i> a partir de um TIFF no SAGA 2007 .....	46
<b>2.3 Importância das variáveis ambientais nos estudos de vulnerabilidade de aquíferos</b> .....	<b>47</b>
<b>2.4 Aplicação do SAGA 2007: avaliações ambientais</b> .....	<b>51</b>

<b>Capítulo II.....</b>	<b>54</b>
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>54</b>
<b>3.1 Situação atual .....</b>	<b>54</b>
<b>3.2 Avaliação da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas. ....</b>	<b>57</b>
3.2.1 Mapas das variáveis ambientais .....	57
3.2.2 Integração das variáveis ambientais por geoprocessamento.....	64
3.2.3 Avaliação do risco de contaminação .....	68
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>74</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>78</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>84</b>

## INTRODUÇÃO

“A água é fundamental à sustentabilidade do desenvolvimento. Antes ignorada em muitos planos, elaborados com base na crença de sua inesgotabilidade e renovabilidade, a água começa a ser considerada um fator decisivo no planejamento territorial e ambiental” (LEAL, 2005 p. 4).

Maior patrimônio da humanidade e essencial à vida, a água é um recurso natural de valor inestimável para a humanidade, necessário para praticamente todas as suas atividades. Mesmo assim, é afetada pela sua exploração demasiada e pela intensificação das atividades de caráter poluidor. Isto tem ocasionado, em todo o mundo, a ocorrência de problemas relacionados à falta deste importante recurso em condições adequadas de quantidade e qualidade, até para o atendimento das suas necessidades mais essenciais (MARION et al., 2008).

Dentro desse cenário, tem-se uma grande procura pela água subterrânea<sup>1</sup>, cada vez mais utilizada como fonte para o abastecimento, tanto urbano quanto rural, visto que as águas superficiais tornam-se cada vez mais poluídas e escassas. Prova disso, é a crescente demanda pela perfuração de poços que, quando mal realizada ou abandonada, torna-se ponto potencial de poluição. Conforme Zoby e Oliveira (2005), estima-se que existam no Brasil pelo menos 400.000 poços distribuídos por todo o País.

Além do mais, qualquer ação antrópica em superfície pode afetar de forma direta ou indireta a qualidade das águas subterrâneas. A crescente exploração deste recurso, que é realizada na maioria das vezes sem o devido cuidado que se exige, aliado a usos inadequados do solo, pode ocasionar problemas no que tange à conservação das fontes subterrâneas, causadas geralmente pela falta de saneamento básico, disposição ilegal e não regulamentada de lixões, locação inadequada de cemitérios e postos de combustíveis, aplicação indiscriminada de defensivos agrícolas e o uso indevido de poços desativados entre outros.

Junto a esta situação, há um aumento significativo do consumo das águas subterrâneas, uma vez que, para Rebouças (2002), o uso dessas para atividades

---

<sup>1</sup>Para Guerra (1987), água subterrânea é aquela que se infiltra nos solos e nas rochas, caminhando até o seu nível hidrostático. Origina-se da chuva que precipita e infiltra no solo.

humanas apresenta baixo custo e excelente qualidade natural. Assim, prevenir a contaminação ainda é a solução mais coerente. 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, fazem-se necessários estudos que orientem e planejem a exploração das águas subterrâneas, alicerçadas na prevenção à sua poluição.

Em se tratando de recursos hídricos subterrâneos, a prevenção à poluição e o planejamento dos usos dão-se por meio de estudos de proteção dos aquíferos, controle das atividades humanas e identificação de áreas vulneráveis a contaminação, a fim de efetuar um planejamento ordenado em relação aos usos e ocupações do solo. As mesmas, frente à sua grande importância no planejamento territorial, conforme o Código Estadual do Meio Ambiente, Lei Estadual nº 11.520/2000, deverão ser indicadas na elaboração de Planos Diretores e demais instrumentos de planejamento urbano.

O *Campus* da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), por seguir essa tendência de uso, já perfurou aproximadamente 50 poços. Destes, 24 poços estão em atividade e capturam água do Sistema Aquífero Guarani que, em algumas épocas do ano, não suprem a demanda requerida para atender às mais diversas finalidades nele desenvolvidas. O Hospital Universitário (HUSM), por ser público e referência em casos de alta complexidade, atende 45 municípios da região Centro-oeste do Estado do Rio Grande do Sul e, por isso, necessita de água em quantidade e qualidade, conforme Portaria do MS nº 518/2004. Com uma futura transferência, para o *Campus*, dos cursos ainda hoje instalados no Centro de Santa Maria e com a abertura de novos cursos, a tendência é de aumento significativo desse consumo.

De acordo com Auge (2004), a síntese de toda pesquisa sobre recursos naturais é a sua representação cartográfica, o que é aplicável também na hidrogeologia em geral e, em estudos de vulnerabilidade de aquíferos em particular. Para isso, faz-se de extrema importância a identificação da fragilidade do terreno em percolar possíveis contaminantes, denominado como mapeamento de vulnerabilidade, o qual possibilita dar subsídios ao planejamento adequado em relação aos usos e ocupações do solo, justificados, sobretudo, na legislação ambiental vigente.

A avaliação ambiental por geoprocessamento, possibilita a elaboração de zoneamentos pela atribuição de pesos, conforme o grau de importância das variáveis ambientais, e de notas, para as suas respectivas classes, por uma avaliação zonal, a qual leva em consideração a distribuição territorial dessas variáveis. No caso de estudos de vulnerabilidade de aquíferos, o zoneamento baseia-se na suscetibilidade que essa variável oferece à contaminação.

Como a UFSM está elaborando seu Plano Diretor, e o seu abastecimento d'água é dependente em grande parcela das águas subterrâneas, urge um zoneamento ambiental de proteção dos aquíferos, que avalie o potencial de poluição e as áreas vulneráveis à contaminação. Tal instrumento oferece fundamentos ao planejamento e implantação do Plano Diretor do *Campus* de forma legal e ambientalmente responsável.

Nessa perspectiva, tem-se como objetivo geral identificar áreas vulneráveis à contaminação das águas subterrâneas no *Campus* da UFSM, a partir de variáveis ambientais, com o uso de técnicas de geoprocessamento. Como objetivos intrínsecos à pesquisa têm-se: (a) elaborar base de dados georreferenciada para dar suporte a estudos de diagnósticos; (b) gerar planimetrias das variáveis ambientais utilizadas; (c) estabelecer a integração dos planos de informação, para se obter, de forma espacializada, as zonas vulneráveis à contaminação dos aquíferos; (d) identificar possíveis riscos de contaminação aos recursos hídricos subterrâneos.

Para contemplar os objetivos propostos, foram utilizados vários aplicativos computacionais como: SAGA 2007, *ArcGis* 9.2, Spring 4.3.2 e *Surfer* 8.0. Entretanto, será dada ênfase ao aplicativo SAGA 2007 (Sistema de Análise Geo-Ambiental), como forma de contribuição aos estudos de vulnerabilidade de aquíferos, uma vez que o mesmo ainda não tinha sido utilizado nesse tipo de estudo. Por isso, fez-se a descrição dos procedimentos utilizados para a entrada de dados e a interação dos mesmos no aplicativo de maneira minuciosa, a fim de difundir a metodologia aplicada e permitir que outros pesquisadores também utilizem o programa disponibilizado gratuitamente.

## 1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica dá subsídio à realização da pesquisa. O primeiro momento será dedicado às geotecnologias: evolução, caracterização, aspectos técnicos e metodológicos relevantes, os quais, por se referenciarem a uma ciência recente, difícil é a explanação frente às inúmeras controvérsias no mundo acadêmico atual. Por último, será realizada uma revisão sobre os recursos hídricos subterrâneos com ênfase nos estudos relacionados à sua vulnerabilidade, as ações antrópicas e a legislação referente aos usos e sua conservação.

### 1.1 Geotecnologias

#### 1.1.1 Evolução das geotecnologias

O desenvolvimento dos primeiros Sistemas Geográficos de Informação (SGI), nome oriundo da expressão *Geographical Information System* (GIS), está diretamente relacionado com os avanços na área da computação. O primeiro sistema a reunir as características básicas de um SGI foi implementado no Canadá, em 1964, o *Canadian Geographic Information System*, como parte de um programa governamental para criar um inventário de recursos naturais, embora de forma ainda muito precária (TEIXEIRA; MORETTI; CHRISTOFOLETTI, 1992).

Ao longo dos anos 70 foram desenvolvidos novos e mais acessíveis recursos de hardware, que tornaram viável o desenvolvimento de sistemas comerciais. Foi então, conforme Câmara e Davis (2001), que a expressão *Geographic Information System* (GIS) foi criada, na mesma época que começaram a surgir os primeiros sistemas comerciais de CAD (*Computer Aided Design*, ou projeto apoiado por computador). Também nos anos 70 foram desenvolvidos alguns fundamentos

matemáticos voltados para a cartografia, incluindo questões de geometria computacional. No entanto, devido aos custos e ao fato desses proto-sistemas ainda utilizarem exclusivamente computadores de grande porte, apenas grandes organizações tinham acesso a essa tecnologia (ROSA; ROSS, 1999).

A década de 80 representa o momento quando a tecnologia de sistemas geográficos de informação inicia um período de acelerado crescimento que dura até os dias atuais. Até então limitados pelo alto custo do *hardware* e pela pouca quantidade de pesquisa específica sobre o tema, os GIS, para Câmara e Davis (2001), beneficiaram-se grandemente dos avanços da microinformática e pelo estabelecimento de centros de estudos sobre o assunto, que proporcionaram grande difusão do seu uso.

No Brasil, conforme Câmara e Davis (2001), a introdução do geoprocessamento inicia-se no começo dos anos 80, a partir do esforço de divulgação e formação de pessoal feito pelo geógrafo Jorge Xavier da Silva, professor da UFRJ. O grupo do Lageop - Laboratório de Geoprocessamento, do Departamento de Geografia, sob sua orientação, desenvolveu e vem aperfeiçoando o aplicativo SAGA (Sistema de Análise Geo-Ambiental), o qual, pela citação de Câmara e Davis (2001, p.4) “tem seu forte na capacidade de análise geográfica e vem sendo utilizado com sucesso como veículo de estudos e pesquisas”.

### 1.1.2 Geoprocessamento e Sistemas Geográficos de Informação

O termo Geografia vem do latim *geographia* (originário do grego *gh* (terra) + *grafia* (representação)), assim como o sufixo “processamento”, de geoprocessamento, que vem do latim *processus*, que significa “andar avante”, “progresso”, “avançar”. Assim, conforme Moura (2003, p. 8), “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”.

Conforme exposto, não é somente representar, mas é associar a esse ato um novo olhar sobre o espaço, um ganho de conhecimento, que é a informação. Embora ainda tratado por alguns pesquisadores como uma simples técnica de cartografia automatizada e cruzamento de mapas, sua aplicação permite que se

obtenha muito mais análises que a simples verificação espacial dos fenômenos (ANDRES, 2006).

Segundo Câmara e Medeiros (1998, p. 3), o termo geoprocessamento “denota uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais no tratamento de informações geográficas”. Os instrumentos computacionais do geoprocessamento permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Esses são conhecidos como Sistemas de Informação Geográfica (SIG) ou Sistemas Geográficos de Informação (SGI), ou ainda, SIG como Sistema Informativo Geográfico, como encontrado em Moura (2003).

A opção, aqui, por utilizar o termo SGI, deve-se ao fato de o adjetivo geográfico ser relativo ao sistema e não à informação. É devido à estruturação específica do sistema geográfico que se deve sua capacidade para gerar ganho de conhecimento sobre a realidade territorial analisada. “O SGI seria, assim, um sistema de análise geográfica”, como esclarece Rocha (2000, p. 48).

Há, entretanto, outras definições: Silva (2003) utiliza o conceito “Sistemas de Informações Geo-referenciadas”. A definição desses sistemas, para o referido autor, é um enorme desafio, pois trata-se de uma tecnologia recente, envolve inúmeras técnicas e, nos últimos anos, houve um crescimento muito rápido tanto teórico quanto tecnológico e organizacional da teoria da comunicação. Compõem-se de uma tecnologia que possui o ferramental necessário para realizar análises com dados espaciais e, portanto, oferece ao ser implantado, alternativas para o entendimento da ocupação e utilização de qualquer meio físico, e faz parte do chamado universo das geotecnologias.

Para Mello Filho (2003), o denominado SGI 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.

Para Silva (2003), uma definição mais completa de SGI envolveria a necessidade de usar o meio digital, portanto o uso intensivo da informática é imprescindível, deve existir uma base de dados integrada, estes dados precisam estar georreferenciados e com controle de erro e devem conter funções de análises destes dados. Já Xavier da Silva (2001) vai além, enfatizando para o SGI a análise:

Pode-se conceituar Sistemas Geográficos de Informação (SGIs) como estruturas de programação (pacotes de programas) que permitem a captura, o armazenamento e atualizações dos dados, sua exibição e, acima de tudo, análises e integrações de dados ambientais (XAVIER DA SILVA, 2001).

Para realizar geoprocessamento é necessário gerar-se aprimorada base de dados georreferenciada, específica para SGI, processo esse conhecido como cartografia automatizada. Conforme Burrough e McDonnell (1998) há, em geral, muitos dados geográficos disponíveis, em formato analógico ou digital, como mapas, fotografias aéreas, imagens de satélites ou tabelas. Em geral, são três as formas de se criar base de dados espaciais: adquirir dados digitais de uma instituição produtora ou fornecedora, digitalizar dados originais em formato analógico, ou gerar seu próprio banco de dados por meio de levantamentos. Em quaisquer um destes, exige-se que os dados sejam georreferenciados para um sistema de coordenadas apropriadas e aceitáveis.

De acordo com Xavier da Silva (2001), o geoprocessamento focaliza, primordialmente, o levantamento e a análise de situações ambientais representadas por conjuntos de variáveis georreferenciadas e integradas em uma base de dados digital. Necessita, por definição, contar com uma base cartográfica confiável sobre a qual coligirá seus dados, o que demanda conhecimentos sobre cartografia automatizada. Os objetivos do geoprocessamento, entretanto, centram-se na análise dos dados e não devem ser confundidos com os da cartografia automatizada.

Assim, o geoprocessamento, por ser este capaz de fornecer informações completas, precisas (em função da base de dados disponível) e atualizadas, permite a manipulação eficiente de dados, e serve de apoio à tomada de decisão à administração pública, por meio de análises ambientais, zoneamentos, planejamento e gestão dos recursos ambientais (MELLO FILHO, 2003).

### 1.1.3 Aspectos relevantes da entrada e edição de dados espaciais.

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.

Atualmente, os SGI oferecem ferramentas que permitem a expressão de procedimentos lógicos e matemáticos sobre as variáveis georreferenciadas com uma economia de expressão e uma repetibilidade impossíveis de se alcançar em análises tradicionais. No entanto, conforme Câmara, Monteiro e Medeiros (2001, p. 137), a tecnologia de SGI resolveu apenas os problemas simples de representação computacional do espaço. Os atuais sistemas são fortemente baseados numa lógica “cartográfica do espaço, exigindo sempre a construção de mapas computacionais, tarefa sempre custosa e nem sempre adequada ao entendimento do problema em estudo”.

Atualmente, grande parte dos dados ainda é convertida a partir da digitalização de cartas, mapas e fotografias aéreas em formato analógico. No dizer de Burrough:

Os limites desenhados em mapas temáticos (como solo, vegetação, ou geologia) raramente são precisos e desenhá-los como linhas finas muitas vezes não representa adequadamente seu caráter. Assim, talvez não nos devamos preocupar tanto com localizações exatas e representações gráficas elegantes. Se pudermos aceitar que limites precisos entre padrões de vegetação e solo raramente ocorrem, nós estaríamos livres dos problemas de erros topológicos associados como superposição e interseção de mapas (BURROUGH, 1986 p. 28).

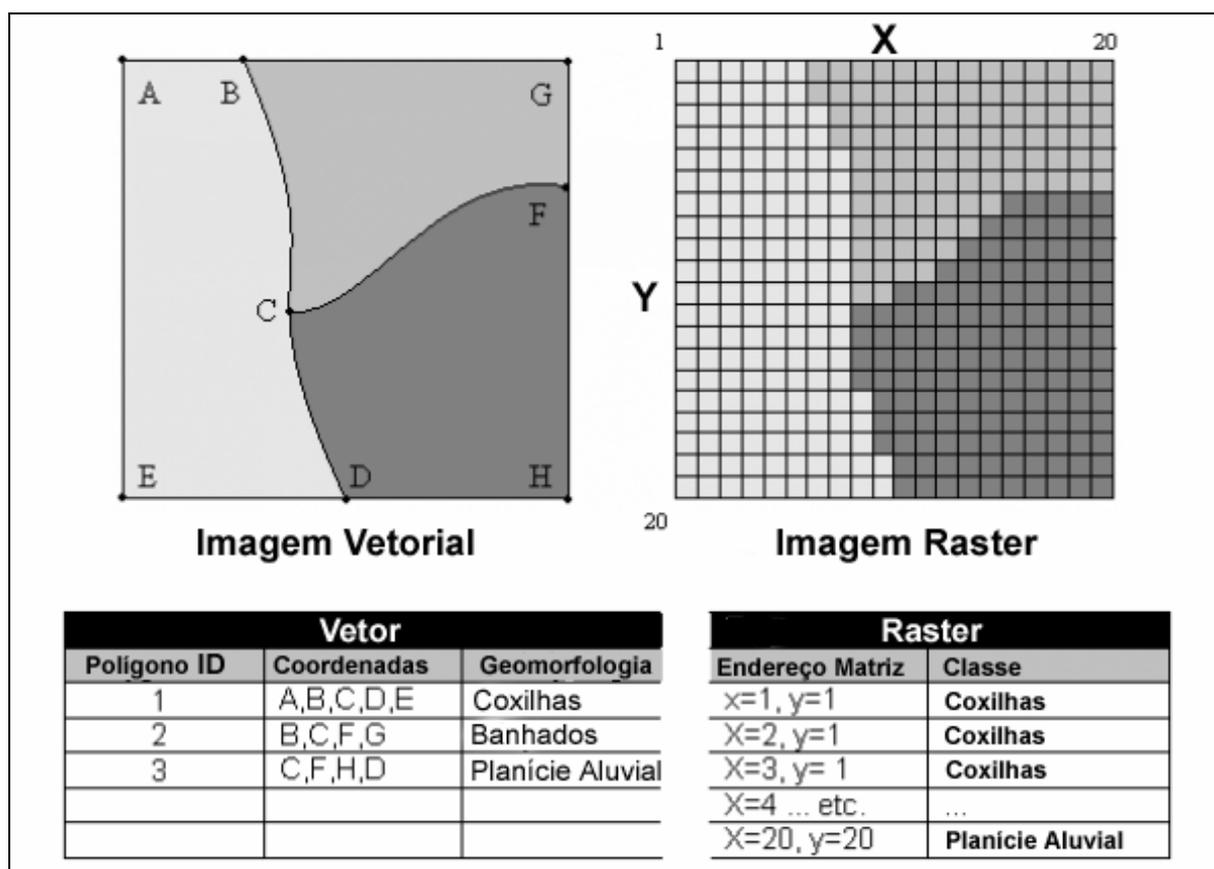
É fundamental distinguir entre as capacidades da atual geração de SGI e as limitações inerentes a qualquer representação computacional do espaço geográfico. De acordo com Xavier da Silva (2001), dois tipos básicos de estruturação de dados,

com seus formatos de arquivo associados, são usados em geoprocessamento: a celular (matricial, em grade, "raster"), e a vetorial (pontos, linhas ou polígonos). Ambas são usadas para representar digitalmente entidades ambientais, e podem ser estruturadas, de maneira inteiramente ordenada, nos referenciais a que estejam aferidas. Ver quadro 1 e figura 1.

<b>Estrutura digital</b>	<b>Ponto</b>	<b>Linha</b>	<b>Polígono</b>
Vetor	Par de coordenadas	Seqüência de pares de coordenadas	Polígono fechado
<i>Raster</i> ou matriz	Célula (Pixel)	Conjunto de células ligadas por um lado ou vértice	Agregado de células ligado por lados ou vértices

**Quadro 1 - Elementos Geométricos utilizados na representação espacial**

Fonte: Xavier da Silva (2001).



**Figura 1 - Diferenças entre as estruturas vetorial e matricial e a representação das atribuições a elas associadas por Banco de Dados.**

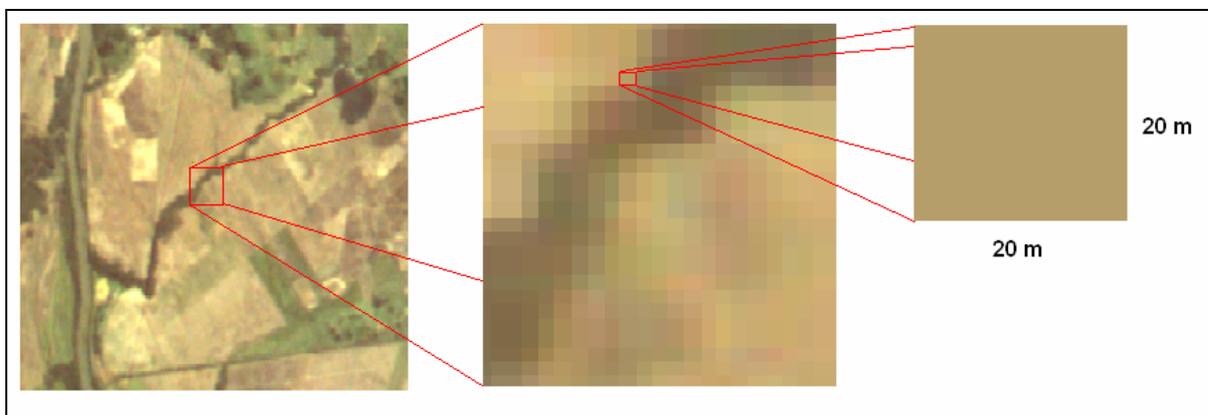
Adaptado de: [http://www.arts-humanities.net/image/fig\\_2\\_vector\\_raster\\_representations](http://www.arts-humanities.net/image/fig_2_vector_raster_representations)

Nas estruturas vetoriais, a entidade geográfica é associada a um par de coordenadas  $x$  e  $y$ . Além das coordenadas, seus elementos gráficos permitem a

associação de atributos não gráficos, junto a um banco de dados relacional. No caso da representação matricial (*raster*), o espaço é representado como uma matriz  $P(m,n)$ , composta de  $m$  colunas e  $n$  linhas, onde cada célula possui um número de linha, um número de coluna e um valor correspondente ao atributo estudado, e cada célula é individualmente acessada pelas suas coordenadas.

Como exemplo da estrutura matricial (*raster*), tem-se as imagens de satélite. Conforme Mello Filho (2003), o sensoriamento remoto teve importante função ao fazer surgir a estrutura matricial digital na definição de essência e forma espacial de fenômenos. Assim como no sensoriamento remoto, ao trabalharmos com geoprocessamento, é fundamental considerarmos imbricações ao seu respeito. Nela estão inferidas limitações ocasionadas pelo tamanho da célula (*pixel*) e pelo erro gráfico decorrido da precisão cartográfica normalmente aceita, ou seja, 0,2 mm (ROCHA, 2000).

A resolução espacial está exemplificada pela ampliação de uma imagem do sensor CCD (Câmara de Alta Resolução) do CBERS (Satélite do convênio entre Brasil e China) na figura 2.



**Figura 2 - Ampliação de imagem (Satélite CBERS Sensor CCD) para visualização da resolução espacial.**

Fonte: Andres (2006).

Câmara, Monteiro e Medeiros (2001, p. 137) focalizam que, apesar de ser essencialmente infactível capturar, num ambiente de geoinformação, todas as dimensões dos conceitos como “sistemas de objetos e sistemas de ações”, é importante buscar técnicas que permitam aproximar dimensões parciais desta visão. Para tanto, será necessário utilizar “abordagens quantitativas, baseadas em técnicas como Sistemas Dinâmicos, Ontologias e Representação de conhecimento”, sem

perder de vista que estes modelos serão sempre “aproximações reducionistas da realidade geográfica”.

Somando-se a isso, muitos fenômenos não ocorrem em superfície e só podem ser representados por estimativas pontuais e espacializados por interpolação<sup>2</sup> matemática, como no caso da representação de fenômenos climáticos e hidrogeológicos. Para Silva (2003), produzir superfícies contínuas a partir de dados pontuais, determinados tratamentos matemáticos são necessários para a exportação de suas características não espaciais, além de suas áreas de abrangência, ressaltando que, para implementar tais procedimentos, é importante selecionar métodos adequados de interpolação.

A escolha de um determinado método de interpolação é uma decorrência da disposição geográfica dos pontos e da utilização de critérios estatísticos. Entre os principais métodos de interpolação têm-se, conforme demonstra o Quadro 2, Inverso do quadrado da distância, *Krigagem*, Curvatura mínima e Triangulação de *Delaunay*.

MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO	DESCRIÇÃO
Inverso do quadrado da distância	Quando a influência de um determinado dado pontual, em relação a outro, diminui com a distância.
<i>Krigagem</i>	Estima o valor de uma posição pontual conhecida, baseando-se nos dados pontuais vizinhos disponíveis.
Curvatura mínima	Este processo gera uma superfície cuja curvatura é o mais suave possível, nem sempre seus dados são tomados como verdadeira grandeza.
Triangulação de <i>Delaunay</i>	É um método muito eficiente e exato para expressar superfícies com relevos acentuados, baseia-se em um algoritmo que cria triângulos ligando pontos.

**Quadro 2 - Principais métodos de interpolação e sua descrição.**

Fonte: Silva (2003).

A partir do final da década de 90, o estudo dos padrões de distribuição espacial dos fenômenos (eventos pontuais, áreas e redes), passa a formar uma base para estudos quantitativos do espaço, com ênfase em técnicas de análise espacial: construção de superfícies, a partir de amostras de campo, com o uso de procedimentos geoestatísticos como a *krigagem*, ao qual podemos associar medidas de *incerteza*. Inicialmente propostas para a modelagem de recursos naturais, as

<sup>2</sup> Interpolar é predizer (ou estimar) o valor da variável em estudo num ponto não amostrado

técnicas de estatística espacial vem sendo cada vez mais utilizadas também para análise espacial de dados sócio-econômicos. Entretanto, cabe ressaltar que esses grupos possuem variáveis e comportamentos diferenciados que exigem diferentes abordagens de implementação (CAMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2001).

#### 1.1.4 Geotecnologias aplicadas à análise ambiental

A análise ambiental, conforme Mello Filho, Xavier da Silva e Abdo (2006), fundamenta-se no método, 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, para os referidos autores (2006, p. 20), “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”.

Para Câmara, Monteiro e Medeiros (2001, p. 128), os fenômenos físicos são exemplos de fenômenos com alto índice de variação do estado da superfície ao longo do tempo. Sua representação acurada depende da capacidade de derivar equacionamentos matemáticos formais que descrevam a variação espaço-temporal do fenômeno. Já no caso de fenômenos sócio-econômicos, os processos têm uma complexidade muito maior, por envolver, além de fenômenos físicos, componentes de construção da realidade social: “a realidade social envolve um componente físico (externo à nossa percepção) e um componente mental, que resulta de consenso estabelecido em procedimentos jurídicos e culturais de cada sociedade”.

O lançamento do dado ambiental dentro de uma estrutura pelo seu atributo axiomático de localização (geocodificação) pode ser facilmente entendido como o procedimento básico para a geração de um Sistema Geográfico de Informação. Conforme Xavier da Silva (2001), este processo, quando associado com a geração de processos automatizados de transformação (análise) de dados pode, assim, ser estabelecido um contato múltiplo, real e eficiente entre o homem, a máquina e o volume formidável de dados ambientais. Este contato gera, sob forma digital, a informação ambiental, que pode ser definida como um conjunto de dados

reorganizados intencionalmente pelo pesquisador, com a ajuda do *hardware* e *software* disponíveis. Assim, o objetivo fundamental de um SGI é produzir a informação, que servirá de fundamento à tomada de decisão.

A análise ambiental é, assim, realizada por classificações do espaço geográfico baseadas nos levantamentos de conjugações de características ambientais que estejam representadas na base de dados e sejam de interesse para uma finalidade específica, denominadas por Xavier da Silva e Carvalho Filho (1993) como prospecções ambientais. Para os referidos autores, estas podem ser inferidas a partir de avaliações ambientais elaboradas por cálculos e expressões matemáticas executadas sobre a base de dados. Os cálculos e expressões são definidos a partir do modelo do ambiente criado com base nas informações adquiridas na etapa anterior do diagnóstico, isto é, nas planimetrias, assinaturas e monitorias.

Xavier da Silva e Carvalho Filho (1993) dividem as avaliações ambientais em diretas e complexas. As avaliações ambientais diretas são baseadas na utilização imediata dos dados originalmente inventariados e, por sua vez, estão divididas em riscos e potenciais ambientais. Já as avaliações complexas usam uma ou várias aplicações prévias como base para sua construção e são constituídas apenas pela integração de 2 temas. Podem se referir ao cotejo de uma avaliação contra um dado básico, ou mesmo reproduzir o resultado do confronto entre as expressões territoriais de avaliação previamente elaboradas. No presente trabalho, ao invés de potencial, será trabalhada a fragilidade, caracterizada pela vulnerabilidade natural dos aquíferos<sup>3</sup>.

## **1.2 Recursos hídricos e as águas subterrâneas**

A água existente na Terra tem origem no ciclo hidrológico, isto é, na condensação primordial do vapor d'água que formou os oceanos e mares e, posteriormente, no sistema pelo qual a natureza faz a água circular do oceano para a atmosfera e desta para os continentes, de onde retorna à atmosfera e, superficial e subterraneamente, aos oceanos. É também conhecido como ciclo da água, devido

---

<sup>3</sup> Aquífero: do latim "carregar água" (KARMANN, 2000).

às constantes mudanças de estado da água na natureza que o ciclo hidrológico proporciona. A função mais importante da floresta no ciclo é capturar a água da chuva e fazê-la infiltrar, assim, evita a erosão e contribui de maneira significativa na recarga dos lençóis subterrâneos.

Karmann (2000) compara o ciclo hidrológico com 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, escoia sobre a superfície em direção às áreas mais baixas, indo alimentar diretamente os riachos, rios, mares, oceanos e lagos. A vegetação 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 (evapotranspiração).

De acordo com Rebouças (2002), a infiltrabilidade é, regra geral, imposta pela característica de permeabilidade do solo, relevo, cobertura vegetal e pelas formas de uso e ocupação do território em apreço, bem como, pelas condições de ocorrência dos corpos aquíferos, entre outros fatores. De forma geral, as taxas de recarga são maiores nas regiões planas bem arborizadas, nos aquíferos livres, e mais lenta e limitada nas regiões de relevo acidentado, sem cobertura vegetal e sujeitas a práticas de uso e ocupação que favorecem a formação de enxurradas, como também nos sistemas aquíferos confinados<sup>4</sup>.

As atuais perspectivas indicam que o volume da água existente no mundo é cerca de 1,4 bilhões de km<sup>3</sup>, dos quais 97,5% correspondem à água salgada e apenas 2,5% à água doce. A distribuição dos 38 milhões de km<sup>3</sup> de água doce perfaz o total de 68,9% nas calotas polares; 29,9% nos aquíferos; 0,35% nos lagos e pântanos, 0,04% na atmosfera e 0,01% nos rios (HIRATA, 2000).

Assim, os aquíferos representam hoje uma porcentagem significativa sobre o total de água doce disponível no mundo, constituindo importantes reservas de água subterrânea que necessitam de estudos que viabilizem seus usos e sua proteção.

---

<sup>4</sup> De acordo com Karmann (2000), os aquíferos confinados ocorrem quando um estrato permeável (aquífero) está confinado entre duas unidades pouco permeáveis (aquítardes) ou impermeáveis. Já os aquíferos livres são aqueles cujo topo é demarcado pelo nível freático em contato com a atmosfera.

Devido ao aumento da demanda de água doce de boa qualidade no planeta, os aquíferos são cada vez mais explorados para suprir as necessidades de consumo das populações.

Na definição de Rebouças (2002, p. 119), os aquíferos “são corpos rochosos com características relativamente favoráveis a circulação e armazenamento de água subterrânea, podem variar em extensão de alguns km até milhões de km; com espessuras variadas (...)”. Portanto, participam de uma ou de várias bacias hidrográficas. Cita-se como exemplo a Formação Serra Geral que ocorre na Bacia Sedimentar do Paraná, em parte de oito estados brasileiros e de países como Argentina, Uruguai e Paraguai, onde é denominado de *Lavas Arapey*.

De acordo com a Resolução nº 15/2001 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), aquífero é um corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos. Entretanto, uma determinada camada pode não ser caracterizada como aquífera, tendo, para isso, outras definições<sup>5</sup>.

Atualmente, o uso popular de alguns conceitos hidrogeológicos dificulta o seu correto entendimento devido à generalização de alguns termos, como, no caso, o termo poço artesiano, quando queremos nos referir, na verdade, a poços tubulares. Poço é definido como qualquer obra de captação de água subterrânea executada com sonda, mediante perfuração vertical, ou ainda é entendido como toda a perfuração através do qual obtemos água (NBR, 12244/92). Os poços podem ser classificados, conforme Feitosa e Manoel Filho (1997), de acordo com sua profundidade, em rasos ou profundos, sendo que ela determina, de modo geral, o método construtivo do poço.

Já o poço artesiano, ocorre somente em determinadas situações geológicas, onde existe um aquífero confinado, ou seja, aquele que está entre camadas impermeáveis, e pode dar origem a poços jorrantes e/ou ascendentes, chamados de artesianos, nome derivado da localidade de *Artois*, França (KARMANN, 2000). Portanto, o artesianismo depende da disposição das camadas e não da forma

---

<sup>5</sup> Aquitarde: camada de baixa permeabilidade, mas que pode armazenar e transmitir água por gravidade; Aquiclude: camada incapaz de transmitir água em quantidades significantes e Aquifugo: camada que não absorve e nem transmite água (KARMANN, 2000).

construtiva do poço. Assim, poços tubulares só poderão ser denominados de artesianos quando jorrar e/ou ascender.

### 1.2.1 Proteção de aquíferos e vulnerabilidade à contaminação

A água é reconhecidamente um recurso vulnerável à contaminação. No caso dos recursos hídricos subterrâneos, a vulnerabilidade natural é entendida como a maior suscetibilidade dos aquíferos a serem adversamente afetados por uma carga contaminante imposta (FOSTER; HIRATA, 1993). Por isso, é de grande relevância que se disponha de instrumentos legais, essenciais ao seu equilíbrio de oferta e demanda, pelos quais se garanta o desenvolvimento sustentável e o acesso da mesma às populações, à indústria, à agricultura e à pecuária, em quantidade e boa qualidade.

Dutra, Osório e Mendonça (2008) afirmam que o cuidado com o entendimento da dinâmica e das relações das águas subterrâneas surgiram somente em meados da década de 80, a partir da criação e implementação de procedimentos metodológicos que inter-correlacionavam todos os campos possíveis. Naquele momento surgiram pesquisas sobre a vulnerabilidade natural dos aquíferos, cujo conceito foi utilizado intuitivamente, posteriormente discutido e reestruturado.

Em 1993, o Conselho Nacional de Pesquisas Norte-Americano, definiu o conceito de vulnerabilidade natural, entendida como a tendência ou probabilidade de um contaminante ser encontrado em uma posição específica no sistema de água subterrânea, após sua introdução, em um determinado local da superfície terrestre, causando a poluição.

Para Hirata (1994), o conceito de vulnerabilidade de aquíferos à contaminação antrópica é seguramente uma das formas mais adequadas de se encarar a conservação da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos. Adequar a atividade humana em função da capacidade de suporte do meio, ou seja, quanto ele pode atenuar cargas contaminantes, é fazer uma parceria com as características naturais do terreno para uma ocupação ambientalmente responsável.

Para a realização de programas preventivos e de controle das atividades humanas, como instrumentos de planejamento, são necessários estudos que

identificam e ordenam a ocupação do solo nas áreas mais importantes para a sua proteção, conforme comentado por Foster e Hirata (1993).

(...) a preservação consiste em estabelecer um programa claro e eficiente de proteção dos aquíferos e controle das atividades humanas, planejando e ordenando a ocupação e o uso do solo. É condição essencial para o desenvolvimento de estratégias, visando à prevenção dos recursos hídricos, e o estabelecimento de áreas com maior risco de degradação dos aquíferos, a fim de priorizar a aplicação de recursos técnicos e financeiros em locais de maior interesse sócio-econômico e ambiental (FOSTER; HIRATA 1993, p. 7).

A partir da identificação dessas áreas e de pontos potenciais à contaminação, pode-se propor áreas de proteção ambiental importantes na manutenção da qualidade desse recurso. Assim, nas últimas décadas, tem-se desenvolvido no meio científico, técnicas para determinar o risco de contaminação das águas subterrâneas, algumas delas específicas para determinados tipos de aquíferos. No Quadro 3, apresentam-se alguns dos métodos mais empregados, com seus respectivos fatores de análise.

Entre os métodos de diagnóstico da vulnerabilidade, serão aqui enfatizados o modelo *GOD*, desenvolvido por Foster e Hirata (1993) e aperfeiçoado por Foster et al. (2003) e o modelo *DRASTIC*, criado pela *National Ground Water Association* (1987) nos Estados Unidos. Sobre a difusão internacional de métodos, Auge (2004) comenta:

*En América del Norte p.ej. el método más utilizado es DRASTIC, debido a que fue ideado en EUA y a que es uno de los primeros que se difundió para cualificar vulnerabilidad. En los países latinoamericanos también se utiliza DRASTIC, pero en forma pareja con GOD, que también nació en 1987. En España e Inglaterra se emplea GOD y en el resto de Europa suele optarse por SINTACS. (...) SINTACS es una derivación de DRASTIC, por lo que presenta las mismas ventajas y desventajas que este, con el agregado de que para su operación se requiere el empleo del software correspondiente (AUGE, 2004, p. 93-94).*

O método *GOD*, segundo Foster et al. (2003, p. 23.), significa **G**roundwater hydraulic confinement, **O**verlying Strata, **D**epth to groundwater table. Ou seja, **G**rau de confinamento hidráulico, **O**corrência de substrato litológico (características litológicas e grau de consolidação da zona não saturada ou capas confinantes acima do nível freático), e **D**istância do nível de água subterrânea (em aquíferos não confinados; exemplo: formação Botucatu) ou ao teto do aquífero (em aquíferos confinados; exemplo: rochas vulcânicas da fm. Serra Geral). Para cada parâmetro é atribuída uma nota entre 0 e 1, que após multiplicados entre si, geram um índice de

vulnerabilidade, também entre 0 e 1, classificados de acordo com o intervalo de classes disposto no quadro 4.

MÉTODO	AVALIAÇÃO DE	FATORES	REFERÊNCIA
<i>Surface Impoundment Assessment</i>	Sistema de decomposição de águas servidas	- zona não saturada - Importância do recurso - Qualidade das águas subterrâneas - Periculosidade do material	Lê Grand (1964)
<i>Landfill Siste Ranking (Método Le Grand-Brawn)</i>	Aterros sanitários e novos e em operação	- Distância aterro e poço produtor - Profundidade do nível da água - Gradiente do aquífero - Permeabilidade e capacidade de atenuação	Lê Grand (1983)
<i>Siste Ranking System</i>	Disposição de produtos químicos, novos e em operação.	- Solos, caract. Hidráulica sorção e tamponamento químico - Hidrodinâmicas do aquífero - Ar - População próxima	Hegerty et al. (1973)
Poluição dos lençóis aquíferos	Vulnerabilidade geral	- Geologia (litologia e estrutura)	Taltasse (1972)
<i>Waste-soil interaction matrix</i>	Disposição de resíduos sólidos e líquidos e novas indústrias	- Efeitos na saúde - Caract. do produto químico - Comportamento do produto - Capacidade do solo/atenuação - Hidrogeologia - Caract. do local	Philips et al. (1977)
<i>Siste Ranking Methodology</i>	Disposição de resíduos sólidos e líquidos e novas indústrias	- Receptor população/uso da água/uso local/degradação ambiental - Caminho, nível e tipo de contaminação, profundidade do nível da água, pluviometria, permeabilidade do solo - Caract. do resíduo-toxicidade, persistência - Prática de manejo-aspectos operacionais e construtivos	Kulfs et al. (1980)
DRASTIC	Vulnerabilidade Geral	- D profundidade da água subterrânea - R recarga total - A meio aquífero - S solo - T topografia - I impacto na zona vadosa - C condutividade hidráulica	Aller et al. (1987)
GOD	Vulnerabilidade Geral	- G Tipo de aquífero - O litologia zona vadosa - D profundidade da água	Foster e Hirata (1988)
<i>Grandwater Vulnerability Map for Nitrate</i>	Potencial de lixiviação de nitrato	- Tipo de solo - Caract. Hidráulica e litológica do aquífero	Carter et al. (1987)
<i>Sintacs</i>	Vulnerabilidade Geral	- Igual ao DRASTIC, porém com pesos diferentes. Requer <i>software</i> específico	Civita et al. (1990)
Perigo associado a sistema de saneamento <i>in situ</i>	Avaliar áreas de maior risco por sistema de saneamento <i>in situ</i>	- Vulnerabilidade (GOD) - Densidade população - Análises indicadores físico-químicos (Condutividade elétrica)	Ferreira e Hirata (1993)

**Quadro 3 - Principais métodos para a determinação da vulnerabilidade à poluição de aquíferos, de acordo com Hirata e Rebouças (1999).**

Fonte: Camponogara (2006).

<b>Classes de vulnerabilidade</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Definição correspondente</b>
<b>Extrema</b>	0,7 – 1	Vulnerável à maioria dos poluentes de rápido impacto na água. Aplicável em inúmeros cenários de poluição. Imprescindível à realização de estudos quantitativos e qualitativos de detalhe (ensaios laboratoriais e geofísicos) para todas as instalações potenciais à poluição do solo e da água.
<b>Alta</b>	0,5 – 0,7	Vulnerável a vários poluentes (exceção para os fortemente absorvidos) em muitos cenários de poluição. Necessário realizar estudos qualitativos e quantitativos (geofísicos) que identifiquem as condições hidrogeológicas locais.
<b>Moderada</b>	0,3 – 0,5	Vulnerável para alguns poluentes. Apresenta capacidade atenuadora mais eficaz que as classes alta e extrema. Resíduos e/ou efluentes resultam em risco de contaminação quando são continuamente descartados ou em situação de vazamento. Necessário realizar estudos de detalhe qualitativos e específicos para cada tipo de empreendimento.
<b>Baixa</b>	0,1 – 0,3	Somente vulnerável para poluentes conservativos (baixa mobilidade), quando continuamente e largamente descartados ou em situação de vazamento.
<b>Desprezível</b>	0 – 0,1	Presente em camadas confinadas com insignificante fluxo subterrâneo vertical.

**Quadro 4: Classes de vulnerabilidade natural de aquíferos e suas respectivas restrições correspondentes.**

Adaptado de: Foster et al., 2003.

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 (SILVÉRIO DA SILVA et al., 2005).

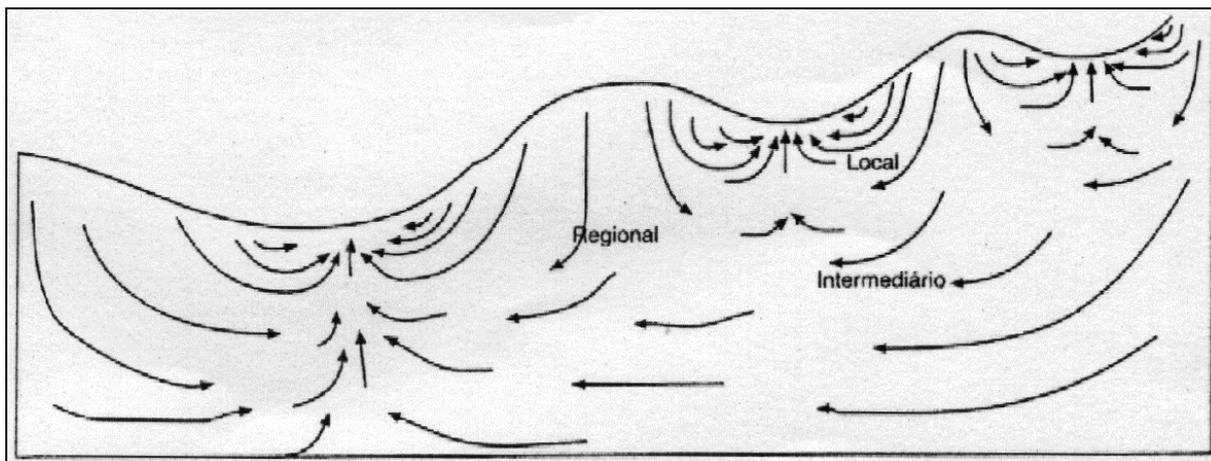
Quanto à profundidade do nível freático, como as águas subterrâneas encontram-se protegidas por camadas de solos e/ou rochas, deve-se destacar que aquelas que se encontram em menor profundidade são as mais vulneráveis a contaminantes, oriundos da superfície do terreno, uma vez que estas agem como filtros 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

cantaminante até elas (FOSTER et al., 2003). Assim, o método *GOD* atribui notas maiores aos aquíferos com nível d'água mais rasos.

O método *DRASTIC*, atualmente 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 hidrogeológicas da região em estudo. Essa metodologia pode sofrer alterações, ou seja, podem ser feitas adaptações conforme as características específicas da área em estudo.

Estes modelos consistem num instrumento básico, uma vez que atribuem notas conforme o risco de contaminação das variáveis ambientais, que, quando transformadas em planos de informação, podem ser integrados por geoprocessamento, gerando zonas conforme o risco de poluição que elas oferecem aos aquíferos e podem também ser confrontadas com os atuais usos do terreno. Como exemplo dessa forma de mapeamento de vulnerabilidade, através da avaliação zonal por geoprocessamento, tem-se Xavier et al. (2004) e Coridola et al. (2005) entre outros.

Outro aspecto importante a ser avaliado e que não está inserido nos métodos *DRASTIC* e *GOD*, é o sistema de fluxos da água subterrânea (ver figura 3). Fortemente influenciado pelo relevo, ele é responsável, por exemplo, por um poço profundo – da ordem de centenas de metros – captar água que é proporcionada pelos fluxos intermediário ou regional, ao passo que um poço raso, vizinho, é abastecido pelo sistema de fluxo local. Assim, de acordo com Rebouças (2002, p. 126), “regra geral, as zonas de recarga das águas, que são captadas por um poço profundo, são as colinas”. Nesse sentido, mostra-se ser também relevante, considerar a geomorfologia na avaliação da vulnerabilidade, a qual, dificilmente é encontrada em trabalhos de vulnerabilidade de aquíferos.



**Figura 3 - Fluxos subterrâneos**

Fonte: Rebouças (2002)

O sistema de fluxos subterrâneos tem uma grande importância prática, na medida em que uma fonte de contaminação localizada nas proximidades de um poço profundo bem construído, não representa, necessariamente, um risco de contaminação das suas águas, embora seja identificada como responsável pela contaminação de outro poço raso (REBOUÇAS, 2002).

### 1.2.2 Fontes de contaminação de um aquífero

O conhecimento das características naturais do meio aquífero é indispensável para o estabelecimento de sua potencialidade e suscetibilidade à contaminação. Entretanto, a identificação e a localização de atividades produtoras de cargas potencialmente poluidoras, decorrentes da ação antropogênica, em áreas sobrejacentes ao aquífero, é fundamental ao se estudar a questão das águas subterrâneas e determinar o seu risco de contaminação. Assim, estudos de susceptibilidade à contaminação, deixaram de ser apenas de vulnerabilidade natural e passaram a ser reconhecidos também como um ensaio de uso e ocupação do solo, já que, neste caso, contam não só com dados referentes às características naturais do aquífero, como também com dados referentes à intervenção antrópica.

Uma caracterização mais aproximada da idéia de risco de poluição das águas subterrâneas consiste na associação e interação da vulnerabilidade natural do aquífero com a carga poluidora aplicada no solo ou em sub-superfície. Isso significa que se pode ter uma situação de alta vulnerabilidade, porém, sem risco de contaminação se não existir carga poluidora significativa, ou vice-versa. A carga

poluidora pode ser controlada ou modificada; mas o mesmo não ocorre com a vulnerabilidade natural, propriedade intrínseca do aquífero (FOSTER; HIRATA, 1993).

Hassuda (1999) defende a importância de se correlacionar ao estudo da vulnerabilidade natural dos aquíferos, as atividades exercidas em superfície, pois, embora o meio natural apresente uma estrutura natural frágil, é o tipo, intensidade, forma e tempo de disposição das atividades que determinam a real situação do risco a que os aquíferos estão submetidos. Em muitos casos, a forma de ocupação do solo, pode modificar a qualidade dos recursos hídricos, pondo em risco sua conservação às atuais e futuras gerações.

Entende-se por atividades geradoras de poluição e/ou que ofereçam risco de poluição toda e qualquer atividade socioeconômica que se desenvolva sobre a superfície terrestre e gere resíduos e/ou efluentes (líquidos, sólidos ou gasosos) que não recebem tratamento adequado antes de serem re-introduzidos no ambiente natural, assim como o uso abusivo de defensivos agrícolas e nitratos, poços construídos e abandonados que podem ser mal utilizados, causando poluição de forma direta.

Para Xavier da Silva e Carvalho Filho (1993), a poluição pode ser um processo paulatino e sub-reptício. Entretanto, a previsão da possível ocorrência dessas áreas críticas pode ser apoiada no geoprocessamento, através do confronto entre mapas, para a identificação de entidades poluidoras (pela localização e distribuição geográfica dos agentes poluidores) e, conseqüentemente, criação de normas eliminadoras e/ou mitigadoras da ação poluente. Riscos de poluição podem ser cotejados contra o potencial de recursos hídricos de uma área, como no caso, os aquíferos. Nesses casos, de riscos de poluição, o apoio à decisão quanto à criação de normas de manejo ambiental é praticamente imediato, com base na definição de áreas críticas, onde a poluição possa incidir sobre locais a serem protegidos.

As possíveis fontes de contaminação da água subterrânea, conforme tabela 1 e figura 4, podem ser classificadas, conforme sua forma de ocorrência em pontuais e difusas. Mook (2002) cita que as fontes mais comuns de contaminação das águas subterrâneas são: áreas urbanas; atividades agrícolas e industriais; águas residuais despejadas nos rios e nos drenos; depósitos de resíduos; água salgada contaminada, atraída pela exploração intensiva dos recursos de água subterrânea na região litorânea (intrusão salina).

Tabela 1: Atividades potencialmente contaminantes e tipo da carga

Atividades		Característica da carga contaminante	
		Distribuição	Principal contaminante
URBANA (a)	Saneamento <i>in situ</i>	u/r P-D	n f o
	Lagoas de oxidação	u/r P	o f n m
	Lixiviados de lixões/aterros sanitários	u/r P	o s h m
	Tanques de combustíveis	u/r P-D	o
INDÚSTRIA	Vazamento de tanques/tubos (b)	u P-D	o h
	Derramamento acidental	u P-D	o h
	Lagoas de efluentes	u P	o h s m
	Lixiviado de resíduos sólidos (chorume)	u/r P	o h s m
AGRÍCOLA (c)	com agroquímicos	r D	n o
	Áreas de cultivo e com irrigação	r D	n o s
	com lodos/resíduos	r D	n o s
	Pecuária lagos de efluentes sem revestimento	r P	f o n

(a) Pode incluir componentes industriais

(b) Pode também ocorrer em áreas não industriais

(c) Intensificação aumenta o risco de contaminação

u/r Urbano/Rural – P/L Pontual/linear

n Nutrientes

f Patógenos fecais

o Compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica

s Salinidade

m Metais pesados

h Hidrocarbonetos

Adaptado de: Hirata, 2000.

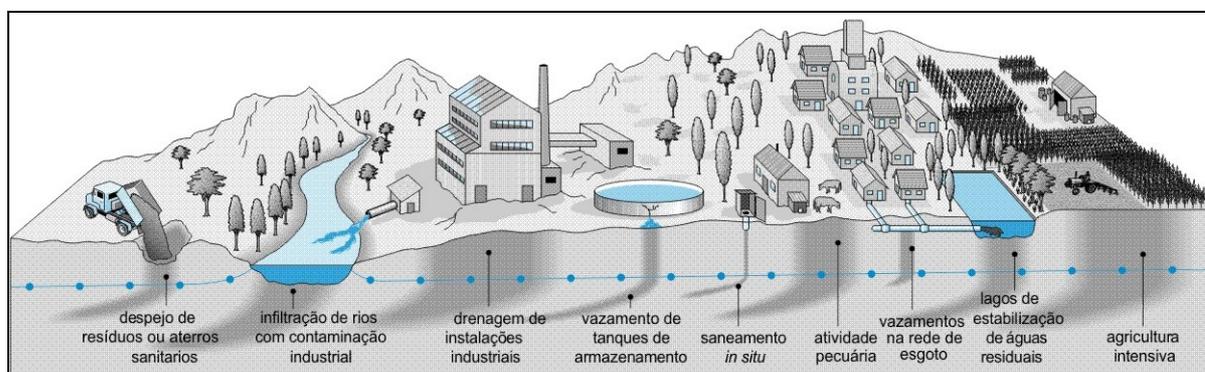


Figura 4 - Processos comuns de contaminação d'água subterrânea

Adaptado de: Foster et al. (2003).

As áreas agrícolas são um exemplo típico de fonte de contaminação difusa, devido às práticas inadequadas de manejo do solo que podem causar uma séria poluição nas águas subterrâneas, com taxas elevadas de nitratos no uso do cultivo da soja, milho, arroz, fumo, etc. Defensivos agrícolas, quando aplicados demasiadamente, são contaminantes nocivos na alteração da qualidade da água subterrânea e normalmente não avaliados em seu monitoramento.

Em áreas urbanas, a principal preocupação é a poluição pontual, ocorrida por carga poluidora em zonas residenciais sem esgotamento sanitário, com tanques sépticos e fossas negras; tal carga inclui nutrientes (nitrogênio e enxofre), sais (cloreto), bactérias, vírus e compostos orgânicos sintéticos. Foster et al. (2003) comentam também que em áreas de concentração industrial, devido à extrema diversidade de atividades, de processos de fabricação e de práticas de disposição de efluentes, há maior dificuldade em ser estimada a carga poluidora.

Segundo Hirata (2000, p. 437), as atividades mais importantes no contexto latino-americano são “os sistemas de saneamento *in situ*, ou aqueles que infiltram os efluentes diretamente no solo, como deposição incorreta de resíduos sólidos, vazamento de postos de combustíveis, entre outras”. No caso de áreas urbanas sem rede de coleta de esgoto, Hirata (2000) estabeleceu também, critérios para classificação das cargas potenciais poluidoras de fontes dispersas, esgoto *in natura*, em três faixas conforme a quantidade de nitrato gerado pela população por ano (Kg  $\text{N}^-\text{NO}_3$ /ano): reduzida para populações urbanas inferiores a 20.000 habitantes; moderada para população entre 20.000 a 50.000 e elevada para populações urbanas acima de 50.000.

Geralmente é possível estimar o volume efluente a partir da quantidade de água utilizada, mas é difícil estabelecer-se a fração infiltrada no subsolo. Resíduos sólidos, depositados em lixões ou dispostos em aterros sanitários, podem ter seus volumes de lixiviados estimados com certa segurança; em muitos casos, porém, não há informação confiável sobre a sua composição. Em todos eles, torna-se necessário identificar cada fonte e analisá-las individualmente por monitoramento (FRANTZ, 2005).

### 1.2.3 Legislação sobre as águas subterrâneas

A água é um recurso vulnerável a contaminação, cujo desfrute gera conflitos pela sua disponibilidade escassa, ainda que momentânea. Por tudo isso, ela é alvo de instrumentos legais e essenciais na sua conservação, que regem restrições quanto ao seu uso abusivo e quanto à atividades que ofereçam risco de contaminação, a fim de garantir à população, o equilíbrio de oferta, demanda e qualidade.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), assim como o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), dispõem de regulamentos que visam a proteção dos mananciais hídricos subterrâneos, e apresenta legislação específica sobre a instalação de cemitérios, postos de combustíveis, aterros e demais atividades potencialmente contaminantes. Recentemente, o CONAMA (2008), pela Resolução nº 396, dispõem 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”.

O CNRH (2002), entre outras inúmeras resoluções, afirma pela Resolução nº 22, 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.

Outro fator importante, diz respeito à 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.

Com relação à Legislação Estadual, o Rio Grande do Sul possui avançada legislação na proteção ambiental. O Código Estadual do Meio Ambiente, instituído pela Lei nº 11.520 de 03 de agosto de 2000 é um precioso instrumento na conservação dos mananciais subterrâneos.

Conforme previsto no artigo 120 da Lei Estadual 11.520/2000, 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. O Poder público, como responsável por garantir o acesso dos recursos naturais a toda sociedade, tem por obrigação zelar pela conservação dos recursos hídricos subterrâneos dentro dos seus instrumentos de planejamento, como consta nos parágrafos do artigo 134 e 136 da Lei Estadual 11.520/2000, *in verbis*:

Art. 134. Incumbe ao Poder Público manter programas permanentes de proteção das águas subterrâneas, visando ao seu aproveitamento sustentável, e a privilegiar a adoção de medidas preventivas em todas as situações de ameaça potencial a sua qualidade.

[...]

§ 2º. 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.

[...]

§ 5º. Os municípios deverão manter seu próprio cadastro atualizado de poços profundos e de poços rasos perfurados sob sua responsabilidade ou interveniência direta ou indireta.

Art. 136. 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.

Assim como a responsabilidade do Estado, o Código Estadual do Meio Ambiente 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 (Lei Estadual 11.520/2000).

A responsabilidade pela fiscalização e outorga dos poços tubulares é das Unidades da Federação. No Estado do Rio Grande do Sul, com o intuito de manter a qualidade d'água subterrânea, e os poços protegidos da poluição, a Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA-RS) emitiu algumas normas para outorga de poços, através do decreto nº42.047/2002, artigo 30, o qual exige a presença de selo sanitário em concreto junto à "boca do poço", a instalação de tubo guia com diâmetro de 2 polegadas em plástico PVC para medições do nível d'água e a instalação de hidrômetro para aferição da vazão e do consumo diário ou mensal, de acordo com a vazão e o consumo. Esse decreto exige também, o cercamento de uma área, com raio mínimo de dez metros a contar da "boca do poço", como perímetro imediato de proteção sanitária. Essas medidas estão sendo tomadas pela UFSM para outorga dos poços ativos, em execução pela empresa Hidrobrasil Perfurações, desde abril de 2008.

## **2. METODOLOGIA**

A pesquisa baseia-se metodologicamente na análise ambiental por geoprocessamento, conforme fundamentação técnica e científica encontrada em Xavier da Silva (2001) e Mello Filho (2003). Ela será aqui utilizada para a elaboração de um zoneamento ambiental para a identificação das áreas vulneráveis à poluição dos aquíferos. Para isso, executou-se o levantamento cartográfico para a geração dos planos de informação (PI) e a integração desses no aplicativo SAGA, desenvolvido pela equipe do Professor Jorge Xavier da Silva no Lageop/UFRJ.

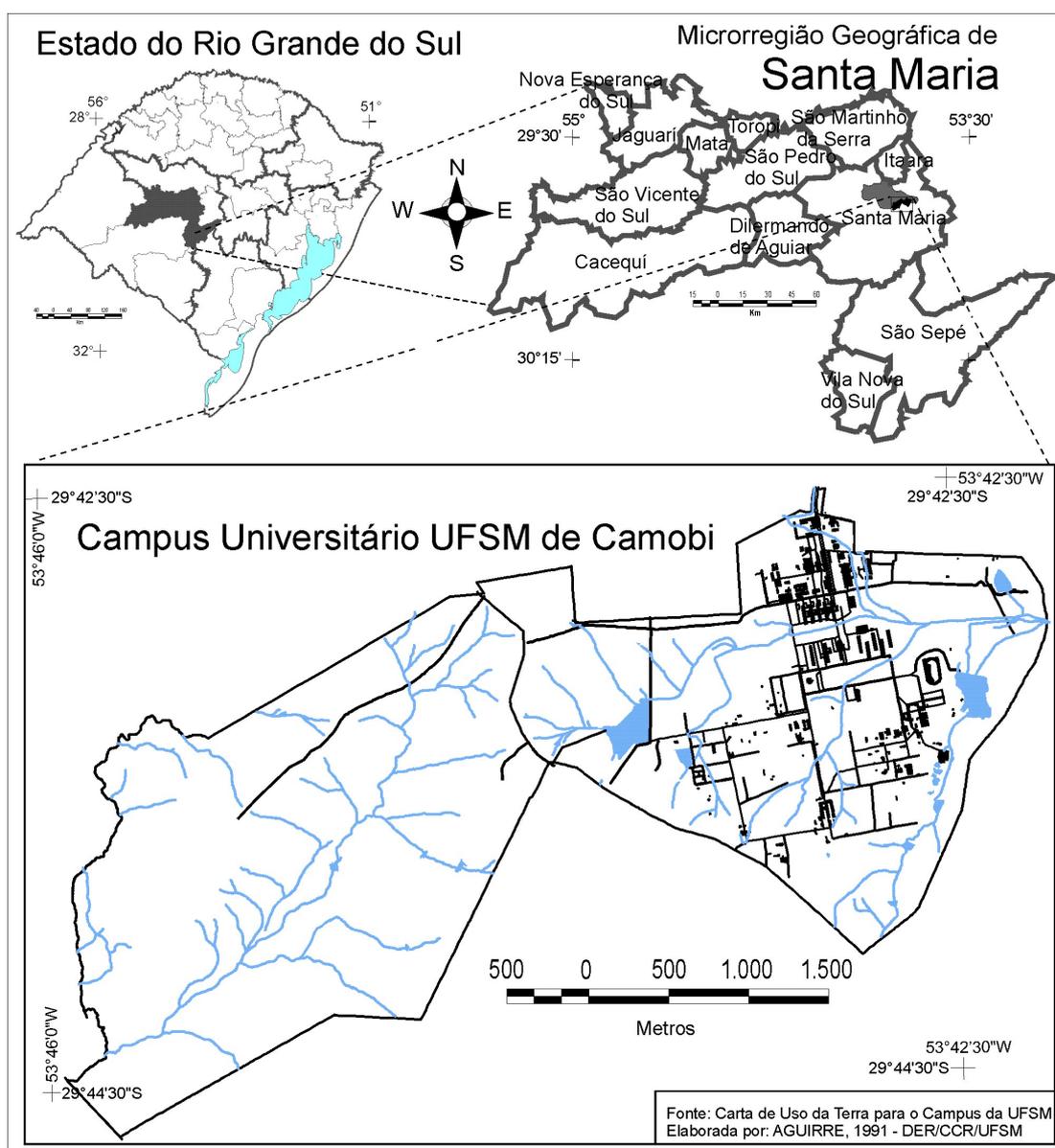
A primeira etapa caracterizou-se pela pesquisa bibliográfica referente ao tema a ser trabalhado e as características da área, por meio das quais são definidos conceitos, teorias e os métodos a serem utilizados. Pela fundamentação teórica, foram abordados os conceitos principais sobre geotecnologias, aplicações do SGI, geoprocessamento e recursos hídricos. Procuraram-se, ainda, as aplicações e descrições dos principais métodos utilizados na avaliação da vulnerabilidade de aquíferos. Num segundo momento, executaram-se os levantamentos cadastrais e, a partir dos mesmos, montou-se a base de dados para a elaboração dos PI. Posteriormente, executaram-se as integrações, baseadas na árvore de decisão e, finalmente, realizaram-se as análises e proposições.

### **2.1 Caracterização da área em estudo.**

A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), idealizada e fundada pelo Prof. Dr. José Mariano da Rocha Filho, foi criada pela Lei n. 3.834-C, de 14 de dezembro de 1960, sancionada pelo então presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, com a denominação de Universidade de Santa Maria e instalada em 18 de março de 1961 (BARICHELLO, 1993). Foi a primeira Universidade Federal no interior do Brasil, em cidade que não fosse capital de Estado, criada no então Distrito de Camobi, Santa Maria – RS.

### 2.1.1 Localização

O *Campus* da UFSM abrange a Cidade Universitária Prof. José Mariano da Rocha Filho, situada no Bairro Camobi, município de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul (ver figura 5), no qual é realizada a maior parte das suas atividades acadêmicas e administrativas. Localizado entre as coordenadas geodésicas 53°46' a 53°43' a Oeste de *Greenwich* e entre 29°42'30" a 29°45' ao Sul do Equador, situ a-se aproximadamente, à 9 km do centro de Santa Maria e a 290 km de Porto Alegre. Estima-se, por dados da Prefeitura da Cidade Universitária, que no ano de 2008 circularam diariamente pelo *Campus* cerca de 20.000 pessoas.



**Figura 5 - Mapa de localização da área em estudo.**  
Montagem: MARION, 2009.

Sua área inicial era de 528,6649 hectares, conhecida como área velha, integrada hoje ao perímetro urbano de Santa Maria. Em 29 de abril de 1988, a Universidade adquiriu uma área de 600,7949 ha, conhecida como área nova, e que está atualmente inserida na zona rural do município. A área total do Campus é de 1.129,4598 hectares. Atualmente as edificações perfazem 264.285,49 m<sup>2</sup> de área total construída no *Campus*, além de 22.259,41 m<sup>2</sup> em edificações no centro da cidade (UFSM, 2008).

### 2.1.2 Características ambientais

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 (MARION; CAPOANE; SILVÉRIO DA SILVA, 2007). Assim, em estudos como este sobre águas subterrâneas, faz-se de fundamental importância o conhecimento dos aspectos ambientais da área.

Para Nimmer (1990), o regime climático da área, onde se enquadra o município de Santa Maria, é caracterizado por precipitações regulares com índices pluviométricos anuais entre 1.500 a 1.750 mm, com chuvas ocasionadas pela passagem de frentes frias, intensificadas pelo efeito orográfico do Rebordo do Planalto e, eventualmente, pela formação de frentes quentes. Esses índices são importantes na estimativa da recarga direta pela infiltração das águas meteóricas no sub-solo. De acordo com Gregorashuk (2001), a maioria dos pesquisadores concorda com uma infiltração para os aquíferos de 1 a 3% da precipitação média anual. Já Hausman (1995) estimou para a área uma taxa de infiltração entre 3 e 6% da precipitação média anual.

O clima dessa área, para Barros Sartori (1979), apresenta temperaturas médias anuais em torno dos 22°C, e as temperaturas médias mínimas e máximas apresentam valores como 13°C no inverno e 25°C no verão. Assim, o *Campus* enquadra-se, pela classificação climática de *Köppen*, na zona fundamental temperada e no tipo fundamental temperado úmido. É caracterizado pela ocorrência de chuvas durante todos os meses do ano, ou seja, sem estação seca ou chuvosa definida.

Por situar-se num divisor de águas, o *Campus* da UFSM integra 2 bacias hidrográficas<sup>6</sup>, a do arroio das Tropas e a do Vacacaí-Mirim, ambas integrantes da bacia G-060 (Vacacaí - Vacacaí Mirim), conforme classificação feita pela SEMA (2004), a qual propôs a divisão do Estado em três Regiões Hidrográficas (U = Uruguai, G = Guaíba e L = Litorânea), subdivididas num total de 25 grandes bacias hidrográficas.

A Depressão Central ou Periférica Sul-riograndense é uma área deprimida que aparece na zona de contato entre os terrenos sedimentares e o embasamento cristalino, onde situa-se o *Campus*. Próximo a sua delimitação norte, encontra-se o Rebordo do Planalto Meridional Brasileiro, constituído por derrames vulcânicos (basálticos-ácidos, riólitos e granófiros) e localmente, arenitos intertrápicos pertencentes à Formação Botucatu (MARION et al., 2008), ver figura 6. Geomorfologicamente o *Campus* é caracterizado por áreas de acumulação aluvial e por topografia colinosa de ondulações suaves, regionalmente conhecidas por coxilhas (ROSA; BARROS SARTORI; SILVEIRA, 2003).

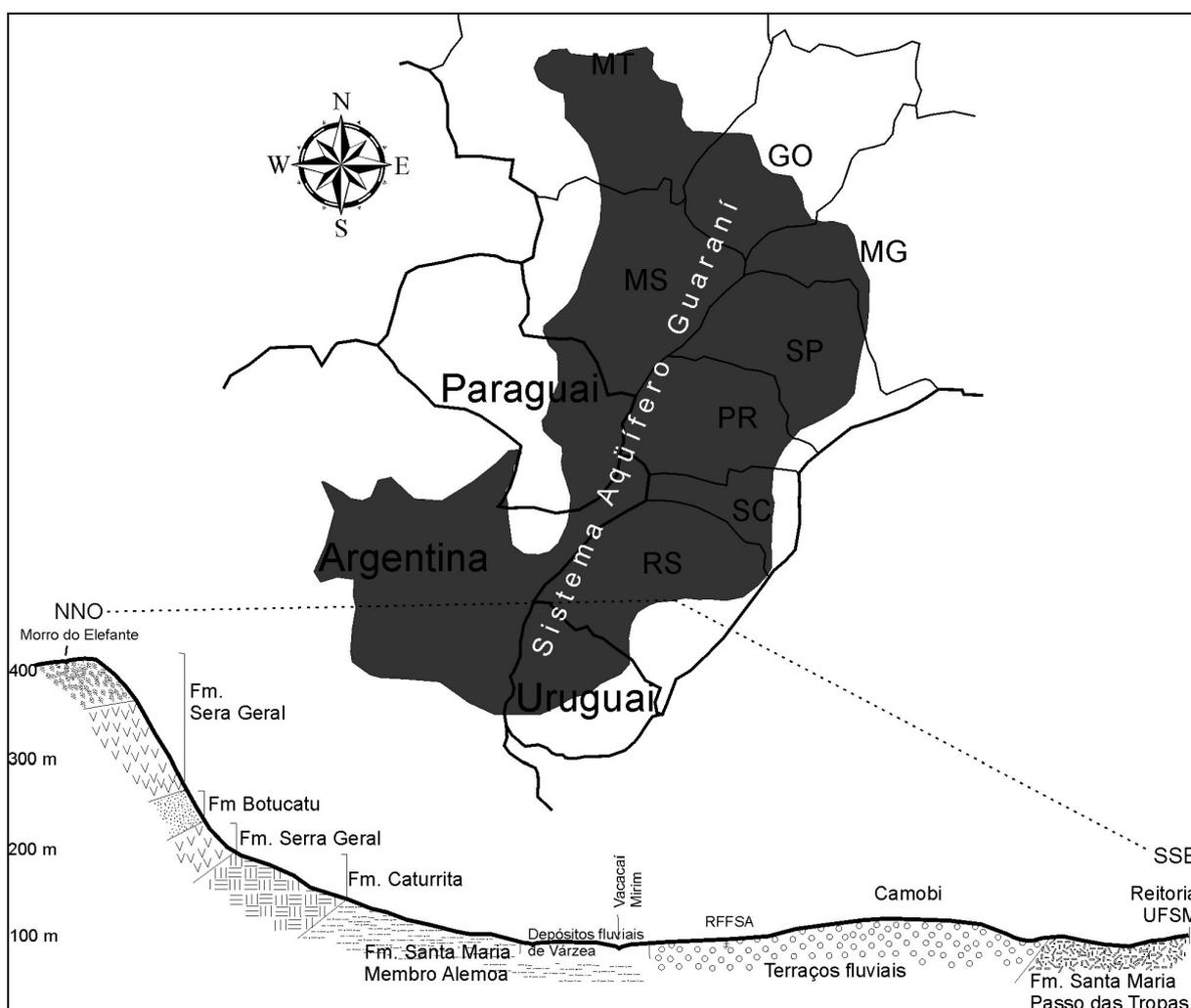
As litologias são apresentadas por rochas sedimentares da Bacia do Paraná, compostas por argilitos, siltitos e arenitos de diferentes unidades geológicas e granulações. Essas características, juntamente com as características morfológicas e climáticas, formam as chamadas Províncias Hidrogeológicas e Sub-Províncias. De acordo com Hausman (1995), a área em estudo enquadra-se na Província Gondwânica, onde, litologicamente, dominam formações argilosas e arenosas que desaparecem por baixo da cobertura basáltica, situada ao Norte e a Oeste do Escudo Sul-riograndense, e na Sub-Província Rosário do Sul, assim caracterizada:

“(...) é um aquífero hidroestrutural, onde podem ser observados um grupo de horizontes condutores, intercalados por aquícludes e aquíardos, formando um pacote, cuja diversificação, não é somente quanto a permeabilidade como também quanto a qualidade da água. O horizonte estratigráfico que constitui esta Sub-Província, é isolado dos outros por um topo e base impermeáveis, mergulhando estruturalmente na direção do pacote sedimentar Gondwânico a que pertencem, apresentando problemas locais, quanto a circulação de água, devido as características deposicionais” (HAUSMAN, 1995, p.57).

---

<sup>6</sup>Para Guerra (1987), a Bacia Hidrográfica é um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes. Essas terras estão compreendidas entre os divisores de água e os canais que integram a rede fluvial, formando vales em cujas cabeceiras localizam-se as nascentes fluviais. Os pequenos cursos da água vão unindo-se uns aos outros até formarem um rio principal que conduz até a foz da bacia as águas por ela escoadas.

A divisão das formações geológicas mais utilizada para a região central do Estado do Rio Grande do Sul é a proposta por Andreis et al. (1980 apud DA-ROSA, 2004), que sugeriu, para os pacotes de litologias predominantemente pelíticas aflorantes na área, que os mesmos fossem incluídos na Fm. Santa Maria, limitados na base pelos arenitos finos da Fm. Rio do Rastro, e, no topo, pelos arenitos de origem eólica da Fm. Botucatu. Essa seção sedimentar recebe o nome de Grupo Rosário do Sul, dividida nas Fm. Sanga do Cabral, Santa Maria e Caturrita. A zona urbana de Santa Maria possui as seções tipo das Formações Caturrita e Santa Maria. Esta última compõem a parte superficial predominante da litologia do *Campus* da UFSM.



**Figura 6 - Perfil geológico mostrando corte (sentido NNO – SSE) no Rebordo do Planalto e sua localização junto ao Sistema Aquífero Guarani (SAG).**

Montagem: Fabiano André Marion, 2009. Fonte: Carta topográfica do Exército e Mapa Geológico da Folha de Camobi (GASPARETTO et al., 1988). Escala original 1:50.000. Exagero vertical 5 vezes.

A Fm. Santa Maria é sub-dividida em 2 membros: um inferior, denominado de Membro Passo das Tropas, e um superior, denominado de Alemoa. Segundo Gasparetto et al. (1988), esta Formação, juntamente com as Formações Caturrita e Botucatu, integra o SAG (Sistema Aquífero Guarani), representado na figura 6. O mesmo também é encontrado em alguns setores do Topo e Rebordo do Planalto Meridional Brasileiro, nos arenitos intertrápicos da Fm. Botucatu, entre os derrames de lava basáltica (SILVÉRIO DA SILVA; MAZIEIRO; SANTOS, 2004). Nas bordas do SAG, onde situa-se o *Campus* da UFSM, é que ocorre o maior risco de contaminação, pois é nesse local que as camadas geológicas da Bacia Sedimentar do Paraná encontram-se aflorantes.

De acordo com Hausman (1995), na Fm. Santa Maria a circulação da água apresenta-se bastante regionalizada, e as vazões e rendimentos são bastante irregulares. As deposições apresentam variações granulométricas locais, a circulação pode ser observada em horizontes escalonados, sem nenhuma interligação entre o membro superior e o inferior, fato demonstrado pela diferença química das duas águas.

Segundo Machado (2005), a Unidade Hidroestratigráfica Passo das Tropas indivisa é o mais importante aquífero da parte aflorante do Gondwana, dentro dos limites da região central do Rio Grande do Sul. É também altamente vulnerável à poluição.

O Membro Passo das Tropas é constituído, predominantemente, por arenitos grosseiros a médios, de cores amarela e rosa-avermelhada, às vezes com tonalidade púrpura, feldspáticos, por vezes conglomeráticos com seixos e grânulos de quartzo, constituindo corpos lenticulares com estratificação cruzada acanalada e planar de grande porte. Estes arenitos se intercalam com camadas de siltitos arenosos de cores vermelha e púrpura, indicativos de ambiente fluvial (MACIEL FILHO, 1990, p. 1-2).

A litologia típica do Membro Alemoa, de acordo com Maciel Filho (1990, p. 2), está representada por um lamito (siltito argiloso) de cor vermelha, compacto, maciço e apresenta, em alguns locais, níveis sub-horizontais de cor cinza-clara, mais duros, com espessura de até 20 cm, o que contribui para redução da sua permeabilidade.

No que se refere à cobertura vegetal, importante fator na recarga dos aquíferos, o *Campus*, por situar-se num local de transição abrupta entre floresta, onde a Floresta Ombrófila Mista encontra seu limite inferior de ocorrência natural, e o campo, evidencia o estreito vínculo entre relevo e tipo de vegetação: florestas, em

áreas acidentadas; campos, em terrenos planos. Nas coxilhas dos Campos Sulinos, a vegetação natural é caracterizada por uma vegetação campestre aparentemente uniforme e com formações herbáceas que formam um “tapete” baixo nos topos mais planos. A vegetação arbórea, em forma de capões e matas galerias, ocorre junto aos cursos d’água e, nas partes colinosas, gramíneas rasteiras (MARCHIORI, 2004).

## 2.2 Procedimentos técnicos

O sistema cartográfico de projeção adotado no Brasil pela Diretoria do Serviço Geográfico do IBGE, para o mapeamento sistemático nacional desde 1955, é o Sistema UTM (Universal Transversa de Mercator), o qual utiliza como superfície auxiliar um cilindro secante à superfície terrestre, cujo eixo é perpendicular ao eixo da Terra, por isso transverso. O cilindro transverso secante é aplicado a cada fuso de 6° dividindo a Terra em 60 fusos, numerados a partir do anti-meridiano de Greenwich (AGUIRRE; MELLO FILHO, 2007).

O sistema geodésico de referência adotado para este trabalho foi o SIRGAS 2000 (Sistema de Referencial Geocêntrico do Brasil), adotado oficialmente no Brasil em 25 de fevereiro de 2005, o qual é compatível com o sistema WGS 84 com precisão no nível do centímetro (SANTOS, 2006). Para isso, foi utilizada a rede de referência cadastral, implantada no projeto SIG-UFSM pelo Curso Técnico em Geoprocessamento do Colégio Politécnico da UFSM, sob coordenação do Professor Elódio Sebem, conforme fundamentação encontrada em Sebem et al. (2008), e a Carta de Uso da Terra da Cidade Universitária - UFSM, elaborada por Aguirre (1991), a qual foi ajustada aos marcos de referência cadastral da UFSM.

O aplicativo utilizado para a elaboração das planimetrias foi o *ArcGIS 9.2*, desenvolvido pela ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), o qual inclui o *ArcMap* e o *ArcScene*. No aplicativo SAGA 2007, foi realizada a integração e análise dos planos de informação e a geração do relatório final a partir da árvore de decisão.

### 2.2.1 Elaboração dos Planos de Informação (PI)

Para a elaboração do PI Nível Estático (NE) da água subterrânea, que é a distância em metros desde a boca do poço até o seu nível d’água em repouso,

foram interpolados os valores dos 24 poços em funcionamento no *Campus* da UFSM, utilizando-se para isso o aplicativo *Surfer* 8.0. Para escolha do método de interpolação espacial, foram testados os 4 métodos tidos como principais por Silva (2003): Inverso do quadrado da distância, *Krigagem*, Curvatura mínima e Triangulação de *Delaunay*.

O georreferenciamento dos poços foi atrelado aos marcos da Rede de Referência Cadastral do *Campus* da UFSM. Na área velha do *Campus*, utilizou-se um taqueômetro eletrônico (estação total), marca *Leika* e modelo TC 407. Na área nova, como existem apenas 2 marcos de referência, optou-se por realizar o georreferenciamento dos poços com receptor *GPS* de uma frequência, marca *Ashtech* e modelo *Promark 2*, ambos equipamentos cedidos pelo Colégio Politécnico da UFSM.

As observações dos poços tubulares situados na denominada área nova, predominantemente de uso rural, foram realizadas pelo método diferencial estático, com duração do rastreamento de 30 minutos, no dia 19 de novembro de 2008. Para o pós-processamento dos dados levantados a campo com o receptor de *GPS*, foram copiados os arquivos digitais *Rinex* da estação SMAR (homologada pelo IBGE e situada sobre o Prédio 42 do Centro de Ciências Rurais da UFSM), disponíveis em [www.ibge.gov.br/geociencias/geodesia/rbmc](http://www.ibge.gov.br/geociencias/geodesia/rbmc) e, após, pós-processados no aplicativo *Ashetch Solutions*. Para a realização dos levantamentos em campo, contou-se com o auxílio de bolsistas do projeto SIG-UFSM e do projeto Plano Diretor dos *Campi* da UFSM.

Os valores de NE e ND dos poços foram obtidos por acompanhamento aos testes de bombeamento, realizados pela empresa Hidrobrasil Perfurações, durante os meses de setembro e outubro de 2008. Para o valor referente ao Nível Dinâmico (ND), ou seja, quando o poço encontra-se em bombeamento, foi utilizado o valor máximo obtido, dentro das 24 hs de realização dos testes pela empresa, conforme as normas de outorga. No Brasil, as Unidades da Federação são responsáveis pelo licenciamento dos poços, assim, no Estado do Rio Grande do Sul, a outorga compete a Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA-RS). Para os 2 poços que abastecem o prédio do INPE, foram utilizados os dados levantados por Moreira (2005).

Para a elaboração do PI Geologia, utilizou-se o Mapa Geológico da Folha de Camobi na escala original de 1:50.000, elaborado por Gasparetto et al. (1988), e da

Carta Geotécnica de Santa Maria, esta na escala de 1:25.000, elaborada por Maciel Filho (1990). Ambos os levantamentos foram realizados e publicados pelo Departamento de Geociências da UFSM. No aplicativo computacional *ArcMap* 9.2, foi realizado o registro e a vetorização das informações.

Com base na Carta de Uso da Terra da Cidade Universitária, elaborada por restituição aerofotogramétrica pelo Prof. Argentino José Aguirre, do Departamento de Engenharia Rural da UFSM, em 1991, na escala original 1:5.000, foram extraídas as curvas de nível de 5 em 5 metros, a rede hidrográfica e o limite da área em estudo. O levantamento, então em meio analógico, foi digitalizado no aplicativo *Spring* 4.3.2, em projeto coordenado pelo Professor José Américo de Mello Filho no ano de 2005. Com o uso das curvas de nível, no aplicativo *ArcScene* 9.2, gerou-se o modelo numérico do terreno (MNT), elaborado a partir da construção de grade de pontos com latitude, longitude e altitude conhecidas.

A identificação do Uso e Cobertura da Terra no *Campus* da UFSM, para a elaboração do PI Recarga Total, foi realizada através da classificação visual da imagem *Quickbird* capturada do aplicativo *Google Earth Pro*. Essa classificação serviu para identificar as porções com cobertura florestal e as áreas construídas, as quais possuem infiltração diferenciada.

O PI Geomorfologia foi construído com apoio metodológico em Ross (2003), segundo o qual divide a elaboração de cartas de Geomorfologia em 6 níveis taxonômicos. Para esse trabalho, empregou-se o 3º nível que corresponde ao modelado, ou seja, formas que geneticamente foram ou estão sendo geradas por processos denudacionais ou agradacionais. Como ferramenta de auxílio, utilizou-se a visualização em 3D da área em estudo, do arquivo MNT no *ArcScene* 9.2 e as curvas de nível do Levantamento Aerofotogramétrico. Para elaboração desse PI, foi também consultado o esboço Geomorfológico do município de Santa Maria, realizado por Pereira et al. (1989), e sobrepostas as áreas de inundação identificadas por Aguirre (1991).

### 2.2.2 Exportação dos dados vetoriais para *raster* (Tutorial SAGA)

No caso dos planos de informação a serem trabalhados no SAGA 2007, como a identificação das classes é por cores, elas não podem ter contorno. No formato vetorial, as divisas são linhas que não têm expressão espacial, enquanto no formato

matricial (*raster*) as divisas entre classes ocupam espaço no terreno, o que deve ser evitado. Para isso, foi retirado o contorno de cada polígono antes da exportação.

Para georreferenciar o mapa nesse aplicativo, é importante ter no mínimo 2 pontos de apoio com coordenadas conhecidas, as quais, após o georreferenciamento, poderão também servir de limite para recorte do mapa. Como o SAGA trabalha com a estrutura matricial, por células, é recomendável que os pontos de apoio ocupem o tamanho de apenas 1 célula (*pixel*) para se efetuar o georreferenciamento de forma mais adequada possível. É imprescindível que, no arquivo exportado, apareçam os pontos de apoio, fundamentais para o georreferenciamento do arquivo *.tif*.

Os Planos de Informação foram exportados com a resolução espacial de 2 metros, valor equivalente às dimensões do tamanho da célula no terreno. Para isso, selecionou-se a escala de tela de 1:25.200 e 320 DPI. Lembra-se que 254 DPI equivalem a 100 pontos/cm, então 320 DPI serão 125 pontos/cm, o que, na escala de 1:25.200, corresponde a célula de 2 metros (4 m<sup>2</sup>), considerada de alta resolução espacial, e possibilita representação eficiente e rica em detalhamento das ocorrências.

#### 2.2.2.1 Criar um arquivo *raster* a partir de um TIFF no SAGA 2007

Para o manuseio da imagem e posteriores avaliações e interações sobre a mesma, é preciso convertê-la para o formato *Raster* do SAGA 2007 pelo módulo do aplicativo *Criar*. Pelo menu “Arquivo”, foi inserido o arquivo *.tif* e, após, georreferenciado. Em *Imagem – Georreferenciar mapa*, abre-se a opção *Georreferenciar*, a qual é utilizada para inserir os valores das coordenadas E e N, a resolução do mapa e o fuso, definidos na exportação, clicando-se na célula com coordenadas conhecidas. Após, conferiram-se os valores das coordenadas E e N do segundo ponto. Os mesmos pontos foram usados para delimitar a área a ser avaliada. Para isso, utilizou-se *Imagem – Corte demarcado*.

O passo seguinte foi realizar a leitura das cores do mapa, pelos seguintes passos: *Raster – Novo* e, após, novamente em *Raster* e *Auto classificar legendas*. Após o programa fazer a leitura das cores do mapa, as mesmas foram renomeadas e o mapa foi salvo em formato *raster* (*.rst*) compatível com o SAGA 2007. O formato RST aceita imagem com até 5.000 linhas por 5.000 colunas, e o formato RS2 não possui limitação.

### 2.3 Importância das variáveis ambientais nos estudos de vulnerabilidade 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 especializados 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 quadro 5), com auxílio complementar de outros autores, de acordo com as características da área estudada.

Fatores <i>DRASTIC</i>	Faixas	Carga
<b><i>Depth to water</i></b> (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
<b><i>Recharge</i></b> (Recarga total)	0 – 51,85 mm/ano	1
	51,85 – 103,7 mm/ano	3
	103,7 – 181,48 mm/ano	6
	181,48 – 259,26 mm/ano	8
	>259,26 mm/ano	9
<b><i>Aquifer media</i></b> (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
<b><i>Topography</i></b> (Topografia)	0 – 2 %	10
	2 – 6 %	9
	6 – 12 %	5
	12 – 18 %	3
	> 18%	1

Quadro 5 - Fatores *DRASTIC* que serviram de base para a elaboração do quadro 6.

Adaptado por: Camponogara (2006).

O PI Geologia contém as informações referentes ao meio aquífero aflorante da área em estudo e a estrutura das camadas. Por isso, recebe a maior nota. Pela composição e propriedade de cada formação geológica, assim como pela estratigrafia, ou seja, a forma como as mesmas estão dispostas, definiu-se a facilidade de infiltração. Para atribuição das notas referentes a cada formação, levou-se em consideração, ao se definir a vulnerabilidade das águas subterrâneas, a composição das camadas adjacentes não aflorantes no *Campus* e visualizadas nos perfis dos poços, como exemplo da Fm. Rosário do Sul (aquífero de baixa produção e aquífero tardado).

Para isso, utilizaram-se o relatório técnico da Carta Geotécnica de Santa Maria, elaborada por Maciel Filho (1990), e os perfis dos poços tubulares disponíveis na página do SIAGAS/CPRM, e em Moreira (2005). Também, serviram de base na atribuição das notas, as cargas das classes do fator *Aquífero Média* do método *DRASTIC*, de acordo com Aller et al. (1987), o qual é definido a partir de unidades geológicas e hidrogeológicas, associadas aos tipos de aquíferos (livres, semi-confinados e confinados), conforme visualizado no quadro 5.

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 possível 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.

O fator Recarga total (recarga pela infiltração da chuva), considerado pelo modelo *DRASTIC*, está relacionado com a quantidade de água que atinge a zona saturada, ou seja, condiciona o transporte dos poluentes que possivelmente poderão atingir o aquífero. De maneira geral, quanto maior for a recarga, maior será o acúmulo de água no sub-solo. Porém, havendo atividades com potencial de poluição em superfície, poderá haver transporte de substâncias poluidoras até o aquífero. Assim, a nota para a estimativa da Recarga do meio aquífero, no *Campus* da UFSM, baseou-se no fator *Recharge* do modelo *DRASTIC*. Segundo Hausman (1995), a infiltração anual para a área estudada varia entre 50 e 100 mm/ano. Por isso, de acordo com o modelo *DRASTIC*, o intervalo de recarga corresponde ao que varia de 51,85 a 103,7mm/ano e a nota 3.

Embora esse modelo baseia-se principalmente na pluviometria e não leva em consideração a cobertura da Terra, nesse trabalho considerou-se a recarga como diferenciada em função do seu uso e cobertura. Para isso, atribui-se nota 4 para as áreas com cobertura florestal. Já para os setores construídos, atribuiu-se nota 1, o que equivale, de acordo como modelo *DRASTIC*, ao intervalo entre 0 a 51,85 mm/ano.

Peso	Variável e fundamentação	Classe	Nota
<b>30 %</b>	<b>Geologia</b> (Aller et al., 1987; Maciel Filho, 1990)	Terraços Fluviais (aqüífero livre)	9
		Depósitos Fluviais de várzea (aqüífero livre)	8
		Fm. Santa Maria/Passo das Tropas (aqüífero livre)	8
		Fm. Santa Maria/Alemao (aqüiclude)	2
<b>25 %</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>20 %</b>	<b>Recarga</b> (Aller et al., 1987; Hausman, 1995)	Cobertura florestal	4
		Demais áreas	3
		Setor construído	1
<b>15 %</b>	<b>Declividade</b> (Aller et al., 1987)	0 – 2 %	10
		2 – 6 %	9
		6 – 12 %	5
		12 – 18 %	3
		> 18%	1
<b>10 %</b>	<b>Geomorfologia</b> (Pereira et al., 1989; Ross, 2003)	Banhado	10
		Topo de Coxilhas	8
		Planície aluvial	5
		Planícies	1

**Quadro 6 - Notas e pesos usados na avaliação da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas.**

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 aqüíferos. Quanto maior for a 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 Geomorfologia é uma variável ainda pouco explorada nos estudos de vulnerabilidade de aquíferos. Entretanto, a forma do relevo tem grande influência no fluxo e na recarga da água subterrânea. Assim, faz-se necessário a abordagem do relevo nos estudos de vulnerabilidade, uma vez que, conforme Rebouças (2002) regra geral, as zonas de recarga das águas subterrâneas, que são captadas por um poço profundo, são as colinas. Barreto (2006) também constatou, por balanço hídrico em bacia representativa, que em terrenos mais planos e em cotas topográficas mais elevadas, tendem a produzir uma maior recarga direta do aquífero.

Os processos denudacionais elaboram as formas esculturais do relevo através da dissecação, por ação física e bioquímica tendo como energia o clima pretérito e atual e são as principais áreas de recarga aquífera. Já os processos agradacionais elaboram formas de relevo por deposição (acumulação de sedimentos, quer seja em ambientes fluviais, lacustres marinhos ou eólicos) e são áreas, em muitos casos, sujeitas a inundação.

Assim, consideraram-se para o *Campus* da UFSM os topos das coxilhas como áreas de denudação, ou seja, que sofrem o processo de dissecação (perda de material) com maior intensidade, como áreas mais vulneráveis, uma vez que, no topo dessas coxilhas, é aonde geralmente ocorre a recarga das águas subterrâneas. As coxilhas pampeanas, assim denominadas segundo o Mapa Geomorfológico do IBGE/INCRA (1972 apud PEREIRA et al., 1989), são colinas côncavo-convexas, suaves e contínuas, associadas à extensa planície da Depressão Central.

As planícies aluviais, como foram classificadas por Pereira et al. (1989), são áreas de agradação (acúmulo de material) que podem ser áreas de inundação e, por serem áreas deprimidas, o nível freático é geralmente mais próximo e, por isso, são consideradas zonas de média vulnerabilidade. Já as áreas de banhado são onde possivelmente ocorre a descarga de algum lençol, e devem ser restritas à ocupação.

## 2.4 Aplicação do SAGA 2007: avaliações ambientais.

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 no entrecruzamento 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 estudado. Os pesos são a ponderação e, conseqüentemente, integram-se, compondo 100% da explicação proposta para o problema em estudo. Os pesos utilizados (que representam a importância de cada variável para o estudo) encontram-se na árvore de decisão (figura 7).

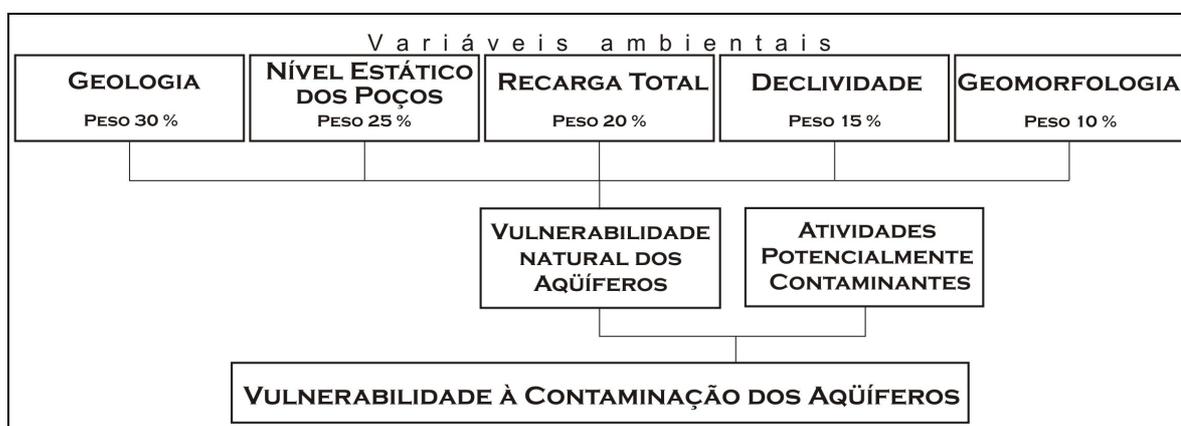


Figura 7 - Árvore de decisão e seus respectivos pesos usados na pesquisa.

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 e Zaidan (2004).

(1)

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^n (P_k \cdot N_k)$$

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, iniciou-se a avaliação, para a qual escolheu-se 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. Parte desse relatório, que corresponde as notas classificadas como de alta vulnerabilidade na avaliação direta, encontra-se no anexo 2.

As classes de vulnerabilidade foram identificadas pela soma dos produtos das combinações: cada mapa recebe um peso e cada classe do mapa uma nota. Pela média ponderada ((nota\*peso)/100) é obtido um produto. A soma dos produtos de cada classe na combinação é que dá origem a nota final da combinação. As notas são em nível hierárquico, ou seja, quanto maior a nota, maior é a vulnerabilidade da combinação. No final, as notas obtidas nas combinações foram agrupadas em intervalos de classes de vulnerabilidade, adaptadas de Foster et al. (2003).

As notas atribuídas às classes dos mapas variaram de 0 a 100. Nesse caso, por tratar-se de uma avaliação direta, quanto maior a nota, maior o risco que aquela classe apresenta à percolação de possíveis contaminantes e infiltração ao aquífero. No mapa final, as notas foram agrupadas nas classes de vulnerabilidade definidas por Foster et al. (2003), conforme intervalo de classes indicadas no quadro 4: desprezível, baixa, média, alta e extrema. Após, as notas e classes foram

quantificadas e analisadas, usando-se para isso, o módulo *Assinatura* do SAGA 2007 e o relatório final gerado pela Avaliação.

Para avaliar as incongruências de uso, foi utilizado o módulo *Combinar* do SAGA 2007. A avaliação das incongruências de uso é uma forma de análise usada em geoprocessamento ambiental, que apresenta como base para a sua elaboração as avaliações ambientais diretas que, por sua vez, são executadas a partir dos dados originais. Para isso, foi utilizada a planta de fossas e redes de esgoto, disponibilizada pela Prefeitura da Cidade Universitária do ano 2008 e realizados os levantamentos de campo.

Os levantamentos de campo foram necessários para verificar as atividades potencialmente contaminantes, desenvolvidas no *Campus* da UFSM. Para a estimativa de suas possíveis áreas de influência, no aplicativo *ArcMap* 9.2, foram gerados *buffers* conforme o tipo de potencial poluidor. A planimetria gerada no aplicativo foi então exportada com resolução espacial de 2 metros, conforme processo descrito anteriormente. No aplicativo SAGA 2007, foi realizada a combinação com o Mapa da Vulnerabilidade Natural das Águas Subterrâneas, identificando assim, prováveis áreas com risco potencial de contaminação aos aquíferos. Nos aplicativos computacionais CorelDRAW e Corel Photo-Paint, foi realizado o acabamento final dos mapas.

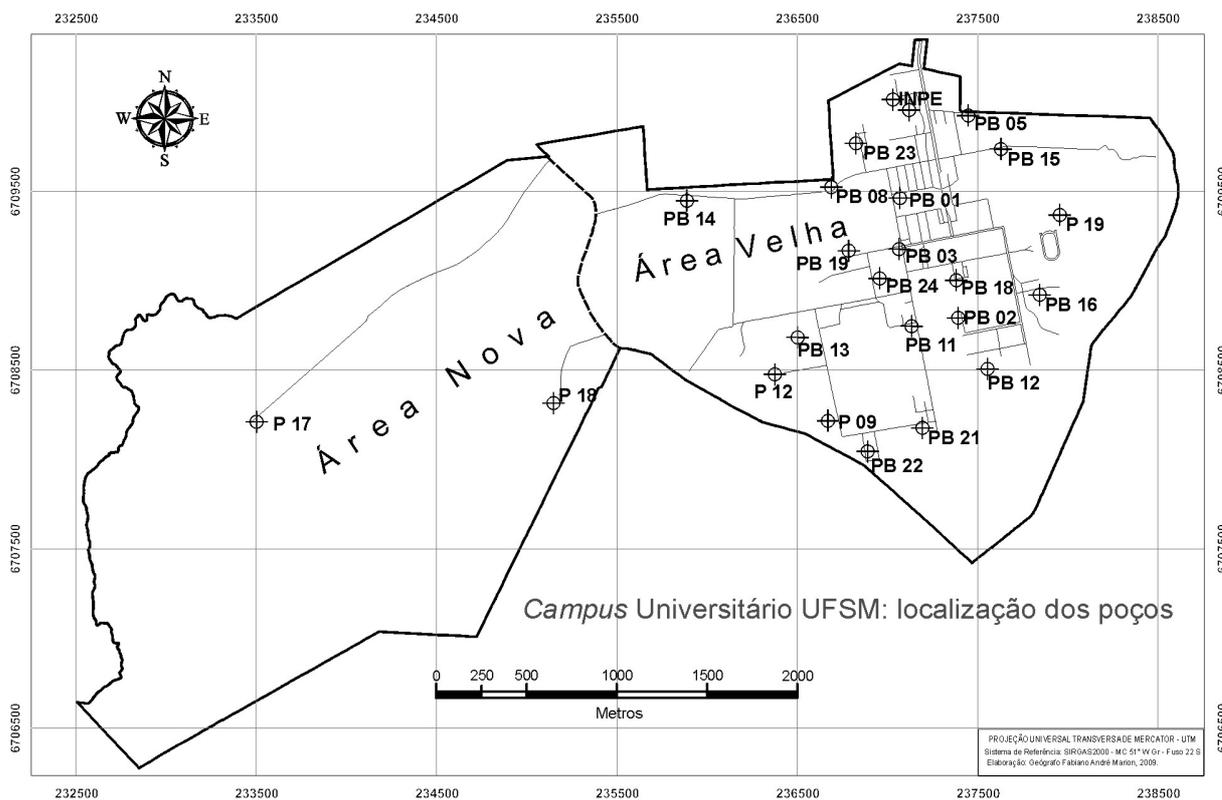
### 3. RESULTADOS

Primeiramente, para estabelecer a vulnerabilidade natural das águas subterrâneas, realizou-se um levantamento cadastral dos 24 poços tubulares em atividade no *Campus* da UFSM, distribuídos numa área de aproximadamente 1.130 ha. O georreferenciamento dos poços foi atrelado à Rede de Referência Cadastral do *Campus* da UFSM.

Os dados referentes aos Níveis Estático e Dinâmico dos poços foram obtidos por acompanhamento e verificações posteriores aos testes de vazão, realizados pela empresa Hidrobrasil Perfurações para a outorga dos mesmos junto a SEMA-RS. Já os dados construtivos foram obtidos junto ao Setor de Hidráulica e Saneamento da Prefeitura da Cidade Universitária, setor este responsável pela manutenção dos poços no *Campus* da UFSM.

#### 3.1 Situação atual

Os poços localizam-se principalmente na área urbanizada do *Campus*, denominada área velha, onde se concentra a grande maioria das atividades da Universidade. Na área nova, estão locados apenas 2 poços, ambos com compressor. No anexo 1, encontra-se a tabela com os dados dos poços cadastrados utilizados no trabalho, e na figura 8, a localização. Os poços que iniciam com a sigla **P**, seguido do número, referem-se aos poços com compressor, e os que iniciam com a sigla **PB**, referem-se a poços dotados com bomba submersa, a qual permite uma maior sucção d'água, quando comparado ao compressor.



**Figura 8 - Localização dos poços no Campus da UFSM.**

Com relação às formas de uso da água dos poços com bomba submersa, são múltiplas, entre eles citam-se: abastecimento humano, dessedentação animal, sanitários, lazer (piscinas térmicas) e irrigação. Os poços com compressor estão localados em áreas rurais, onde a demanda por água é menor, e atendem à produção animal e ao manejo de cultivos agrícolas. Citam-se como exemplo os poços: **P09** - localizado junto ao Setor de Laticínios, o qual estava desativado no momento da coleta de dados; **P12** - situado junto ao setor de suinocultura; **P17** – localizado junto à Torre da Rádio na área nova e que atende a atividades agrícolas; **P18** – localizado junto ao setor de bovinocultura de corte na área nova e o **P 19** – situado na área de experimentação agrícola do Departamento de Solos, CCR.

Deve-se salientar ainda, que os poços encontram-se cercados, conforme as normas de outorga da SEMA-RS, e que 7 (sete) deles contam com clorador, instalado para diminuir o risco de contaminação de origem biológica, como no poço **PB05** que abastece o Centro de Ciências da Saúde. Já os 2 (dois) poços responsáveis pelo abastecimento do Centro Regional Sul do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE/CRS), o qual situa-se no *Campus* da UFSM, possuem bomba submersa e são identificados pela sigla INPE, diferenciados pela sua

localização: o sufixo **N**, indica que situa-se a Norte do prédio do INPE e o sufixo **S**, ao Sul. Ambos encontram-se com a “boca do poço” abaixo da superfície do terreno.

No ano de 2008, a Universidade perfurou 2 novos poços: o **PB 01**, próximo ao prédio 21, e o **PB 02**, no Parque de Exposições. Este último, para atender ao futuro Centro de Eventos. O poço novo, **PB 01**, que atingiu 270 metros de profundidade, apresentou água salobra, constatada pela alta Condutividade Elétrica, obtida em campo, em 20/08/2008, com uso de condutivímetro Hanna HI 93.000, a qual teve como resultado 3,33 mS/cm, o que corresponde a 2.164 mg/L de Sólidos Totais Dissolvidos (STD), portanto salobra, de acordo com a Resolução 357/2005 do CONAMA.

Esse valor encontra-se muito acima da oscilação verificada no *Campus* da UFSM por Marion, Capoane e Silvério da Silva (2007), que encontraram para o poço **PB20** (desativado), durante o ano de 2005, perfurado na profundidade final de 102 metros e distante cerca de 50 metros do poço **PB01**, a variação anual entre 0,380 a 0,631 mS/cm, o que corresponde a faixa de 247 a 410 mg/L de STD. Segundo a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, o valor máximo permitido para consumo humano é de 1000 mg/L. Assim, a água do poço novo (**PB 01**) não pode ser usada para consumo humano e nem para a lavagem de veículos, devido ao seu alto índice de sais (Na, Cl,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{NO}_3^-$ ). Essa enorme diferença de valores, em poços muito próximos, deve-se ao fato de o poço **PB01** atingir 270 metros de profundidade, provavelmente parte de um outro lençol freático, enquanto a maioria dos poços do *Campus* não ultrapassa 120 metros.

Segundo informações da Prefeitura da Cidade Universitária, a UFSM pretende perfurar mais 2 poços, ainda para o primeiro semestre de 2009, uma vez que os poços em funcionamento não estão mais dando conta da atual demanda, mesmo com o HUSM recebendo água da CORSAN (Companhia Rio-Grandense de Saneamento) desde março de 2008. Outra hipótese que está em estudos é a construção de uma barragem na área nova para regularizar o abastecimento da água. Entretanto, essa obra requer estudos de viabilidade técnica e de impacto ambiental para a sua implantação.

## 3.2 Avaliação da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas.

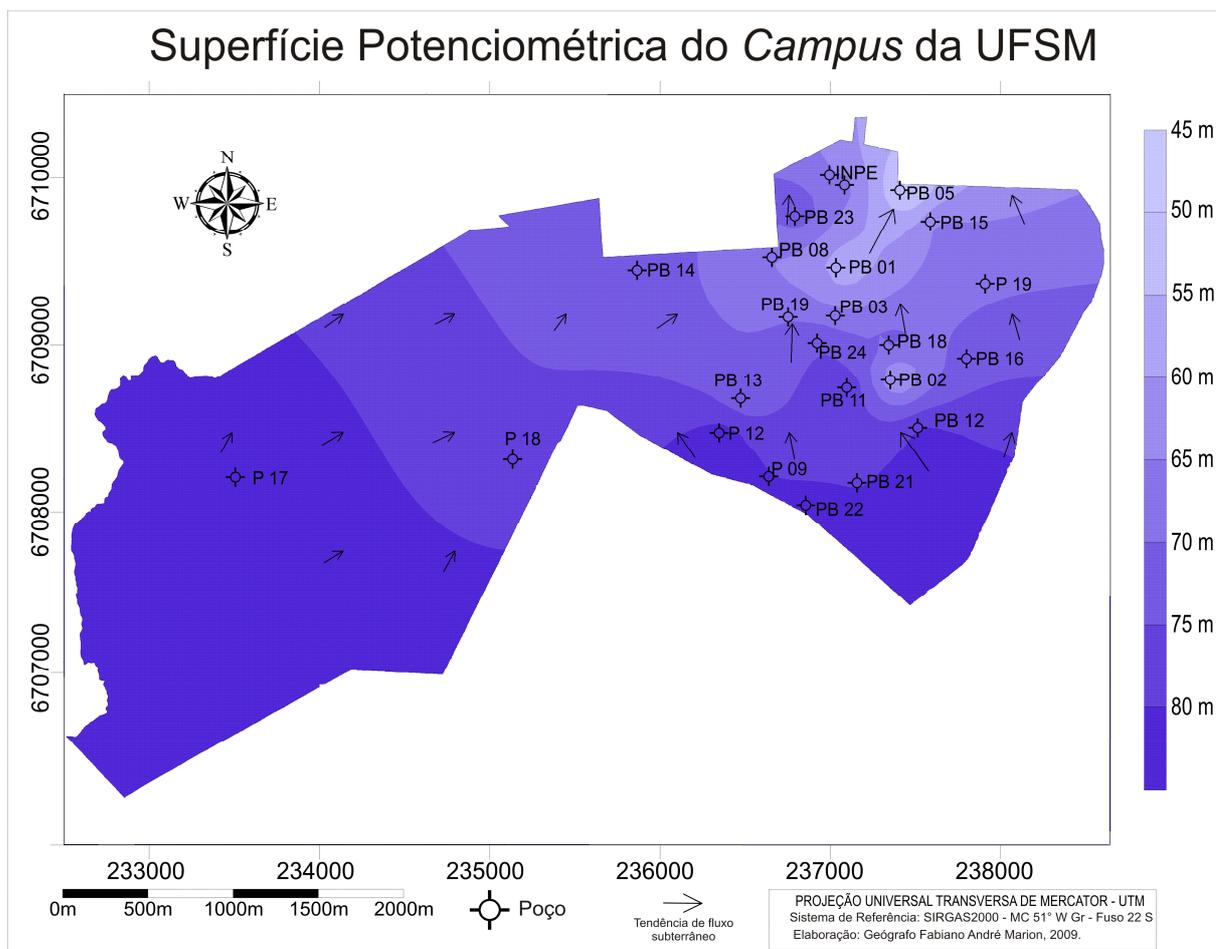
### 3.2.1 Mapas das variáveis ambientais

A superfície potenciométrica é o conjunto de níveis potenciométricos, formados pela altura do nível d'água dos poços de uma determinada área. Para isso, foram utilizados os dados referentes à cota altimétrica da “boca do poço”, obtidos a partir dos marcos geodésicos implantados pelo projeto SIG-UFSM, com o uso de estação total, e o nível estático dos poços, ou seja, o nível d'água em estado de repouso. Tal procedimento visa estimar a provável direção do fluxo subterrâneo da água e a dispersão de possíveis contaminantes. Para isso, extraiu-se, da cota altimétrica da boca do poço, a distância até o nível estático da água, obtendo-se assim, a cota do nível da água (nível potenciométrico). Essa relação possibilita uma estimativa da altura ortométrica da coluna d'água em relação ao *datum* vertical, nível do mar no porto de Imbituba (Estado de Santa Catarina).

A figura 9 apresenta um cartograma com a estimativa desse provável fluxo, gerado a partir da *Krigagem* ordinária como método de interpolação espacial. Para isso, foram gerados vários testes e constatou-se que, apesar de haver apenas 2 (dois) poços na área velha, a retirada desses 2 da análise não influencia na interpolação dos poços da área nova.

A superfície potenciométrica variou entre 46,78 a 85,70 m, indicando um desnível da carga hidráulica de 39 metros na área em estudo. O desnível representa o fluxo subterrâneo predominante no sentido de sul/sudoeste para norte/nordeste da área em estudo, em direção ao Bairro Camobi. A direção do fluxo é a mesma das camadas geológicas, que se encontram mergulhadas em direção norte, para o centro da Bacia Sedimentar do Paraná.

Em estudo realizado na área velha do *Campus* Universitário da UFSM, Moreira (2005) também constatou esse mesmo sentido para o fluxo subterrâneo. O cartograma da superfície potenciométrica pode ser utilizado no planejamento de futuras áreas de expansão e alocação de atividades potencialmente contaminantes, pois, através dele, pode-se inferir uma possível dispersão de contaminantes, caso ela ocorra.



O Mapa Geológico recebeu maior importância no estudo, (30%), por a ele serem atribuídos 2 fatores na avaliação: as propriedades da formação geológica ocorrente e a disposição das camadas adjacentes. Para isso, definiram-se as unidades geológicas e hidrogeológicas associadas aos tipos de aquíferos (confinados, semiconfinados e livres). O parâmetro refere-se à capacidade de atenuação e transmissividade da rocha, que ocorre em função dos minerais constituintes, grau de cimentação, da granulometria e porosidade. Uma rocha, formada por minerais grosseiros ou com fraturas, possui menor capacidade de atenuar possíveis poluentes, por exemplo.

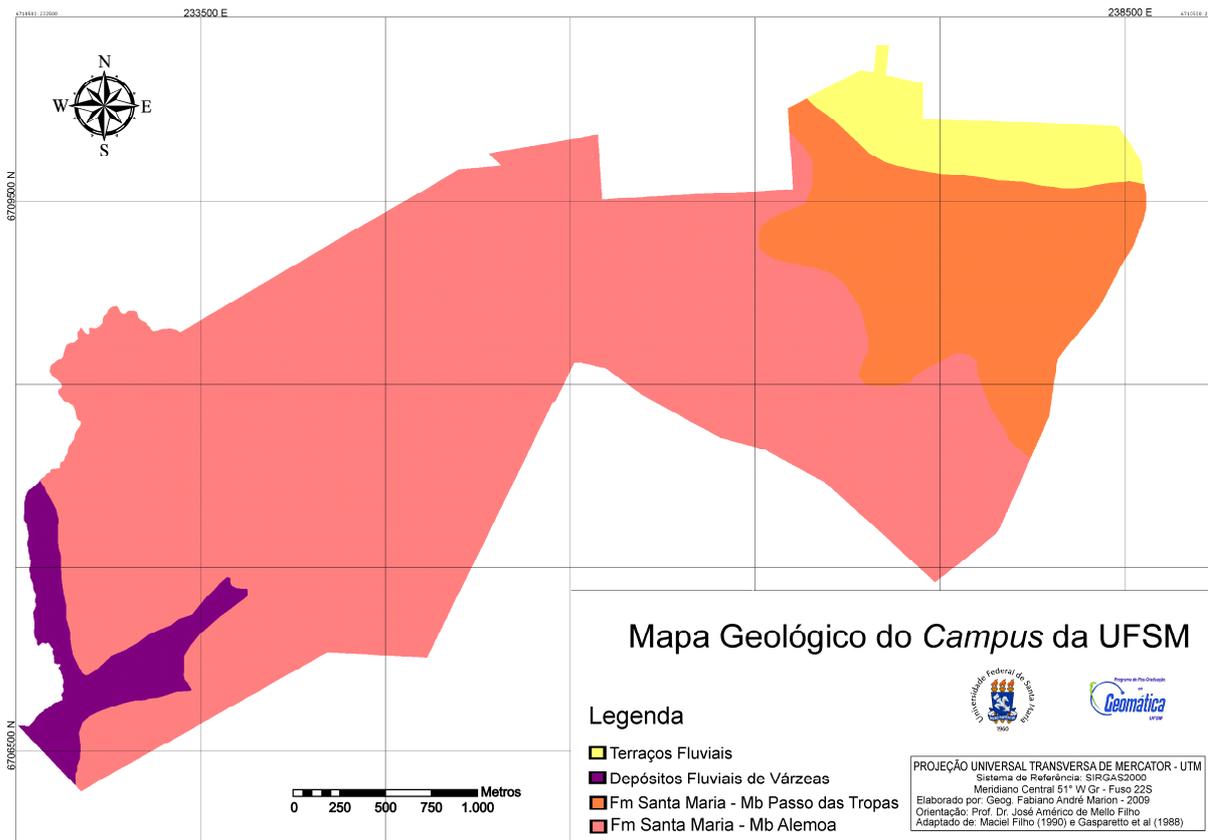
Observando os perfis dos poços dispostos na página do SIAGAS/CPRM, e em Moreira (2005), constatou-se a presença do aquífero Passo das Tropas (Fm. Santa Maria – Mb Passo das Tropas), o qual encontra-se confinado em toda a área nova do *Campus* e, em parte da área velha, pelo aquíclode Alemoa (Fm. Santa Maria – Mb Alemoa) e livre, na área mais urbanizada do *Campus*. É considerado, por Machado (1995), o aquífero mais importante de Santa Maria, RS, por ser o mais

explorado. Abaixo dele, encontra-se a Fm. Rosário do Sul, a qual formação é associada um aquífero de baixa produção e aquífero. No perfil do poço PB 03, encontrado em Moreira (2005), é observada na parte superior a presença de arenitos associados ao aquífero Passo das Tropas, seguida de uma camada de argila e, após 4,5 metros de profundidade, constituído por arenito fino intercalado com arenito médio.

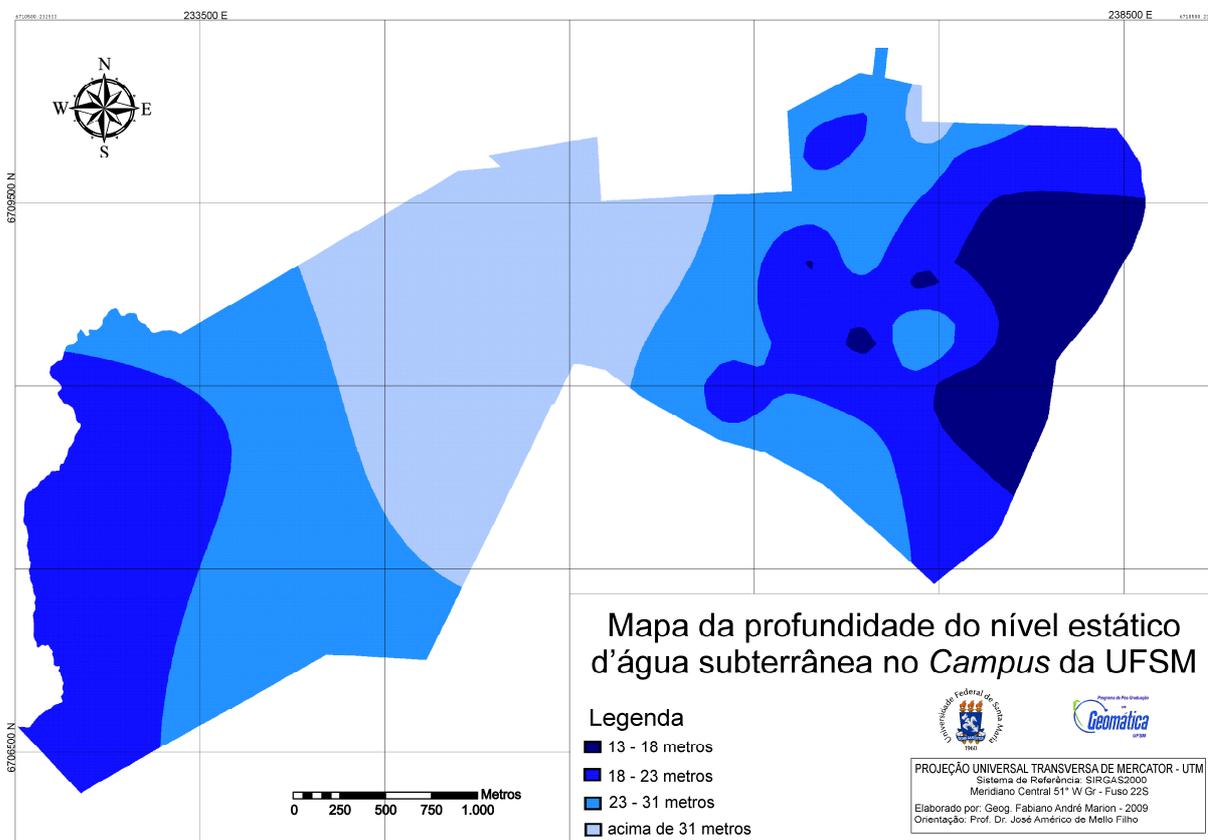
A Fm. Santa Maria – Mb Alemoa, composta por siltitos argilosos maciços, possui muitos poros, até cerca de 50 %, que atenuam a percolação de possíveis contaminantes antes que os mesmos cheguem ao aquífero Passo das Tropas e Rosário do Sul. Por outro lado, essa formação transmite pouca água, fato esse provavelmente indicado pela elevada profundidade do lençol freático dos poços dispostos sobre essa formação, como o poço PB14 no Jardim Botânico (NE 39,52 metros) e o poço P18 localizado na área nova, no setor de Bovinocultura de Corte do Depto de Zootecnia (NE 40 metros).

O Mapa da Geologia do *Campus* (figura 10) apresenta, ainda, duas classes com depósitos fluviais recentes. Trata-se dos Terraços Fluviais do período Quaternário, localizados no setor nordeste do *Campus*, que apresentam alta vulnerabilidade, por tratarem-se de um aquífero livre, composto por conglomerados e arenitos médios argilosos. Conforme os perfis dos poços PB 06 e PB 05, disponíveis na página eletrônica do SIAGAS/CPRM, constata-se uma camada formada por conglomerados na parte superior do perfil do poço, referentes a esses depósitos sedimentares, originários da dissecação fluvial do Rebordo do Planalto. Já os Depósitos Fluviais de Várzea, no sul da área nova, compõem-se de materiais inconsolidados e permeáveis e ainda formam um banhado, que ocorre por drenância profunda a partir dos aquíferos com os quais pode estar em contato.

Com relação ao poço PB 20, localizado ao lado do prédio 21 e desativado, de acordo com a CPRM (1996), sua melhor fração litológica aquífera para a captação d'água é a parte mais superficial do perfil do poço, que correlaciona-se ao Membro Passo das Tropas da Formação Santa Maria, seguido da Formação Rosário após 21 metros de profundidade. Como o aquífero Passo das Tropas encontra-se na parte superior do perfil do poço, é preciso ter atenção na sua ocorrência de forma livre, uma vez que o mesmo é altamente vulnerável a contaminação.



**Figura 10 – Mapa Geológico do Campus Universitário da UFSM**



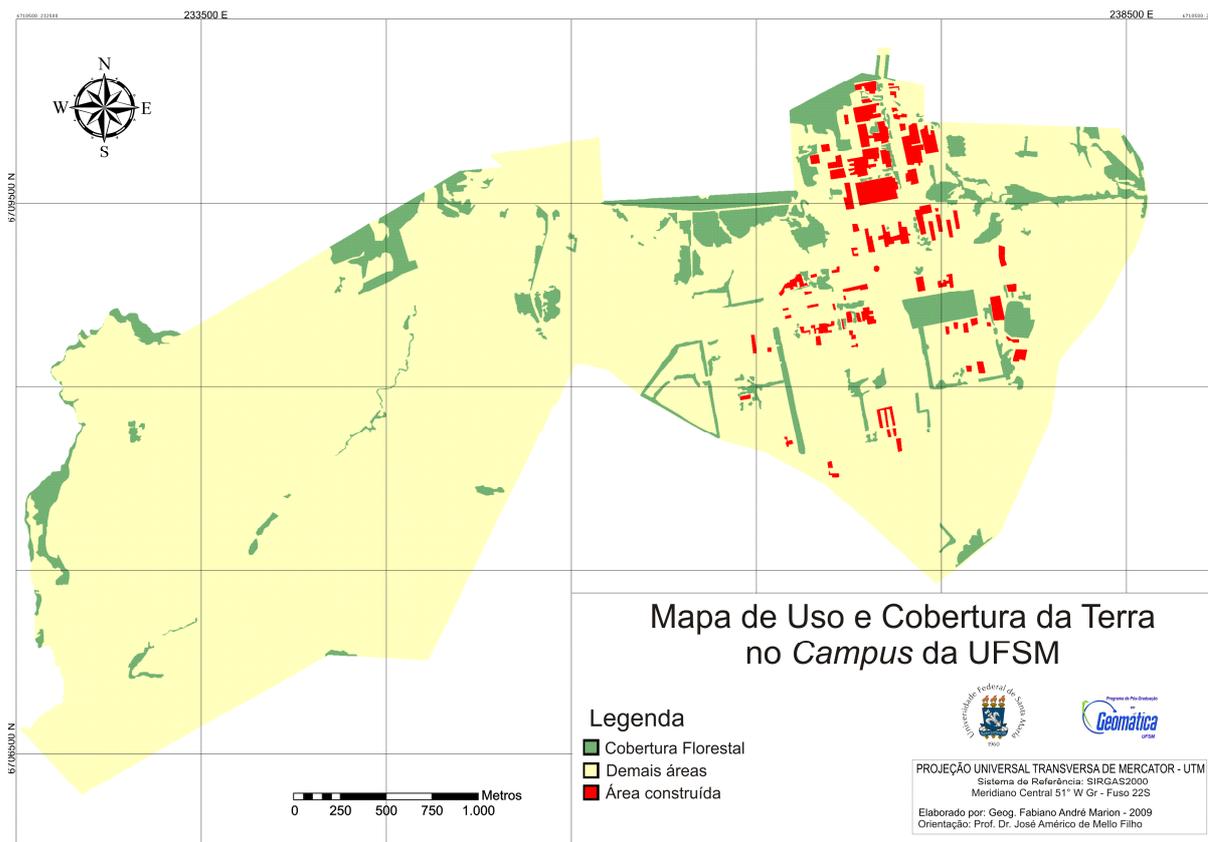
**Figura 11 – Mapa da profundidade do nível estático da água subterrânea no Campus da UFSM**

A Profundidade da água subterrânea, observado na figura 11, é o fator mais importante para a avaliação da vulnerabilidade. É o Nível Estático dos poços, ou seja, a distância entre o nível d'água em repouso e a "boca do poço". A mensuração do Nível Estático dos poços foi realizada com medidor especial conhecido como freatímetro sonoro, e a variação encontrada foi entre 15,35 a 40 metros de distância. O valor zero corresponde aos poços jorrantes ou as fontes que afloram em superfície, situação essa não encontrada nos poços do *Campus* da UFSM, o que diminui o risco de contaminação da água subterrânea, uma vez que a maior proximidade encontrada do lençol freático foi de 15,35 metros no poço PB12, localizado no Parque de Exposições da UFSM.

Com relação à interpolação espacial dos valores referentes ao NE dos poços, o método que mais se aproximou da realidade na comparação visual dos cartogramas, para o caso desse estudo, foi a *Krigagem*. Isso pode estar relacionado ao fato de que a *Krigagem* é um estimador linear não-viciado que leva em consideração a estrutura de variabilidade espacial encontrada para o atributo, produzindo superfícies contínuas, ao contrário, por exemplo, do método Inverso do Quadrado da Distância que é um interpolador univariado de médias ponderadas e tem como característica principal a formação de círculos concêntricos conhecidos como "olhos de touro" (SILVA, 2003).

O fator Recarga Total (recarga pela infiltração da chuva) está relacionado com a quantidade de água que atinge a zona saturada, ou seja, condiciona o transporte dos poluentes que possivelmente poderão atingir o sistema aquífero. De maneira geral, quanto maior for a recarga, maior será o acúmulo de água no mesmo, porém, havendo atividades com potencial de poluição em superfície, poderá ocorrer transporte de substâncias poluidoras até o sistema aquífero.

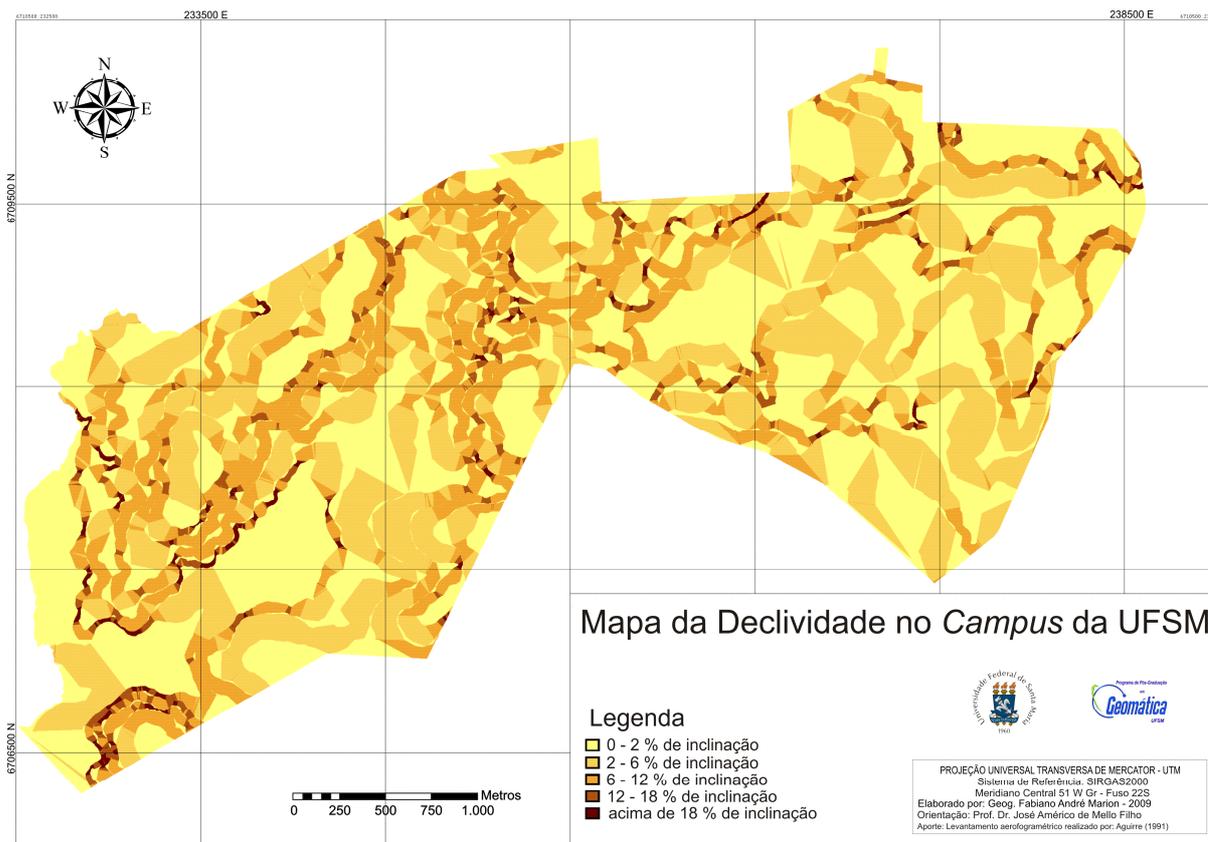
A figura 12 ilustra o Mapa de Uso e Cobertura da Terra no *Campus* da UFSM. A classe Cobertura Florestal abrange a vegetação nativa, mata ciliar e as áreas com reflorestamento de Eucaliptos e Pinus. A classe Área Construída incluiu as áreas impermeabilizadas, entre elas, edificações e calçadas. Já a classe Demais Áreas inclui os usos restantes, entre eles, campo, gramíneas e lavouras de experimentação agrícola.



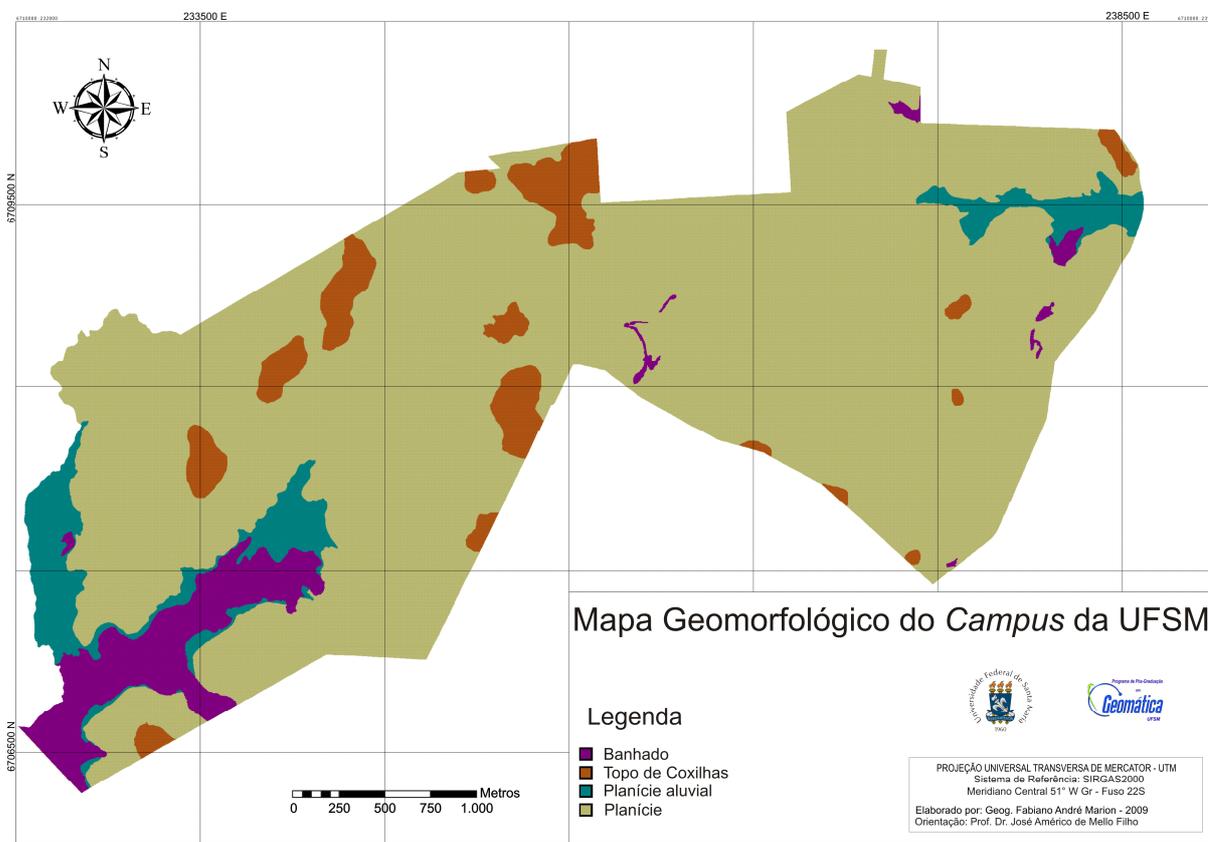
**Figura 12 – Mapa de Uso e Cobertura da Terra para o Campus Universitário da UFSM**

Na área em estudo, tem-se uma precipitação média anual entre 1.600 a 1.800 mm/ano sem estação seca ou chuvosa definida. Destes, estima-se por Hausman (1995) que, aproximadamente, 50 a 100 mm/ano se infiltram para recarga do Sistema Aquífero Guarani (o que corresponde a nota 03, segundo o modelo *DRASTIC*). Embora esse modelo possua o fator *Recharge* (recarga), o mesmo não considera o uso e a cobertura da Terra na infiltração. Optou-se aqui por distinguir três classes de uso, com diferença na infiltração (em ordem crescente de infiltrabilidade): cobertura florestal, demais áreas (campo, lavoura experimental e gramado) e área construída, conforme observado no quadro 6.

O Mapa da Declividade (figura 13), identificado com base no Modelo Digital do Terreno (MNT), foi gerado a partir das curvas de nível de 5 em 5 metros, extraídas da Carta de Uso da Terra do Campus da UFSM (AGUIRRE, 1991). A identificação da inclinação do terreno fornece informações valiosas a respeito das aptidões naturais, ou seja, é revelador dos limites impostos pelo relevo aos diferentes tipos de uso, influencia no escoamento superficial e na taxa de infiltração subterrânea, por isso, de grande valia para o planejamento.



**Figura 13 – Mapa da Declividade no *Campus* Universitário da UFSM**



**Figura 14 – Mapa Geomorfológico do *Campus* Universitário da UFSM.**

Conforme observa-se na figura 13, no *Campus* da UFSM a declividade é pouco acentuada: como na maioria das áreas da Depressão Central, apresenta-se de forma suave, o que favorece a infiltração e diminui o escoamento superficial. Entre as classes estudadas, predominam aquelas com declividade inferior a 2% (42,4% da área em estudo), seguidas das seguintes classes: 2 – 6% (31,7% de abrangência), 6 – 12% (21,8%), 12 – 18% (3,1%) e na classe com inclinação superior a 18%, apenas 0,9% da área total. A predominância de baixa declividade contribui para o aumento da vulnerabilidade das águas subterrâneas, devido a esta variável favorecer a infiltração.

Com relação à geomorfologia (ver figura 14), pelo fato de o *Campus* estar totalmente situado na Depressão Central, o relevo apresenta-se de forma pouco variada, com suaves elevações, conhecidas regionalmente por Coxilhas. A maior parte delas localiza-se na área nova e próxima a estrada do Pains, a qual foi construída sobre um divisor de águas, entre as bacias dos arroios Passo das Tropas e Vacacaí-mirim. Na área em estudo, foram também identificadas duas áreas deprimidas que formam planícies aluviais. A principal delas situa-se no sudoeste do *Campus*, e é uma área de banhado, que apresenta restrições a ocupação.

### 3.2.2 Integração das variáveis ambientais por geoprocessamento.

Para a avaliação da vulnerabilidade natural, as notas foram dispostas na escala de 0 a 100, o que permitiu uma análise mais detalhada do que se fosse utilizada a escala de notas entre 0 a 10. Para isso, multiplicaram-se as notas da árvore de decisão por 10. A partir dos resultados obtidos pela integração dos Planos de Informação, no aplicativo SAGA 2007, e pelo relatório gerado na avaliação (anexo 2), pode-se hierarquizar a vulnerabilidade natural dos aquíferos no *Campus* da UFSM, conforme Tabela 2.

As notas resultantes da avaliação oscilaram entre 17 a 66. 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 100. Assim, as notas resultantes da avaliação entre 17 (nota mais baixa obtida) a 30, foram definidas como de vulnerabilidade baixa. A partir da nota 31 até a nota 49, definiu-se como de média vulnerabilidade. Já as notas acima de 50, até a maior nota encontrada (66), foram definidas como de vulnerabilidade alta. De acordo com essa

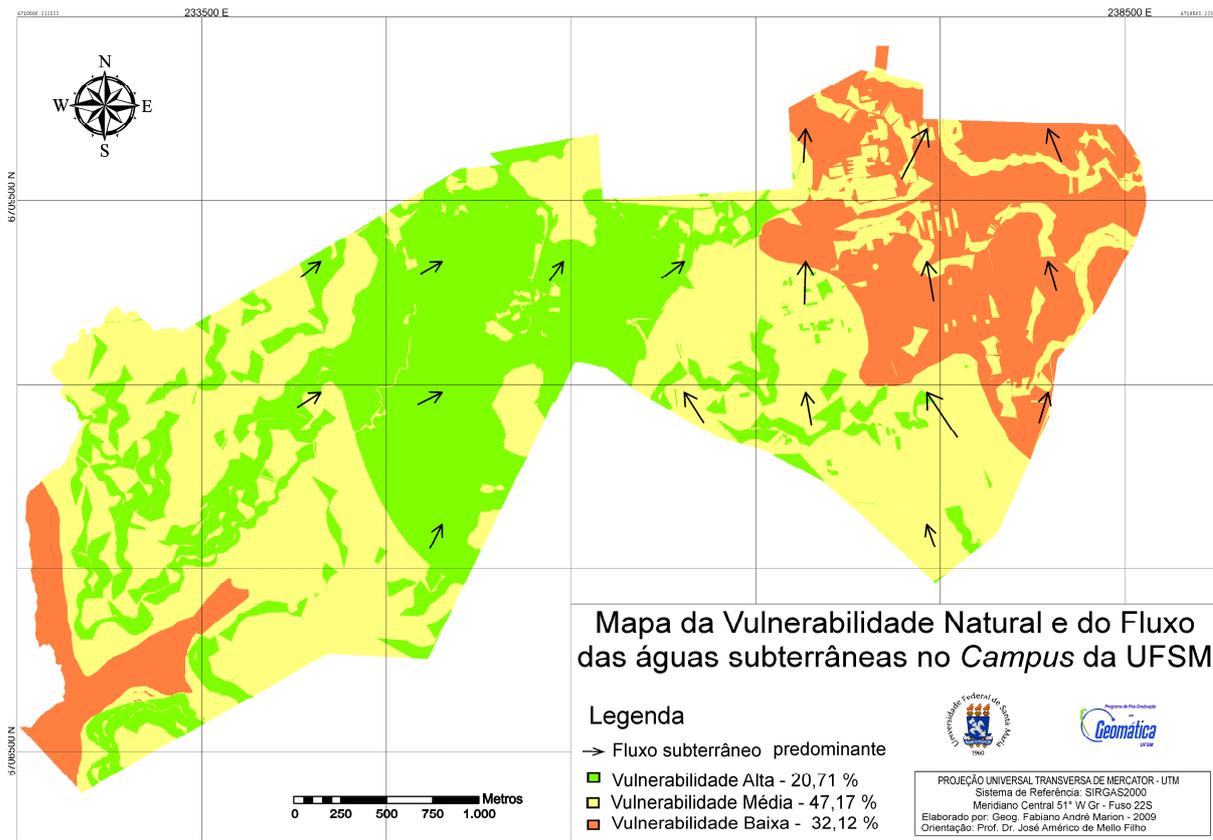
escala, as notas acima de 70 seriam classificadas como de vulnerabilidade extrema, entretanto, não foram encontradas.

**Tabela 2: Hierarquia das Classes de Vulnerabilidade Natural determinadas no zoneamento**

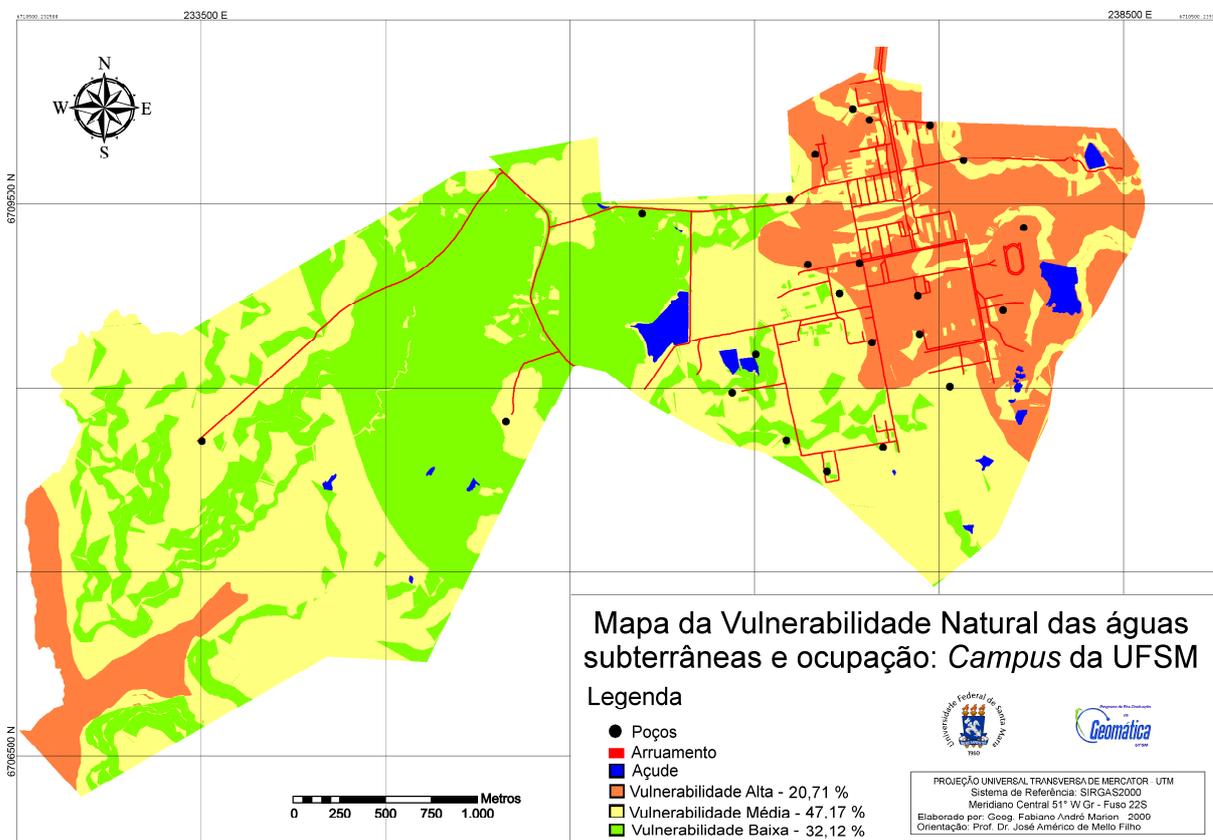
<b>Classe de Vulnerabilidade Natural</b>	<b>Notas obtidas na avaliação</b>	<b>Porcentagem</b>
<b>Baixa</b>	17 – 30	32,12 %
<b>Média</b>	31 – 49	47,17 %
<b>Alta</b>	50 – 66	20,71 %

No *Campus* da UFSM, predomina a Vulnerabilidade Média, em cor amarela no Mapa da Vulnerabilidade Natural, com 47,17% de abrangência sobre a área, o que corresponde a quase a metade da área total do *Campus*. Já a Vulnerabilidade Alta, possui 20,71% de abrangência, a qual ocorre em 2 áreas: no leste e a sudoeste da área em estudo. Na área de Vulnerabilidade Alta, situada a leste do *Campus*, e representada pela cor vermelha, é desenvolvida a maioria das atividades, é a área urbanizada do *Campus*, e onde foi perfurada também a grande maioria dos poços tubulares para abastecer aos prédios (ver figuras 15 e 16).

Já a Vulnerabilidade Baixa foi identificada em alguns setores da área velha, onde se situa o Jardim Botânico e, em sua grande maioria, na área nova, e abrange 32,12% (representada pela cor verde). Em termos de conservação das águas subterrâneas, os locais com baixa vulnerabilidade são os mais adequados para a expansão urbana do *Campus*, uma vez que a quantidade de nitrato, gerado pelos dejetos do homem, também é potencialmente poluidor. No caso de expansão urbana do *Campus* sobre essa área, não seria necessária a remoção da cobertura florestal. Pela combinação dos mapas, e pela quantificação das combinações no módulo *Assinatura* do SAGA 2007, verificou-se que apenas 17,41 ha possuem cobertura florestal concentrada do total de 366,79 ha da classe Vulnerabilidade Baixa, o que equivale a menos de 5 % da classe.



**Figura 15 – Mapa da Vulnerabilidade Natural à Contaminação e do Fluxo das águas subterrâneas no *Campus* Universitário da UFSM**



**Figura 16 – Mapa da Vulnerabilidade Natural à Contaminação das águas subterrâneas e Ocupação no *Campus* Universitário da UFSM**

O Mapa da Vulnerabilidade Natural à Contaminação e do Fluxo das Águas Subterrâneas, ilustrado na figura 15, compõe um dos pilares do planejamento territorial, e em especial, dos Planos Diretores. Mostra como os responsáveis pelo ordenamento das atividades nos municípios deveriam realizar o planejamento de uso e ocupação do solo. Esse mapa é fundamental ao definir a locação de distritos industriais, depósitos, aterros sanitários, cemitérios, postos de combustíveis, ou qualquer outra atividade com potencial poluidor, e que possa oferecer risco de contaminação às águas subterrâneas.

Assim, um Plano Diretor, para ser eficiente e eficaz, deve recomendar, juntamente com outros estudos, a instalação de atividades potencialmente contaminantes em locais de baixa vulnerabilidade e, preferencialmente, à jusante do fluxo subterrâneo dos poços de captação utilizados para o abastecimento humano. Deve também, restringir a locação das atividades potencialmente contaminantes nas áreas de vulnerabilidade alta e extrema.

Não foi encontrada combinação que resultasse em Vulnerabilidade Desprezível. Isso ocorreu porque a menor nota atribuída para a variável com maior importância, a Geologia, foi 20, referente ao aquíclode Alemoa, o que elimina a possibilidade de gerar combinação que resultasse em notas inferiores a 10. Assim como, também não houve a combinação de variáveis que pudessem gerar notas acima de 70 (Vulnerabilidade Extrema). Cabe ressaltar que, conforme Hirata (1994), 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 (anexo 2), gerado pelo aplicativo SAGA 2007 durante a avaliação, a combinação que mais contribuiu para a identificação da Vulnerabilidade Alta foi principalmente da classe “Fm. Santa Maria Mb. Passo das Tropas”, que gera um produto de 24 pontos, com a classe “Declividade inferior a 2%”, que gera um produto de 15 pontos. Outras combinações, também podem resultar valores maiores que essas duas juntas, entretanto, não aparecem com tanta frequência nas combinações que resultaram na Vulnerabilidade Alta, quanto as classes “Fm. Santa Maria Mb. Passo das Tropas” e “Declividade inferior a 2%”.

### 3.2.3 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 que o aquífero e mais precisamente, os recursos hídricos estão submetidos. No caso da UFSM, a maioria das atividades potencialmente contaminantes, ocorre sobre áreas de alta e média vulnerabilidade.

Antes mesmo de se passar pelo pórtico de entrada da UFSM, percebe-se uma vala com um córrego que recebe esgotos não tratados, que adentra pela avenida Roraima, oriundos do Bairro Camobi. Esses esgotos juntam-se com os da Universidade e, a sanga Mariano da Rocha que os recebe, percorre uma área de alta vulnerabilidade dentro do *Campus*, e acaba por desaguar esses dejetos que traz consigo, no arroio Lagoão do Ouro. Trata-se de uma forma de contaminação linear e, mesmo que ocorra depuração, embora a capacidade depurativa da sanga já esteja no limite, boa parte desses contaminantes pode infiltrar, além de serem um vetor para proliferação de doenças.

O sistema de Esgotamento Sanitário da UFSM é subdividido em duas grandes redes de coleta principais. Tais redes atendem a grande parte da Cidade Universitária e apenas alguns prédios isolados não estão ligados a ela, possuindo suas redes individuais e contando com estações de tratamento do tipo fossa e filtro anaeróbio e/ou sumidouro. As águas residuais desse esgotamento são drenadas por uma rede de esgoto principal até outra fossa-filtro e após, lançadas na drenagem.

A seguir, o quadro 7 apresenta as atividades potencialmente contaminantes identificadas em trabalho de campo no *Campus* da UFSM, a forma de dispersão e sua provável área de influência.

Atividades		Forma de dispersão	Área de Influência ( <i>buffer</i> )
Posto de Combustíveis e lava-jato		Pontual	120 m
Lançamento sanitário principal		Pontual	80 m
Manejo de agroquímicos		Pontual	80 m
Rede esgoto principal		Linear	60 m
Fossa-filtro		Pontual	60 m
Hospital Universitário - HUSM		Pontual	50 m
Hospital de Clínica Veterinária		Pontual	50 m
Laboratórios Depto de Química		Pontual	50 m
Restaurante Universitário		Pontual	50 m
Sanga poluída		Linear	50 m
Lançamento sanitário secundário		Pontual	50 m
Rede esgoto secundária		Linear	50 m
Agroindústria		Pontual	30 m
Produção animal	Bovino de corte confinado	Difusa	200 m
	Suinocultura	Pontual	200 m
	Tambo (Bovino leiteiro)	Pontua/Difusa	80 m
	Setor avicultura	Pontual	80 m
	Avicultura- Colégio Politécnico	Pontual	50 m
	Ovino – confinado	Pontual	30 m

**Quadro 7 - Atividades potencialmente contaminantes identificadas no *Campus* da UFSM e sua possível área de influência.**

A rede de esgoto, por possibilitar infiltração de possíveis contaminantes, caso haja vazamentos, é considerada como atividade potencialmente contaminante linear, e as fossas, juntamente com os locais de lançamento sanitário, como de poluição pontual. Entretanto, a planta cedida pela Prefeitura da Cidade Universitária está incompleta, pois muitos prédios aparecem sem ligação à rede de esgoto e sem fossa, o que dificulta uma análise completa desse caso. De acordo com dados do Setor de Manutenção existem, atualmente, 75 fossas no *Campus*. Dessas, 46 recebem esgoto cloacal, 18 recebem esgoto cloacal e de laboratório, 10 recebem somente esgoto de laboratório e 1 recebe resíduos de cozinha

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 caso do local onde se encontra o posto de combustíveis na Universidade é alta. Além do mais, o posto de combustíveis, localizado dentro do *Campus* da UFSM possui lava-jato, o que aumenta o potencial poluidor. Esse posto encontra-se numa área de alta vulnerabilidade e pode, por

exemplo, caso houver vazamento de algum tanque de armazenamento, ocorrer risco eminente de contaminação direta. De acordo com o proprietário, existem poços de monitoramento para indicar a existência de vazamentos de combustíveis e óleos graxos.

Pelo fato de a Universidade trabalhar com pesquisas nas mais diversas áreas do conhecimento, muitas delas utilizam produtos altamente tóxicos. Citam-se como exemplo os laboratórios da área química e de manejo e experimentação de agroquímicos. Na área de experimentos de agricultura do Departamento de Solos, é realizada a lavagem de utensílios agrícolas e o manuseio de agroquímicos, em área de alta vulnerabilidade, e não há poço de monitoramento instalado.

Com relação às atividades de produção animal, nenhuma delas localiza-se em áreas de alta vulnerabilidade e que, segundo os responsáveis pelos setores, o manejo dos dejetos é realizado de maneira adequada. Entretanto, no setor de suinocultura, as lagoas de decantação não são impermeabilizadas e a água residual é lançada no ambiente. Para minimizar esse problema, existe um projeto de construção de um biodigestor, elaborado pelo Professor do Setor de Suinocultura do Depto de Zootecnia, Gerson Garcia. De acordo com o mesmo, o material produzido por sistemas de criação de suínos é rico em nitrogênio, fósforo e potássio. Desses, o nitrogênio é o elemento que mais oferece risco de contaminação à água subterrânea quando lixiviado, pois pode gerar nitratos e nitritos. O biodigestor, pelo uso de filtros orgânicos, proporcionaria um sistema de reuso da água residuária proveniente da suinocultura.

O Hospital Universitário de Santa Maria (HUSM) e o Hospital de Clínica Veterinária (HCV) são públicos e referência regional e, assim como os demais hospitais, são atividades potencialmente contaminadoras, uma vez que realizam cirurgias e tratam doenças infecto-contagiosas. Com uma oferta de 289 leitos divididos em 22 clínicas, incluindo um pronto-socorro, o HUSM é referência em alta complexidade para toda região centro-oeste do Rio Grande do Sul. Por realizar tratamento por hemodiálise, 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 UFSM.

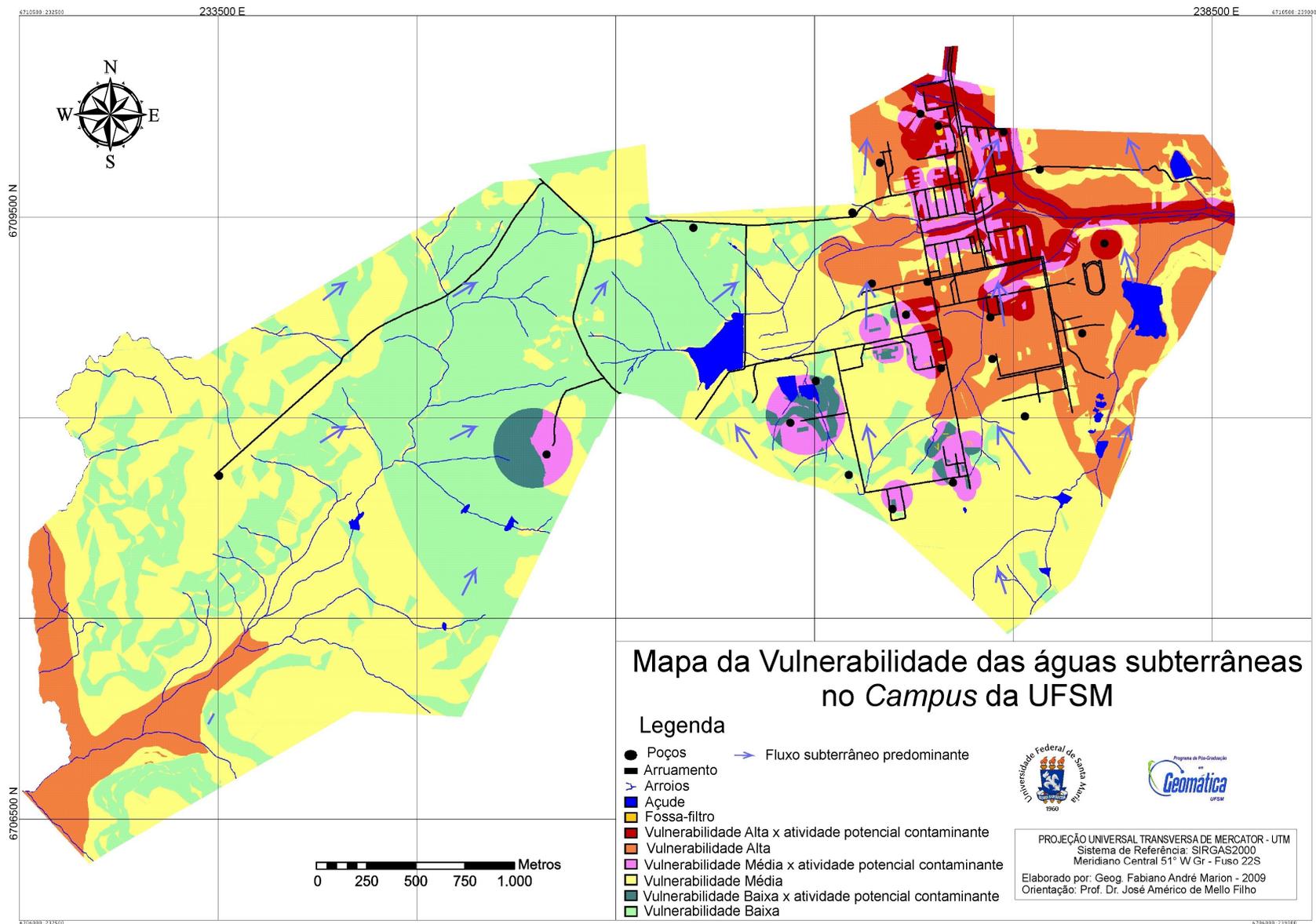


Figura 17 – Mapa da Vulnerabilidade à Contaminação das águas subterrâneas e áreas de Conflito, no Campus Universitário da UFSM.

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, deve-se selecionar de modo mais adequado possível suas locações, para que o meio ambiente não seja mais gravemente atingido, mais especificamente os recursos hídricos superficiais e subterrâneos. No caso da UFSM, não existe cemitério, o lixo normal é recolhido pela Prefeitura do município de Santa Maria e o lixo produzido pelos laboratórios, pelo HUSM e pelo HCV, é recolhido por empresa terceirizada, incluindo resíduos e perfuro-cortantes que têm como destino o aterro sanitário instalado fora do *Campus* da UFSM.

Desse modo, na integração do mapa de vulnerabilidade natural com as zonas em que pode ocorrer poluição, identificou-se uma área de 42 ha de alta vulnerabilidade com provável área de influência de atividades potencialmente contaminantes. Essa área apresenta cor roxa forte no Mapa da vulnerabilidade à contaminação (figura 16) e requer atenção dobrada, uma vez que, se houver infiltração proveniente de alguma atividade potencialmente contaminante, poderá ocorrer poluição das águas subterrâneas nesse setor do *Campus* da UFSM. As principais atividades potencialmente contaminantes encontradas nessa área são o posto de combustíveis, o manejo de agrotóxicos, o lançamento sanitário de águas residuais de fossas e a sanga poluída que percorre o setor nordeste do *Campus*.

Com relação à área de vulnerabilidade média, a provável área de influência de atividades potencialmente contaminantes abrange 42,83 ha identificados no Mapa da Vulnerabilidade à Contaminação (figura 17) com a cor roxo claro. As principais atividades potencialmente contaminantes que ocorrem na área de média vulnerabilidade é o HUSM, HCV, RU, a rede de esgoto, as fossas e as atividades de produção animal. Já nas áreas de baixa vulnerabilidade, são poucas as atividades potencialmente contaminantes sobre ela desenvolvidas, apenas as de produção animal. Por isso, é recomendável que essas sejam utilizadas para a locação de futuras atividades potencialmente contaminantes, como por exemplo, para a expansão da área urbanizada do *Campus*. É também recomendada, juntamente com demais estudos, para a construção de um novo HUSM, uma vez que o mesmo encontra-se próximo à cabeceira de pouso da Base Aérea de Santa Maria e numa área de média e alta vulnerabilidade à contaminação.

Frente aos resultados aqui encontrados, faz-se extremamente necessária a construção de uma usina de tratamento de esgotos na Universidade, uma vez que a maioria das atividades potencialmente contaminantes desenvolvidas no *Campus* Universitário, inclusive o lançamento sanitário de águas residuais, ocorre em área de alta vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas. A usina de tratamento de esgotos atenderia também ao Bairro Camobi, uma vez que uma parte dos esgotos gerados por ele adentram a área do *Campus*, inclusive percorrendo uma área de alta vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos.

Além de beneficiar a Universidade no ponto de vista ambiental, a usina poderá reduzir os custos que a UFSM tem com a destinação do lixo hospitalar e do lixo tóxico gerado nos laboratórios. Através de estudos aprofundados, poderia ser verificada a possibilidade de tratamento de alguns deles nessa usina, o que reduziria os elevados custos de transporte e destinação desse material, realizado atualmente por empresa terceirizada.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente a poluição dos recursos hídricos subterrâneos vem se mostrando uma preocupação cada vez maior, tanto pela população quanto pelos órgãos gestores. Entretanto, a sua contaminação e exploração ainda continuam acontecendo em demasia. Estudos como este ajudam a alertar a população e os órgãos competentes quanto 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.

Assim, o Mapa da Vulnerabilidade à Contaminação das Águas Subterrâneas, representado pela figura 15, é fundamental no ordenamento do uso e ocupação do solo, uma das responsabilidades dos Planos Diretores Municipais. Ao propor a locação de atividades potencialmente contaminantes em áreas de baixa vulnerabilidade, onde o terreno possa atenuar possíveis contaminantes, o Plano Diretor efetua o uso racional do território e contribui, dessa forma, na manutenção da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos 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 poluição 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, realizar levantamentos das atividades potencialmente contaminantes, uma vez que a carga poluidora pode ser controlada ou modificada; mas o mesmo não ocorre com a vulnerabilidade natural, propriedade intrínseca do aquífero.

Nesse sentido, as geotecnologias e, em especial o geoprocessamento, mostram-se extremamente importantes, 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.

Com relação ao método utilizado, mostrou resultados satisfatórios, e recomenda-se que o mesmo seja testado em diferentes áreas para comparar sua eficácia. Após a aplicação da avaliação ambiental por geoprocessamento, de forma zonal, para a identificação da vulnerabilidade natural dos aquíferos no ambiente matricial do SAGA 2007, é possível realizar uma comparação com a avaliação pontual, espacializada por interpolação e encontrada na grande maioria dos trabalhos na área, como por exemplo em Marion, Mello Filho e Silvério da Silva (2008).

- Pontual
  - Vantagens: possibilita a atribuição de nota pontual, pela média das notas das camadas (estratos) ao longo de todo o perfil do poço.
  - Desvantagens: é necessário um número satisfatório de perfis de poços, bem distribuídos sobre a área em estudo; o método de interpolação utilizado para espacializar os dados pontuais interfere significativamente nos resultados; quando não tiverem sido tomados os dados do perfil, para algum poço, os valores deverão ser obtidos por interpolação, a partir das características dos poços mais próximos.
  
- Avaliação zonal por geoprocessamento
  - - Vantagens: possibilita a avaliação das ocorrências na totalidade da área, por classes e pelo peso dos planos de informação, além da integração com demais mapas.
  - Desvantagens: é necessário mapeamento preliminar adequado com a escala de trabalho; as camadas adjacentes são consideradas como se ocorressem em toda a extensão abaixo da camada livre.

O fato de a UFSM contar com uma base cartográfica confiável e detalhada do *Campus*, na escala de 1:5.000, a Carta de Uso da Terra da Cidade Universitária, assim como, uma rede de referência cadastral com marcos geodésicos, e a estação SMAR (estação SAT 92.013) pertencente à RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), juntamente com os projetos apoiados financeiramente pela própria Universidade, facilita a coleta de dados espacializados para a avaliação zonal e qualificam os trabalhos desenvolvidos no *Campus* da UFSM. Como a Universidade está em processo de outorga, junto à SEMA-RS, dos poços tubulares

responsáveis por boa parte do seu abastecimento, foram realizados testes hidrodinâmicos dos poços, o que padroniza os dados cadastrais.

Por outro lado, os poços tubulares estão mal distribuídos no *Campus* da UFSM: são 22 poços na área velha e apenas 2 na área nova, o que gera uma exploração concentrada dos lençóis subterrâneos, aumenta o tempo de recuperação do nível da água dos poços e compromete a longevidade do aquífero. Essa má distribuição também dificulta a análise pontual na área nova, já que existem apenas 2 poços nesse local para gerar as simulações. Entretanto, como o estudo baseia-se numa análise zonal por geoprocessamento, essa má distribuição não chega a comprometer os resultados.

O fato de o setor urbanizado do *Campus* estar sobre áreas de alta e média vulnerabilidade, com a conseqüente maior geração de riscos de poluição, conforme resultados apresentados, demonstra a necessidade imediata de construção de uma usina de tratamento de esgotos no *Campus* e uma possível realocação de algumas atividades que oferecem risco de contaminação, uma vez que a maioria das atividades potencialmente contaminantes estão inseridas em área de alta vulnerabilidade. Em razão de a UFSM estar instalada em uma cidade universitária, com todas as complexidades proporcionadas pelo processo de urbanização, e também por constituir o modelo para os demais municípios, por ser fonte de ensino, pesquisa e extensão, especialmente no que concerne ao gerenciamento ambiental, é imprescindível a construção de rede interligada de esgotamento sanitário que conduza a uma moderna e exemplar usina de tratamentos de resíduos.

Sugere-se também, que as áreas de Reserva Legal, que virem a ser criadas no *Campus* Universitário da UFSM, sejam locadas sobre alguma área de alta vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos, deixando para as áreas de baixa vulnerabilidade a locação das atividades urbanas e/ou que ofereçam risco de contaminação. Tal procedimento também influirá na recarga direta por infiltração da água das chuvas, somando-se as reservas renováveis anuais.

Recomenda-se, também, ampliar o estudo para as áreas adjacentes, a fim de confirmar as tendências de fluxos subterrâneos verificadas nesse trabalho e as condições de recarga natural, para a sua proteção e manejo sustentável, em especial, o Sistema Aquífero Guarani. Nesse sentido, é fundamental também a realização de testes de qualidade da água, periodicamente, para se avaliar a possível ocorrência de contaminantes e as oscilações na qualidade d'água,

prezando sempre pela sua qualidade. Com a padronização dos poços de acordo com as normas de outorga, todos eles serão dotados de tubos-guia, o que facilita a mensuração do nível da água e o monitoramento.

Os resultados obtidos nesta pesquisa são importantes para o planejamento do *Campus*, uma vez que fornecem subsídios para a gestão ambiental e apoio na definição de futuras áreas de expansão. Assim, servirão de base na elaboração de diretrizes do Plano Diretor do *Campus* Universitário da UFSM, contribuindo, dessa forma, para o planejamento territorial do mesmo e, também, para a manutenção da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos para as áreas vizinhas, assim como, para o Sistema Aquífero Guarani no qual a área da Universidade está inserida.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE, J. A. **Carta de Uso da Terra da Cidade Universitária - UFSM**. Santa Maria: UFSM/CCR /Departamento de Engenharia Rural, 1991. Escala 1:5.000.

AGUIRRE, J. A.; MELLO FILHO, J. A. de. **Introdução à cartografia**. Santa Maria: UFSM/CCR /Departamento de Engenharia Rural, 2007. 78 p.

ALLER, L., *et al.* **DRASTIC**: a standardized system for evaluating groundwater pollution potencial using hydrogeologic setting. Washington: Environmental Protection Agency, 1987. 87 p.

ANDRES, J. **Análises temporais e espaciais do uso da terra, por meio de geotecnologias, no município de Pirapó - RS**. 2006. 86 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419**: apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. **NBR 1.244**: construção de poço para a captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 13.896**: aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.

AUGE, M. Vulnerabilidade de aquíferos. **Revista Latino-Americana de Hidrogeologia**, n. 4, p. 85-103, 2004. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/hidrogeologia/article>>. Acesso em 26 jun. 2008.

BARICHELLO, M. E. da R. **A terra, o homem e a educação**: universidade para o desenvolvimento. Santa Maria: Palotti, 1993. 120 p.

BARRETO, C. E. A. G. **Balanço hídrico em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa**. 2006. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

BARROS SARTORI, M. G. **O clima de Santa Maria**: do regional ao urbano. 1979. 167 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de São Paulo. São Paulo.

BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems for Land resources assessment**. Oxford: Oxford University Press, 1986.

BURROUGH, P. A.; McDONNEL, R. A. **Principles of geographical information systems**: spacial information systems and geostatistics. Oxford: Clarendon Press, 1998. 333 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria N° 518**, de 25 de março de 2004. Atualiza as disposições da Portaria N° 1469, de 29 de dezembro de 2000. Brasília, 2004. Disponível em <[http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria\\_518\\_2004.pdf](http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria_518_2004.pdf)> Acesso em 29 nov. 2008.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. Princípios básicos em Geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas**. 2. ed. e ampl. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CPAC, 1998. Cap. 1

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em 20 ago 2008. Cap. 1.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; MEDEIROS, J. S. de. Fundamentos epistemológicos da ciência da geoinformação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Cap. 5. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>> Acesso em 20 ago 2008.

CAMPONOGARA, I. **Vulnerabilidade Natural do Sistema Aquífero Guarani, em Santana do Livramento, RS, com o uso de Geotecnologias**. 2006. 125 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO-AMBIENTE. **Resolução n° 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res36124>>. Acesso em 8 fev. 2007.

\_\_\_\_\_. Resolução n. 396 de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 2008.

CORIDOLA, R. *et al.*. Uso das Técnicas de Geoprocessamento na Elaboração de Mapa Preliminar de Vulnerabilidade dos Aquíferos do Município de Campos de Goytacazes - RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. **Anais...** Goiânia: 2005, INPE, p. 2933-2940.

CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS. **Relatório construtivo do poço PB 20 – UFSM**. Superintendência Regional de Porto Alegre. Diretoria de Recursos Minerais. Departamento de exploração. 1996. 17 p.

\_\_\_\_\_. **Siagas**. Disponível em: <<http://siagas.cprm.gov.br/wellshow/indice>>. Acesso em 27 jul. 2006.

CNRH. CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Resolução n. 15 de 11 de janeiro de 2001. Poder Executivo, Brasília, DF, 2001. 3p.

\_\_\_\_\_. **Diliberações**. Resolução nº 22, de 24 de maio de 2002. Disponível em: <[http:// www.cnrh-srh.gov.br](http://www.cnrh-srh.gov.br)>. Acesso em 06 mar. 2009.

DA-ROSA, A. A. S. Sítios Fossilíferos de Santa Maria, RS, Brasil. **Revista Ciência & Natura**. Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 75 – 90, dez. 2004.

DUTRA, D. de A.; OSÓRIO, Q. da S.; MENDONÇA, F. de A. Imbricações entre geossistema e águas subterrâneas: um enfoque na perspectiva da geografia física. **Revista Geografia Ensino & Pesquisa**. Santa Maria, v. 12, n.1, maio 2008. 1 CD-ROM

FEITOSA, A. C. F.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. Fortaleza: LCR, 1997. 389 p.

FOSTER, S.; HIRATA, R. C. A. **Determinação de riscos de contaminação das águas subterrâneas**: um método baseado em dados existentes. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. 87 p. (Boletim, n. 10).

FOSTER, S. et al. **Protección de la calidad del agua subterránea**: guia para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. 2. ed. Madrid: Mundi - Prensa, 2003.

FRANTZ, L. C. **Avaliação do índice de Vulnerabilidade do Aquífero Guarani no perímetro urbano da cidade de Sant’Ana do Livramento – RS**. 2005. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

GASPARETTO, N. V. L. et al. **Mapa Geológico da Folha de Santa Maria**: texto explicativo. Santa Maria: FINEP - UFSM, 1988, 10 p.

GOVERNO DO ESTADO DO 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.

GREGORASHUK, J. de los S. **Estúdio del uso actual y potencial del acuífero guaraní**: enero 2001. Disponible em <<http://www.sg-guarani.org.pdf>>. Acesso em 02 mar. 2007.

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

HAUSMAN, A. Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul – RS. **Acta Geologica Leopoldensia (Série Mapas, escala 1:50.000)**, n. 2, p. 1-127, 1995.

HASSUDA, S. **Ciências da Terra em Meio Ambiente**: Água Subterrânea um recurso a proteger. São Leopoldo: Água, 1999, p. 179-196.

HIRATA, R. C. A. **Fundamentos e estratégias de proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas**: estudo de casos no Estado de São Paulo.

1994. 295 f. Tese (Doutorado em Geociências - Recursos minerais e Hidrogeologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

HIRATA, R. C. A. Recursos Hídricos. In: TEIXEIRA W. et al. (Org). **Decifrando a terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p 421 - 442.

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.

LEAL, A. C. Por uma nova cultura das águas. **Suplemento do Jornal UNESP**, São Paulo, v. 19, p. 4.

MACIEL FILHO, C. L. **Carta geotécnica de Santa Maria**. Santa Maria: Imprensa Universitária – UFSM, 1990. 21 p.

MACHADO, J. L. F. **Compartimentação Espacial e Arcabouço Hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul**. 2005. 237 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Porto Alegre.

MARCHIORI, J. N. C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul: campos sulinos**. Porto Alegre: EST, 2004. 110 p.

MARION, F. A. **Levantamento da situação atual dos recursos hídricos subterrâneos em Itaara - RS e sua vulnerabilidade natural**. 2007. 51 f. Trabalho de graduação (Bacharel em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

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. **Revista Ciência & Natura**. Santa Maria, v. 29, n. 1, p 97 – 109, jun. 2007.

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

MARION, F. A.; MELLO FILHO, J. A; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Situação atual dos recursos hídricos subterrâneos em Itaara - RS e sua vulnerabilidade natural. **Revista Geografia Ensino & Pesquisa**. Santa Maria, v. 12, n.1, maio 2008. 1 CD-ROM

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

MELLO FILHO, J. A.; 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, jul./dez. 2006.

MOOK, W. G. **Isótopos ambientais en el ciclo hidrológico**: principios y aplicaciones. Madrid: IGME, 2002. 596 p. (Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Series y Manuales, n. 1)

MOREIRA, C. M. D. **Aspectos qualitativos da água subterrânea no Campus da UFSM, Santa Maria – RS**. 2005. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. Belo Horizonte: Ed. da Autora, 2003. 294 p.

NRC. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Groundwater vulnerability assessment: predicting relative contamination potential under conditions of uncertainty**. Washington: National Academy Press. 1993.

NIMER, E. Clima. In: **Geografia do Brasil**: Região Sul. Rio de Janeiro: IBGE, 1990 p. 153-187. v. 2.

PEREIRA, L. et al. Contribuição à Geografia Física do município de Santa Maria: geomorfologia. **Revista Geografia Ensino & Pesquisa**. Santa Maria, n.3, dez 1989. p. 37 – 68.

REBOUÇAS, A. da, C. Águas Subterrâneas. BRAGA, B.; REBOUÇAS; A. da, C; TUNDISI, J. G. (Org). **Águas doces no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. 2. ed. São Paulo: Escrituras, 2002. p 119 - 149.

RIO GRANDE DO SUL. SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (SEMA). **Sistema Estadual de Recursos Hídricos**. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/sema/jsp/outorga.jsp>>. Acesso em 15 ago. 2008.

ROSA, J. L.; BARROS SARTORI, M. G.; SILVEIRA, R. D. Caracterização geomorfológica do Campus da UFSM, Santa Maria-RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10. Rio de Janeiro: UERJ, 2003. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://geografia.igeo.uerj.br/xsbgfa/cdrom/eixo3/3.4/272/272.htm>>. Acesso em 20 ago. 2008.

ROSA, M. R.; ROSS, J. L. S. Aplicação de SIG na geração de cartas de fragilidade. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 13, p 77 – 106, 1999.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia**: ambiente e planejamento. 7. ed. São Paulo: Contexto, 2003. 85 p.

SANTOS, M. SIRGAS2000: O referencial Geocêntrico do Brasil. **Revista Ponto de Referência**. Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 5 – 6, ago. 2006.

SEBEM, E. et al. Rede de referência cadastral como base para qualificar a geoinformação no Campus da UFSM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 2., 2008, Recife: 2008. **Anais...** Recife, 2008. 1 CD ROM

\_\_\_\_\_. **Legislação.** Decreto nº 42.047, de 26 de dezembro de 2002. Regulamenta disposições da Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994, com alterações, relativas ao gerenciamento e à conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos no Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <[http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/dec\\_42047.htm](http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/dec_42047.htm)>. Acesso em 5 mar. 2009.

SILVA, A. de B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos.** Campinas: UNICAMP, 2003. 236 p.

SILVERIO 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.

SILVERIO DA SILVA, J. L.; MAZIERO, L.; SANTOS, E. F. dos. Impactos da atividade humana sobre os solos: aquíferos. IN: FORUM SOLOS & AMBIENTE. **Solos e ambiente.** Santa Maria: Pallotti, 2004.

SURFER 8. **Contouring and 3D surface mapping for scientists and engineers.** User's Guide. Golden Software Inc. 2004. Versão 8. Colorado - U.S.A.

TEIXEIRA, A. L. A.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica.** Rio Claro: Ed. do Autor, 1992. 80 p.

UFSM. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **UFSM 48 anos:** distribuição do *Campus*. Disponível em: <<http://www.ufsm.br>> Acesso em 12 dez 2008.

XAVIER, J. M. et al. Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero Mercedes en el área metropolitana de la ciudad de Paysandú – comparación de los métodos god y drastic. **Revista Latino-Americana de Hidrogeología**, n. 4, p. 35-45, 2004. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/hidrogeologia/article>>. Acesso em 25 out. 2008.

XAVIER DA SILVA, J.; **Geoprocessamento para análise ambiental.** Rio de Janeiro: Ed. do autor, 2001. 227 p. Disponível em: <<http://www.lageop.ufrj.br>> Acesso em 30 maio 2008.

XAVIER DA SILVA, J.; CARVALHO FILHO, L. M. Sistemas de Informação Geográfica: uma proposta metodológica. In: Conferência Latinoamericana sobre Sistemas de Informação Geográfica, 4º. Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, 1993, São Paulo, 1993. **Anais...**

XAVIER DA SILVA, J.; Z Aidan, R. T. (Org.). **Geoprocessamento & análise ambiental: aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 363 p.

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 ago. 2008

## **ANEXOS**

**ANEXO 1 – Banco de dados dos poços utilizados na pesquisa**

Poço	Local	Coord. N (m)	Coord. E (m)	Cota (m)	NE (m)	ND (m)	NP (Cota – NE)	Vazão (m³/h)	Bomba		Diâ- metro	Profun- didade	Reves- timen- to
									Tipo	Profund			
PB01	Novo - Prédio 21	6709463,77	237068,96	82,02	26,03	107,63	56	6 a 24	Submersa	105	6"	270	120
PB02	Centro Eventos	6708793,21	237391,74	91,91	34,38	102	57,53	4 a 10	Submersa	125	6"	150	150
PB03	Planetário	6709177,85	237064,78	91,94	25,63	40,2	66,31	8,6 a 26	Submersa	40	8"	49	20
PB05	CCS	6709925,17	237448,46	83,90	37,13	83,97	46,77	10 a 14	Submersa	85	6"	100	30
PB08	Estr. Jard. Botânico	6709524,09	236688,62	90,32	25,86	41,11	64,46	8 a 14	Submersa	42	6"	50	30
PB11	Colégio Politécnico	6708746,74	237132,99	94,31	16,21	22,23	78,10	9,7 a 10,9	Submersa	42	6"	100	20
PB12	Parque Exposições	6708507,05	237554,94	96,71	15,35	51,95	81,36	12 a 18	Submersa	54	6"	60	20
PB13	Piscicultura	6708683,19	236502,62	94,35	24,6	25,42	69,75	12 (fixo)	Submersa	72	6"	90	25
PB14	Jardim Botânico	6709448,05	235887,75	111,36	39,38	52	71,98	9 a 10	Submersa	72	4"	100	20
PB15	Madame	6709737,07	237629,13	86,36	20,47	28,53	65,90	9,6 a 9,20	Submersa	70	6"	100	30
PB16	Ginásio Didático	6708921,42	237844,39	90,12	17,52	66,54	72,60	3,2 a 14	Submersa	72	6"	75,5	25
PB18	Reitoria	6709002,58	237382,56	87,91	16	17,19	71,92	-	Submersa	90	6"	100	100
PB19	Torrão Paulista	6709169,64	236784,86	86,38	16,81	80,47	69,57	6 a 24	Submersa	90	6"	128	25
PB21	Hospital Veterinário	6708178,13	237193,90	103,05	23,38	53,44	79,67	-	Submersa	60	6"	80	80
PB22	Tambo	6708046,01	236889,33	108,61	27,56	30,57	81,05	10,3 a 11,4	Submersa	60	4"	70	70
PB23	Setor Transporte	6709770,82	236825,11	95,15	21,6	47,75	73,55	6,4 a 14,7	Submersa	72	6"	102	25
PB24	CCSH	6709014,33	236957,03	94,43	20	62,24	74,43	5,6 a 13	Submersa	90	6"	100	100
P09	Laticínios	6708215,74	236669,94	106,86	27	40	79,86	-	Compressor	90	6"	120	30
P12	Suinocultura	6708476,51	236375,40	101,78	19	20,72	82,79	0,7 a 0,8	Compressor	70	6"	80	22
P17	Torre da Rádio	6708211,40	233501,25	106,71	21	29	85,70	0,5 a 0,8	Compressor	62	4"	80	20
P18	Bovinocultura-corte	6708316,95	235148,64	115,51	40	42	75,51	1,6 a 2,3	Compressor	90	4"	90	18
P19	Depto Solos	6709368,93	237955,28	85,24	16,2	22,15	69,05	0,5 a 0,6	Compressor	60	4"	80	24
INPE-S	INPE/CRS	6709956,23	237120,07	88,80	22	27,3	66,80	5	Submersa	-	8"	120	-
INPE-N	INPE/CRS	6710015,97	237030,55	88,16	23,5	55,25	64,66	8	Submersa	-	4"	120	-

Fonte: Hidrobrasil Perfurações, Prefeitura da Cidade Universitária-UFSM, Moreira (2005) e levantamentos de campo.

**ANEXO 2** – Relatório parcial da avaliação gerada pelo aplicativo SAGA 2007:  
apenas as notas que compuseram a classe de alta vulnerabilidade natural  
à contaminação das águas subterrâneas

Combinacões que originaram a nota final:		050						
Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	% área do mapa final	
1	[001] < 2	100	15	15,00				
1	[002] 18 - 23	30	25	7,50				
1	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00				
1	[004] Planície	10	10	1,00				
1	[003] Área construída	10	20	2,00 = 49,50	5596 (2,238400)	16,213	0,077	
2	[001] < 2	100	15	15,00				
2	[003] 23 - 31	20	25	5,00				
2	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00				
2	[004] Planície	10	10	1,00				
2	[003] Área construída	10	20	2,00 = 50,00	5059 (2,023600)	14,657	0,069	
3	[002] 2 - 6	90	15	13,50				
3	[001] 13 - 18	40	25	10,00				
3	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00				
3	[004] Planície	10	10	1,00				
3	[003] Área construída	10	20	2,00 = 50,50	3527 (1,410800)	10,218	0,048	
4	[002] 2 - 6	90	15	13,50				
4	[003] 23 - 31	20	25	5,00				
4	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00				
4	[004] Planície	10	10	1,00				
4	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 49,50	16894 (6,757600)	48,945	0,231	
5	[003] 6 - 12	50	15	7,50				
5	[001] 13 - 18	40	25	10,00				
5	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00				
5	[004] Planície	10	10	1,00				
5	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 50,50	3333 (1,333200)	9,656	0,046	
6	[003] 6 - 12	50	15	7,50				
6	[002] 18 - 23	30	25	7,50				
6	[002] Depósito fluv várzea	80	30	24,00				
6	[003] Planície aluvial	50	10	5,00				
6	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 50,00	77 (0,030800)	0,223	0,001	
7	[004] 12 - 18	30	15	4,50				
7	[001] 13 - 18	40	25	10,00				
7	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00				
7	[003] Planície aluvial	50	10	5,00				
7	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 49,50	19 (0,007600)	0,055	0,000	
8	[004] 12 - 18	30	15	4,50				
8	[002] 18 - 23	30	25	7,50				
8	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00				
8	[003] Planície aluvial	50	10	5,00				
8	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 50,00	2 (0,000800)	0,006	0,000	
9	[004] 12 - 18	30	15	4,50				
9	[003] 23 - 31	20	25	5,00				
9	[002] Depósito fluv várzea	80	30	24,00				
9	[001] Banhado	100	10	10,00				
9	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 49,50	9 (0,003600)	0,026	0,000	
Combinacões que originaram a nota final:		051						
Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	% área do mapa final	
1	[001] < 2	100	15	15,00				
1	[003] 23 - 31	20	25	5,00				
1	[002] Depósito fluv várzea	80	30	24,00				
1	[004] Planície	10	10	1,00				
1	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 51,00	3 (0,001200)	0,007	0,000	
2	[001] < 2	100	15	15,00				
2	[003] 23 - 31	20	25	5,00				
2	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00				
2	[004] Planície	10	10	1,00				
2	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 51,00	34469 (13,787600)	84,215	0,471	
3	[002] 2 - 6	90	15	13,50				
3	[002] 18 - 23	30	25	7,50				
3	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00				
3	[004] Planície	10	10	1,00				
3	[003] Área construída	10	20	2,00 = 51,00	1968 (0,787200)	4,808	0,027	

4	[003] 6 - 12	50	15	7,50				
4	[002] 18 - 23	30	25	7,50				
4	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00				
4	[004] Planície	10	10	1,00				
4	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 51,00	4490 (1,796000)	10,970	0,061	
Combinções que originaram a nota final:		052						
Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	% área do mapa final	
1	[001] < 2	100	15	15,00				
1	[001] 13 - 18	40	25	10,00				
1	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00				
1	[004] Planície	10	10	1,00				
1	[003] Área construída	10	20	2,00 = 52,00	1304 (0,521600)	1,793	0,018	
2	[001] < 2	100	15	15,00				
2	[002] 18 - 23	30	25	7,50				
2	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00				
2	[004] Planície	10	10	1,00				
2	[003] Área construída	10	20	2,00 = 52,50	74 (0,029600)	0,102	0,001	
3	[001] < 2	100	15	15,00				
3	[004] > 31	10	25	2,50				
3	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00				
3	[004] Planície	10	10	1,00				
3	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 51,50	3587 (1,434800)	4,933	0,049	
4	[002] 2 - 6	90	15	13,50				
4	[002] 18 - 23	30	25	7,50				
4	[002] Depósito fluv várzea	80	30	24,00				
4	[004] Planície	10	10	1,00				
4	[002] Demais áreas		30	20	6,00 = 52,00	10 (0,004000)	0,014	0,000
5	[002] 2 - 6	90	15	13,50				
5	[002] 18 - 23	30	25	7,50				
5	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00				
5	[004] Planície	10	10	1,00				
5	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 52,00	55135 (22,054000)	75,818	0,754	
6	[002] 2 - 6	90	15	13,50				
6	[003] 23 - 31	20	25	5,00				
6	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00				
6	[004] Planície	10	10	1,00				
6	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 52,50	6725 (2,690000)	9,248	0,092	
7	[002] 2 - 6	90	15	13,50				
7	[003] 23 - 31	20	25	5,00				
7	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00				
7	[004] Planície	10	10	1,00				
7	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 51,50	5477 (2,190800)	7,532	0,075	
8	[003] 6 - 12	50	15	7,50				
8	[001] 13 - 18	40	25	10,00				
8	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00				
8	[003] Planície aluvial	50	10	5,00				
8	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 52,50	304 (0,121600)	0,418	0,004	
9	[003] 6 - 12	50	15	7,50				
9	[002] 18 - 23	30	25	7,50				
9	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00				
9	[003] Planície aluvial	50	10	5,00				
9	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 52,00	5 (0,002000)	0,007	0,000	
10	[003] 6 - 12	50	15	7,50				
10	[003] 23 - 31	20	25	5,00				
10	[002] Depósito fluv várzea	80	30	24,00				
10	[001] Banhado	100	10	10,00				
10	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 52,50	58 (0,023200)	0,080	0,001	
11	[004] 12 - 18	30	15	4,50				
11	[001] 13 - 18	40	25	10,00				
11	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00				
11	[003] Planície aluvial	50	10	5,00				
11	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 51,50	6 (0,002400)	0,008	0,000	
12	[004] 12 - 18	30	15	4,50				
12	[002] 18 - 23	30	25	7,50				
12	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00				
12	[003] Planície aluvial	50	10	5,00				
12	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 52,00	4 (0,001600)	0,006	0,000	

13	[004] 12 - 18	30	15	4,50			
13	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
13	[002] Depósito fluv várzea	80	30	24,00			
13	[001] Banhado	100	10	10,00			
13	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 52,00	24 (0,009600)	0,033	0,000
14	[005] > 18	10	15	1,50			
14	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
14	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00			
14	[002] Topo coxilhas	80	10	8,00			
14	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 52,00	7 (0,002800)	0,010	0,000
Combinções que originaram a nota final:		053					
Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	% área do mapa final
1	[001] < 2	100	15	15,00			
1	[003] 23 - 31	20	25	5,00			
1	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00			
1	[004] Planície	10	10	1,00			
1	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 53,00	7727 (3,090800)	99,922	0,106
2	[004] 12 - 18	30	15	4,50			
2	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
2	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00			
2	[002] Topo coxilhas	80	10	8,00			
2	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 53,00	6 (0,002400)	0,078	0,000
Combinções que originaram a nota final:		054					
Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	% área do mapa final
1	[001] < 2	100	15	15,00			
1	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
1	[002] Depósito fluv várzea	80	30	24,00			
1	[004] Planície	10	10	1,00			
1	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 53,50	428 (0,171200)	0,316	0,006
2	[001] < 2	100	15	15,00			
2	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
2	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00			
2	[004] Planície	10	10	1,00			
2	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 53,50	50813 (20,325200)	37,497	0,695
3	[001] < 2	100	15	15,00			
3	[003] 23 - 31	20	25	5,00			
3	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00			
3	[004] Planície	10	10	1,00			
3	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 54,00	18985 (7,594000)	14,010	0,260
4	[001] < 2	100	15	15,00			
4	[004] > 31	10	25	2,50			
4	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00			
4	[004] Planície	10	10	1,00			
4	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 53,50	279 (0,111600)	0,206	0,004
5	[002] 2 - 6	90	15	13,50			
5	[001] 13 - 18	40	25	10,00			
5	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00			
5	[004] Planície	10	10	1,00			
5	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 54,50	48128 (19,251200)	35,515	0,658
6	[002] 2 - 6	90	15	13,50			
6	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
6	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00			
6	[004] Planície	10	10	1,00			
6	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 54,00	10493 (4,197200)	7,743	0,143
7	[002] 2 - 6	90	15	13,50			
7	[003] 23 - 31	20	25	5,00			
7	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00			
7	[004] Planície	10	10	1,00			
7	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 54,50	5956 (2,382400)	4,395	0,081
8	[002] 2 - 6	90	15	13,50			
8	[003] 23 - 31	20	25	5,00			
8	[002] Depósito fluv várzea	80	30	24,00			
8	[003] Planície aluvial	50	10	5,00			
8	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 53,50	422 (0,168800)	0,311	0,006

9	[003] 6 - 12	50	15	7,50			
9	[001] 13 - 18	40	25	10,00			
9	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00			
9	[003] Planície aluvial	50	10	5,00			
9	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 54,50	9 (0,003600)	0,007	0,000
Combinções que originaram a nota final:		055					
Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	% área do mapa final
1	[001] < 2	100	15	15,00			
1	[003] 23 - 31	20	25	5,00			
1	[002] Depósito fluv várzea	80	30	24,00			
1	[003] Planície aluvial	50	10	5,00			
1	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 55,00	328 (0,131200)	2,833	0,004
2	[001] < 2	100	15	15,00			
2	[003] 23 - 31	20	25	5,00			
2	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00			
2	[003] Planície aluvial	50	10	5,00			
2	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 55,00	150 (0,060000)	1,296	0,002
3	[002] 2 - 6	90	15	13,50			
3	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
3	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00			
3	[004] Planície	10	10	1,00			
3	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 55,00	11029 (4,411600)	95,266	0,151
4	[004] 12 - 18	30	15	4,50			
4	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
4	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00			
4	[002] Topo coxilhas	80	10	8,00			
4	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 55,00	70 (0,028000)	0,605	0,001
Combinções que originaram a nota final:		056					
Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	% área do mapa final
1	[001] < 2	100	15	15,00			
1	[001] 13 - 18	40	25	10,00			
1	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00			
1	[004] Planície	10	10	1,00			
1	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 56,00	53083 (21,233200)	52,036	0,726
2	[001] < 2	100	15	15,00			
2	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
2	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00			
2	[004] Planície	10	10	1,00			
2	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 56,50	26480 (10,592000)	25,957	0,362
3	[001] < 2	100	15	15,00			
3	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
3	[002] Depósito fluv várzea	80	30	24,00			
3	[004] Planície	10	10	1,00			
3	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 55,50	4 (0,001600)	0,004	0,000
4	[001] < 2	100	15	15,00			
4	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
4	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00			
4	[004] Planície	10	10	1,00			
4	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 55,50	12123 (4,849200)	11,884	0,166
5	[001] < 2	100	15	15,00			
5	[003] 23 - 31	20	25	5,00			
5	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00			
5	[004] Planície	10	10	1,00			
5	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 56,00	3843 (1,537200)	3,767	0,053
6	[002] 2 - 6	90	15	13,50			
6	[001] 13 - 18	40	25	10,00			
6	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00			
6	[004] Planície	10	10	1,00			
6	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 56,50	2858 (1,143200)	2,802	0,039
7	[002] 2 - 6	90	15	13,50			
7	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
7	[002] Depósito fluv várzea	80	30	24,00			
7	[003] Planície aluvial	50	10	5,00			
7	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 56,00	3601 (1,440400)	3,530	0,049

8	[002] 2 - 6	90	15	13,50				
8	[002] 18 - 23	30	25	7,50				
8	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00				
8	[003] Planície aluvial	50	10	5,00				
8	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 56,00	3 (0,001200)	0,003	0,000	
9	[003] 6 - 12	50	15	7,50				
9	[002] 18 - 23	30	25	7,50				
9	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00				
9	[002] Topo coxilhas	80	10	8,00				
9	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 56,00	18 (0,007200)	0,018	0,000	
Combinções que originaram a nota final:		057						
Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	% área do mapa final	
1	[001] < 2	100	15	15,00				
1	[003] 23 - 31	20	25	5,00				
1	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00				
1	[003] Planície aluvial	50	10	5,00				
1	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 57,00	79 (0,031600)	13,233	0,001	
2	[002] 2 - 6	90	15	13,50				
2	[002] 18 - 23	30	25	7,50				
2	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00				
2	[004] Planície	10	10	1,00				
2	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 57,00	518 (0,207200)	86,767	0,007	
Combinções que originaram a nota final:		058						
Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	% área do mapa final	
1	[001] < 2	100	15	15,00				
1	[001] 13 - 18	40	25	10,00				
1	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00				
1	[004] Planície	10	10	1,00				
1	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 58,00	6959 (2,783600)	14,573	0,095	
2	[001] < 2	100	15	15,00				
2	[002] 18 - 23	30	25	7,50				
2	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00				
2	[004] Planície	10	10	1,00				
2	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 58,50	2473 (0,989200)	5,179	0,034	
3	[001] < 2	100	15	15,00				
3	[002] 18 - 23	30	25	7,50				
3	[002] Depósito fluv várzea	80	30	24,00				
3	[003] Planície aluvial	50	10	5,00				
3	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 57,50	25487 (10,194800)	53,371	0,349	
4	[001] < 2	100	15	15,00				
4	[002] 18 - 23	30	25	7,50				
4	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00				
4	[003] Planície aluvial	50	10	5,00				
4	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 57,50	6000 (2,400000)	12,564	0,082	
5	[002] 2 - 6	90	15	13,50				
5	[002] 18 - 23	30	25	7,50				
5	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00				
5	[003] Planície aluvial	50	10	5,00				
5	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 58,00	20 (0,008000)	0,042	0,000	
6	[002] 2 - 6	90	15	13,50				
6	[003] 23 - 31	20	25	5,00				
6	[002] Depósito fluv várzea	80	30	24,00				
6	[001] Banhado	100	10	10,00				
6	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 58,50	6635 (2,654000)	13,894	0,091	
7	[003] 6 - 12	50	15	7,50				
7	[001] 13 - 18	40	25	10,00				
7	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00				
7	[001] Banhado	100	10	10,00				
7	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 57,50	92 (0,036800)	0,193	0,001	
8	[003] 6 - 12	50	15	7,50				
8	[002] 18 - 23	30	25	7,50				
8	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00				
8	[002] Topo coxilhas	80	10	8,00				
8	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 58,00	88 (0,035200)	0,184	0,001	

Combinacões que originaram a nota final:		059					
Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	% área do mapa final
1	[001] < 2	100	15	15,00			
1	[003] 23 - 31	20	25	5,00			
1	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00			
1	[001] Banhado	100	10	10,00			
1	[003] Área construída	10	20	2,00 = 59,00	7 (0,002800)	100,000	0,000
Combinacões que originaram a nota final:		060					
Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	% área do mapa final
1	[001] < 2	100	15	15,00			
1	[001] 13 - 18	40	25	10,00			
1	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00			
1	[003] Planície aluvial	50	10	5,00			
1	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 60,00	25572 (10,228800)	47,392	0,350
2	[001] < 2	100	15	15,00			
2	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
2	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00			
2	[003] Planície aluvial	50	10	5,00			
2	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 60,50	693 (0,277200)	1,284	0,009
3	[001] < 2	100	15	15,00			
3	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
3	[002] Depósito fluv várzea	80	30	24,00			
3	[003] Planície aluvial	50	10	5,00			
3	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 59,50	10003 (4,001200)	18,538	0,137
4	[001] < 2	100	15	15,00			
4	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
4	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00			
4	[003] Planície aluvial	50	10	5,00			
4	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 59,50	5846 (2,338400)	10,834	0,080
5	[001] < 2	100	15	15,00			
5	[003] 23 - 31	20	25	5,00			
5	[002] Depósito fluv várzea	80	30	24,00			
5	[001] Banhado	100	10	10,00			
5	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 60,00	10510 (4,204000)	19,478	0,144
6	[001] < 2	100	15	15,00			
6	[004] > 31	10	25	2,50			
6	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00			
6	[001] Banhado	100	10	10,00			
6	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 60,50	1330 (0,532000)	2,465	0,018
7	[002] 2 - 6	90	15	13,50			
7	[001] 13 - 18	40	25	10,00			
7	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00			
7	[003] Planície aluvial	50	10	5,00			
7	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 60,50	5 (0,002000)	0,009	0,000
Combinacões que originaram a nota final:		061					
Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	% área do mapa final
1	[002] 2 - 6	90	15	13,50			
1	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
1	[002] Depósito fluv várzea	80	30	24,00			
1	[001] Banhado	100	10	10,00			
1	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 61,00	19979 (7,991600)	99,890	0,273
2	[002] 2 - 6	90	15	13,50			
2	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
2	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00			
2	[002] Topo coxilhas	80	10	8,00			
2	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 61,00	22 (0,008800)	0,110	0,000
Combinacões que originaram a nota final:		062					
Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	% área do mapa final
1	[001] < 2	100	15	15,00			
1	[001] 13 - 18	40	25	10,00			
1	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00			
1	[003] Planície aluvial	50	10	5,00			
1	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 62,00	7464 (2,985600)	15,973	0,102
2	[001] < 2	100	15	15,00			
2	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
2	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00			
2	[003] Planície aluvial	50	10	5,00			
2	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 62,50	410 (0,164000)	0,877	0,006

3	[001] < 2	100	15	15,00			
3	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
3	[002] Depósito fluv várzea	80	30	24,00			
3	[001] Banhado	100	10	10,00			
3	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 62,50	35468 (14,187200)	75,900	0,485
4	[001] < 2	100	15	15,00			
4	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
4	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00			
4	[002] Topo coxilhas	80	10	8,00			
4	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 62,50	3038 (1,215200)	6,501	0,042
5	[001] < 2	100	15	15,00			
5	[003] 23 - 31	20	25	5,00			
5	[002] Depósito fluv várzea	80	30	24,00			
5	[001] Banhado	100	10	10,00			
5	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 62,00	177 (0,070800)	0,379	0,002
6	[001] < 2	100	15	15,00			
6	[004] > 31	10	25	2,50			
6	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00			
6	[001] Banhado	100	10	10,00			
6	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 62,50	173 (0,069200)	0,370	0,002
Combinções que originaram a nota final: 063							
Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	% área do mapa final
1	[001] < 2	100	15	15,00			
1	[003] 23 - 31	20	25	5,00			
1	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00			
1	[001] Banhado	100	10	10,00			
1	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 63,00	983 (0,393200)	100,000	0,013
Combinções que originaram a nota final: 064							
Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	% área do mapa final
1	[001] < 2	100	15	15,00			
1	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
1	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00			
1	[002] Topo coxilhas	80	10	8,00			
1	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 63,50	5161 (2,064400)	67,244	0,071
2	[001] < 2	100	15	15,00			
2	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
2	[002] Depósito fluv várzea	80	30	24,00			
2	[001] Banhado	100	10	10,00			
2	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 64,50	2440 (0,976000)	31,792	0,033
3	[002] 2 - 6	90	15	13,50			
3	[001] 13 - 18	40	25	10,00			
3	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00			
3	[001] Banhado	100	10	10,00			
3	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 63,50	33 (0,013200)	0,430	0,000
4	[002] 2 - 6	90	15	13,50			
4	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
4	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00			
4	[002] Topo coxilhas	80	10	8,00			
4	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 64,00	41 (0,016400)	0,534	0,001
Combinções que originaram a nota final: 065							
Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	% área do mapa final
1	[001] < 2	100	15	15,00			
1	[001] 13 - 18	40	25	10,00			
1	[003] SM - P das Tropas	80	30	24,00			
1	[001] Banhado	100	10	10,00			
1	[002] Demais áreas	30	20	6,00 = 65,00	7323 (2,929200)	98,719	0,100
2	[001] < 2	100	15	15,00			
2	[003] 23 - 31	20	25	5,00			
2	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00			
2	[001] Banhado	100	10	10,00			
2	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 65,00	95 (0,038000)	1,281	0,001
Combinções que originaram a nota final: 066							
Comb.	Legendas	Nota	Peso	Produto	Pixels (Ha)	% Nota	% área do mapa final
1	[001] < 2	100	15	15,00			
1	[002] 18 - 23	30	25	7,50			
1	[001] Terraços fluviais	90	30	27,00			
1	[002] Topo coxilhas	80	10	8,00			
1	[001] Cobertura florestal	40	20	8,00 = 65,50	1174 (0,469600)	100,000	0,016