



UFSM

Dissertação de Mestrado

**AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA
MARIA-RS**

Andrea Dutra Moreira Pavão

PPGEC

Santa Maria, RS, Brasil

2004

**AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA
MARIA-RS**

por

Andrea Dutra Moreira Pavão

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

PPGEC

Santa Maria, RS, Brasil

2004

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

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

**AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE
VULNERABILIDADE NA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO SANTA MARIA-RS**

elaborada por

Andrea Dutra Moreira Pavão

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. José Luiz Silvério da Silva
(Orientador)

Prof^ª. Dr^ª Jussara Cabral Cruz

Prof. Dr. Andre Cezar Zingano

Santa Maria, 13 de setembro de 2004.

*É muito melhor arriscar coisas
grandiosas, alcançar triunfos e glórias,
mesmo se expondo a derrotas, do que
formar fila com os pobres de espírito que
nem gozam muito, nem sofrem muito,
porque vivem nesta penumbra cinzenta e
nem conhecem vitórias nem derrotas.*

(Theodore Roosevelt)

AGRADECIMENTOS

A Deus que plantou em mim um sonho que hoje se materializa. Que esteve comigo em toda a minha caminhada, me dando força quando eu já não havia. Que me animou a seguir em frente quando a vontade era abdicar. Ao meu melhor amigo que sempre esteve e estará a me conduzir o meu muito OBRIGADO.

À minha colega de mestrado e mãe Celina Maria Dutra Moreira que me incentivou a participar da seleção para o mestrado junto com ela, sem este estímulo não estaria concluindo este trabalho.

À Universidade Federal de Santa Maria, pelo fornecimento da estrutura de ensino, e pela contribuição na formação universitária.

Aos professores do curso do Departamento de Hidráulica e Saneamento, em especial ao professor Geraldo Lopes da Silveira que primeiro me recebeu e me fez sentir “em casa”.

Ao CNPq, pelo apoio técnico e financeiro.

Aos amigos Odacir Antonio Mariani e Mateus Mário da Costa, que sempre me ajudaram de uma forma ou de outra na execução deste trabalho.

Às voluntárias de Geoprocessamento Isabel Camponogara e Márcia Trentin.

Ao secretário da coordenação do curso de pós-graduação em Engenharia Civil Eliomar Balduino Pappis.

A indispensável ajuda dos colegas e amigos do Departamento de Geociências em

particular a amiga conquistada durante esta caminhada Quelen da Silva Osório.

Ao meu orientador José Luiz Silvério da Silva pela paciência e estímulo que nunca mediu esforços para ajudar no desenvolvimento desta dissertação.

Ao Departamento de Água e Esgoto (DAE) de Sant'Ana do Livramento onde sempre fui muito bem recebida em especial ao diretor industrial Achylles Bassedas Costa (Bimbo) e o bioquímico Júlio Alberto Campos que não mediram esforços para me dar subsídios para a minha pesquisa.

À Companhia Riograndense de Saneamento - CORSAN de Rosário do Sul e de Cacequi.

Ao meu esposo Alexandre Cardoso Pavão e filho Leonardo Moreira Pavão pelo amor, companheirismo, incentivo e compreensão que foram indispensáveis nesta longa jornada.

Aos meus pais Fernando Sobé Moreira e Celina Maria Dutra Moreira que não mediram esforços nos acolhendo (meu filho e eu) em sua morada e dando todo o apoio possível.

À minha grande amiga Almerinda Perez Cunha pela sua amizade, solidariedade e presteza.

A todas as pessoas que de uma forma ou de outra colaboraram, e por ventura não foram aqui citadas, fica o meu agradecimento por terem feito parte desta conquista.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	viii
Lista de Quadros	xi
Lista de Anexos	xii
Resumo	xiii
Abstract	xiv
1. INTRODUÇÃO	01
1.1. Objetivos	03
1.2. Descrição da Área	04
2. REVISÃO DE LITERATURA	08
2.1. Problemática dos Recursos Hídricos Subterrâneos	08
2.2. Uso dos Recursos Hídricos Subterrâneos no Mundo e no Brasil	10
2.3. Aspectos Legais	13
2.4. Bacia Hidrográfica	20
2.5. Sistemas Aquíferos	23
2.5.1. Sistema Aquífero Guarani	30

2.5.2. Captação das Águas Subterrâneas	34
2.5.3. Recarga dos Aquíferos	36
2.6. Vulnerabilidade dos Sistemas Aquíferos	38
2.7. Métodos de Avaliação dos Índices de Vulnerabilidade.....	42
2.7.1. Limitações dos Mapas de Vulnerabilidade	44
2.7.2. Parâmetros Utilizados para Estabelecer a Vulnerabilidade	45
3. METODOLOGIA	50
3.1. Método Empregado	50
3.2. Materiais	52
4. RESULTADOS	57
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
6. BIBLIOGRAFIA	93
ANEXOS	104

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria no Rio Grande do Sul	05
FIGURA 02 - Perfil do solo ilustrando as zonas não saturada e saturada	24
FIGURA 03 - Sistema Aquífero Guarani	30
FIGURA 04 - Afloramento da Formação Botucatu (Município de Sant'Ana do Livramento-RS)	32
FIGURA 05 - Afloramento da Formação Botucatu (Município de Sant'Ana do Livramento-RS)	33
FIGURA 06 - Diferentes tipos de aquíferos	48
FIGURA 07 - Método "G.O.D" para avaliação da vulnerabilidade	

natural dos aquíferos	51
FIGURA 08 - Número de poços inseridos na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria – RS por municípios	58
FIGURA 09 - Usos das águas subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria – RS	59
FIGURA 10 - Tipos de poços presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria – RS	61
FIGURA 11 - Número de poços de acordo com os aquíferos presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria-RS	62
FIGURA 12 - Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria – RS	64
FIGURA 13 - Porcentagem de área ocupada pelas formações Geológicas	66
FIGURA 14 - Número de poços por formações geológicas	68
FIGURA 15 - Mapa das províncias hidrogeológicas presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria – RS	71

FIGURA 16 - Porcentagem de área ocupada pelas Sub-Províncias Hidrogeológicas na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria-RS	74
FIGURA 17 - Mapa da variação do nível estático dos poços na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria - RS	76
FIGURA 18 - Mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria – RS	78
FIGURA 19 - Mapa dos pontos potenciais de contaminação no Município de Sant’Ana do Livramento - RS	81
FIGURA 20 - Cemitério Municipal de Sant’Ana do Livramento – RS	84
FIGURA 21 - Antigo lixão de Sant’Ana do Livramento - RS, ultimamente transformado em “aterro sanitário” ...	87
FIGURA 22 - Bacias de decantação do atual “aterro sanitário” de Sant’Ana do Livramento – RS	87

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01 - Províncias e Sub-Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul estabelecidas por Hausman	29
QUADRO 02 - Descrição dos itens constantes no Banco de Dados sobre os poços existentes na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria - RS	55
QUADRO 03 - Descrição e área ocupada pelas formações geológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria – RS	65
QUADRO 04 - Valores atribuídos e índices de vulnerabilidade obtidos	77

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1 - Banco de dados sobre os poços existentes na Bacia
Hidrográfica do Rio Santa Maria – RS 105
- ANEXO 2 - Informações referentes aos possíveis pontos de
contaminação das águas subterrâneas visitados
no Município de Sant’Ana do Livramento – RS 112

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento
Ambiental
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

AValiação do Índice de Vulnerabilidade na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria - RS

Autora: Andrea Dutra Moreira Pavão

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Silvério da Silva
Santa Maria, 13 de Setembro de 2004.

A água é recurso natural essencial a vida no planeta, mas também é utilizada como insumo básico das atividades econômicas, sendo encontrada na natureza em quantidades que variam aleatoriamente, no tempo e no espaço, e também é extremamente vulnerável a degradação qualitativa. Deste modo, o presente estudo tem como objetivo geral estabelecer a vulnerabilidade natural dos aquíferos da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria - RS, indicando-se áreas com diferentes susceptibilidades à contaminação, utilizando-se o método desenvolvido por Foster *et al.*, (2003) baseado no Grau de confinamento da água subterrânea, Ocorrência litológica do estrato acima da zona saturada e Distância do nível da água subterrânea, considerando-se dados pré-existentes. Montou-se um banco de dados em planilhas e posteriormente aplicou-se no Programa SURFER 6.0. Produziu-se diversos cartogramas e discutiram-se os resultados para os seis Municípios que estão total ou parcialmente inseridos nesta bacia. Dom Pedrito, Lavras do Sul e São Gabriel, localizam-se sobre rochas cristalinas do Escudo Uruguaio Sul Riograndense, formando aquíferos fissurais, já Sant'Ana do Livramento, Cacequi e Rosário do Sul, situam-se sobre rochas sedimentares porosas, parcialmente sobre o Sistema Aquífero Guarani. De acordo com o IBGE (2000), nesta região residem cerca de 257.986 habitantes, sendo que os Municípios de Cacequi e Sant'Ana do Livramento são completamente abastecidos por águas subterrâneas. As informações disponíveis sobre os poços ainda são muito dispersas e insuficientes, contudo constatou-se a ocorrência de 528 poços cadastrados em bancos de dados de empresas. No Município de Sant'Ana do Livramento detalhou-se os principais pontos potenciais de contaminação. As classes obtidas de vulnerabilidade foram: a classe Alta que predominou na porção central da bacia seguida da classe Média, e a classe Baixa ocorreu em pontos isolados ao Norte e nas extremidades Leste e Oeste da Bacia. As classes com menor representação foram a Desprezível e a Extrema. Portanto esta pesquisa apresenta alguns resultados relativos aos recursos hídricos subterrâneos, abordando a legislação vigente, trazendo subsídios para os órgãos de licenciamento ambiental incluindo-se o comitê de bacia. O método utilizado tem limitações, mas é capaz de indicar áreas susceptíveis à contaminação, as quais devem ser consideradas na gestão integrada dos recursos hídricos.

ABSTRACT

Dissertation of Master's Degree
Program of Master's Degree in Civil Engineering
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brazil

INDEX EVALUATION OF VUNERABILITY IN THE BASIN OF SANTA MARIA RIVER

Author: Andréa Dutra Moreira Pavão
Advisor: Prof. Dr. José Luiz Silvério da Silva
Santa Maria, 13th of September of 2004.

The water is a natural resource and it's essential to the maintenance the lives of the planet. But, it is also used to develop many economic activities. It's found at the nature in different quantities that had presented variations in time, space and in scale. However, the quality degradation is high. The general aim of this study was to stablish and map the natural aquifers vulnerabilities Hydrographic Santa Maria River Basin, at Rio Grande do Sul State, southern of Brazil. The methodology used was named GOD Foster *et al.*, (2003), based on three parameters: **G**rade of groundwater confinement, **O**ccurrence of litologies above saturated zone and, **D**epth of water table level, using information from existing data. The data base prepared and than simulated with SURFER 6.0. presented maps and discussed results related to countries areas, total or partially belonged to this basin. Dom Pedrito, Lavras do Sul and São Gabriel were located on crystalline rocks belong to Escudo Uruguaio Sul Riograndense, forming fractured aquifers. On the other side, Sant'Ana do Livramento, Cacequi and Rosário do Sul were located on sedimentary rocks that belong to Guarany Aquifer System/GAS. According to information from IBGE (2000) around 257,986 people lived in this basin. Cacequi and Sant'Ana do Livramento were totally supplied by groundwater. The level of information about well was punctually and scarce. We had 528 well records accessible, but only 341 had all the parameters necessary to use in the methodology. At Sant'Ana do Livramento were plotted the principal potential points of contamination. The vulnerability index obtained had the predominance of the High class, at the central portion of the basin. The second was Medium class, and the Small class occurred at isolated points at the North and East and West border. The two classes with minor spatial representation were Despicable and Extreme. Therefore this study provides many parameters related with the use and manage of the groundwater and its relations related with National and State environmental policy. This methodology presented some limitations, but was good, rapid and efficient to map areas susceptible to contaminations. This information will be used by integrated politic of groundwater.

1. INTRODUÇÃO

A água se encontra presente em quase todos os lugares, denominando-se “molécula da vida”. Devido as suas propriedades, representa a substância mais importante para o Planeta Terra, seja interferindo num organismo, seja em toda a dinâmica da natureza.

Os recursos hídricos subterrâneos constituem uma porção do sistema circulatório de água da Terra. O seu aproveitamento data de tempos antigos e sua evolução têm acompanhado a própria evolução da humanidade.

Há algum tempo atrás costumava-se estudar separadamente a água superficial e a água subterrânea como se fossem ramos distintos e isolados. Atualmente, é de conhecimento de todos que pelas diversas ligações existentes, a água superficial pode transformar-se em água subterrânea por meio da chuva, do excesso de água de irrigação, da percolação proveniente dos rios, canais e lagos como também através da recarga artificial. Por outro lado, a água subterrânea pode transformar-se em água superficial através da descarga de base dos rios, escoamento em fontes e drenagem agrícola (Neto, 1997, p. 21).

A água é um recurso natural essencial à vida no planeta, mas é utilizado também como insumo básico da imensa maioria das atividades econômicas. Encontrada na natureza em quantidades que variam aleatoriamente no tempo e no espaço e também, extremamente vulnerável a degradação qualitativa. Por ser uma substância fluída, o uso da água em um local afeta não apenas os demais usuários neste

mesmo local como também aqueles situados ao longo da direção de fluxo.

Portanto o presente estudo chama a atenção sobre as necessidades de proteção das águas subterrâneas e contribui para os estudos desta temática servindo para o planejamento e execução de trabalhos com fins preventivos (para evitar futuras contaminações) como também para minimizar as ameaças derivadas de atividades presentes.

Frente à importância das águas subterrâneas, poder-se-ia pensar que a proteção dos aquíferos, no tocante à prevenção da deterioração da qualidade, venha recebendo a atenção necessária, sobretudo próximo aos grandes centros urbanos. Entretanto, por inúmeras razões, tal atenção não é dada.

O fluxo dos aquíferos e o transporte de contaminantes não são fáceis de serem observados e medidos. Ambos são geralmente lentos; por estas razões, existe uma ampla despreocupação sobre os riscos de contaminação das águas subterrâneas, sobretudo entre os administradores dos recursos hídricos e do solo.

No entanto, o assunto é de grande importância, não só pelos impactos diretos ao recurso e pela persistência dos episódios de contaminação, como também pelos custos excessivos ou pela impraticabilidade técnica da reabilitação dos aquíferos (Foster e Hirata, 1993, p.9).

1.1. OBJETIVOS

Objetivo Geral

Estabelecer a vulnerabilidade natural dos aquíferos na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, identificando áreas com fragilidades diferentes quanto ao potencial de contaminação.

Objetivos Específicos

Coletar dados sobre os poços de água subterrânea presente na área de estudo, selecioná-los e elaborar um banco de dados.

Identificar a condição de ocorrência das águas subterrâneas, do substrato litológico e da profundidade do nível freático, considerando-se dados pré-existentes.

Aplicar o método “GOD” para obtenção do índice de vulnerabilidade natural

Representar espacialmente, através da construção de mapas, as condições naturais (geologia, hidrogeologia, nível estático e vulnerabilidade) e os pontos potenciais de contaminação constatados.

1.2. DESCRIÇÃO DA ÁREA

A área em estudo está situada na fronteira sudoeste do Rio Grande do Sul (Figura 1), aproximadamente entre as coordenadas 31°30' e 29°45' de latitude Sul e 55°45' e 54°00' de longitude Oeste de Greenwich, abrangendo uma área em torno de 15.796,77 km². Nessa bacia localizam-se seis municípios (Sant'Ana do Livramento, Dom Pedrito, Lavras do Sul, Rosário do Sul, Cacequi e São Gabriel) totalizando uma população de 257.986 habitantes de acordo com IBGE (2000).

A Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria pertence à Região Hidrográfica do Uruguai e possui um Comitê de Bacia Hidrográfica específico denominado pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente - SEMA como U-70 (SEMA, 2003).

Essa bacia apresenta aparência aproximada de um “y” invertido, sendo os braços do “y”, respectivamente à Leste e à Oeste, os Rios Santa Maria e Ibicuí-da-Armada, que se encontram junto a cidade de Rosário do Sul. A partir desta confluência, o Rio Santa Maria segue ao Norte até encontrar o Rio Ibicuí-Mirim para formar o Rio Ibicuí, recebendo nesse trajeto as águas do Rio Cacequi na sua margem direita e do arroio Saicã na sua margem esquerda, já próximo ao exutório¹ da bacia.

A área em estudo caracteriza-se especialmente pela atividade agropecuária, apresentando paisagens típicas da fronteira gaúcha, onde

¹ Exutório é sinônimo de Foz; e esta por sua vez, significa o ponto onde um rio (ou outro curso fluvial) termina, desaguardo no mar, num lago ou em outro rio (Aurélio, 1980, p. 760).

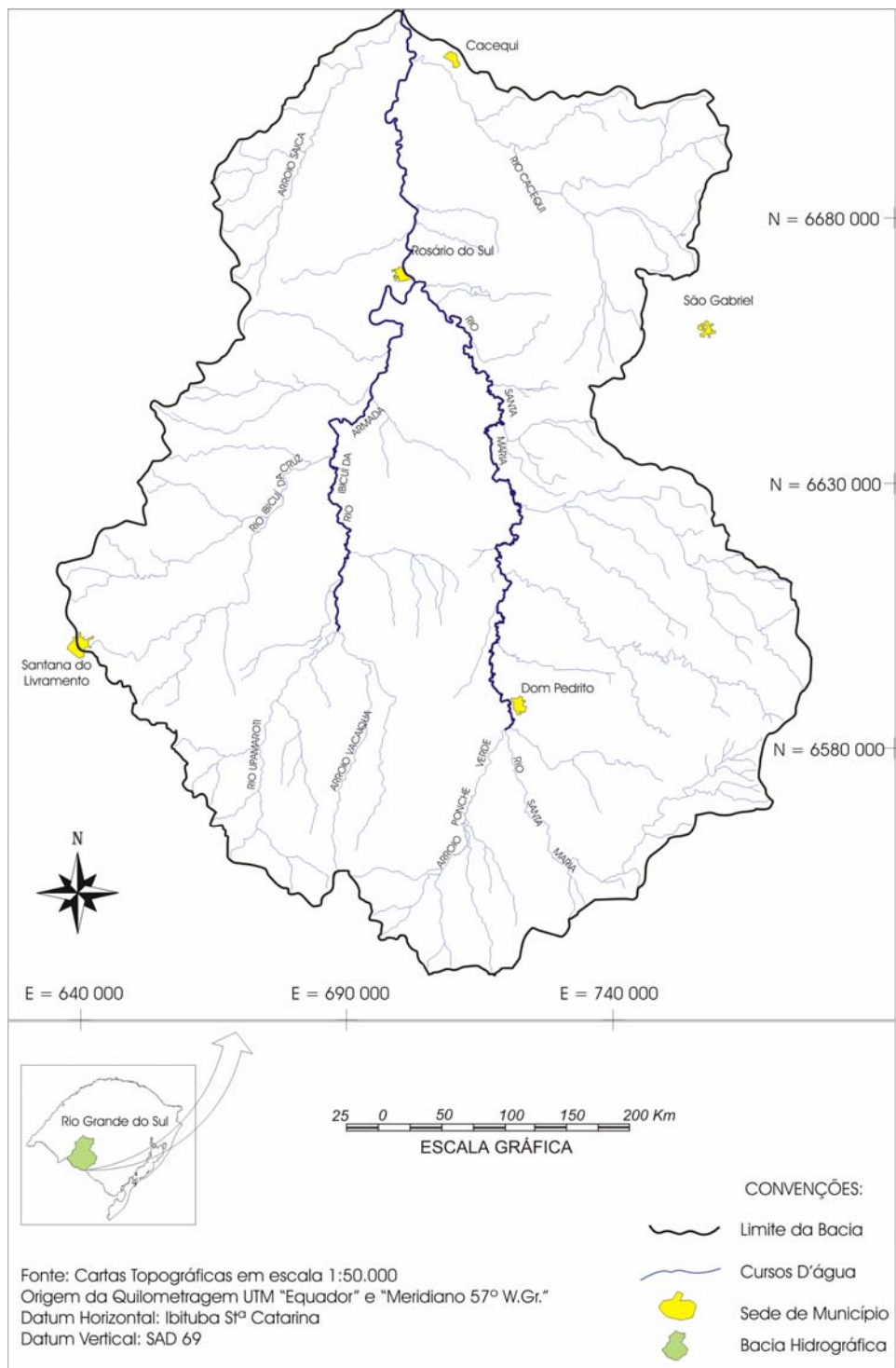


FIGURA 1: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria no Rio Grande do Sul.

Fonte: Silveira *et al.* (2003), adaptado por Pavão, A. D. M.

a pecuária extensiva tradicional se mescla com a orizicultura moderna, em campos entremeados com várzeas ocupadas por rotação de pastagem natural e lavoura de arroz. Esta paisagem apresenta um eixo de mudanças Leste-Oeste, que reflete as diferenças de uso da terra, em função da transição entre o Escudo Sul-Riograndense, a Depressão Central e o Planalto Meridional (Campanha Gaúcha).

Os solos são predominantemente hidromórficos, podzólicos e litólicos desenvolvidos sobre diversos tipos litológicos constituídos de areias, cascalhos, siltes, argilas, granitos e basaltos, oriundos das diversas formações geológicas aflorantes.

A bacia do Rio Santa Maria apresenta três grandes Províncias Hidrogeológicas (Escudo, Gondwânica e Basáltica) subdivididas em oito Sub-províncias (Cristalina, Cretáceo-Paleozóica, Permo-Carbonífera, Rosário do Sul, Botucatu, Planalto, Borda do Planalto e Cuesta), baseado na subdivisão estabelecida por Hausman (1995) para o Estado do Rio Grande do Sul.

De acordo com o referido autor, a classificação das províncias hidrogeológicas, leva em consideração as características geológicas, morfológicas e climáticas.

Segundo a classificação climática de Willian Köppen, o clima predominante é do tipo *Cfah* (*C*: temperado quente ou mesotermal, temperatura média do mês mais frio entre 18° e 3°C; *f*: indica ano sem estação seca, com precipitação média do mês mais frio, uma a três vezes superior a do mês mais quente; *a*: equivale a verões quentes, sendo a média do mês mais quente superior a 22°C; e, *h*: indica inverno brando com temperatura média anual superior a 18°C).

Em menor escala destaca-se o clima do tipo *Cfak* (clima subtropical com condições semelhantes ao anterior, sendo que *k*: indica inverno frio com temperatura média anual inferior a 18°C), (Hausman, 1995, p.16).

A maior parte da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria está incluída nas áreas de ocorrência das vegetações do tipo Estepe (Campanha Gaúcha) e Savana (Campos). As ocorrências de florestas estão mais restritas a penetração da floresta estacional decidual aluvial pelas margens dos principais rios da região, juntamente com florestas galeria que ocorrem em alguns locais.

Grande parte das áreas ocupadas no passado por vegetação pioneira, banhados e áreas brejosas, estão hoje dominados pela orizicultura e pecuária. A distribuição da vegetação reflete bem as diferenças geológicas e geomorfológicas da bacia (Silveira *et al.*, 1993, p.32).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. PROBLEMÁTICA DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

A água é fonte de vida e do desenvolvimento. Trata-se de um recurso estratégico por questão de segurança nacional e por seus valores sociais, econômicos e ecológicos. Esse bem natural é um patrimônio da humanidade que serve para tudo e para todos, sendo, portanto, um bem mineral que deve ser compartilhado com as gerações atuais e futuras, que habitam nas bacias hidrográficas e suas fronteiras (Neto, 1997).

Salienta-se que de toda a água existente no planeta Terra somente 2,7% é água doce, e deste valor cerca de 97% corresponde à água subterrânea. Portanto, muitas pessoas desconhecem a realidade preocupante de uma possível crise de água potável, onde esse recurso natural indispensável à vida pode tornar-se uma mercadoria tão cara (Neto, 1997).

A UNESCO, tem registrado um crescimento acelerado na utilização das águas subterrâneas e, conseqüentemente, de problemas decorrentes da má utilização dos aquíferos em várias partes do Planeta, problemas estes com tendência de expansão, caso não sejam implantadas políticas consistentes de uso e conservação dos recursos. Este recurso natural renovável pode tornar-se escasso, com o crescimento das populações, indústrias e da agricultura.

Além disso, os poços construídos, operados e abandonados sem controle Federal, Estadual ou Municipal se transformam em verdadeiros focos de poluição das águas subterrâneas que são extraídas, sobretudo, daqueles localizados no meio urbano (Pacheco e Rebouças, 1982).

O termo “poluição das águas” decorre do lançamento e acumulação nos corpos de água (superficiais ou subterrâneas) de efluentes, derivados tanto de esgotos domésticos, quanto de despejos industriais, bem como de escoamento superficial ou introdução de outro material poluente, que afetam direta ou indiretamente qualquer forma de vida. Esses aspectos alteram a qualidade das águas e a disponibilidade hídrica (Séguin, 2000).

Existem inúmeras fontes de poluição para as águas subterrâneas, observando-se com maior frequência os lixões, onde são dispostos rejeitos sólidos provenientes de indústrias diversas, esgotos domésticos e industriais, postos de combustíveis e resíduos originados de práticas agrícolas (Cavalcante, 2001, p. 67).

Os pesados investimentos exigidos no setor dos recursos hídricos para ter esse recurso natural com os requisitos apropriados, em termos de quantidade e qualidade, representam uma parcela significativa dos orçamentos nacionais e regionais.

Pela sua importância estratégica, este setor resente-se ainda da necessidade de desenvolvimento e aprimoramento de métodos e técnicas próprias que possibilitem a sua utilização racional na promoção do crescimento econômico e do bem estar social do país (Tucci, 1993, p. 6).

As águas subterrâneas, mais do que uma reserva de água deve ser considerada como um meio de acelerar o desenvolvimento econômico e social de regiões extremamente carentes.

Essa afirmação é apoiada na sua distribuição generalizada, na maior proteção às ações antrópicas e nos reduzidos recursos financeiros exigidos para sua exploração².

Não obstante, a utilização da água subterrânea no Brasil, continua sendo feita de forma empírica, improvisada e não controlada, resultando em freqüentes problemas de interferência entre poços, redução dos fluxos de base dos rios, impactos em áreas encharcadas ou pantanais, e redução das descargas de fontes ou nascentes (Leal, 2002).

2.2. USO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO MUNDO E NO BRASIL

Praticamente todos os países do mundo desenvolvidos ou não, utilizam água subterrânea para suprir suas necessidades, seja atendimento total ou apenas suplementar do abastecimento público e de atividades como irrigação, produção de energia, turismo, indústria, etc. O início dessa utilização perde-se no tempo, e o seu crescimento tem acompanhado o desenvolvimento do homem na Terra (Leal, 2002). Até o final da década de 50 a água subterrânea apresentava um baixo percentual de uso em relação às águas superficiais.

² Exploração; Explorar – ato ou efeito de explorar, procurar, descobrir, sem fins econômicos (Aurélio, 1980, p. 756).

Nos Estados Unidos em 1960 de um total consumido, as águas subterrâneas participavam com 17,4% do consumo total. O uso da água subterrânea era assim distribuído: 1º) irrigação, 2º) indústrias, 3º) abastecimento urbano, 4º) abastecimento rural.

Para abastecimento humano, alguns países como a Arábia Saudita, Dinamarca e Malta, usam exclusivamente água subterrânea, enquanto na Austrália, Alemanha, Bélgica, França, Hungria, Itália, Marrocos e Rússia mais de 70% da demanda são atendidas pelo manancial hídrico subterrâneo (Feitosa e Filho, 1997, p. 344).

Em 1985 o Centro Pan-americano de Engenharia Sanitária e Ciências do Meio Ambiente, apresentaram um estudo em que mostra a evolução do consumo de água subterrânea na região latino-americana e caribenha. Os dados daquela década mostram uma grande evolução na exploração³ das águas subterrâneas, destacando-se a cidade do México com 3.200.000 m³/dia, 94% do total do abastecimento d'água.

No Brasil, da mesma forma que em outras partes do mundo, a utilização das águas subterrâneas tem crescido de forma acelerada nas últimas décadas, e as indicações são de que essa tendência deverá continuar. A comprovar esse fato temos um crescimento contínuo do número de empresas privadas e órgãos públicos com atuação na pesquisa e captação dos recursos hídricos subterrâneos. Também é crescente o número de pessoas interessadas pelas águas subterrâneas, tanto nos aspectos técnico-científico e sócio-econômico, como no administrativo e legal (Rebouças, 2002, p. 3).

³ Exploração, Explorar – (do gr. Exploiter) V.t.d. Econômico. Tirar proveito econômico de (determinada área), sobretudo quanto aos recursos naturais (Aurélio, 1986, p. 1838).

O Brasil apresenta em todas as partes do seu território, condições altamente favoráveis ao desenvolvimento da vida e ao ciclo de renovabilidade dos seus potenciais de água doce (superficial e subterrânea).

A utilização da água subterrânea no Brasil ainda é muito modesta, haja visto que se perfura em todo País, cerca de 8000 poços por ano (apenas 1% do número de poços perfurados nos Estados Unidos). Somente nas últimas décadas (a partir de 1970) é que se tem observado uma tendência de se buscar água subterrânea, para o abastecimento público e outros usos no Brasil (Feitosa e Filho, 1997, p. 344). O Brasil está incluído na faixa de uso entre 25 e 50% de água subterrânea em relação ao consumo total.

Atualmente, grandes cidades brasileiras já são abastecidas, totais ou parcialmente, por águas subterrâneas. No Estado de São Paulo estima-se que 75% das cidades são abastecidas por poços. Já na região metropolitana do Recife as águas subterrâneas participam com 20%, sendo 10% a partir da COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento) e 10% a partir de poços particulares (Feitosa e Filho, 1997, p. 343).

No Estado do Rio Grande do Sul vários municípios são abastecidos total ou parcialmente por águas subterrâneas, no entanto poucos estudos tem se verificado com o objetivo de proteger este recurso, predominando apenas pesquisas geológicas e hidrogeológicas efetivadas pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais e eventualmente pelo Departamento Nacional de Produção Mineral,

salvo alguns trabalhos de cunho científico que são realizados nas Universidades do Estado.

2.3. ASPECTOS LEGAIS

A água é reconhecidamente um recurso vulnerável, finito e já escasso em quantidade e qualidade, por isso, trata-se de um bem econômico. Portanto, é fundamental que se disponha de instrumentos legais, essenciais ao equilíbrio da oferta e da demanda para garantir o desenvolvimento sustentável.

Código das Águas (de 10 de julho de 1934)

Essa foi a primeira legislação que regulamentou os usos da água no Brasil, embora já ultrapassada, fazia referência às águas subterrâneas restritamente no Título IV.

Código de Águas Minerais (Lei nº 7.841 de 08 de agosto de 1945)

Este código estabelece normas para o aproveitamento das águas caracterizadas como minerais, foi criado com o propósito de regular toda e qualquer exploração de águas subterrâneas que eram objeto de grande interesse comercial na época.

Constituição Federal (05 de outubro de 1988)

A constituição trouxe definições em relação às águas subterrâneas. Incluído entre os bens da União, no Art. 20 - IX, os

recursos minerais inclusive os do subsolo; e entre os bens dos Estados, conforme o Art. 26 - I, as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, como decorrentes de obras da União.

Lei Federal nº 9.433 (de 08 de janeiro de 1997)

O objetivo maior dessa lei é assegurar que as águas superficiais e subterrâneas possam ser controladas e utilizadas de forma racional e dentro de parâmetros de qualidade desejáveis.

Segundo o Art. 12 - II, estão sujeitos a outorga pelo Poder Público os direitos de extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo.

Quanto às infrações e penalidades, o Art. 49 ressalta no item II, que constitui infração iniciar a implantação ou implantar empreendimentos relacionado com a derivação ou a utilização de recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos, que implique alterações no regime, quantidade ou qualidade dos mesmos, sem autorização dos órgãos ou entidades competentes.

Também corresponde a infrações e penalidades, conforme o item V, perfurar poços para extração de água subterrânea ou operá-los sem a devida autorização.

Resolução nº 9 (de 21 de junho 2000)

Institui a Câmara Técnica Permanente de Águas Subterrâneas, de acordo com os critérios estabelecidos no Regime Interno do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, e destaca suas competências, que são:

I - discutir e propor a inserção da gestão de águas subterrâneas na Política Nacional de Gestão de Recursos Hídricos; II - compatibilizar as legislações relativas à exploração e a utilização destes recursos; III - propor mecanismos institucionais de integração da gestão das águas superficiais e subterrâneas; V - propor mecanismos de proteção e gerenciamento das águas subterrâneas.

Resolução nº 15 (de 11 de janeiro 2001)

De acordo com esta resolução, compete ao Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGRH coordenar a gestão integrada da água, e que diversos órgãos da Administração Pública Federal e dos Estados possuem competência no gerenciamento da mesma.

Resolução nº 16 (de 08 de maio de 2001)

Segundo esta resolução também estão sujeitas a outorga a extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo.

Resolução nº 22 (de 24 de maio 2002)

Destaca diretrizes complementares para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, e aplicação de seus instrumentos; considerando no Art. 1º os usos múltiplos das águas subterrâneas, as peculiaridades de função do aquífero e os aspectos de qualidade e quantidade para a promoção do desenvolvimento social e ambientalmente sustentável.

Salienta no Art. 2º que os Planos de Recursos Hídricos devem promover a caracterização dos aquíferos e definir as inter-relações de cada aquífero com os demais corpos hídricos superficiais e subterrâneos e com o meio ambiente, visando à gestão sistêmica, integrada e participativa das águas.

Os demais Artigos desta Resolução descrevem todas as características que os Planos de Recursos Hídricos devem conter para desempenharem adequadamente à gestão integrada dos recursos hídricos subterrâneos.

Portaria Nacional nº 231 (de 31 julho de 1998)

Trata sobre zonas de proteção de mananciais subterrâneos, a qual diz textualmente: “Considerando que a grande maioria das fontes, balneários e estâncias de águas minerais e potáveis de mesa, naturais, em exploração no país, localiza-se próximo aos centros urbanos, distritos industriais, atividades agropecuárias, lixões e outros agentes poluentes”. O item 3.4.5 trata da análise da possibilidade de contaminação das fontes e grau de vulnerabilidade, portanto sugere: “Análise de eventuais interferências e impactos ambientais sobre a quantidade e qualidade das águas minerais decorrentes do uso e ocupação do solo ou da utilização das águas subterrâneas e superficiais”.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR – 12212 de 04/1992)

Esta norma fixa as condições exigíveis para a elaboração de projeto de poço para captação de água subterrânea para abastecimento público.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR – 12244 de 04/1992)

Esta norma fixa as condições exigíveis na construção de poço para a captação de água subterrânea, destinada ao abastecimento público.

Código Sanitário do Estado do Rio Grande do Sul (Decreto n° 23430 de 24 de outubro de 1974)

Este decreto aprova regulamento que dispõe sobre a promoção, proteção e recuperação da saúde pública, envolvendo os temas poluição, água, ar, solo entre outras situações que estão diretamente ligados à saúde pública.

No Art. 96 está disposto que nas zonas servidas por rede de abastecimento de água potável os poços serão tolerados exclusivamente para suprimento com fins industriais ou para uso em floricultura ou agricultura.

Parágrafo único – os poços não utilizados serão aterrados até o nível do terreno.

Art. 97 – Nas zonas dotadas de rede de abastecimento de água potável será permitido o suprimento por fontes e poços, devendo a

água ser previamente examinada e considerada de boa qualidade para fins potáveis.

§ 1º - As fontes, além de boa qualidade devem ter proteção sanitária adequada contra a infiltração de poluentes.

§ 2º - Os poços, além de boa qualidade da água para fins potáveis, devem satisfazer algumas condições.

§ 3º - É proibido acumular objetos sobre as tampas de poços, devendo permanecer sempre desimpedidas.

Lei Estadual do Rio Grande do Sul (10.350 de 30 de dezembro de 1994)

Da mesma forma que a Lei Federal, esta legislação considera a outorga de uso das águas como um instrumento fundamental para o adequado gerenciamento das águas de domínio do Estado.

Conforme o Art. 29, dependerá da outorga do uso da água qualquer empreendimento ou atividade que altere as condições quantitativas e qualitativas, ou ambas, das águas superficiais ou subterrâneas, observando um Plano Estadual dos Recursos Hídricos e os Planos de Bacia Hidrográfica.

Conforme o Art. 35, constituem infrações e penalidades para os efeitos desta Lei e de seu Regulamento:

II – iniciar a implantação ou implantar empreendimento ou exercer atividade relacionada com a utilização de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, que implique alterações no regime, quantidade ou qualidade das águas sem aprovação dos órgãos ou entidades competentes.

Código do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (Lei 11.520 de 03 de agosto de 2000)

De acordo com o Art. 132 - É proibida a disposição direta de poluentes e resíduos de qualquer natureza em condições de contato direto com corpos d'água naturais superficiais ou subterrâneos, em regiões de nascentes ou em poços e perfurações ativas ou abandonadas, mesmo secas.

Art. 133 - Os poços jorrantes e quaisquer perfurações de solo que coloquem a superfície do terreno em comunicação com aquíferos ou com o lençol freático deverão ser equipados com dispositivos de segurança contra vandalismo, contaminação acidental ou voluntária e desperdícios.

Parágrafo Único - As perfurações desativadas deverão ser adequadamente tamponadas pelos responsáveis, ou na impossibilidade da identificação destes, pelos proprietários dos terrenos onde estiverem localizadas.

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.

Conforme o parágrafo 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.

§ 4º - Toda a pessoa jurídica pública ou privada, ou física, que perfurar poço profundo no território estadual, deverá providenciar seu cadastramento junto aos órgãos competentes, mantendo completas e atualizadas as respectivas informações.

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

§ 6º - Nas áreas urbanas e de alta concentração industrial deverão ser delimitadas e cadastradas as áreas de proteção de poços para abastecimento público.

Art. 136 - Na elaboração de Planos Diretores e outros instrumentos de planejamentos urbanos:

I – devem constar à posição dos lençóis de água subterrânea vulnerável.

2.4. BACIA HIDROGRÁFICA

A adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, segundo a Política Nacional dos Recursos Hídricos é o primeiro princípio básico praticado que avança na gestão dos recursos hídricos.

Tendo-se os limites da bacia como o que define o perímetro da área a ser planejada, fica mais fácil fazer o confronto entre as disponibilidades e as demandas, essenciais para o estabelecimento do balanço hídrico.

No entanto, a Bacia Hidrográfica segundo o seu conceito holístico, não exclui a tomada em consideração das águas subterrâneas

de sua projeção vertical, tanto quanto deve incorporar, também, as demandas e as relações com as bacias colindantes e o restante do território da unidade federada coberto apenas parcialmente pela mesma (Lei N° 9.433, 1997).

O conceito de Bacia Hidrográfica para Tucci (1993, p. 40):

“(...) é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. Ela compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório”.

Para Guerra (1980, p 48):

“(...) o conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes. Nas depressões longitudinais se verifica a concentração das águas das chuvas, isto é, do lençol de escoamento superficial, dando o lençol – rios. A noção de bacia hidrográfica obriga naturalmente a existência de cabeceiras ou nascentes, divisores d’água principais, afluentes, subafluentes, etc”.

Batalha (1986, p. 17) descreve Bacia Hidrográfica como “(...) uma superfície limitada por divisores de água que são drenadas por um curso d’água, como um rio e seus tributários, às vezes formando um lago”.

Existem muitas outras definições para esse termo, que caracteriza a área de estudo das águas de superfície, no entanto, para o estudo das águas subterrâneas, não existe uma delimitação de área específica, mesmo porque as águas subterrâneas, ou os aquíferos são entendidos como estruturas que retém água infiltrada e podem ter prolongamentos

além de fronteiras municipais, estaduais, nacionais e até mesmo transfronteiriços, como é o caso, por exemplo, do Sistema Aquífero Guarani - SAG (Rebouças *et al.*, 1999, p. 20).

Sentiu-se necessidade de utilizar bacias hidrográficas como palco dos trabalhos e estudos, no momento em que houve a observação de que as causas da deterioração dos recursos naturais ultrapassassem os limites de unidades produtivas e administrativas, procurando reverter o atual quadro de deterioração dos recursos naturais, evoluindo para um modelo de desenvolvimento sustentado, que garanta o atendimento das necessidades presentes e futuras (Frasson, 1993).

A Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria foi selecionada para execução desse trabalho, voltado as águas subterrâneas, de forma a contribuir com os inúmeros estudos e projetos que vem sendo desenvolvidos nesta área com vistas a equacionar os recorrentes problemas vinculados à disponibilidade hídrica.

Em 1956 foram iniciados estudos nesta bacia visando o conhecimento da topografia e da hidrologia da região. Já em 1987 retomam-se os estudos realizados até então, identificando e aprofundando o conhecimento sobre as possibilidades de implantar barragens. No ano de 1993 foi concluído um estudo denominado “sistema de avaliação de disponibilidades hídricas fluviais para o gerenciamento dos recursos hídricos”.

A partir do início da década de 90 desenvolveram-se paralelamente ao processo de estruturação do Sistema Estadual de Recursos Hídricos, cuja regulamentação iniciou com a promulgação da Constituição Estadual em 1989. No final de 94 foi sancionada a Lei nº

10.350 que regulamentou o Sistema Estadual de Recursos Hídricos; culminou com o Decreto Estadual nº 35.103 de maio de 1994 criando o Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria.

Entre 1995 e 1996 a bacia do Rio Santa Maria foi objeto de estudos abrangentes considerando todos os aspectos condicionantes da utilização dos recursos hídricos, com vistas a implementação de outorga pelo uso da água. No entanto não foi constatado nenhum estudo direcionado para as águas subterrâneas

2.5. SISTEMAS AQUÍFEROS

O solo é constituído de uma matriz porosa composta por partículas sólidas do solo e vazios. Esses vazios podem ou não estar preenchidos com água. Sob o ponto de vista da ocorrência de água, o solo pode ser dividido em zona saturada e zona não saturada (Figura 2). A zona de aeração, ou zona não saturada do solo, é a ligação entre as águas subterrâneas, que caracterizam a zona saturada do solo, e a atmosfera. Nesta zona, os vazios entre as partículas do solo são preenchidos por água e ar.

A zona saturada do solo, onde todos os vazios são preenchidos com água, caracteriza a existência do chamado lençol subterrâneo, ou aquífero. A importância da zona não saturada também está relacionada com a avaliação do potencial de recarga ou reabastecimento dos aquíferos a partir da água da precipitação que penetra no solo. A zona não saturada além de determinar as características de recarga dos

aqüíferos serve como filtro para as substâncias lançadas na superfície do solo, determinando se as mesmas vão ou não atingir o lençol e com que potencial poluidor (Paiva *et al.*, 2001, p. 242).

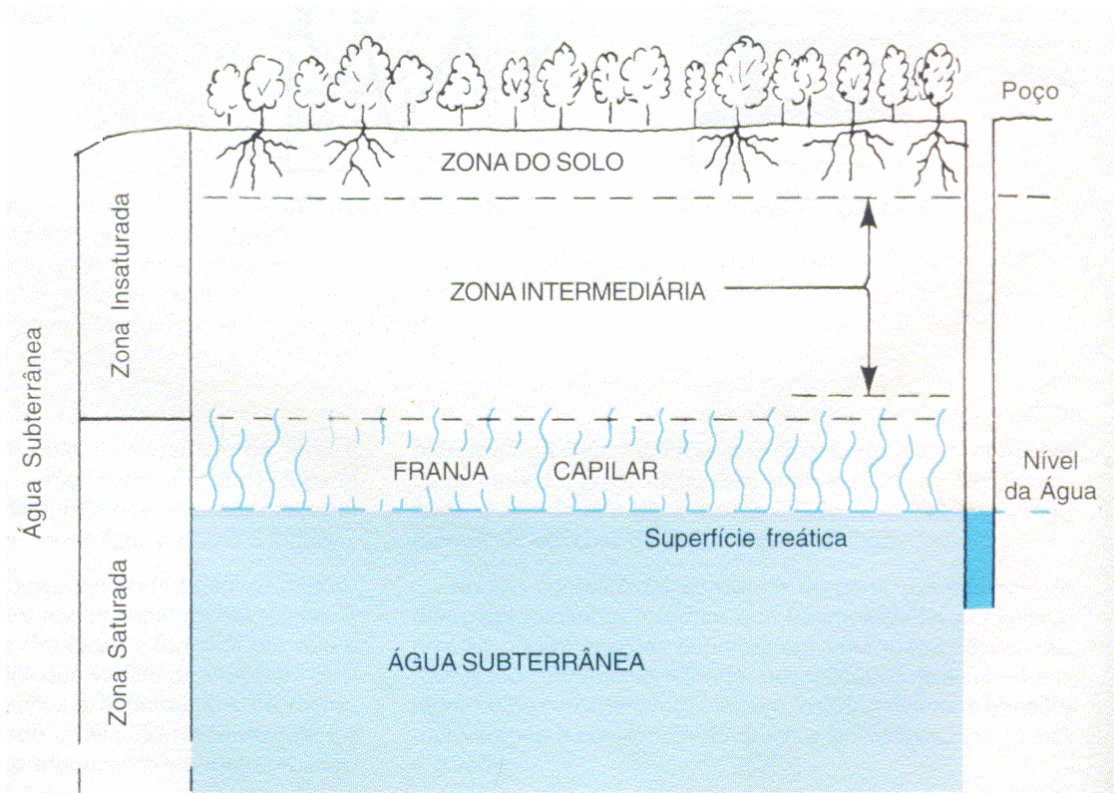


FIGURA 2: Perfil do solo ilustrando as zonas não saturada e saturada.

FONTE: Heath (1983, p. 04).

As formações ou camadas da zona saturada nas quais se pode obter águas para uso proveitoso são chamadas formações aqüíferas, lençóis aqüíferos, reservatórios de água subterrânea ou, simplesmente aqüíferos.

Aqüífero é aquela litologia porosa e permeável, capaz de ceder água economicamente a obras de captação; ou seja, o aqüífero é um material geológico capaz de servir de depósito e de transmissor da água armazenada. Portanto, uma litologia só será aqüífera se, além de conter água, ou seja, seus poros estando saturados, permitam a fácil transmissão da água armazenada (Wrege, 2002).

Segundo o Art. 1º, item III da Resolução nº15 do Conselho Nacional dos Recursos Hídricos, aqüífero é considerado como “o corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos”.

Para Batalha (1986, p 13) aqüífero é “a formação porosa (camada ou estrato) de rocha permeável areias ou cascalhos, capaz de armazenar e fornecer quantidade significativa de água”.

Nas palavras de Guerra (1980, p 30) “aquífero consiste na rocha cuja permeabilidade permite a retenção de água dando origem a águas interiores ou freáticas”.

É importante salientar, segundo Villela e Mattos (1975, p. 72), que permeabilidade é “a velocidade de infiltração para um gradiente unitário de carga hidráulica em um fluxo saturado através de um meio poroso (capacidade de um meio poroso transmitir a água)”.

A água subterrânea pode ocorrer tanto em rochas duras compactas (rochas ígneas e/ou metamórficas), como em rochas sedimentares (sedimentos como exemplo: areias e cascalhos) e também de maior consistência (calcários), ou seja, qualquer tipo de

rocha pode constituir um aquífero, desde que apresente condições de armazenar e transmitir água (<http://www.geocities.com>, 2002).

Os aquíferos, de forma geral, podem ser classificados com relação ao tipo de rocha armazenadora e em função da pressão a que está submetida à água.

Quanto ao tipo de rocha armazenadora os aquíferos podem ser divididos em:

a) *Aquíferos contínuos ou porosos*: ocorrem em rochas sedimentares, sedimentos inconsolidados e solos arenosos, decompostos *in situ*. Constituem os mais importantes aquíferos, pelo grande volume de água que armazenam, e por sua ocorrência em grandes áreas. Estes aquíferos ocorrem nas bacias sedimentares e em todas as várzeas onde se acumularam sedimentos arenosos. Uma particularidade deste tipo de aquífero é sua porosidade quase sempre homogeneamente distribuída, permitindo que a água percole para qualquer direção, em função tão somente dos diferenciais de pressão hidrostática (Zimbres, 2003).

Segundo Cabral. *et al.*, (2001, p. 238) a água do subsolo ocupa os espaços vazios formados pelos poros ou fraturas das rochas. Quando os poros já existem desde o tempo que a rocha foi formada, tem-se a porosidade primária. Quando os vazios aparecem após a formação da rocha, como por exemplo, as fraturas em granito, diz-se que a porosidade é secundária.

Neste contexto, Heath (1983, p. 7), expõe que “a porosidade de uma formação que retém água é determinada pela parcela do seu

volume formada por aberturas ou poros. Indica a máxima quantidade de água, que uma rocha pode conter quando está saturada”.

Os aquíferos contínuos ou porosos ainda podem ser classificados quanto à pressão da água, em:

- *Aquíferos livres, freáticos ou não confinados*: onde a pressão da água na superfície da zona saturada está em equilíbrio com a pressão atmosférica com a qual se comunica livremente.

- *Aquífero confinado, artesianos ou sob pressão*: ocorre quando um aquífero se encontra entre duas camadas impermeáveis ele se encontra confinado. Pelo fato da camada confinante superior ser impermeável a água se encontra sob uma pressão maior que a pressão atmosférica. A elevação alcançada pela água em um poço que atinge um aquífero confinado é definida como o nível piezométrico.

- *Aquífero suspenso ou semiconfinado*: é um caso especial de aquífero não confinado que ocorre quando o volume de água subterrânea está separado da água subterrânea principal por um estrato relativamente impermeável. A água se infiltrar no terreno encontra um obstáculo, superfície impermeável que impede sua descida até o lençol freático (Cabral *et al.*, 2001, p. 262).

b) *Aquíferos descontínuos, fraturados ou fissurados*: ocorrem quando a água ocupa fraturas e fendas abertas em rochas duras e compactas com baixíssima permeabilidade como em rochas ígneas e metamórficas. A capacidade destas rochas em acumular água está relacionada à quantidade de fraturas, suas aberturas e intercomunicações (Zimbres, 2003).

c) *Aqüíferos cársticos*: são os aquíferos formados em rochas carbonáticas. Constituem um tipo peculiar de aquífero fraturado, a água ocupa espaços vazios decorrentes da dissolução de porções do material original principalmente rochas carbonáticas, como calcários e mármore, podem atingir aberturas muito grandes, criando, neste caso, verdadeiros rios subterrâneos. É comum em regiões com grutas calcárias ocorrendo em várias partes do Brasil (Zimbres, 2003).

Segundo Cabral *et al.*, (2001, p. 239), em regiões onde o subsolo é formado por material não consolidado como a areia, silte, cascalho é possível encontrar bons lençóis d'água subterrâneos. Em locais onde o embasamento cristalino, formado por rocha consolidada, fica próximo à superfície, só é possível encontrar água subterrânea nas fraturas das rochas. Nesses locais geralmente não são encontrados bons lençóis, a não ser se a rocha for muito fraturada e com fraturas interconectadas.

Uma vez que algumas formações geológicas podem estender-se por várias Bacias Hidrográficas, Estados ou atingirem limites internacionais, surge à necessidade de usar o conceito de Província Hidrogeológica, que de acordo com Wrege (2002) consiste na região que possui sistemas aquíferos com condições semelhantes de armazenamento, circulação e qualidade de água.

Em termos Hidrogeológicos Hausman (1995) definiu para o Estado do Rio Grande do Sul, quatro grandes províncias hidrogeológicas (Escudo; Gondwânica; Basáltica e Litorânea) subdividindo-as em 14 Sub-Províncias, conforme o Quadro 3. Nesta dissertação não será considerada a Província Litorânea, e as Sub-Províncias Planalto e Borda do Planalto, pertencentes à Província

Hidrogeológica Basáltica, por estarem fora dos limites da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, e não contribuírem diretamente para o fluxo das águas subterrâneas na mesma.

QUADRO 1: Províncias e Sub-Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul estabelecidas por Hausman (1995)

Províncias	Sub-Províncias
I) Província Escudo	1. Sub-Província Cristalina 2. Sub- Província Cretáceo- Paleozóica
II) Província Gondwânica	3. Sub- Província Permo-Carbonífera 4. Sub-Província Rosário do Sul 5. Sub-Província Botucatu
III) Província Basáltica	6. Sub-Província do Planalto 7. Sub-Província da Borda do Planalto 8. Sub-Província da Cuesta
IV) Província Litorânea	9. Sub-Província Oceânica 10. Sub-Província Lagunar Externa 11. Sub-Província Lagunar Interna Norte 12. Sub-Província Lagunar Interna Sul 13. Sub-Província Itapuã 14. Sub-Província Guaíba

O conceito de Província Hidrogeológica é utilizado como a área que apresenta em toda a sua extensão aspectos semelhantes no que diz respeito às condições de captação e ocorrência das águas subterrâneas. Estão incluídos neste conceito, vários aquíferos cujas condições de jazimentos e estrutura, conjugam-se para possibilitar a sua exploração.

A classificação das Províncias Hidrogeológicas, leva em consideração as características geológicas, morfológicas e climáticas;

uma vez que a ocorrência e comportamento das águas subterrâneas são em parte um reflexo delas (Hausman 1995, p. 34).

2.5.1. Sistema Aquífero Guarani

O Sistema Aquífero Guarani (Figura 3) é o maior manancial de água doce subterrânea transfronteiriço do mundo, ele ocorre em oito Estados Brasileiros (Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina, São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás) além do Uruguai, Argentina e Paraguai (<http://www.aquiferguarani.hpg.com.br>, 2002).



FIGURA 3: Sistema Aquífero Guarani

Fonte:<http://www.daaearaquara.com.br>,2002

A expressão Sistema foi conceituada por Wrege (2002) como sendo um grupo individualizado de elementos inter-relacionados, interagindo com o meio ambiente. E Sistema Aquífero como sendo o domínio aquífero contínuo, ou seja, as partes estão contidas por limites (finito) e estão ligados hidraulicamente (dinâmico).

O termo Aquífero Guarani, segundo Araújo *et al.* (1999), foi proposto há alguns anos numa reunião de pesquisadores de várias universidades de países do Cone Sul (Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai), como uma forma de unificar a nomenclatura de um sistema aquífero comum a todos eles, e em homenagem à nação dos índios guaranis, que habitavam a área de sua abrangência. Anteriormente, este aquífero era conhecido aqui no Brasil pelo nome de Botucatu, pelo fato de que a principal camada de rocha que o compõe, ser constituída por um arenito de origem eólica, reconhecido e descrito pela primeira vez no município de Botucatu, Estado de São Paulo, também já foi denominado de Aquífero Gigante do Mercosul.

Este aquífero é constituído de várias rochas sedimentares pertencentes à Bacia Sedimentar do Paraná. Das rochas que compõem o aquífero, a mais importante é o arenito Botucatu (Figuras 4 e 5), de idade Triássica superior a Jurássico inferior (190 milhões de anos atrás). Este arenito foi depositado em ambiente desértico, o que explica as características físicas que fazem dele um ótimo reservatório de água subterrânea. Os grãos sedimentares que o constituem, são de uma grande homogeneidade, bem arredondados, havendo pouco material fino (matriz) entre os mesmos. Isto confere a este arenito alta porosidade e alta permeabilidade (Araújo *et al.*, 1999).

Sua espessura média é de cerca de 100 metros, havendo locais aonde chega a 130 metros. O arenito Botucatu está exposto à superfície nas regiões marginais da Bacia Sedimentar do Paraná. À medida que caminhamos para as partes centrais desta Bacia, isto é, para o interior dos estados do sul, este arenito vai ficando cada vez mais profundo, tendo a lhe recobrir espessas camadas de rochas vulcânicas basálticas, e outras camadas de arenitos mais recentes.

A região onde o arenito Botucatu aflora constitui os locais de recarga do aquífero, sendo possível observar o acamamento de arenitos finos de paleoambiente eólico na Figura 4.



FIGURA 4: Afloramento da Formação Botucatu
(Município de Sant’Ana do Livramento – RS. Data: 05/2004).

Na Figura 5 é possível observar os arranjos das camadas inclinadas, com ângulos de declividade superiores a 10°, indicando paleodunas eólicas.



FIGURA 5: Afloramento da Formação Botucatu.
(Município de Sant'Ana do Livramento – RS. Data: 05/2004).

Nas regiões onde a Formação Botucatu está recoberta pelas rochas vulcânicas, não há recarga direta e o sistema está confinado, ou seja, é artesiano, chegando a profundidades de 4.455 metros, que é o caso de certos poços no Estado do Paraná. Apesar desta profundidade, como é um sistema confinado, nos poços que alcançam esta

profundidade a água sobe chegando a pouco menos de 100 metros da superfície, havendo local onde a pressão é suficiente para que a água jorre espontaneamente pela boca do poço (<http://www.aguasubterranea.hpg.ig.com.br/guarani.htm>, 2002).

O Sistema Aquífero Guarani seria capaz de atender a uma população de 360 milhões de pessoas, o que significa quase o total da população da América do Sul, desde que a exploração fosse equilibrada, mantendo-se a retirada de água em quantidade inferior à recarga das chuvas (<http://www.aquiferoguarani.hpg.com.br>, 2001).

2.5.2. Captação das Águas Subterrâneas

Para a exploração das águas subterrâneas, o meio mais comum é através de poços. Assim, toda perfuração através da qual obtemos água de um aquífero é, genericamente chamada de poço; mas, há muitas formas de classificá-los, segundo Zimbres (2003) é mais comum denominá-los quanto à profundidade.

Portanto, quando o fluxo de água subterrânea intercepta a superfície do terreno, forma-se uma *nascente*. Há muitos tipos de nascentes, mas em geral a sua formação é condicionada pela existência de uma interface entre o nível freático ou piezométrico de um corpo permeável (aquífero) e a superfície topográfica do terreno.

Os Poços Rasos podem ser subdivididos em:

a) *Poço Escavado*: estes poços são a forma mais antiga de exploração das águas subterrâneas, e é o tipo mais utilizado pela população rural brasileira, recebe nomes distintos dependendo da

região: cisterna, cacimba, cacimbão, poço amazonas, poço caipira ou simplesmente poço.

Zimbres (2003), define que os poços escavados são cilíndricos, abertos manualmente, com uso de picareta ou pá. Às vezes são usados fogachos (pólvora) para romper os blocos de rochas mais resistentes. Seu diâmetro deve ser grande, indo de 1 a 2 metros, em média 1,50 metros.

b) *Poço Ponteiros Cravadas*: A água é retirada com bomba de sucção, pois as ponteiros consistem em uma haste perfurada revestida por tela com terminação cônica; só funciona em aquíferos muito rasos. Em geral estes poços possuem de 4 a 5cm de diâmetros. Caso a necessidade de água aumente pode-se cravar mais ponteiros, mantendo uma distância segura para evitar as interferências dos cones de depressão.

c) *Poço Radial*: São poços escavados de diâmetro maior que o normal (3 a 4m) nos quais foram cravadas ponteiros ou aberto drenos horizontais em sua parte inferior, num arranjo radial. Isto permite aumentar a área de captação de água, elevando a produtividade do poço bem mais do que se fosse meramente escavado.

Os *Poços Profundos* são aqueles perfurados com máquinas denominadas perfuratrizes e possuem diâmetro que varia de 10 cm a 30cm, com profundidades entre 40m e 4000m. Em alguns casos, profundidades maiores são atingidas quando se procura a produção de água aquecida pelo geotermalismo.

Um poço perfurado com sonda (ou perfuratriz) num aquífero livre, deve ser chamado de poço profundo ou poço tubular profundo,

para se diferenciar dos poços rasos escavados manualmente. As companhias perfuradoras de poços têm usado erroneamente o termo “poço artesiano” para todo e qualquer poço perfurado através de máquinas.

Dessa forma, o *Poço Artesiano* é uma estrutura hidráulica, vertical e tubular que dá acesso ao aquífero. Para que um poço seja chamado de artesiano é necessário que seja perfurado em aquífero artesiano ou confinado (Zimbres, 2003).

Quando o poço perfurado em aquífero artesiano, no qual a água jorra naturalmente na superfície do terreno, denomina-se *poço jorrante*.

2.5.3. Recarga dos Aquíferos

Para o uso sustentável da água subterrânea é importante identificar as áreas de recarga dos aquíferos. Em regiões de muita chuva toda a área de uma bacia hidrográfica é potencialmente uma área de recarga, sendo que os pontos principais são os locais de maior capacidade de infiltração e os afloramentos de camadas mais permeáveis (Cabral *et al.*, 2001, p. 267).

A água das chuvas entra nos sistemas de água subterrânea através das áreas de recarga e move-se através delas em função dos gradientes hidráulicos (decorrente da variação de declividade) e das condutividades hidráulicas para as áreas de descarga.

A velocidade de movimento da água subterrânea das áreas de recarga para as de descarga depende das condutividades hidráulicas

dos aquíferos e camadas confinantes, se a água move-se descendentemente a outros aquíferos e dos gradientes hidráulicos horizontal e/ou vertical.

A descarga natural dos sistemas de água subterrânea influi não só no fluxo de fontes, na percolação da água e canais fluviais ou terras alagadas, mas também na evaporação da parte superior da franja capilar, onde ela ocorre até a profundidade em torno de um metro.

Uma das mais significantes diferenças entre áreas de recarga e descarga é quanto a sua extensão, pois a área ocupada pelas regiões de descarga é invariavelmente menor do que a área ocupada pelas regiões de recarga. Esta diferença de tamanho mostra, como se poderia esperar que áreas de descarga fossem mais “eficientes” do que as de recarga. Recarga envolve movimento de água na zona não-saturada na direção vertical, enquanto descarga envolve movimento saturado, muito do qual na direção horizontal, isto é, na direção da condutividade hidráulica maior (Heath, 1983, p. 14).

A conservação das áreas de recarga é essencial para garantir a reposição da água e a recuperação dos níveis dos lençóis subterrâneos, como também para evitar percolação de contaminantes que venham a degradar a qualidade da água dos aquíferos. Por exemplo, na escolha do local para instalação do destino final do lixo de uma cidade, deve ser feita uma verificação, se a área não é uma área de recarga dos aquíferos (Cabral *et al.*, 2001, p. 267).

2.6. VULNERABILIDADE DOS SISTEMAS AQUÍFEROS

Nas grandes cidades o crescimento da utilização das águas subterrâneas tende a ser maior devido à carência e ou a degradação das fontes superficiais, que por estarem mais expostas estão, conseqüentemente, mais passíveis de contaminações e exploração. A água subterrânea, também por efeito da urbanização e pelas vantagens existentes para seu consumo passou a ser a grande alternativa para o problema do abastecimento, mas muitas vezes pode trazer efeitos negativos, isto é ações que estão afetando a quantidade e qualidade dos aquíferos aumentando assim a vulnerabilidade dos mesmos (Freire *et al.*, 2002).

Segundo Foster e Hirata (1993, p. 67):

“o termo vulnerabilidade à contaminação do aquífero é usado para representar as características intrínsecas que determinam a susceptibilidade de um aquífero de ser adversamente afetado por uma carga contaminante”.

Para Wrege (2002) “vulnerabilidade (vulnerability) é a expressão da facilidade de um sistema aquífero em ser poluído”.

A vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação é potencialmente, em grande parte, dependente da facilidade com que as águas infiltradas atingem o aquífero. Assim, os aquíferos freáticos que não possuem uma espessa camada de cobertura, são mais susceptíveis à contaminação. Aquíferos confinados profundos, em geral, são mais bem protegidos, principalmente quando sobrepostos com densas camadas argilosas. Camadas rochosas fraturadas podem permitir a

ocorrência de caminhos para a contaminação. Poços penetrando dois aquíferos sobrepostos podem aumentar a chance de ocorrência de contaminação cruzada entre esses aquíferos (Cabral *et al.*, 2001, p. 269).

Certos aquíferos apresentam uma vulnerabilidade natural relativamente maior do que os outros, sendo o caso de aquíferos costeiros livres ou mesmo de aquíferos fraturados com recarga superficial em zonas de fraturas. As retiradas excessivas (superexploração), o desmatamento em várias áreas, a impermeabilização de vastas áreas urbanas, a poluição derivada de aterros sanitários, dos lançamentos de efluentes industriais e domésticos, vazamentos em tanques de combustíveis enterrados são exemplos de ações que afetam a qualidade e quantidade das reservas de água subterrânea. Muitas vezes os aquíferos tornam-se mais vulneráveis às próprias obras de captação, nestes casos pode-se contaminar inclusive os aquíferos mais profundos e confinados de forma irremediável (Freire, 2002).

De acordo com Foster e Hirata (1993, p. 67) a vulnerabilidade do aquífero é função da:

- a) inacessibilidade hidráulica da penetração de contaminantes;
- b) capacidade de atenuação dos estratos acima da zona saturada do aquífero, como resultado de sua retenção física e reações químicas com o contaminante.

Esses dois componentes da vulnerabilidade do aquífero interagem com os seguintes componentes da carga contaminante no subsolo:

I) o modo de disposição do contaminante no subsolo e em particular a magnitude de qualquer carga hidráulica associada.

II) a classe do contaminante, em termos de sua mobilidade e persistência.

Essa interação determinará o tempo de residência na zona não-saturada e a demora na chegada do contaminante ao aquífero, estabelecerá também o grau de atenuação, retenção ou eliminação, antes da chegada à zona saturada.

Para a determinação do risco de contaminação das águas (Foster e Hirata, 1987) utiliza-se uma metodologia baseada na avaliação da vulnerabilidade natural do aquífero e da carga poluidora (ou também chamada de carga contaminante) proveniente das atividades antrópicas de superfície, cuja interação entre ambos, resulta na caracterização preliminar das áreas de risco.

Adotando-se tal esquema, pode-se obter uma alta vulnerabilidade, sem risco de contaminação, pela ausência de uma carga contaminante significativa, e vice-versa.

A carga contaminante pode ser controlada ou modificada, não ocorrendo o mesmo com a vulnerabilidade natural do aquífero, exceto com atividades antrópicas que retiram a cobertura do solo ou o material da zona não-saturada.

Os solos que cobrem o aquífero servem como uma barreira primária à contaminação, seja por bactérias, sedimentos ou outros contaminantes insolúveis. Alguns contaminantes dissolvidos são adsorvidos ou podem reagir quimicamente com os constituintes do solo. Além disso, plantas e microorganismos consomem algumas

substâncias dissolvidas na água, que podem, potencialmente, ser poluentes, como os nitratos. Porém, essas barreiras podem esgotar sua capacidade depuradora caso sejam sobrecarregadas com altas taxas de injeção desses contaminantes (Cabral *et al.*, 2001, p. 269).

Os perfis de solo atenuam um grande, mas não total número de contaminantes da água. Durante muitos anos esses sistemas-solos eram considerados suficientemente efetivos para a degradação da disposição de excrementos humanos e efluentes domésticos (Idelovitch e Michael 1984 *apud* Foster e Hirata, 1993, p.13).

Os processos envolvidos na atenuação de contaminantes continuam, em um menor grau, em maiores profundidades especialmente quando a zona não saturada é constituída de sedimentos não consolidados. Na zona saturada, o processo de dispersão hidráulica, associado ao fluxo de águas subterrâneas ocasiona a diluição de contaminantes móveis e persistentes. A maioria dos processos que causam atenuação e eliminações de contaminantes em subsuperfície é muito mais efetiva na zona de solos biologicamente ativa, como resultado do seu maior conteúdo de argila e matérias orgânicas e da presença maior de população bacteriana (Foster *et al.*, 1993, p.22).

Dessa forma é preferível não incorporar a capacidade de atenuação do solo à vulnerabilidade do aquífero (Foster, 1987), mas sim, tomá-lo em consideração indiretamente, quando se estima a carga contaminante no subsolo de diversas fontes de contaminação dispersa.

Neste sentido os mapas de vulnerabilidade constituem uma base técnica para o planejamento de ações de controle dos aquíferos, à medida que permitem a identificação de áreas potencialmente críticas.

2.7. MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES DE VULNERABILIDADE

Existem várias metodologias para avaliação da vulnerabilidade a contaminação dos aquíferos presentes na literatura, que podem ser classificados em três grupos principais, de acordo com a metodologia adaptada (Vrba e Zaporozec, 1994):

Ambientes Hidrogeológicos: avaliam a vulnerabilidade de grandes ambientes hidrogeológicos em termos qualitativos, utilizando uma superposição de mapas temáticos (Albinet e Margat, 1970).

Modelos Analógicos: utilizam expressões matemáticas para parâmetros chaves (tais como o tempo de transito médio na zona não saturada) como um indicador de índice de vulnerabilidade (enfoque de EC/Fried, proposto em Monkhouse, 1983).

Sistemas Paramétricos: utilizam parâmetros convenientemente selecionados para representar a vulnerabilidade, aos quais lhes assinalam distintos pesos e interações para gerar um índice de vulnerabilidade absoluto ou relativo (exemplos destes métodos incluem-se em Haertle (1983) e DRASTIC de Aller, *et al.* (1987), além do método GOD, utilizado no presente trabalho).

Dentro destes métodos, o mais conhecido é o DRASTIC que quantifica a vulnerabilidade relativa por meio de uma soma ponderada

de índices estabelecidos para sete variáveis hidrogeológicas. Esse método tem sido objeto de várias avaliações, que mostram tanto os diversos benefícios quanto às numerosas falhas desta metodologia. Considera-se que esse método tende a gerar um índice de vulnerabilidade cujo significado é confuso. Isto é consequência da interação entre os variados parâmetros ponderados, alguns dos quais não são independentes e estão fortemente correlacionados. Esses índices de vulnerabilidade podem ser obtidos por diferentes combinações podendo conduzir a tomada de decisões equivocadas.

Mais especificamente poder-se-ia notar que: o método subestima a vulnerabilidade de aquíferos fraturados (comparado com a dos aquíferos não consolidados) e não inclui parâmetros relacionados à mobilidade dos contaminantes na zona saturada.

O método “GOD” além de avaliar a vulnerabilidade a contaminação dos aquíferos orienta sobre comportamento de contaminantes em subsuperfície, tem sido amplamente comprovado na América Latina e Caribe durante a década de 90, devido a sua clareza conceitual e a simplicidade de aplicação, considerando dados pré-existentes.

Alguns investigadores latinos americanos têm proposto modificações ao método “GOD, que incorpora um fator relacionado com a capacidade de atenuação do solo baseado somente em sua textura..Em termos gerais considera-se válido incluir o “fator de solo”, com exceção de áreas onde o solo tem sido removido ou alterado e em casos onde a carga contaminante é aplicada debaixo dele (Foster *et. al.*, 2002).

2.7.1 Limitações dos Mapas de Vulnerabilidade

Certas condições hidrogeológicas geram problemas na avaliação e mapa de vulnerabilidade de contaminação de aquíferos, tais como: a presença de cursos de água superficial indefinido (permanentes ou intermitentes) fundamentalmente devido à incerteza na avaliação de sua condição hidrológica, definição da qualidade do curso de água e estimação da capacidade de atenuação do leito ou margens (no entanto é essencial indicar quais são as sessões potencialmente influentes dos cursos que atravessam aquíferos não confinados).

Outro problema a exploração excessiva dos aquíferos para o abastecimento de água potável que pode produzir variações na profundidade no nível de água e ao grau de confinamento. As argilas extremamente consolidadas (e, portanto potencialmente fraturadas) onde existem normalmente importantes incertezas a respeito da magnitude de qualquer componente de fluxo preferencial.

O mapa de vulnerabilidade de aquíferos é adequado somente em casos que se quer avaliar o perigo de contaminação das águas subterrâneas relacionados com a descarga de contaminantes que ocorrem na superfície do terreno e corpos de água. Especificamente não deveria ser usado para a avaliação de perigos provocados por:

- descargas mais profundas de contaminantes diretamente debaixo da superfície do terreno (como o caso de perdas de grandes tanques de armazenamento enterrados, lixiviados de esgotos sanitários, descargas de efluente em crateras e poços mineiros, etc);

- derrames de contaminantes orgânicos sintéticos imiscíveis densos.

Em ambos os casos o perigo de contaminação das águas subterrâneas será alto, seja qual for a vulnerabilidade do aquífero. Nessas circunstâncias deve - se considerar unicamente a intensidade e provável duração da carga contaminante. Assim, tanto o índice como o mapa de vulnerabilidade mantêm sua validade técnica. Destaca-se que estes tipos de carga contaminante se excluem da metodologia proposta (GOD), tais situações requerem ser especialmente controladas independentemente das características do terreno.

Outro caso merece um tratamento especial é a presença de aquíferos pouco profundos de má qualidade natural (normalmente salinos). Isto requer um mapa específico em que aquíferos suspensos geralmente sem mérito especial de proteção possuem casos de alta vulnerabilidade a contaminação antrópica, a não ser que requerem cuidados com aquíferos semi-confinados subjacentes.

2.8. PARÂMETROS UTILIZADOS PARA ESTABELEECER A VULNERABILIDADE

Os componentes da vulnerabilidade dos aquíferos (inacessibilidade hidráulica e capacidade de atenuação) não são diretamente mensuráveis, mas sim a partir da combinação de diversos fatores: Grau de confinamento do aquífero, profundidade do nível freático ou do aquífero, conteúdo de umidade da zona não saturada,

condutividade hidráulica vertical do aquítarde⁴, distribuição dos tamanhos dos grãos e fissuras do aquítarde, e da mineralogia do aquítarde.

Os dados relacionados com a maioria destes fatores geralmente não estão disponíveis, nem podem ser estimados facilmente. A redução e simplificação da lista de parâmetros devem ser necessariamente implementado caso se queira desenvolver um esquema prático de avaliação do risco de contaminação das águas subterrâneas.

Caso a seleção de parâmetros deva se basear naqueles provavelmente disponíveis ou facilmente coletáveis, então a lista reduzirá radicalmente, para os seguintes parâmetros: tipo de ocorrência da água subterrânea, litologia e grau de consolidação dos estratos acima da zona saturada, e a profundidade do nível freático ou o teto do aquífero confinado.

Essas três características contêm, qualitativamente, a maioria daqueles parâmetros da lista original.

1º) A identificação do tipo de ocorrência da água subterrânea, considera se o aquífero é surgente, confinado, semi-confinado, não confinado coberto e não confinado, conforme descrito anteriormente.

2º) A caracterização dos estratos acima da zona saturada do aquífero pode ser feita em termos do: *Grau de consolidação*, e, por conseguinte, da presença ou ausência de permeabilidade por fissuração, classificando os sedimentos em: não consolidados, sedimentos consolidados de rochas porosas e rochas consolidadas

⁴ O termo é usado aqui para definir estratos não saturados sobre o nível freático, que permite um livre movimento vertical de infiltração (Foster e Hirata, 1993, p. 71).

densas; *Caráter litológico*, referente à porosidade relativa, permeabilidade e conteúdo de umidade em função das litologias presentes (argilas, siltes, areias, cascalhos, folhelhos, formações ígneas, metamórficas ou calcárias).

Conforme Wrege (2002) litologia é “todo material geológico formador da crosta terrestre; exemplo: areia, argila, granito, sedimento, rocha”.

3º) O passo final é a determinação da profundidade do nível freático, neste caso considera-se o nível estático dos poços que indicam a distância do nível da água subterrânea ou o teto do aquífero.

Segundo Heath (1983, p. 10):

“A profundidade da superfície freática é importante fator no uso da superfície do solo e no aproveitamento dos suprimentos de água dos aquíferos livres. Onde a superfície freática está à pequena profundidade a terra pode tornar-se ‘encharcada’ durante a estação chuvosa e imprópria para usos residuais e muitos outros”.

A direção da inclinação da superfície freática é também importante porque indica a direção do movimento da água subterrânea. A posição e a inclinação da superfície freática (ou da superfície potenciométrica de um aquífero confinado) é determinada medindo-se a posição do nível da água em poços em um ponto fixo (ponto de medição), conforme pode ser observado na Figura 6.

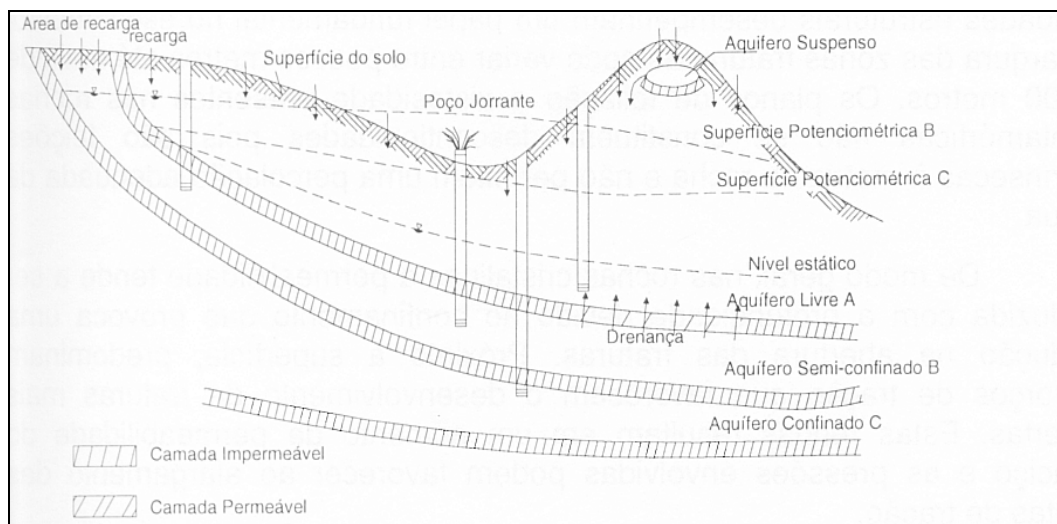


FIGURA 6: Diferentes tipos de aquíferos.

Fonte: Cabral *et al.*, (2001, p. 263).

A profundidade da água em um poço tubular é obtida tanto do nível estático (N.E.), quanto do nível dinâmico (N.D.).

Para Heath (1983, p. 76) o nível estático é a “profundidade do nível de água de um poço em repouso, isto é, sem bombeamento, medida em relação à superfície do terreno no local”.

Nas palavras de Wrege (2002) “o nível estático, é a altura que se estabelece à água quando não influenciada por bombeamento”.

Segundo a NBR 12244, o “Nível estático, corresponde à profundidade do nível de água de um poço em repouso, isto é, sem bombeamento em relação à superfície do terreno no local”.

Quanto ao nível dinâmico, Wrege (2002) expõe que o “nível dinâmico é a altura que se estabelece à água por ação de uma obra hidráulica; exemplo: bombeamento em poço”.

De acordo com a NBR 12244 o “Nível Dinâmico é a profundidade do nível de água de um poço bombeado a uma dada vazão, referida ao correspondente tempo de bombeamento, medida em relação à superfície do terreno local”.

3. METODOLOGIA

3.1. Método Empregado

Para desenvolvimento do presente trabalho utilizou-se um método baseado em dados pré-existentes, denominado “**G.O.D.**” por suas iniciais em inglês que significam respectivamente *Groundwater hydraulic confinement* (Grau de confinamento hidráulico, condição do aquífero), *Overlaying Strata* (Ocorrência do substrato litológico, caracterização geral), *Depth to groundwater table* (Distância da água, ou seja, profundidade do lençol d’água ou teto do aquífero confinado) (Foster *et al.*, 2002, p. 23). A estimativa do índice de vulnerabilidade envolve três etapas concretas, observe a Figura 7:

1º) identificado o grau de confinamento hidráulico do aquífero atribuir-lhe um valor que varia entre (0,0 – 1,0);

2º) conhecidas às características litológicas em função de sua capacidade de atenuação de contaminantes, atribuir-lhe um valor que varia entre (0,4 – 1,0);

3º) para a distância ou profundidade do nível de água a escala de valores a ser atribuído varia em uma escala de (0,6 – 1,0).

Na Figura 7 está representado um esquema lógico de combinação de valores atribuídos conforme a situação de cada um dos parâmetros descritos anteriormente. Desta forma para obter-se o índice de vulnerabilidade multiplica-se o valor atribuído a cada um dos parâmetros ($G \times O \times D$). O resultado deste produto pode variar de 0 a 1, indicando as classes de vulnerabilidade natural: desprezível, baixa, média, alta ou extrema.

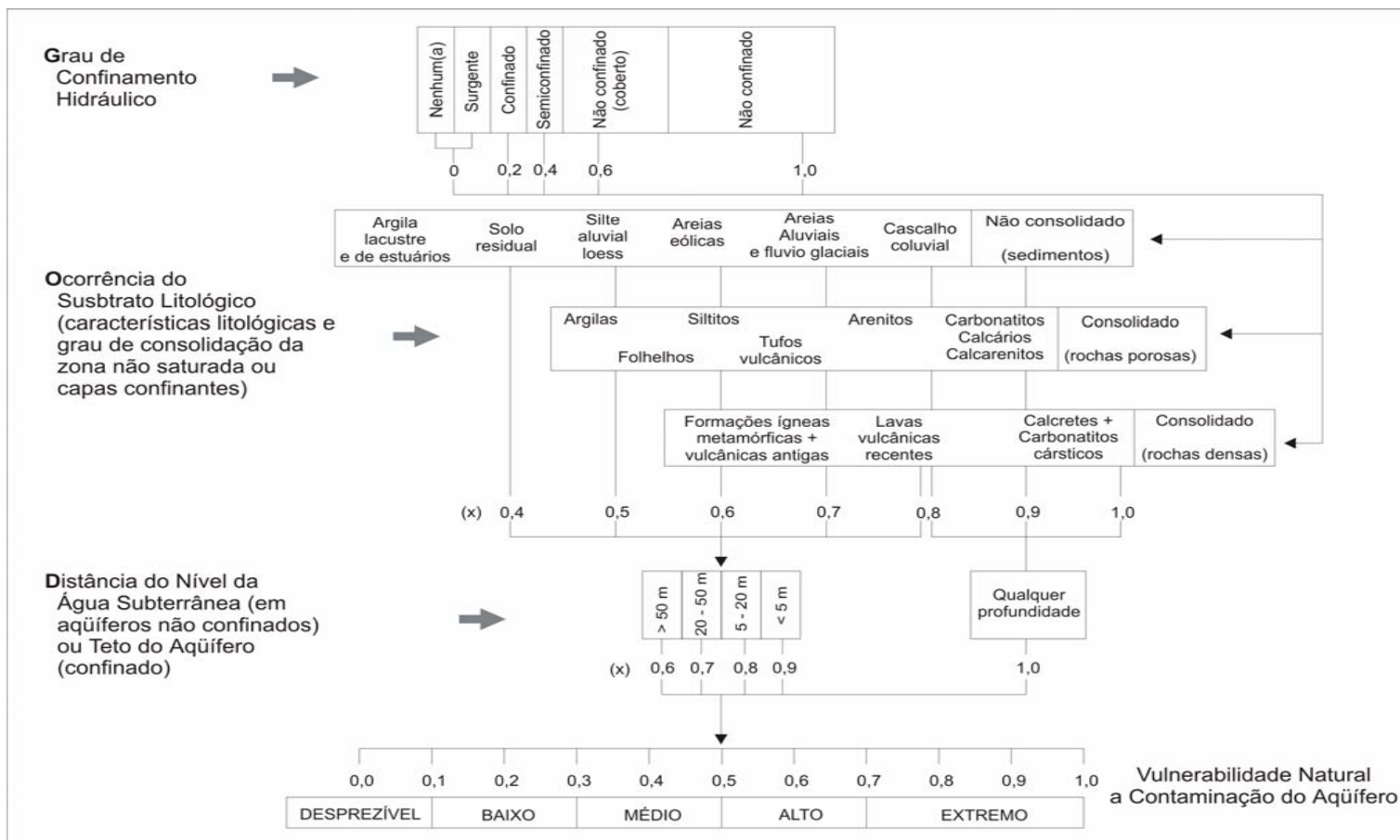


FIGURA 7: Método “G.O.D.” para a avaliação da vulnerabilidade e contaminação dos aquíferos.

Fonte: Foster *et al.*, (2003).

Adotando-se tal esquema pode-se obter uma alta vulnerabilidade, sem risco de contaminação, pela ausência de uma carga contaminante significativa, e vice-versa. Entretanto, dizer que a vulnerabilidade é alta não quer dizer que haja um agente poluidor atuando. Como já mencionado a vulnerabilidade é um conjunto de valores que tornam este setor mais susceptível a contaminação ou não; ou seja, tudo depende posteriormente do contaminante posicionado sobre esta área (Foster e Hirata, 1993).

Neste sentido, em períodos de tempo relativamente longos, todos os aquíferos são vulneráveis a contaminantes persistentes não-degradáveis, gerados por uma atividade contaminante amplamente distribuída. Neste caso, a capacidade de diluição do aquífero pode não ser efetiva para mitigar o evento contaminador.

Adicionalmente, aqueles aquíferos que seriam considerados como de menor vulnerabilidade a contaminação, em termos gerais, tendem a ser os mais difíceis de serem reabilitados, uma vez contaminados. Neste sentido, ao menos, eles poderiam ser considerados como de alta vulnerabilidade a contaminação (Foster e Hirata, 1993).

3.2. Materiais

Os mapas da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, geológico e hidrogeológico foram cedidos pelo Projeto de Desenvolvimento de Ações para Implantação de Outorga na Bacia do Rio Santa Maria desenvolvido no ano de 2003; em conjunto entre vários pesquisadores

da Universidade Federal de Santa Maria, tendo como coordenador geral o professor doutor Geraldo Lopes da Silveira (2003).

Assim, para a delimitação da área utilizou-se a base cartográfica fornecida pela Divisão do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, com datum SAD 69 e escala 1:50.000, sendo que as cartas topográficas são: Coxilha do Pau Fincado, Umbu, Cacequi, Itapevi, Tiaraju, Azevedo Sodré, Rosário do Sul (Norte), Saicã, Cerro Samora, São Gabriel, Estância do Meio, Rosário do Sul (Sul), Guará, Vila São Leandro, Lagoa da Meia Lua, Suspiro, Estância da Barra, Pampeiro, Tarumã, Cerrito, Coxilha do Tabuleiro, Ibaré, Dom Pedrito, Upacarái, Engenheiro Madureira, Palomas, Sant'Ana do Livramento, Torquato Severo, Afonso Jacinto, Rio Santa Maria, Igrejinha, Upamoroti, Marco Itaquatia, Piraí, Serrilhada, Ponche Verde e Três Vendas.

O mapa geológico da bacia foi vetorizado no programa Autocadmap, a partir das cartas geológicas editadas em 1986, pela Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais – CPRM, Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná, na escala original de 1:100.000.

Para a confecção do mapa hidrogeológico da bacia em estudo, considerou-se o conceito e as subdivisões das Províncias Hidrogeológicas, estabelecidas por Hausman (1995), este mapa tem escala original 1:1.000.000.

Posteriormente efetivou-se a coleta de dados sobre os poços subterrâneos presentes na área de estudo em bancos de dados pré-existentes no Sistema de Informação sobre Águas Subterrâneas – SIAGAS/CPRM; e, do Projeto Hidrogeológico da Fronteira Sudoeste do Estado do RS (Presotto *et al.*, 1973), além de dados fornecidos pelo

Programa de Açudes e Poços – PAP da Secretaria de Obras Públicas e Saneamento do Estado do Rio Grande do Sul, Departamento de Água e Esgoto - DAE (Sant’Ana do Livramento) e da Companhia Riograndense de Saneamento – CORSAN (Cacequi, Rosário do Sul).

Após a coleta dos dados efetivou-se a sua seleção:

1º) com o uso do Programa Geolindes e/ou CR TPO 6.0 do Laboratório de Geomática da UFSM (<http://rural.ccr.br>) converteu-se às coordenadas geográficas para o sistema Universal Transversa de Mercator – UTM, unificando-se o processo de representação considerando-se o datum SAD 69 e o Meridiano Central 57°, sendo a origem da quilometragem na linha do Equador e no meridiano de 57°WGr., acrescidas das constantes 10.000 km e 500 km respectivamente.

2º) localização dos poços dentro da bacia através de suas respectivas coordenadas, abandonando os poços que se situavam fora da área de estudo com o uso do programa Arcview, e/ou pela visualização das coordenadas em relação aos mapas disponíveis;

3º) elaboração do banco de dados (Anexo 1) com a utilização do programa EXCEL, dos poços que se localizaram dentro do limite da bacia hidrográfica constando os itens descritos no Quadro 1.

QUADRO 2: Descrição dos itens constantes no Banco de Dados sobre os poços existentes na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria - RS

Coluna	Descrição
A	Número atribuído ao poço (números arábicos).
B	Código do poço no SIAGAS/CPRM (2003) utilizando se 10 dígitos (43 indica o estado do RS) 4300000136.
C	Código original do poço quando foi realizada a perfuração.
D	Localidade onde se situa o poço.
E	Proprietário do poço.
F	Coordenadas UTM (Longitude E).em metros
G	Coordenadas UTM (Latitude N) em metros.
H	Usos da água subterrânea.
I	Tipo de perfuração de poço.
J	Altitude da boca do poço (m).
K	Profundidade do poço (m).
L	Nível Estático N.E. (m); nível da água sem bombeamento;
M	Nível Dinâmico N.D. (m), nível da água durante o teste de bombeamento do poço na perfuração.
N	Vazão de exploração (m ³ /h).
O	Litologia (tipo de rocha penetrada pela perfuração);
P	Tipo de Aquífero, dados pré-existent (aquífero livre, confinado, semi-livre, outros).
Q	Superfície Potenciométrica, em metros (Altitude – Nível Estático)
R	G (Grau de Confinamento): Valor atribuído conforme o método de Foster e Hirata (1993) para a ocorrência da água subterrânea conforme o tipo de aquífero.
S	O (Ocorrência Litológica): Valor atribuído conforme o método de Foster e Hirata (1993) para a litologia.
T	D (Distância da Água): Valor atribuído conforme o método de Foster e Hirata (1993) para a distância da água, com base no nível estático dos poços.
U	Índice de Vulnerabilidade obtido pelo produto entre as colunas R, S e T.
V	Classes de Vulnerabilidade conforme seu índice (desprezível, baixo, médio, alto e extremo).

Também se utilizou o programa *surfer 6.0* para representação espacial das classes de vulnerabilidade obtida com a aplicação do método desenvolvido por Foster *et al.*, (2002), considerando o modo *Krigagem*⁵.

⁵ *Krigagem* ou *Kriging* é um método estatístico de interpolação de dados que está disponível no programa *Surfer 6.0*.

Com a finalidade de identificar possíveis pontos de contaminação das águas subterrâneas, especificamente no município de Sant'Ana do Livramento, realizou-se trabalhos de campo e com o uso do *Global Position System* – GPS foram coletadas as coordenadas geográficas (Anexo 2) de cada ponto (lixão, cemitério e postos de combustíveis), certificando se os mesmos estavam ou não dentro da bacia.

Para melhor interpretação dos dados elaborou-se gráficos referentes às porcentagens de área ocupadas pelas variáveis analisadas (Formações Geológicas e Províncias Hidrogeológicas) com o uso do programa Excel. As porcentagens de área foram obtidas automaticamente pelo uso do programa Arcview.

4. RESULTADOS

Como a demanda por água potável cresce em todo mundo este é um mercado de dimensões incalculáveis. Para minimizar esse problema, o passo inicial é o completo conhecimento do ciclo hidrológico que vai possibilitar uma correta avaliação da disponibilidade dos recursos hídricos de uma determinada região.

Contudo as informações disponíveis sobre as águas subterrâneas são ainda insuficientes e muito dispersas. As pesquisas existentes são poucas, às vezes descontínuas e inconsistentes. Os dados que são gerados diariamente, por execução de qualquer obra com finalidade de pesquisar ou captar água subterrânea, e que poderiam conter informações técnicas preciosas e reais, tanto sobre os aspectos geológicos das camadas de rochas existentes, como das características físico-químicas e/ou bacteriológicas das águas, estão de certa forma indisponibilizados nas diversas empresas públicas ou privadas.

Considerando que o presente trabalho desenvolveu-se no âmbito de uma Bacia Hidrográfica e os dados sobre os poços são disponibilizados por municípios, alguns poços foram desconsiderados por não estarem inseridos nos limites na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria ou apresentarem dados insuficientes para serem aplicados ao método “**G.O.D.**”.

Em função do exposto constatou-se a presença de 528 poços, cadastrados, na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, no entanto apenas 341 poços foram utilizados para o desenvolvimento do presente estudo, tendo em vista que os 187 poços restantes não

possuíam informações necessárias para aplicação do método proposto por Foster *et al.*, (2002).

Como descrito anteriormente, a área de estudo abrange extensões dos municípios de Sant'Ana do Livramento, Dom Pedrito, Lavras do Sul, Rosário do Sul, Cacequi e São Gabriel. A Figura 8 representa o número de poços pertencentes a cada município inserido nos limites da área de estudo.

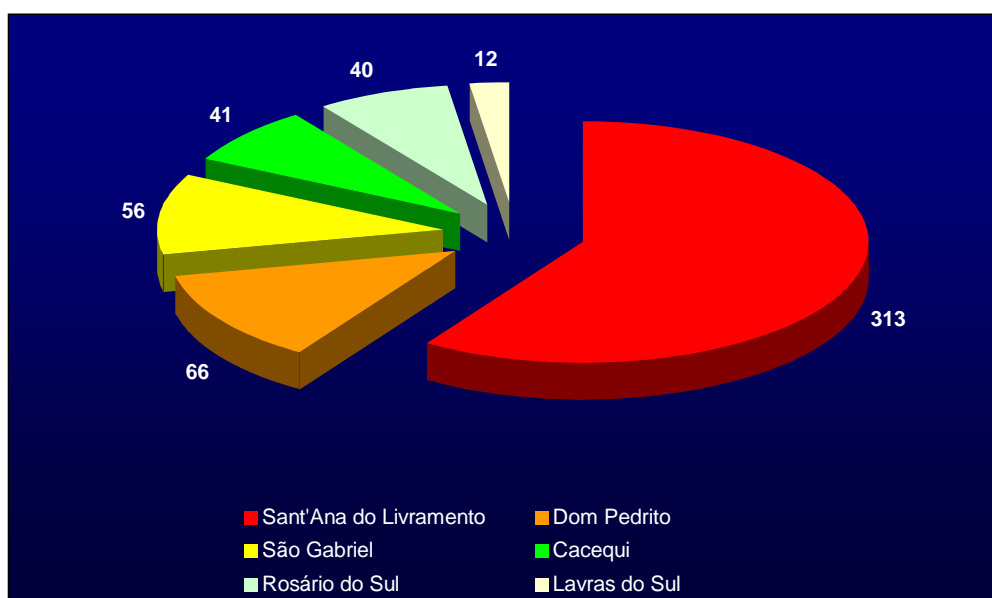


FIGURA 8: Número de poços inseridos na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria – RS por municípios.

A perfuração de poços em todo o país visa a captação de água potável do subsolo para o abastecimento de cidades, indústrias, condomínios residenciais e comerciais, agroindústrias e lavouras, propriedades rurais, escolas, hospitais, centros esportivos e clubes

recreativos, postos de combustíveis e muitas outras finalidades, como forma de enfrentar os problemas originados pela intermitência do abastecimento ou para reduzir despesas com o suprimento da água. Dentre os principais usos das águas subterrâneas, na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, destaca-se o uso doméstico, urbano e secundariamente o industrial, distribuídos conforme a Figura 9.

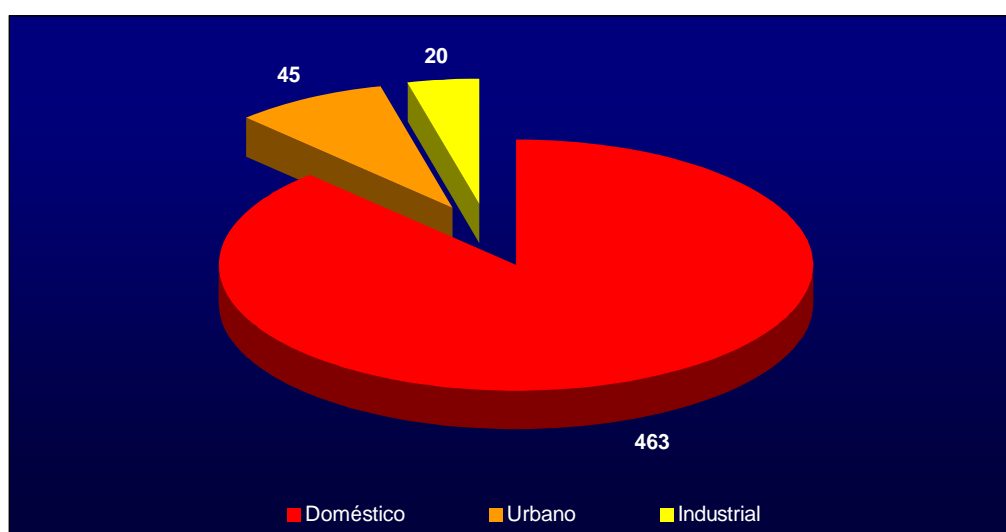


FIGURA 9: Usos das águas subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria - RS.

Salienta-se que nos bancos de dados pré-existentes o uso doméstico engloba as atividades de lazer, dessedentação humana e animal, além das atividades agrícolas; enquanto o uso urbano caracteriza-se pelo abastecimento fornecido por empresas públicas como o DAE e a CORSAN que são responsáveis pela distribuição de água no município em que atuam.

Para ter-se acesso às águas subterrâneas o meio mais comum é através da construção de poços, tanto que o mercado de reabilitação de poços está se estruturando no Brasil de acordo com as necessidades do setor, e empresas estão se especializando no fornecimento de produtos para sua manutenção (Monici Jr., 2002, p. 12).

Antigamente, o aproveitamento da água subterrânea consistia no aproveitamento de nascentes e de lençóis freáticos rasos, estes captados através de escavações rudimentares, que com o tempo evoluíram para cacimbas revestidas de pedras e, posteriormente também de tijolo. Com o advento da era industrial e a evolução dos equipamentos de perfuração, tornou-se possível à construção de poços de maior consistência técnica em tempo cada vez menor e com profundidades cada vez maiores.

Dessa forma observa-se que, atualmente, a construção de poços tubulares para a extração de água é uma opção econômica e de qualidade.

Predominam três tipos de poços para obtenção de água subterrânea na Bacia: nascente, escavado e tubular, conforme disposto na Figura 10.

Nota-se que os poços tubulares com profundidades até 170m, foram predominantes na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria. O Departamento de Águas e Esgoto (DAE) de Sant'Ana do Livramento responsável pelo abastecimento público do município conta com 31 poços tubulares. Já a CORSAN abastece o município de Cacequi com os seus 11 poços.

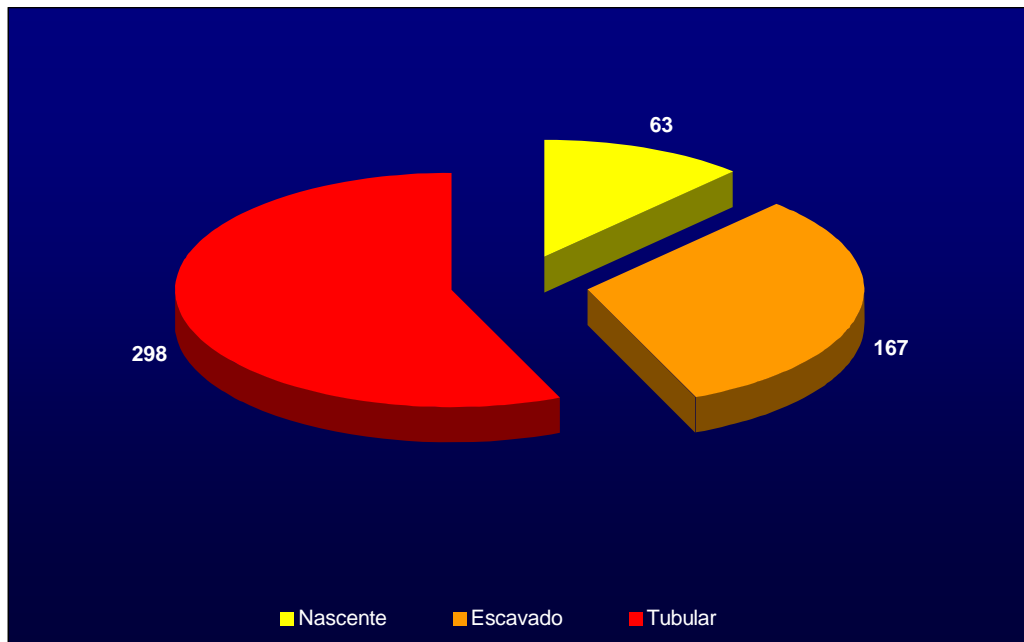


FIGURA 10: Tipos de poços presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria - RS.

O tipo de poço utilizado para obtenção das águas subterrâneas, depende do grau de confinamento do aquífero, aquíferos livres permitem a extração da água por meio de poços profundos ou rasos. Em aquíferos confinados ou fraturados a extração de água se dá por meio de poços tubulares ou escavados. Os poços considerados nascentes são estruturas que retêm a água que verte naturalmente na superfície devido ao confinamento hidráulico.

Assim, os tipos de aquíferos, em relação a captação de água subterrânea considerando os 528 poços variam entre: livre, semi-confinado, confinado e fraturado (fenda e livre-fenda); conforme mostra a Figura 11.

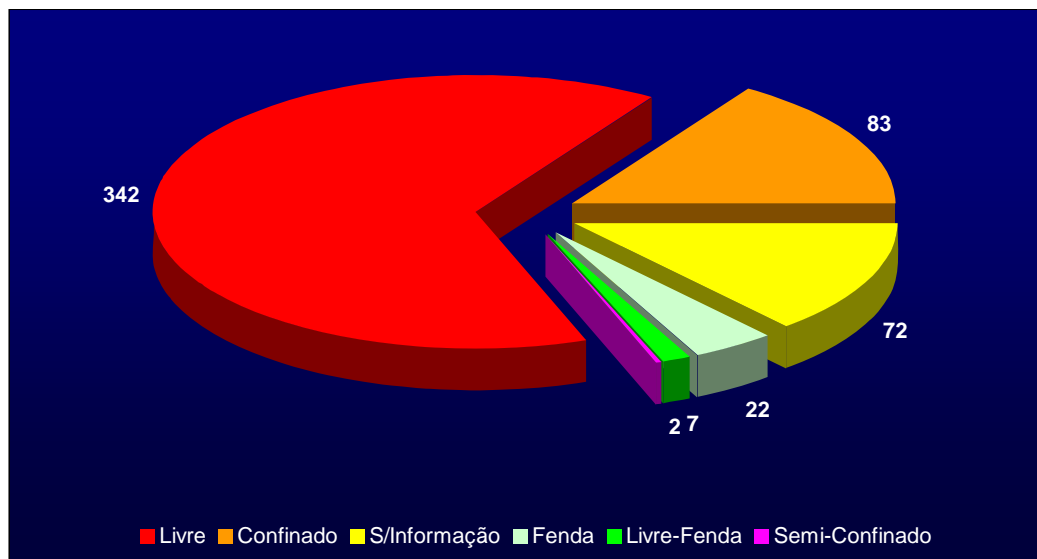


FIGURA 11: Número de poços de acordo com os aquíferos presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria - RS

Observando-se esta Figura nota-se que 342 poços foram perfurados em aquíferos livres, constituídos por rochas sedimentares formadoras de aquíferos porosos os quais predominam largamente sobre os restantes. A opção de poços que extraem água subterrânea de fraturas (Fenda, Livre-Fenda) foi de 29 poços em relação ao total observado.

O levantamento dos recursos de água subterrânea envolve uma investigação bastante variada necessitando de dados do meio físico superficial, sondagens, levantamentos geofísicos e levantamentos hidroquímicos. A consulta ao mapa geológico é o primeiro passo possibilitando caracterizar a sua origem (ígnea, metamórfica ou sedimentar), a composição das rochas, a sua forma de ocorrência

(estratos, lentes, bolsões, e a presença ou não de estruturas descontínuas), (Cabral *et al.*, 2001, p. 266).

Assim, a partir do Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria - RS (Figura 12), foi possível identificar a presença de dezesseis formações geológicas de constituições diferentes; conforme descrito na Quadro 3.

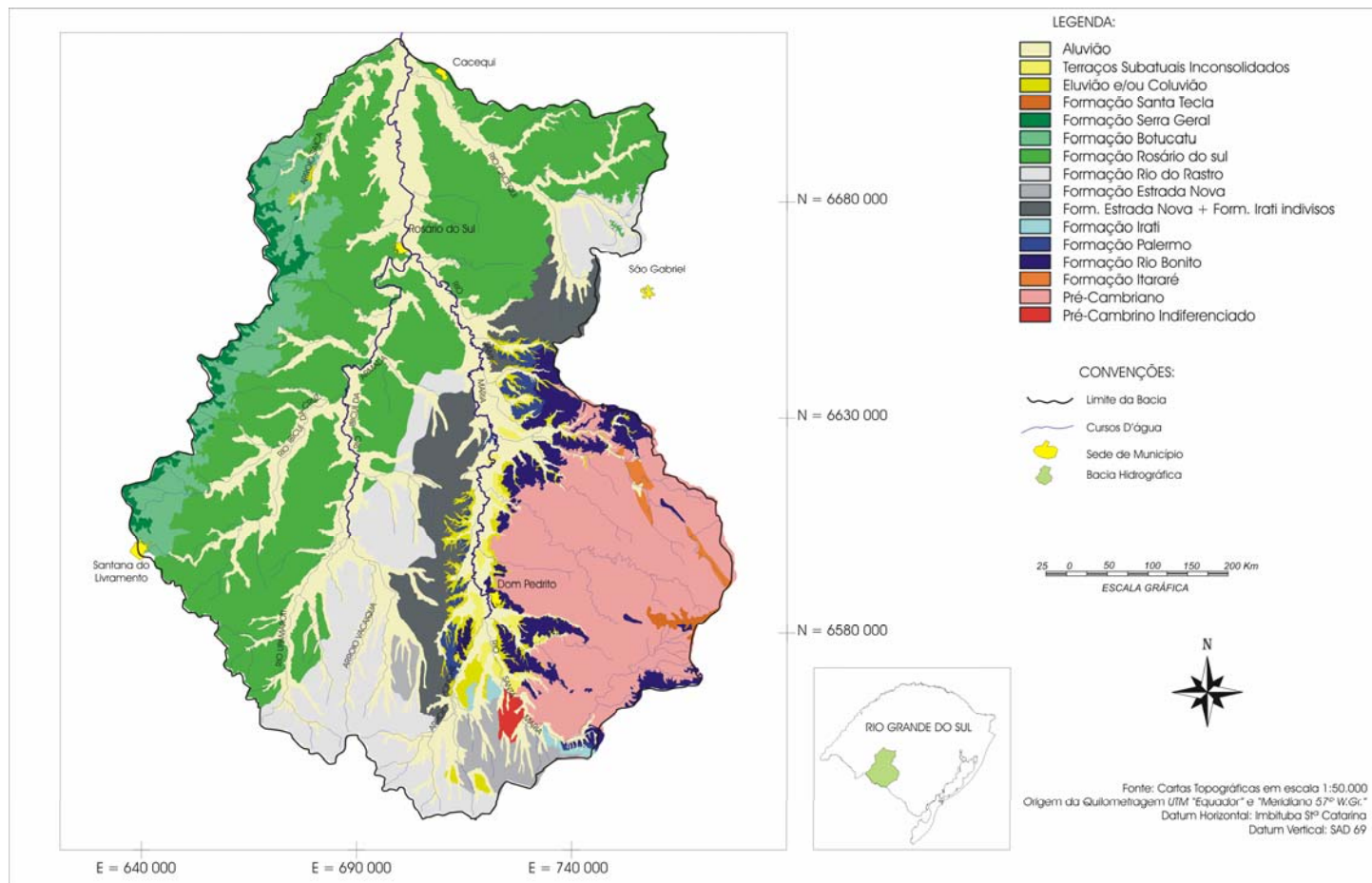


FIGURA 12: Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria - RS

FONTE: Silveira *et al.*, (2003), adaptado por Pavão, A.D.M.

QUADRO 3: Descrição e área ocupada pelas formações geológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria/RS

Símb.	Formações Geológicas	Composição litológica	Área (km ²)	% da área
Qa	Quaternário Aluvião	Inconsolidado constituído essencialmente por clásticos finos a grosseiros.	3401,7650	21,53
Qa1	Quaternário Terraços subatuais inconsolidado	Constituído essencialmente por cascalho, areia, silte acima do nível de inundação.	129,5475	0,82
Qf	Quaternário Eluvião e/ou coluvião	Essencialmente constituído(s) por cascalho, areia e silte, eventualmente inundado(s) em épocas de cheias.	267,5600	1,69
KTst	Terciário Formação Santa Tecla	Arenitos e raros conglomerados, avermelhados, quartzosos friáveis. Subordinadamente arenitos brancos ou amarelados, com cimento silicoso ou calcítico, compactos.	41,1175	0,26
JKsg	Jurássico-Cretáceo Formação Serra Geral	Derrames de basaltos toleíticos, cinza escuros a pretos, finos a afânitos.	205,3650	1,30
TRJb	Triássico Formação Botucatu	Arenitos cor de rosa claro, com estratificação cruzada acanalada de grande porte.	800,4150	5,07
TRrs	Triássico Formação Rosário do Sul	Arenitos avermelhados, finos a médios, quartzosos, com estratificações paralelas e cruzada acanalada e lentes de conglomerado intraformacional.	4924,0000	31,17
Prr	Paleozóico Formação Rio do Rasto	Arenitos finos, bem selecionados, lenticulares, siltitos e argilitos, esverdeados, bordos ou avermelhados, com laminações paralela e cruzada acanalada, ondulações, “climbing”, “linsen” e “wavy”.	1488,5200	9,42
Pen	Paleozóico Formação Estrada Nova	Argilitos, folhelhos e siltitos, cinza a cinza-escuros ou pretos, com lentes calcíferas, laminações paralelas, cruzada acanalada, ondulação, “flaser” e gretas de contração.	298,8700	1,89
Pen-Pi	Paleozóico Formação Estrada Nova + Formação Irati indivisos	-	952,9825	6,03
Pi	Paleozóico Formação Irati	Argilitos, folhelhos cinza-escuros a pretos, pirotuminosos intercalados com lentes de marga.	45,3425	0,29
Pp	Paleozóico Formação Palermo	Siltitos arenosos cinza a amarelo-esverdeados, quando alterados. Arenitos finos na base e na parte superior. Intensa bioturbação, laminação cruzada, lenticular, ondulado, cimento calcífero e “flaser”.	137,4050	0,87
Prb	Paleozóico Formação Rio Bonito	Siltitos cinza e folhelhos escuros, carbonosos, com leitos e camadas de carvão. Associações de arenitos cinza-esbranquiçados, finos a grosseiros, localmente conglomeráticos. Estratificação paralela, cruzada e acanalada.	574,4175	3,64
Pit	Paleozóico Fm. Itararé	Folhelhos, argilitos cinza-escuros, várvicos, ritmitos, arenitos finos e diamictos, apresentando acamadamento gradacional, laminação convoluta, plano-paralela e cruzada, marcas de onda, “flaser” e “cone-in-cone”.	62,9475	0,40
PCchoi	Pré-Cambriano	Associação vulcano-sedimentar constituída por lavas ácidas e intermediárias, subordinadamente siltitos, arenitos e conglomerados; metamorfitos de baixo grau; metagabros e metavulcanitos e granitos intrusivos.	2422,8425	15,34
Pei	Pré-Cambriano Indiferenciado	Indiviso Metatexitos, Diatexitos e rochas graníticas.	43,6825	0,28

Fonte: Mapa Geológico da CPRM (1986) e Silveira *et al.*, (2003).

Obteve-se por meio do programa Arcview, a área ocupada por cada uma das formações geológicas que ocorrem aflorantes na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, conforme demonstrada no Quadro 3 e representada na Figura 13.

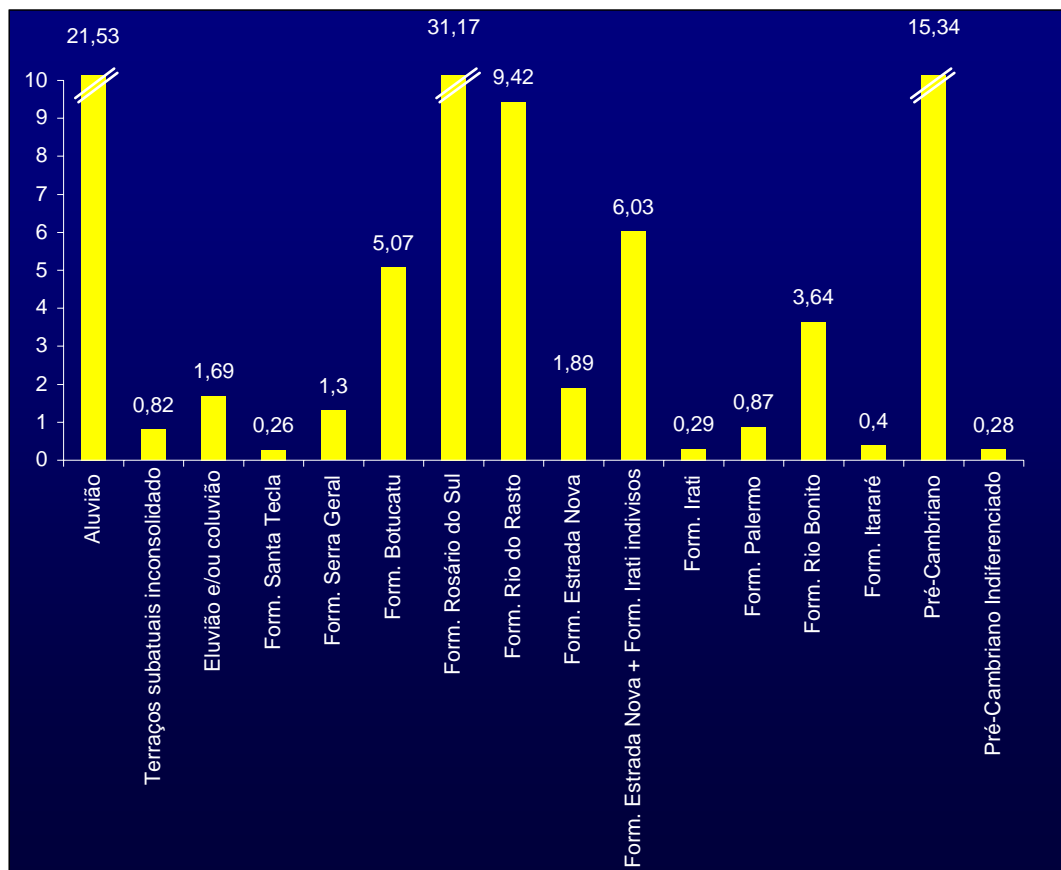


FIGURA 13: Porcentagem de área ocupada pelas formações geológicas

Observando-se a Figura 13, nota-se que a Formação Rosário do Sul e a Formação Botucatu, ambas do Período Triássico, apresentam maior porcentagem de área, ocupando 36,24% da área total. O

conjunto de formações geológicas incluídas no Período Quaternário, onde aparecem os sedimentos inconsolidados constituídos por: Aluviões, os Terraços Subatuais e os Eluviões e/ou Coluviões, que perfazem em conjunto uma área de 24,04% da bacia.

As Formações do Período Paleozóico (Formação Rio do Rasto, Formação Estrada Nova, Formação Estrada Nova + Irati indivisos, Formação Irati, Formação Palermo, Formação Rio Bonito e Formação Itararé) totalizam 22,54% da área aflorante da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, e servem como camada de base do Sistema Aquífero Guarani, portanto de menor permeabilidade (Araújo *et al.*, 1999).

As rochas pertencentes ao Pré-Cambriano e Pré-Cambriano Indiferenciado perfazem um total de 15,62% da cobertura aflorante e encontram-se localizados a leste da bacia, nos municípios de Lavras do Sul, São Gabriel e parte de Dom Pedrito.

A Formação Serra Geral, apresenta uma reduzida área de afloramentos cobrindo cerca de 1,30% da área total da bacia, esta formação encobre o Sistema Aquífero Guarani e serve muitas vezes para seu confinamento e/ou sua recarga indireta. Ainda merece destaque a Formação Santa Tecla que apresenta 0,26% da cobertura total aflorante da bacia, localizada próximo de Dom Pedrito.

Dos 528 poços presentes na área em estudo, dividindo-os conforme a formação geológica em que foram perfurados, pode-se observar na Figura 14 que houve uma predominância de poços na área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG), sendo que 160 poços captam água da Formação Botucatu, 143 poços captam água da

Formação Rosário do Sul, 6 poços da Formação Rio do Rasto e 2 na Formação Santa Tecla.

O somatório das litologias areno-argilosas, ou com predominâncias de argilas, totalizou 69 poços, sendo 25 na Formação Rio Bonito, 24 na Formação Irati, 17 na Formação Estrada Nova e 3 na Formação Palermo.

A Formação Serra Geral (sistema aquífero fraturado), apresentou um total de 84 poços captando água de fendas ou fraturas (resultantes de sua composição ígnea e dispostas em derrames de lavas) ou de outras formações subjacentes. Já nas associações ígneas plutônicas (granitóides) referentes ao Pré-Cambriano Indiferenciado houve a ocorrência de 11 poços, em fendas e ou seus produtos de intemperização.

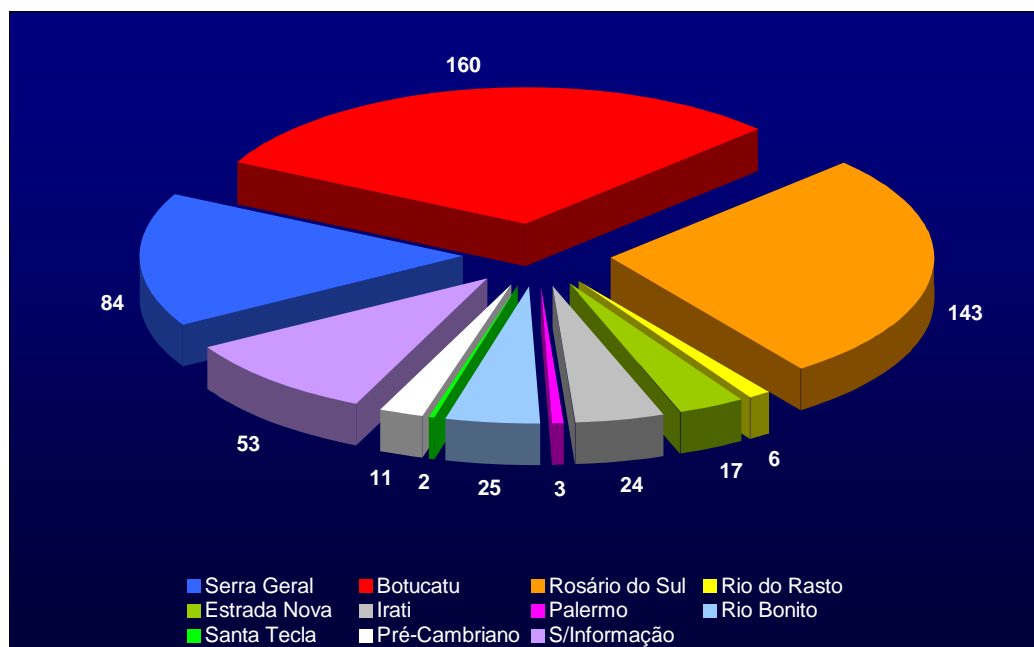


FIGURA 14: Número de poços por formações geológicas

Na área em estudo predominam as Províncias Hidrogeológicas, descritas a seguir, conforme representada na Figura 15, informa-se que a representação da legenda não segue a coluna estratigráfica, mas sim a ordem de apresentação adaptada de Hausman (1995).

Em função da diferença entre a escala trabalhada e a escala do mapa hidrogeológico organizado por Hausman (1995), durante o Projeto de Desenvolvimento de Ações para Implantação de Outorga na Bacia do Rio Santa Maria, desenvolvido em conjunto entre vários pesquisadores da Universidade Federal de Santa Maria, Silveira *et al.* (2003), acrescentaram uma nova Sub-Província, na Província Hidrogeológica Gondwânica, denominada Sub-Província Aluvial, em função de sua ocorrência na bacia ser de aproximadamente 24,04%.

I) Província Escudo

Engloba rochas pertencentes ao Escudo Uruguaio-Sul Riograndense, localmente capeadas por Formações geológicas Eo-Paleozóicas até Terciárias, como a Formação Santa Tecla.

1. Sub-Província Cristalina, sob o nome genérico de cristalina, engloba rochas cristalinas e cristalofilianas, bem como os metasedimentos, incluindo rochas das unidades Pré-Cambriano e Pré-Cambriano Indiferenciado. Sua ocorrência foi da ordem de 15,62%, ocupando cerca de 2.466,52 km². Seu comportamento hidrodinâmico é de aquífero fraturado, não disponibilizando boas condições hidrogeológicas e grandes volumes de águas subterrâneas.

2. *Sub-Província Creta-Paleozóica*: nesta Sub-Província foi incluída a Formação Santa Tecla que apresenta rochas muito litificadas ou silicificadas, que se depositaram sobre rochas Pré-Cambrianas, formando extensas mesas semi-tabulares. Existem poucas informações sobre esta Sub-Província, em face da baixa densidade populacional onde aflora. Sua ocorrência foi da ordem de 41,12 km² e ocupa 0,26% da área do total da bacia hidrográfica.

II) Província Gondwânica

Corresponde a um pacote de rochas sedimentares depositadas diretamente sobre o Escudo Uruguaio Sul-Riograndense, como parte da Bacia do Paraná. Estão incluídos nesta Sub-Província depósitos arenosos inconsolidados com possibilidades de conter reservas de águas subterrâneas, compondo os aquíferos rasos.

3. *Sub-Província Permo-Carbonífera*: inclui as formações pertencentes aos Grupos Itararé, Guatá e Passa Dois. Litologicamente dominam formações argilosas e/ou arenosas que são envelopadas a Oeste da Bacia Hidrográfica, na zona da Cuesta pela Formação Serra Geral, o que pode formar aquíferos confinados. Em sua maior extensão forma aquíferos porosos livres, com índices de escoamento superficial diferenciados em função da declividade média do terreno, são importantes áreas de recarga dos sistemas aquíferos profundos. Corresponde a 3.560,49 km², representando 22,54% da área da Bacia Hidrográfica.

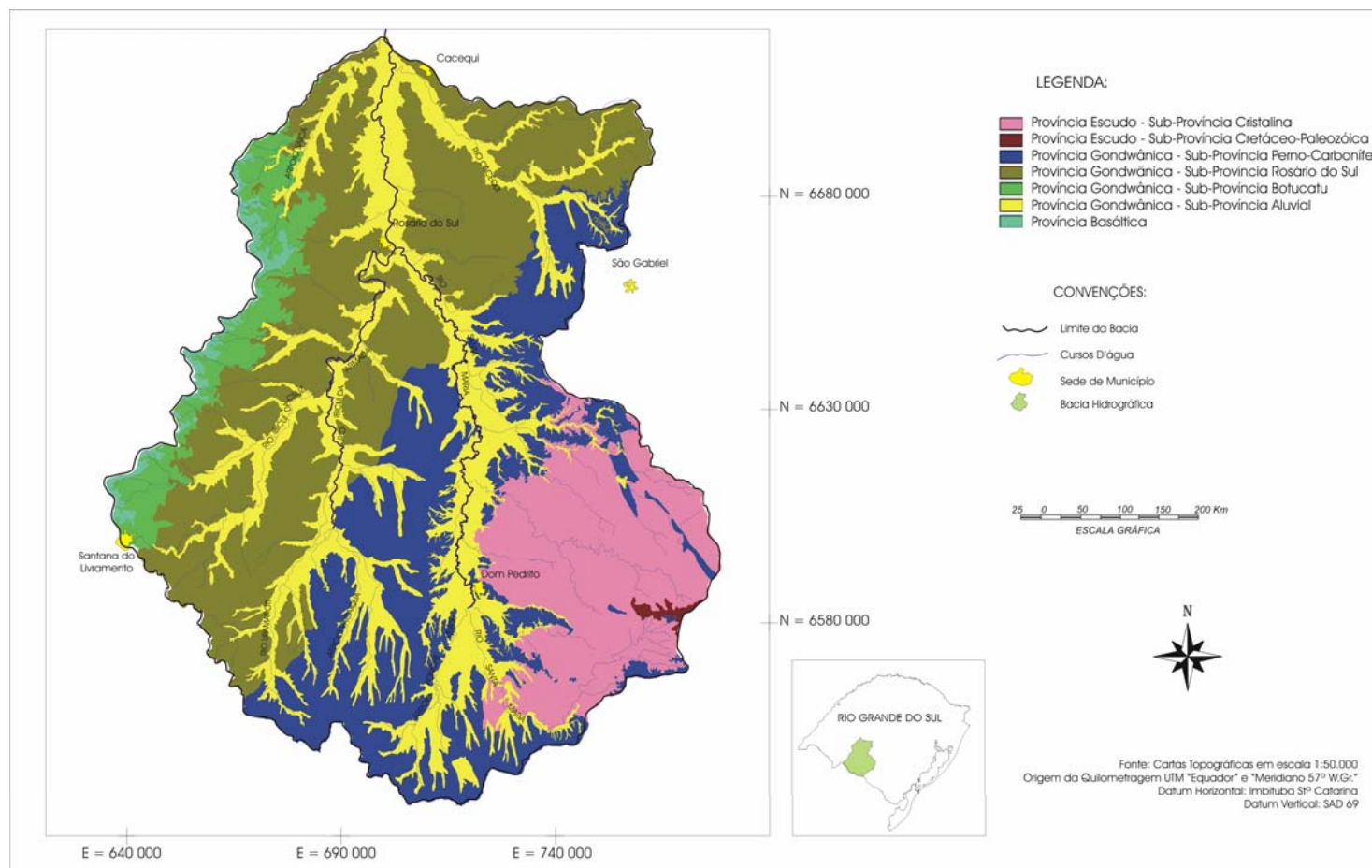


FIGURA 15: Mapa das Províncias Hidrogeológicas presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria – RS

Fonte: Silveira *et al.* (2003), adaptado por Pavão, A. D. M.

4. *Sub-Província Rosário do Sul*: considerada como hidroestrutural, onde podem ser observados grupos de horizontes condutores de águas subterrâneas, intercalados por rochas de comportamentos de aquícludes⁶ e aquítardos⁷, formando um pacote, cuja diversificação não é somente quanto à permeabilidade, como também quanto à qualidade da água. O horizonte estratigráfico que constitui esta Sub-Província pode ser isolado dos outros por um topo (Formação Serra Geral) e base impermeáveis (Aquitardo e Aquíclude), ou também por diques básicos, os quais dificultam a circulação das águas e podem levá-las a mineralização, localmente. Hidrodinamicamente funciona como aquíferos porosos, mas localmente associados a Cuesta pode estar silicificada e funcionar como aquífero fraturado. Formam aquíferos livres em sua maior extensão, mas podem ser confinados junto à porção da Cuesta, no limite Oeste da Bacia Hidrográfica. Engloba 4.924,00km² representando 31,17% da área.

5. *Sub-Província Botucatu*: compreende arenitos finos eólicos, bem selecionados, com teores variados de argilas na matriz normalmente < 5%, em função das fácies deposicionais. Funcionam hidrodinamicamente como aquíferos porosos, livres e localmente confinados, seus afloramentos são importantes na recarga dos sistemas aquíferos. Salienta-se que localmente estes arenitos podem ser cimentados por sílica, e funcionarem como aquíferos fraturados,

⁶ Formação que embora porosa e capaz de absorver água, não a transmite em velocidade suficiente a proporcionar um abastecimento apreciável a um poço ou a uma fonte (Batalha, 1986).

⁷ Formação geológica que pode armazenar água, mas que a transmite lentamente não sendo rentável seu aproveitamento a partir de poços (IGM, 2001).

podendo apresentar baixa circulação das águas. Sua área de ocorrência é de 800,41 km² equivalente a 5,07% da área estudada.

6. Sub-Província Aluvial: foram reunidos nesta Sub-Província os depósitos constituídos por clastos de diversos tamanhos principalmente arenosos, siltosos e cascalhos, associados às planícies aluviais dos rios e arroios que drenam essa Bacia Hidrográfica. Sua extensão foi estimada em 3.798,87 km² representando 24,04% da área total da bacia. A qualidade e a quantidade explotável de água subterrânea não é conhecida até o presente momento; assim como a recarga deste aquífero poroso raso, que pode representar uma fonte complementar para o uso da cultura do arroz irrigado, através de poços tubulares ou em ponteira. Necessitam estudos futuros para avaliação de suas potencialidades.

III) Província Basáltica

São incluídos os derrames de rochas vulcânicas que também podem seccionar as rochas sedimentares formando diques intrusivos, os quais podem afetar a circulação dos aquíferos.

7. Sub-Província da Cuesta: situada no Oeste da Bacia Hidrográfica, e normalmente em contato com arenitos da Formação Botucatu ou Formação Rosário do Sul, localmente silicificados. hidrodinamicamente funciona como um aquífero fraturado contribuindo em parte para o escoamento superficial onde apresentar textura maciça. Sua área estimada na bacia foi de 205,36 km²

representando 1,30% desta. Pode abrigar camadas de arenitos interderrames.

A Figura 16 representa espacialmente a porcentagem de área ocupada por cada uma das Sub-Províncias Hidrogeológicas presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria.

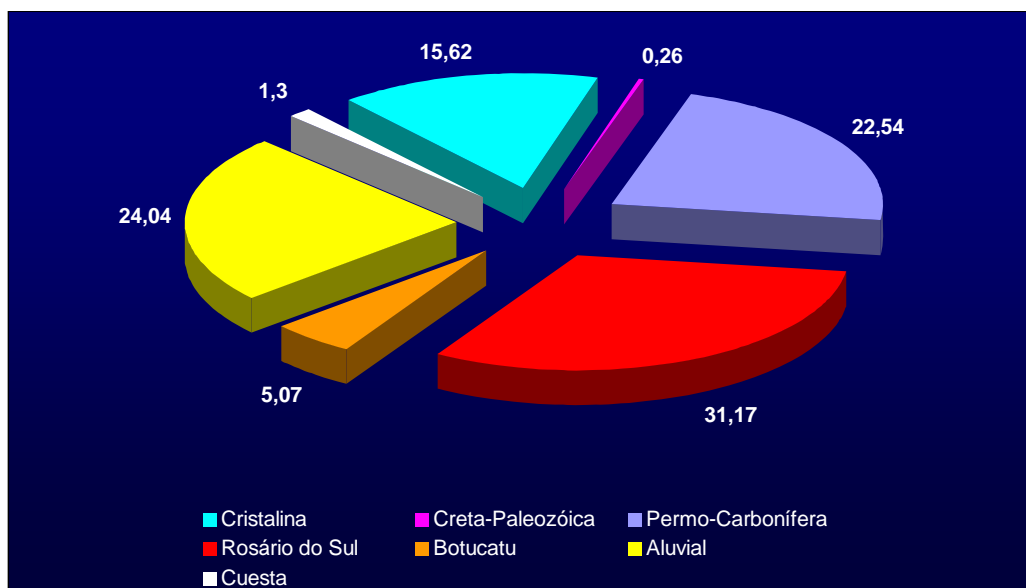


FIGURA 16: Porcentagem de área ocupada pelas Sub-Províncias Hidrogeológicas na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria - RS

Para determinar o índice de vulnerabilidade natural dos aquíferos, deve-se considerar a distância do nível da água subterrânea (em aquíferos não confinados) ou teto do aquífero (em aquíferos confinados), este valor obtém-se normalmente a partir do nível estático dos poços (Figura 17) e não da profundidade deles.

Observando-se a Figura 17, verifica-se que os poços com valores mais baixos de nível estático, localizam-se no centro da bacia, e os valores acima de 35 metros ocorrem próximos às bordas da bacia, atingindo entre 75m e 95m na porção Sudeste da área e pequenas manchas a Oeste do município de Rosário do Sul.

Poços com nível estático que apresentaram valores baixos indicam aquíferos rasos, enquanto poços com valores de nível estático elevado indicam aquíferos mais profundos. Este fato é importante quanto ao índice de vulnerabilidade, pois os aquíferos rasos apresentam maior susceptibilidade a serem contaminados por uma carga contaminante de superfície, do que os aquíferos profundos.

Após analisar individualmente as variáveis indicativas do método “*G.O.D.*”; *G*rau de confinamento hidráulico, *O*corrência litológica e *D*istância do nível da água, dados respectivamente pelas características dos aquíferos, geologia e dos valores de níveis estáticos foi possível atribuir os valores pré-estabelecidos no método adotado, conforme demonstra o Quadro 4.

Com base nos dados expostos no Quadro 4, foi possível construir o mapa de vulnerabilidade natural do aquífero (Figura 18), o qual ilustra as áreas mais susceptíveis a contaminação.

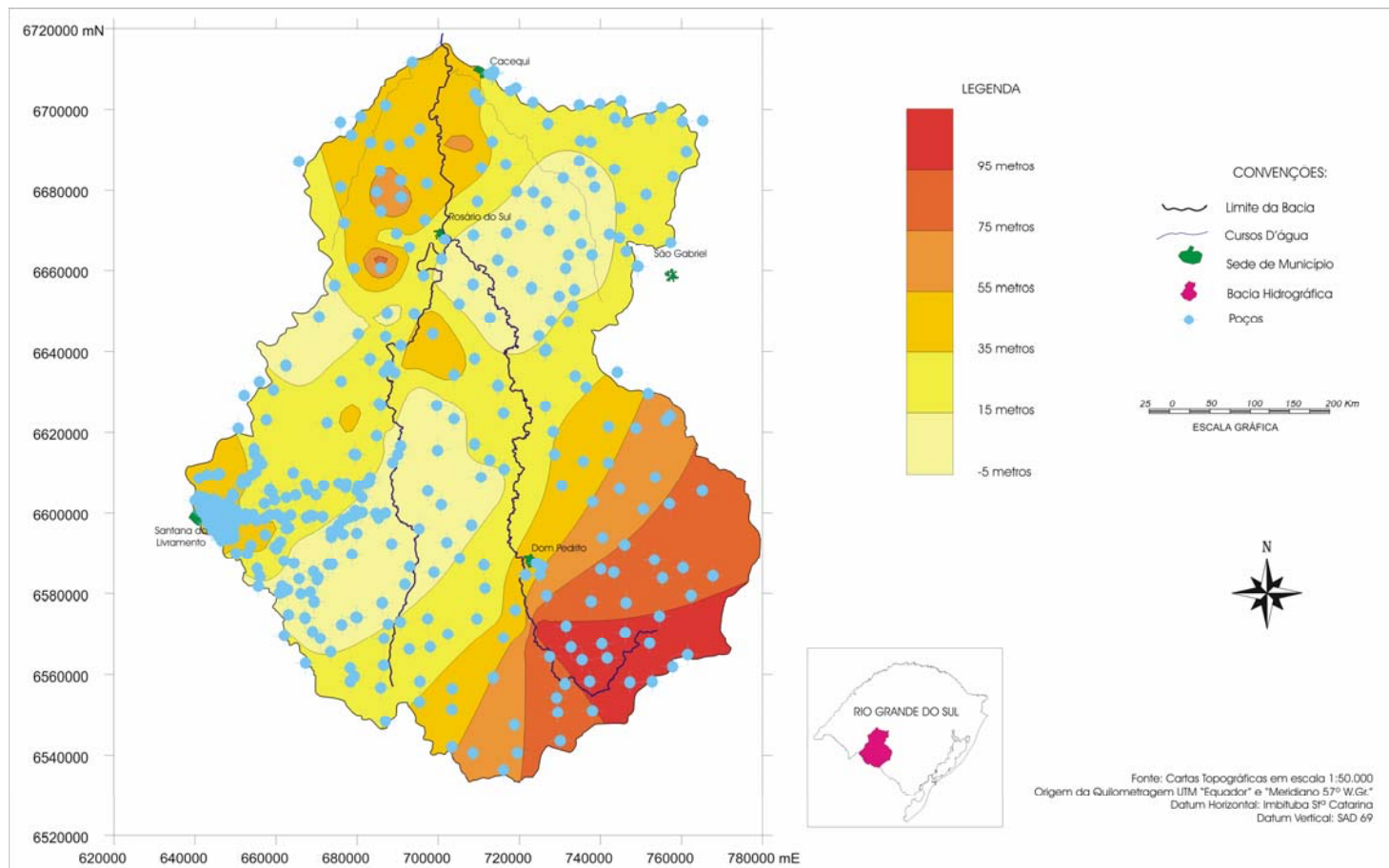


FIGURA 17: Mapa de variação do Nível Estático dos poços na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria/RS

Fonte: Pavão, A. D. M (2004)

QUADRO 4: Valores atribuídos e índices de vulnerabilidade obtidos

G		O		D		Vulnerabilidade	
Grau de Confinamento	Valor atribuído	Ocorrência litológica	Valor atribuído	Distância do nível da água	Valor atribuído	Valor obtido	Classes
Livre	1,0	Fm. Serra Geral	0,6	> 50 m	0,6	0 – 0,1	Desprezível
Semi-Confinado	0,4	Fm. Botucatu	0,8	20 – 50 m	0,7	0,11 - 0,3	Baixa
Confinado	0,2	Fm. Rosário do Sul	0,7	5 – 20 m	0,8	0,31 – 0,5	Média
Fenda (Fissural)	0,2	Fm. Rio do Rasto	0,7	< 5 m	0,9	0,51 – 0,7	Alta
Livre Fenda, (Fissural)	1,0	Fm. Estrada Nova	0,5			0,71 – 1,0	Extrema
		Fm. Irati	0,5				
		Fm. Palermo	0,6				
		Fm. Rio Bonito	0,7				

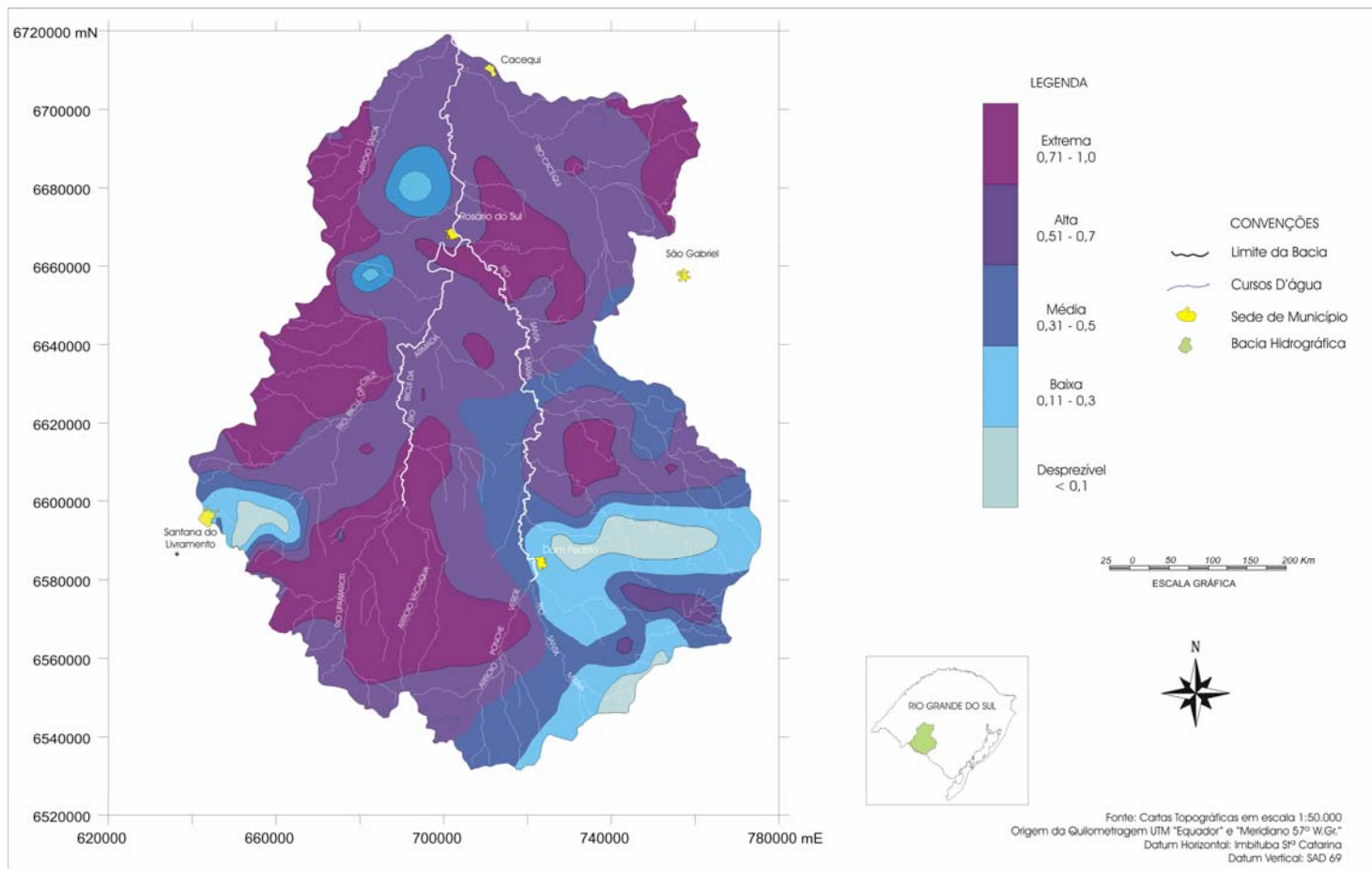


FIGURA 18: Mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria -RS

Observando-se a Figura 18 percebe-se que predomina na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria a classe de vulnerabilidade Alta na parte central do mapa, nesta classe constatou-se a ocorrência de 207 poços. A classe Extrema foi a segunda em termos de vulnerabilidade que predominou na área com a presença de 24 poços, já. classe Média foi a terceira; constatou-se a ocorrência de 32 poços de água subterrânea e a classe Baixa ocorreu em pontos isolados ao Norte e extremidades Leste e Oeste da Bacia Hidrográfica com 61 poços. Conseqüentemente a classe que abrange menor parcela da área equivale à Desprezível, nas quais verificou-se a presença de 17 poços de água subterrânea respectivamente.

Também se deve levar em consideração a localização das sedes municipais e sua correlação com os diferentes graus de susceptibilidade a contaminação; neste sentido, as cidades de Cacequi, Rosário do Sul e Dom Pedrito situam-se sobre a classe de vulnerabilidade Alta e as cidades de São Gabriel e Sant'Ana do Livramento estão incluídas nas classes Média e Baixa, embora também ocorra em menor escala as classes Alta e Extrema.

Observando-se em conjunto as Figuras 15 e 18 nota-se que, as classes de vulnerabilidade Extrema e Alta ocorrem preferencialmente em aquíferos sedimentares, porosos, pertencentes à Província Gondwânica (Sub-Provínias Permo-Carbonífera, Rosário do Sul, Botucatu e Aluvial). A classe Média ocorreu principalmente na Sub-Província Aluvial, ao longo da planície do Rio Santa Maria, a Oeste de Dom Pedrito. Também ocorre, em parte, na Província Escudo

(aquífero fissural) e localmente, a Norte e Sudeste da cidade de Rosário do Sul.

A classe Baixa predominou na Sub-Província Cristalina e Cretáceo-Paleozóica; e também nos arredores de Sant'Ana do Livramento, na Sub-Província Rosário do Sul. A classe Desprezível teve a menor ocorrência em termos de área, distribuindo-se próximo às cidades de Sant'Ana do Livramento e Dom Pedrito e também foi estimada em áreas externas a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria.

Dos municípios que estão presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, apenas Cacequi e Sant'Ana do Livramento são abastecidos totalmente por água subterrânea. Salienta-se que entre esses dois municípios, Sant'Ana do Livramento apresentou maior número de poços cadastrados, portanto foi neste município que se efetivou trabalhos de campo identificando as principais atividades potencialmente geradoras de poluição (Figura 19), dentre elas destacam-se os postos de combustíveis, o depósito de resíduos sólidos (lixão) e o cemitério municipal.

Os postos de gasolina estão entre os principais responsáveis pela contaminação das águas subterrâneas e do solo em diversas regiões urbanas do Brasil, portanto de acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), problemas como vazamentos de combustíveis, má conservação de tanques, reutilizações indevidas de óleos lubrificantes, serão tratados como crimes ambientais.

Levantamentos feitos por agências ambientais do governo federal e dos Estados indicam que as águas subterrâneas de áreas onde estão localizados postos de gasolina são contaminadas sistematicamente por

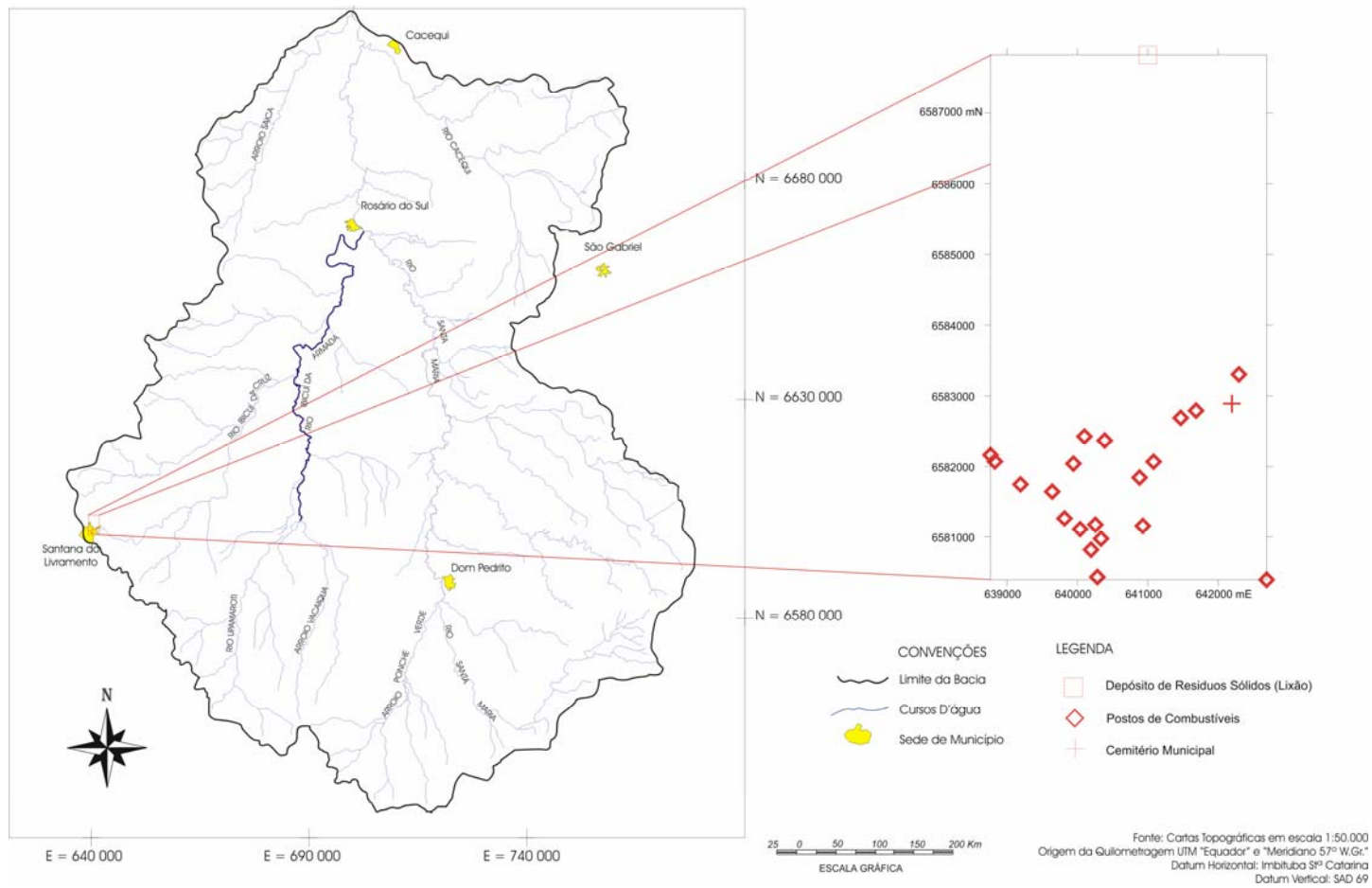


FIGURA 19: Mapa dos pontos potenciais de contaminação no município de Sant'Ana do Livramento – RS

Elaboração: Pavão, A. D. M. (2004)

vazamentos de combustíveis, os quais ocorrem em sua maior parte, em função de perfurações ou rachaduras nos tanques de armazenamento. Assim as águas subterrâneas podem ser gravemente atingidas pelos pequenos vazamentos que ocorrem nestes tanques, a infiltração lenta vence a resistência do solo e atinge as águas, criando uma área saturada que provoca um fluxo sistemático de contaminação, local e que pode difundir-se.

Há outra fonte de poluição das águas e dos solos existentes nos postos de abastecimento: a troca de óleo e a lavagem de veículos.

A lavagem é extremamente nociva para o meio ambiente e uma fonte perigosa de contaminação das águas. Além dos resíduos de óleos e graxas existentes nos veículos, os postos costumam utilizar produtos químicos que se dispersam no solo ou chegam aos coletores de esgoto e aos aquíferos, caso não existam caixas coletoras apropriadas instaladas.

No caso nas trocas de óleo, pesquisas revelam que sempre há perda de parte do produto, que acaba por infiltrar no solo ou também se direcionar para o esgoto (ABAS 2000, p. 12-13).

Portanto, dos 23 postos de combustíveis visitados em Sant'Ana do Livramento (Anexo 2), 6 tem poços de água subterrânea, 9 possuem serviço de lavagem e 22 disponibilizam o serviço de troca de óleo, sendo que 1 posto utiliza inadequadamente tonéis como caixa coletora de óleo e combustível.

Cabe salientar que um deles é revestido por paralelepípedos e em períodos de chuva ocorrem alagamentos, sendo visíveis manchas de óleo que incidem diretamente sobre a superfície do terreno, infiltrando

no solo e podendo atingir corpos d'água subterrâneos e/ou superficiais.

Para amenizar estes problemas vem ocorrendo maior fiscalização dos órgãos ambientais, e medidas legais estão sendo tomadas como o caso da Resolução CONAMA n° 273/2000 que dispõe sobre prevenção e controle da poluição em postos de combustíveis e serviços.

Os cemitérios também podem ser considerados fontes geradoras de impactos ambientais, pois os restos mortais tornam-se perigosos poluentes em função do seu processo de decomposição, que ao todo leva em média dois anos e meio, e dá origem a um líquido chamado necrochorume. Este composto é eliminado durante o primeiro ano após o sepultamento. Trata-se de um líquido viscoso com coloração acinzentada que com a chuva pode atingir o aquífero freático, ou seja, a água subterrânea de pequena profundidade (Pacheco e Matos, 2003).

Todo cemitério (Figura 20) é um risco potencial para o meio ambiente, mas só é um risco efetivo quando não estão implantados adequadamente, é preciso avaliar as condições básicas geológicas (tipo de solo) e hidrogeológica (profundidade no nível do aquífero freático).



FIGURA 20: Cemitério Municipal de Sant'Ana do Livramento - RS

Data: 05/2004.

A Resolução nº 335/2003 do CONAMA, dispõe sobre o Licenciamento Ambiental de cemitérios sendo necessário apresentar alguns documentos relativos à caracterização da área na qual será implantado o empreendimento para obter-se a licença prévia, dentre os quais destaca-se o estudo demonstrando o nível máximo do aquífero freático ao final da estação de maior precipitação pluviométrica.

Para obter-se a licença de instalação do Licenciamento Ambiental, deverão ser apresentados outros documentos, sendo necessários para os cemitérios horizontais que a área de fundo das sepulturas devem manter uma distância mínima de um metro e meio

do nível máximo do aquífero freático. Estas e outras considerações visam proteger o ambiente.

Conforme se pode observar na Figura 20, as sepulturas do cemitério municipal de Sant'Ana do Livramento são elevadas em relação ao nível superficial do terreno. O nível freático neste ponto é em torno de alguns metros e está sobre rochas da Formação Botucatu.

Quanto à deposição de resíduos sólidos na superfície, oriundas das diferentes atividades desenvolvidas nos municípios e nas grandes cidades, diariamente são armazenadas em aterros ou lançadas na superfície do terreno.

Nos aterros sanitários o resíduo sólido deve ser diariamente reduzido em volume por compactação e coberto com terra. Os aterros podem ser construídos na superfície do solo ou em escavações. Em regiões úmidas o lixo enterrado em aterros sanitários, sob o efeito da circulação da água da chuva produz um líquido contaminante (chorume). O Total de Sólidos Dissolvidos é bastante alto podendo conter contaminantes orgânicos e inorgânicos. Em aterros sanitários ou em lixões sobre materiais permeáveis (areias, cascalhos, rochas fissuradas) a migração do chorume pode produzir, após algum tempo, contaminação da água subterrânea em áreas muito maiores do que a ocupada pelos resíduos (Feitosa e Filho, 1997, pág. 111).

Em locais planejados e corretamente operados os resíduos sólidos podem ser enterrados sem oferecer riscos, por isso deve ser feito um estudo hidrogeológico prévio para a escolha do local, isto é essencial. Além do chorume, a infiltração da água da chuva em depósitos de resíduos sólidos, produzem vários tipos de gases, tais

como: dióxido de carbono (CO_2); metano (CH_4); gás sulfídrico (H_2S); hidrogênio gasoso (H_2) e nitrogênio gasoso (N_2), (Feitosa e Filho, 1997, pág. 112).

Para regulamentar a disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte, o CONAMA estabeleceu a Resolução nº 308/2002 que indica os elementos norteadores para implantação de sistemas de disposição final de resíduos sólidos, destacando-se quanto à seleção da área a caracterização hidrogeológica e geotécnica da mesma, e respeitar as distâncias mínimas estabelecidas em normas técnicas ou em legislação ambiental específica de ecossistemas frágeis e recursos hídricos superficiais, bem como áreas de nascentes, córregos, rios, açudes, lagos, banhados, manguezais e outros corpos d'água.

Nos últimos 25 anos, no município de Sant'Ana do Livramento, vinham sendo depositadas cerca de 70 toneladas diárias de lixo domiciliar, comercial, industrial e até mesmo hospitalar, mas atualmente os resíduos são destinados ao depósito do município de Minas do Leão; sendo que a antiga área do lixão de Sant'Ana do Livramento (Figura 21) foi recuperada e transformada em aterro sanitário, além da construção de três bacias de decantação (Figura 22) que servem para controlar os níveis de poluição do lençol freático, contando também com um piezômetro para o monitoramento. Para melhorar ainda mais as condições ambientais da Bacia do Rio Santa Maria, este local será transformado em uma grande área verde com plantio de árvores nativas (Varela, 2003, p. 3).



FIGURA 21: Antigo lixão de Sant'Ana do Livramento - RS, ultimamente transformado em "aterro sanitário". Data: 09/2002.



FIGURA 22: Bacias de decantação do atual "aterro sanitário" de Sant'Ana do Livramento - RS. Data: 09/2002.

A atividade humana em superfície pode alterar e induzir novos mecanismos de recarga ao aquífero, modificando a taxa, a frequência e a qualidade da recarga de águas subterrâneas. Em muitos casos o fluxo de águas subterrâneas e o transporte de contaminantes da superfície até o nível freático tendem a ser um processo lento em muitos aquíferos, despendendo anos ou décadas, antes que um evento contaminador com produtos persistentes e móveis atinja um poço em exploração. O abastecimento de água potável, extraídos de aquíferos mais profundos e altamente confinados, somente será afetado quando o evento contaminante envolver substâncias muito persistentes, em prazos muito longos (Foster *et al.*, 1993, p 14).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A determinação dos índices de vulnerabilidade, normalmente, é executado em áreas onde existam recursos importantes de águas subterrâneas e que estejam sujeitas a um desenvolvimento urbano, industrial e/ou agrícola, fato que não foge a realidade da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, no Estado do Rio Grande do Sul.

Desta forma os objetivos estabelecidos para o desenvolvimento deste trabalho foram atingidos indicando áreas com susceptibilidades naturais diferentes, quanto ao potencial de contaminação, a partir da identificação das condições de ocorrência das águas subterrâneas, do substrato litológico e da profundidade do nível freático, considerando dados pré-existentes.

Pois uma vez identificadas às áreas mais susceptíveis a contaminação a partir deste trabalho, tem-se uma base para a execução da gestão ambiental adequada, ou seja, permitindo maior controle na tomada de decisões com relação ao planejamento do uso da terra e a melhor utilização dos recursos hídricos subterrâneos na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria.

Uma das dificuldades encontrada para a realização desta pesquisa, refere-se à disponibilidade de informações sobre as águas subterrâneas que são ainda insuficientes e dispersas. Os dados que são gerados diariamente, por ocasião da execução de qualquer obra, com finalidade de pesquisar ou captar água subterrânea e que poderiam conter informações técnicas preciosas e reais, tanto sobre os aspectos

geológicos das camadas de rochas existentes, como das características físico-químicas das águas, estão de certa forma desatualizados e indisponíveis nas diversas empresas privadas e órgãos do governo.

Apesar disso as informações obtidas permitiram a aplicação do método “GOD” onde os dados gerados demonstraram a realidade natural da área sendo que os aquíferos são pouco profundos indicando maior susceptibilidade a serem contaminados e na maior parte da área afloram rochas com litologias frágeis, cuja correlação resultou nas classes de vulnerabilidade Alta e Extrema, demonstrando assim que há um elevado risco a contaminação dos aquíferos.

É importante, portanto que a determinação do índice de vulnerabilidade seja considerado como o primeiro passo na avaliação do risco de contaminação das águas subterrâneas. Pode e deve ser utilizado para definir prioridades nos programas de proteção das águas subterrâneas, onde será necessário em continuação com órgãos do governo, empresas privadas ou instituições não governamentais, entre outras; adotar a execução de estudos detalhados e monitoração, apropriados às condições hidrogeológicas e a natureza da carga contaminante.

Devido à predominância da classe de vulnerabilidade Alta destaca-se a importância do desenvolvimento de ações de curto e médio prazo que dêem subsídios a reestruturação e ao desenvolvimento do processo produtivo que pode ser elaborado e empregado pelo próprio Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, levando-se em consideração todas as medidas legais existentes tanto de cunho federal, estadual ou municipal que incluem os recursos

hídricos subterrâneos, juntamente com as águas superficiais nos Planos de Bacias Hidrográficas previstos nas resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

Dessa maneira, a proteção de aquíferos deve ser feita através de medidas legais e ações no sentido de prevenir os efeitos adversos para a saúde humana e ao meio ambiente, provocados pela contaminação desse recurso natural, pois, os problemas envolvidos na contaminação dos aquíferos são de difícil controle devido ao tempo e a escala espacial em que ocorrem. Assim, contaminações difusas como aquelas provocadas pelo uso contínuo de pesticidas, dificilmente serão detectados antes que o problema atinja escalas de solução excessivamente onerosas.

Da mesma forma, fontes potenciais de poluição pontual, como atividades industriais em locais de grande vulnerabilidade, muitas vezes foram ou são implantadas sem ser levado em conta a necessidade de proteção dos recursos hídricos superficiais ou subterrâneos. Mesmo quando cuidados específicos de proteção são tomados, sabe-se que muitas vezes elas não são efetivas devido a acidentes, falhas humanas e outras causas, tais como a falência do responsável ou abandono do material poluente em locais sem proteção, gerando passivos ambientais.

Pois os impactos das atividades humanas são visíveis, traduzindo-se em escassez de água devido à demanda, severo grau de poluição proveniente do lançamento de esgoto doméstico, uso indiscriminado de agrotóxicos (para se ter uma idéia um quilo de agrotóxico é suficiente para contaminar um bilhão de litros d'água) e

outras fontes de contaminação que podem comprometer os cursos d'água e os reservatórios subterrâneos (Campos 2000, p. 6).

Portanto, o presente estudo contribui de maneira eficaz para a implementação dos instrumentos de gestão proporcionando o gerenciamento correto dos recursos hídricos subterrâneos, pois conhecer a água subterrânea é a única forma de termos consciência da importância de sua preservação, isto nos capacitará a não permitir que se faça com ela o que tem sido feito com nossos rios, transformados em esgotos a céu aberto.

6. BIBLIOGRAFIA

Água Subterrânea. Disponível em: <<http://www.geocities.com>>
Acesso em 30/04/2002. 3p.

ARAÚJO, L. M.; FRANÇA, A. B.; POTER, P. E. Hydrogeology of the Mercosul aquifer system in the Paraná and Chaco-Paraná Basins, South America, and comparison with the Navajo-Nugget aquifer system, USA. **Hydrogeology Journal**. N° 7. 1999. Pág. 317-336.

Aquífero Guarani. Disponível em: <<http://www.daaearaquara.com.br/guarani.htm>> Acesso em 23/10/2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Governo Joga Pesado contra contaminação em postos de combustíveis. **ABAS Informa**. N° 106. Set. 2000. Pág. 12 e 13.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de poço para captação de água subterrânea**: NBR 12212. Rio de Janeiro, Abr.1992. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Construção de poço para captação de água subterrânea**: NBR 12244. Rio de Janeiro, Abr.1992. 6p.

AURÉLIO, B.H.F. **Dicionário da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira S.A., 1980. p. 760.

_____. **Novo Dicionário Aurélio de Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira S.A., 1986. p.1838.

BATALHA, B.H. L. **Glossário de Engenharia Ambiental**. República Federativa do Brasil, Ministério da Minas e Energia, DNPM, 1986. p. 13-17

BRASIL. **Decreto** nº 24.643 de 10 de julho de 1934. Decreta o Código das Águas em território brasileiro. Brasília, 1934.

BRASIL. **Lei** nº 7.841 08 de agosto de 1945. Dispõe o Código de Águas Minerais. Brasília, 1945.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil: promulgada em 5 de outubro de 1988 / obra coletiva. 29. ed. atual. e ampli. São Paulo: Saraiva, 2002.

BRASIL. **Lei** nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1900, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

CABRAL, J.; KOIDE, S.; SIMÕES, S. J. C.; MONTENEGRO, S. **Recursos Hídricos Subterrâneos.** In: PAIVA, J. B. D. *et al.*, Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 237-277.

CAMPOS, H. Mad Max e as águas. **Jornal de Integração, ABAS Região Sul.** Ano 1, nº 02 Set./Out. 2000. Pág. 6.

CAVALCANTE, I. N. Atividades impactantes em áreas de exploração de águas subterrâneas. In: XII ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS E IV SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO NORDESTE. **Anais...** Olinda: ABAS. 14-17/10/2001.p. 67.

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERIAS. Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná Integração Geológica e Avaliação Econômica, **Mapas Geológicos**, Escala 1:100.000, Folha Sant'Ana do Livramento Folha SH- SH 21 Z-A-VI, MI-2991, Anexo 89; Engenheiro Madureira, Folha SH 21Z-B-IV, MI- 2992, Anexo 90; Dom Pedrito Folha SH 21 Z.V-B, MI-2993, Anexo 91; Lagoa da Meia Lua Folha SH 21 Z-B-VI, MI-2944, Anexo 92; arroio Pai Passo Folha SH 21 -Z-A-III, MI-2978, Anexo77; Vila São Leandro Folha SH-21-Z-B-I, MI- 2979, Anexo78; Rosário do Sul Folha SH21-Z-B-II, MI-2980, Anexo 79; São Gabriel Folha SH21-Z-B-III, MI-2964, Anexo 80; Cacequi Folha SH21 X-D-V, MI- 2963, Anexo 67; São Pedro do Sul Folha SH 21 X-D-VI, MI-2964, Anexo 68. 1986.

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERIAS. **Sistema de Informações sobre Águas Subterrâneas**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/siagas>> Acesso em:junho de 2002.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução** nº. 9 de 21 junho de 2000. Delega competência a Câmara Técnica e dá outras providências. Brasília, 1998.1p.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução** nº. 15 de 11 janeiro de 2001. Delega competência a SINGRH e dá outras providências. Brasília, 1997. 03p.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução** nº. 16 de 08 maio de 2001. Estabelece as diretrizes para implementação da outorga de direito de uso dos recursos hídrico. Brasília, 1998.1p.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução** nº. 22 de 24 de maio de 2002. Delega competência a SINGRH e dá outras providências. Brasília, 1995.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução** nº. 273 de 29 de novembro de 2000. Dispõe sobre prevenção e controle da poluição em postos de combustíveis e serviços. Brasília, 2000.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução** n°. 308 de 21 de março de 2002. Dispõe sobre o Licenciamento Ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte. Brasília, 2002.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução** n°. 319 de 04 de dezembro de 2002. Dá nova redação ao dispositivo da Res. 273 de 29/11/2000 que dispõe sobre a prevenção e controle da poluição em postos de combustíveis e serviços. Brasília, 2002.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução** n°. 335 de 03 de abril de 2003. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. Brasília, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Portaria** n° 231 de 31 de julho de 1998. Dispõem sobre zonas de proteção de mananciais subterrâneos.

Descrição do Aquífero Guarani. Disponível em: <<http://www.aquiferguarani.hpg.com.br>>. Acesso em 27 jul.2001.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Decreto** n° 23.430 de 24 de outubro de 1974. Decreta o Código Sanitário do Estado do Rio Grande do Sul, dispõe sobre a promoção, proteção e recuperação da saúde pública. Porto Alegre, 1974.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Lei** nº. 11.520 de 03 de agosto de 2000. Institui o Código Estadual de Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. Porto Alegre, 2000.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Lei** nº 10.350 de 30 de dezembro de 1994. Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos regulamentando o artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1994.

FEITOSA, A. C.F. e FILHO, J. M. **Hidrogeologia - conceitos e aplicações**. Fortaleza: Editora Gráfica LCR CPRM –Serviço Geológico do Brasil, 1997. 389 p.

FREIRE, C. C.; PEREIRA, J. S.; RIBEIRO, M. M. R. **Importância da Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos**. Disponível em: <<http://www.abrh.org.br>> Acesso em 2002.

FOSTER, S. S. D. e HIRATA, R. **Contaminação de las águas subterrâneas**. Organização Mundial de la Salud, Organización Panamericana de la Salud, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Del Ambiente. Lima, Peru, 1987.

_____. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas**: um método baseado em dados existentes. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. p. 67-92.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M..
Protección de la Calidad del Agua Subterránea: guía para
empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales.
Banco Mundial. Washington, D.C.: Mundi-Prensa Libros, S.A., 2002.

FRASSON, A. Situação dos recursos naturais em Santa Catarina. In:
Manejo Alternativo de Recursos Hídricos. Florianópolis: Editora da
UFSC, 1993. p. 87-98

GUERRA, A.T. **Dicionário geológico e geomorfológico,** Rio de
Janeiro: IBGE, 1980. 446 p.

HAUSMAN, A. **Estudos tecnológicos.** São Leopoldo-RS:
Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 1995. 125 p.

HEATH, R, C. **Hidrologia básica de água subterrânea.** Denver:
Geological Survey Supply Paper. Paper n° 2220, 1983. 85p.

IGM – Instituto Geológico e Mineiro. **Água Subterrânea: Conhecer
para Preservar o Futuro.** Disponível em:
<http://www.igm.pt/edicoes_online/diversos/agua_subterranea.htm>
Acesso em 06/05/2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.
Censo Demográfico 2000. Disponível em:
<<http://www.ibge.gov.br/populacao>> Acesso em 2002.

KÖPPEN, W. **Climatologia.** México: Fundo da cultura Econômica.
1948

LEAL. A. S. **Águas subterrâneas – usos e ocorrências.** Disponível
em:<<http://www.estado.dogurgueira.nom.br/pesquisa/aguasubterraneas.htm>>. Acesso em: 26 nov. 2002.

MONICI JR., W. O Aquecimento do mercado de reabilitação de
poços. **Abas Informa.** ABAS. Maio/2002. Pág. 12.

NETO, R. F. M. Água para o desenvolvimento sustentável. In **A Água em Revista:** Revista Técnica e informativa da CPRM, Ano V, Número 9-1997, p.21-26.

O Aquífero Guarani. Disponível em: <<http://www.aguasubterranea.hpg.ig.com.br/guarani.htm>> Acesso em 24 out.2002.

PACHECO, A. e MATOS, B. A. **Cemitérios e Meio Ambiente:**
como os cemitérios podem contaminar as águas subterrâneas.
Disponível em <<http://www.16c.use/subsites/cemiterios/cemit.php>>
Acesso em 15 maio de 2003.

PACHECO, A. e REBOUÇAS, A. C. Aspecto de uso e preservação das águas subterrâneas da grande São Paulo. In 2º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. **Anais**. Salvador, 1982. p. 389-401.

PRESOTTO, C. A., DIAS, A.; KIRCHNER, A.; GARCIA, P. F. **Projeto Hidrogeología da Fronteira Sudoeste do Rio Grande do Sul**. Relatório Final. Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais. Porto Alegre: CPRM, 1973. 263p.

REBOUÇAS, A. da C. Água subterrânea: a alternativa mais barata (II). **Abas Informa**. ABAS. Maio/2002. Pág. 3.

REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B. TUNDISI, J. G.. **Águas Doces no Brasil**. Academia Brasileira de Ciências; Instituto de Estudos Avançados da USP. 1999.

RIO GRANDE DO SUL, **Lei**, nº 10.350 de 30 de dezembro de 1994. Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o artigo 171 da constituição do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1994. 30p.

RIO GRANDE DO SUL, **Lei** 11.520, de 03 de agosto de 2000. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências, Porto Alegre, 2000. 108 p.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE Disponível em:
<<http://www.sema.rs.gov.br>

SÉGUIN, E. **O Direito Ambiental:** nossa casa planetária. Rio de Janeiro: Forense, 2000. p. 119-132.

SILVEIRA, G. L. (Coord.). **Sistema de avaliação de Disponibilidades Hídricas Fluviais para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria.** Relatório do Projeto. UFSM/CRH-RS. Convênio 05/92. 1993

SILVEIRA, G. L. (Coord.). **Desenvolvimento de Ações para a implantação da outorga na Bacia do Rio Santa Maria,** UFSM/DRH/SEMA/RS Convênio nº02/2002. Relatório Técnico Nº 1, 2003.

Sistema CR-TPO 6.0, Processamento de Levantamentos Topográficos, Transformação de coordenadas, Laboratório de Geomática da Universidade Federal de Santa Maria/Centro de Ciências Rurais. Disponível em: <<http://www.rural.ccr.ufsm.br>> Acesso em 2002.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia** – Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da UFRGS. ABRH, 1993. 943 p.

UFSM. **Estrutura e apresentação de monografias, dissertações e teses** – MDT/ Universidade Federal de Santa Maria, 5 ed. Santa

Maria. Pró-Reitoria de Pós Graduação e Pesquisa. 5. ed. Santa Maria: Ed. da UFSM, PRPGP, 2000.

VILLELA, S. M. e MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw do Brasil, 1975. 245 p.

VARELA, V. Prefeitura inicia transporte de lixo urbano para Minas do Leão. **A Platéia**. Sant'Ana do Livramento, pág. 3. 15 jul. 2003

VRBA, J e ZAPOROZEC, A. **Guidebook on mapping groundwater vulnerability**. International Association of Hydrogeologists – International Contributions to Hydrology. 1994. p. 16.

WREGGE, M. **Termos hidrogeológicos**. Disponível em: <http://www.abasorg/estudos/hidrogeologia/termos_hidrogeo.htm>. Acesso em: 30 abril. 2002.

ZIMBRES, E. **Água Subterrânea**. Disponível em: <<http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/aguasubterranea.htm>> Acesso em 09/07/2003.

ANEXOS

ANEXO 1: Banco de dados sobre os poços existentes na Bacia
Hidrográfica do Rio Santa Maria - RS

ANEXO 2: Informações referentes aos possíveis pontos de
contaminação das águas subterrâneas visitados no município de
Sant'Ana do Livramento - RS