

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA E
GEOCIÊNCIAS**

**VULNERABILIDADE NATURAL
NO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI E ANÁLISE
DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS EM QUARAÍ, BR E ARTIGAS, UY**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Isabel Camponogara

Santa Maria, RS, Brasil

2006

**VULNERABILIDADE NATURAL
NO SISTEMA AQÜÍFERO GUARANI E ANÁLISE
DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS EM QUARAÍ, BR E ARTIGAS, UY**

por

Isabel Camponogara

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

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Silvério da Silva

Santa Maria, RS, Brasil

2006

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Naturais e Exatas
Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências**

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

**VULNERABILIDADE NATURAL NO SISTEMA AQÜÍFERO GUARANI
E ANÁLISE DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS EM QUARAÍ, BR E ARTIGAS, UY**

elaborada por

Isabel Camponogara

como requisito parcial para obtenção do grau de
MESTRE EM GEOGRAFIA

COMISSÃO EXAMINADORA:

José Luiz Silvério da Silva, Dr. (Presidente/Orientador-UFSM)

José Américo de Mello Filho, Dr. (UFSM)

Rinaldo José Barbosa Pinheiro, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 17 de março de 2006.

*“Não existe qualquer tarefa que não garanta problemas e obstáculos.
Eles existem, mas somente aqueles que persistirem
bravamente irão atingir seus objetivos”*

Autor desconhecido

DEDICATÓRIA

*À memória de meus pais, por todo o amor dedicado,
à educação recebida, o carinho e principalmente
pela minha existência;*

*Dedico também
à minhas irmãs e meus irmãos,
à Nilza de Oliveira Doico,
ao Prof. José Luiz Silvério da Silva*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade de aperfeiçoamento científico;

Ao professor orientador Dr. José Luiz Silvério da Silva, pela oportunidade de participar no III Curso Hispanoamericano de Hidrologia Subterrânea em Montevideu, pela oportunidade de trabalhar em seus projetos, pela orientação desta Dissertação, desde a elaboração do projeto até seu resultado final; pelas sugestões bibliográficas durante a execução da pesquisa, por compartilhar seus conhecimentos, pela receptividade, amizade e carinho essenciais para a execução desta pesquisa e para meu crescimento intelectual.

À Comissão examinadora desta Dissertação: Prof. Dr. José Américo de Mello Filho e Prof. Dr. Rinaldo José Barbosa Pinheiro, pela leitura crítica, sugestões e ensinamentos.

Aos professores que ministraram aulas no Curso de Mestrado em Geografia, pelo conhecimento compartilhado;

A OEA e o Banco Mundial pelo financiamento deste projeto;

Aos colegas e amigos do laboratório de Hidrogeologia e de projetos de pesquisa, o Engenheiro Civil Msc. Luis Carlos Frantz, o Lic. em Geografia Msc. Carlos Gilberto Konrad, pelo auxílio na elaboração dos produtos cartográficos desta dissertação, formatação e também pela amizade;

Aos colegas de projetos de pesquisa, o Engenheiro Civil José Antonio de Azevedo Gomes e Tiago Zavacki de Moraes, pelo apoio na realização de projetos;

Aos colegas do laboratório de Hidrogeologia Fabíula Silva, Eliane Ferreira dos Santos, Fabiano Marion, Viviane Capoane, pela amizade e auxílio na digitalização dos planos de informação;

Ao colega Jurandi Zanoti Goldani, pelo incentivo, auxílio de materiais e amizade;

Às ex-colegas e amigas Janete Reis, Deina Farenzena, Elizane Brutti, Ivete Strieder, Medianeira Garcia, pelos momentos compartilhados, trocas de idéias, colaboração, incentivo e pela amizade;

À secretária do Departamento de Geociências, Nilza de Oliveira Doico, pela disponibilidade em repassar informações, empréstimo de material, dedicação, apoio e amizade;

À secretária do Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, Eunice Ferreira, pela disponibilidade em prestar informações, dedicação, apoio e amizade.

A todas as pessoas que me incentivaram, em especial minha família.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências
Universidade Federal de Santa Maria

VULNERABILIDADE NATURAL NO SISTEMA AQÜÍFERO GUARANI E ANÁLISE DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM QUARAÍ, BR E ARTIGAS, UY

Autora: Isabel Camponogara
Orientador: Prof. Dr. José Luiz Silvério da Silva
Data e local da defesa: Santa Maria, 17 de março de 2006.

Com o intuito de compreender a dinâmica dos aquíferos e a preservação dos mananciais subterrâneos é que se propôs desenvolver esta pesquisa. Nesse sentido, teve-se como objetivo principal estudar a vulnerabilidade natural do Sistema Aquífero Guarani e analisar parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas em Quaraí, Brasil, e Artigas, Uruguai, devido as águas explotadas deste aquífero serem utilizadas principalmente para consumo humano. Desta forma, utilizou-se para a execução do estudo, dados pré-existentes, pesquisa de campo e técnicas computacionais. A metodologia empregada para estudar a vulnerabilidade natural dos aquíferos apoiou-se no Modelo DRASTIC. Para caracterizar as águas subterrâneas, fez-se análise de parâmetros físico-químicos em amostras coletadas em março de 2005. Como resultado mais relevante constatado pode-se destacar, em relação à vulnerabilidade natural dos aquíferos da área, que a mesma variou de vulnerável, muito vulnerável a extremamente vulnerável. Quanto aos resultados obtidos das análises dos parâmetros físico-químicos, destaca-se que as águas classificaram-se em 5 tipos: CaHCO_3 , $\text{CaMgHCO}_3\text{Cl}$, MgHCO_3 , CaMgHCO_3 e CaNaHCO_3 . Contudo, é evidente a importância da realização de pesquisas dessa natureza, pois os resultados podem ser utilizados para gerenciar de modo sustentável os recursos hídricos subterrâneos, por outro lado, espera-se que as informações obtidas e as metodologias aplicadas nesta pesquisa possam subsidiar ações direcionadas à gestão integrada dos recursos hídricos subterrâneos entre Brasil e Uruguai, principalmente nos planos de uso da água, de acordo com o previsto na legislação de ambos os países.

Palavras-chave: vulnerabilidade natural, Sistema Aquífero Guarani, contaminação, parâmetros físico-químicos.

ABSTRACT

Dissertation of Master's Degree
Program of Master's Degree in Geography and Geosciences
Universidade Federal de Santa Maria

NATURAL VULNERABILITY IN THE GUARANI AQUIFER SYSTEM AND ANALYSIS OF PHYSIOCHEMICAL PARAMETERS OF THE GROUNDWATER IN QUARAÍ - BR AND ARTIGAS - UY

Author: Isabel Camponogara

Advisor: Prof. Dr. José Luiz Silvério da Silva

Date and place of the defense: Santa Maria, March 17, 2006.

This research was developed with the intention of understanding the aquifer dynamics and the underground spring's preservation. In that sense, it was had as main objective to study the natural vulnerability of the Guarani Aquifer System and to analyze physiochemical parameters of the groundwater in the cities of Quaraí - Brazil and Artigas - Uruguay, due to the exploited waters of this aquifer, they be used mainly for human consumption. This way, it was used for the execution of the study, pré-existent data, field research and computer techniques. The methodology used to study the aquifer natural vulnerability leaned on in the DRASTIC Model. To characterize the groundwater, it was made analysis of physiochemical parameters in samples collected in March of 2005. As more relevant result it was verified the relation to the natural vulnerability of the aquifer in the area, that same varied of vulnerable, very vulnerable and extremely vulnerable classes. For the obtained results of the analyses of the physiochemical parameters, we stand out that the waters were classified in 5 types: CaHCO_3 , $\text{CaMgHCO}_3\text{Cl}$, MgHCO_3 , CaMgHCO_3 and CaNaHCO_3 . However, it is evident the importance of the accomplishment of researches of that nature, because the results can be used to manage groundwater hydric resources in a maintainable way. On the other hand, it is waited that the obtained information and the applied methodologies in this research can subsidize addressed actions to the integrated administration of the groundwater hydric resources between Brazil and Uruguay, mainly in the plans of use of the water, in agreement with foreseen on its legislation.

Keywords: natural vulnerability, Guarani Aquifer System, contamination, physiochemical parameters.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo no Sistema Aquífero Guarani	21
Figura 2 - Mapa esquemático do Sistema Aquífero Guarani na América do Sul.....	44
Figura 3 - Fluxograma das etapas de desenvolvimento da pesquisa.....	54
Figura 4 - Esquema de avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos (Modelo DRASTIC).	61
Figura 5 - Mapa da espacialização dos poços da área de estudo.....	69
Figura 6 - Exemplo de nível estático zero nos poços surgente, em Quarai, BR (A) e jorrante em Artigas, UY (B).	71
Figura 7 - Mapa da variação do Nível Estático dos poços	73
Figura 8 - Aspectos da Fm. Botucatu (A) e da Fm Serra Geral (B).....	76
Figura 9 - Mapa das formações geológicas da área de estudo.....	77
Figura 10 - Aspectos das unidades de solos: Areia Franca fina (A), Franca (B) e Franco Siltosa (C).	79
Figura 11 - Mapa das unidades texturas dos solos	80
Figura 12 - Mapa clinográfico da área de estudo	83
Figura 13 - Mapa da vulnerabilidade natural dos aquíferos	87
Figura 14 - Poço selecionado para coleta de amostra d' água e recipiente de armazenamento com seus respectivos equipamentos utilizados para medir parâmetros de campo.	88
Figura 15 - Espacialização dos poços selecionados para coletas de amostras d'água	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Distribuição vertical da água no subsolo	30
Quadro 2 - Principais métodos para a determinação da vulnerabilidade à poluição de aquíferos.	35
Quadro 3 - Níveis de avaliação do risco de contaminação das águas subterrâneas.	37
Quadro 4 - Principais métodos de interpolação e sua descrição.....	48
Quadro 5 - Formações litológicas e suas respectivas características	59
Quadro 6 - Texturas de solos e suas características	60
Quadro 7 - Fatores DRASTIC e seus respectivos pesos (Peso= p).....	62
Quadro 8 - Faixas de profundidade da água subterrânea e respectivas cargas (Dc). (Peso: Dp=5).....	62
Quadro 9 - Recarga total durante o ano (Peso: Rp= 4).....	63
Quadro 10 - Tipos de meio aquíferos e suas respectivas cargas (Ac). (Peso: Ap=3).	63
Quadro 11 - Solos e suas respectivas cargas (Sc), (Peso: Sp=2).	64
Quadro 12 - Classes de declividade e suas respectivas cargas (Tc). (Peso: Tp=1).	64
Quadro 13 - Impacto da Zona Vadosa e suas respectivas cargas (Ic). (Peso: Ip=5).	65
Quadro 14 - Condutividade hidráulica, cargas (Cc). (Peso: Cp=3).	65
Quadro 15 - Classes de vulnerabilidade e seus respectivos intervalos, segundo Aller <i>et al.</i> (1987)	66
Quadro 16 - Classificação do Nível estático dos poços nos intervalos e suas respectivas cargas	72
Quadro 17 - Recarga total durante o ano (Peso: Rp= 4).....	74
Quadro 18 - Tipos de meio aquíferos e suas respectivas cargas (Ac) e distribuição dos poços em cada unidade. (Peso: Ap=3).....	75
Quadro 19 - Solos e suas respectivas cargas (Sc), distribuição dos poços (Peso: Sp=2).	79
Quadro 20 - Classes de declividade da área de estudo com a distribuição dos poços e cargas sugeridas no modelo DRASTIC (Tc). Área total de estudo: 243,24Km ²	81
Quadro 21 - Impacto da Zona Vadosa e suas respectivas cargas (Ic). (Peso: Ip=5).	84
Quadro 22 - Condutividade hidráulica, cargas (Cc). (Peso: Cp=3).	85

Quadro 23 – Parâmetros de análise físico-químicos de campo em março de 2005.	89
Quadro 24 –Análise laboratorial de parâmetros físico-químicos.....	90

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 01 – Banco de dados sobre os poços presentes na área de estudo	103
ANEXO 02 – Banco de dados do modelo DRASTIC.....	108

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE QUADROS	10
LISTA DE ANEXOS	12
1. INTRODUÇÃO	15
1.1. OBJETIVOS	18
1.1.1. Objetivo Geral.....	18
1.1.2. Objetivos Específicos	19
2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	20
3. REVISÃO DE MATRIZES TEÓRICAS	25
3.1. Água Subterrânea	25
3.2. Vulnerabilidade natural de sistemas aquíferos e risco de contaminação.....	32
3.4. Sistema Aquífero Guarani.....	43
3.6. Caracterização dos Sistemas de Informação Geográfica	46
3.7. Geoestatística	47
3.8. Cartografia da informação hidrogeológica	50
4. METODOLOGIA.....	54
4.1. Procedimentos Metodológicos	54
4.2. Procedimentos Técnicos.....	56
4.2.1. Cadastro dos poços.....	56
4.2.2. Delimitação da área de estudo	57
4.2.3. Mapa da Distribuição Espacial dos Poços.....	57
4.2.4. Mapa da variação do nível estático dos poços	58
4.2.5. Mapa geológico	58
4.2.6. Mapa clinográfico.....	59
4.2.7. Mapa de solos	60
4.2.8. Mapa de vulnerabilidade natural.....	61
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
5.1. Estudo da vulnerabilidade natural dos aquíferos	68
5.2. Análise de parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas	88

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS.....	96

1. INTRODUÇÃO

Dentre os recursos naturais essenciais, a água apresenta um significativo destaque, uma vez que é necessária a todo tipo de vida neste planeta e sua conservação em condições ideais é fundamental. Porém, devido à forma não-sustentável como a humanidade conduziu a exploração deste recurso natural, atualmente este se encontra em escassez, ocasionando sérios problemas de ordem ambiental, social e econômica.

Além da escassez derivada da distribuição espacial anisotrópica dos recursos hídricos (Rebouças *et al.*, 2002), diversos fatores tais como o crescimento populacional, o processo intensivo de urbanização, a expansão da fronteira agrícola e a implantação de indústrias de grande porte, podem ser apontados como responsáveis pelo aumento na demanda de água.

Por isso, atualmente o homem passou a se preocupar com os problemas ambientais decorrentes do modo de exploração, principalmente relacionados aos recursos hídricos devido sua importância para a vida. O surgimento de problemas ambientais graves, com reflexos sobre o próprio homem, levou-o a melhor compreender os fenômenos naturais e a entender que deve agir como parte integrante do sistema natural (Mota, 1997).

A pesquisa científica surge como uma aliada na compreensão da dinâmica natural e na solução de problemas ambientais. Nesse sentido, (Asmus, 1990) salienta que a pesquisa configura-se em uma forma valiosa de se buscar o conhecimento do meio natural face às ações antrópicas.

Diante disso, esta pesquisa, que tem como problemática de estudo a vulnerabilidade natural no Sistema Aquífero Guarani e o risco de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos em áreas transfronteiriças, vêm se somar com as demais pesquisas sobre este manancial, haja vista que é fundamental o reconhecimento dos potenciais do meio natural e das deficiências para evitar determinadas ações inadequadas e estabelecer prioridades nas posteriores investigações e tomadas de decisão.

Como exemplo dos principais fatores de deterioração ambiental que atingem ou podem atingir, pode-se citar, quanto à agropecuária, a utilização de fertilizantes, agrotóxicos, desmatamentos, usos inadequados das terras, dejetos de animais; quanto às indústrias, os rejeitos e efluentes tóxicos lançados aos solos ou nos rios; e quanto às cidades, muitas delas mal localizadas, os seus lixões e esgotos.

Contudo, nos últimos anos percebeu-se uma crescente preocupação da sociedade com a deterioração dos recursos hídricos subterrâneos, haja vista que é cada vez mais evidente a consciência dos responsáveis pela gestão das águas subterrâneas, principalmente com as limitações técnicas, econômicas e de disponibilidade de especialistas para atenuar a deterioração existente, sobretudo em países que estão em fase de desenvolvimento.

Como resultado dessa situação, tem-se observado a disseminação do uso e desenvolvimento de várias técnicas de mapeamento para avaliação da vulnerabilidade natural à poluição de aquíferos, como uma ferramenta para a prevenção e proteção das águas subterrâneas.

A água subterrânea constitui um recurso natural que, freqüentemente, não é valorizado, o que se reflete no insuficiente reconhecimento da sua importância quanto ao nível ambiental, social e econômico (Lanna, 2001). Contudo, constitui uma origem de água acessível que tem maior qualidade que as resultantes de captações superficiais, pois estas estão mais expostas a contatos com fontes poluidoras, já as águas subterrâneas, pela sua localização no interior de rochas, a penetração de substâncias poluidoras, tem maior dificuldade, além disso, muitas rochas funcionam como filtro, assim os custos de tratamento que lhe estão associados são menores.

Em função disso, a água subterrânea tem sido submetida a um consumo desmedido e uma pressão crescente que, em certos casos, tem levado a situações

de sobre-exploração de aquíferos e à deterioração da qualidade resultante de contaminação por fontes poluidoras não controladas.

Neste sentido, justifica-se a realização desta pesquisa, em razão de que as águas subterrâneas também estão sendo deterioradas pelas atividades antrópicas, e já é fato concreto, em algumas situações, a contaminação das águas subterrâneas, a exemplo do que ocorre com as águas superficiais. A infiltração de substâncias poluidoras por lixiviação através do solo pelos corpos d'água é um fato corriqueiro, sendo que muitas delas são tóxicas, não degradáveis e de efeito cumulativo nos organismos de animais consumidores, inclusive o homem. Apesar disso, ainda persistem atitudes generalizadas de subestimar os riscos de poluição das águas subterrâneas, traduzida pelo descaso nas políticas de proteção e de ações voltadas à sua conservação ou mesmo pela pouca conscientização da população de modo geral.

Por isso, estudos dessa natureza são fundamentais e contribuem para a tomada de decisão no que se refere à proteção dos recursos hídricos subterrâneos em seus aspectos de alteração da qualidade e quantidade.

Embora os recursos hídricos sejam abundantes em toda a superfície terrestre, estes não são uniformemente distribuídos. Em algumas áreas, a disponibilidade superficial não supre a demanda, sendo os usos reduzidos somente ao atendimento das necessidades humanas. Tal situação tem causado sérias limitações para o desenvolvimento de muitas regiões em todo o mundo; assim, a procura pela exploração das águas subterrâneas tem aumentado intensamente.

Neste contexto, um bom conhecimento das necessidades de seus diversos usuários e da capacidade de oferta e renovação das fontes hídricas é fundamental para a definição dos marcos regulatórios principais e capacidade de suporte de cada local.

Por esta razão, optou-se por pesquisar em áreas de abrangência do Sistema Aquífero Guarani, compreendendo a faixa transfronteiriça entre o Brasil e Uruguai, nas cidades de Quaraí e Artigas e áreas adjacentes. A seleção desta área deve-se principalmente a necessidade de se compreender mais sobre a dinâmica do Sistema Aquífero Guarani e pelo fato das duas cidades utilizarem, para consumo humano, da água subterrânea, além disso, a área está localizada em uma zona de recarga e descarga de aquífero, com expressivo grau de vulnerabilidade natural à contaminação. Por isso, como medida de prevenção, objetivou-se a realização desta

pesquisa, apoiando-se para a execução em dados pré-existentes, em técnicas computacionais de sistema de informação geográfica, da cartografia, de pesquisa de campo e análise laboratorial.

Assim, a pesquisa foi estruturada em seis capítulos. Sendo que no primeiro capítulo consta a introdução, juntamente à motivação para a realização da pesquisa, uma breve discussão do tema, quando se destaca a sua relevância, o momento oportuno, os locais de execução e a metodologia adotada.

No capítulo dois apresenta-se a localização da área de estudo e uma breve descrição dos aspectos físicos, sociais e econômicos, onde se caracterizam de modo geral todos os aspectos pertinentes à área em estudo.

O capítulo três apresenta a revisão bibliográfica realizada durante a pesquisa e que serviu, posteriormente, de suporte teórico para analisar as informações. Neste capítulo constam os conceitos básicos desta pesquisa e assuntos relacionados para a compreensão do tema.

No capítulo quatro constam os procedimentos metodológicos das etapas de efetivação da pesquisa, os quais estão divididos em procedimentos metodológicos e procedimentos técnicos.

Para o capítulo cinco apresentam-se os resultados e discussões da pesquisa desenvolvida, ou seja, o que realmente foi investigado nesta pesquisa.

E, por fim, está o capítulo seis, no qual apresentam-se as considerações finais; neste espaço, encontra-se sintetizado o que de mais relevante foi obtido na pesquisa.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa foi estudar a vulnerabilidade natural dos aquíferos e analisar parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas para fornecer subsídios técnicos a gestão integrada do Sistema Aquífero Guarani na área transfronteiriça de Quaraí, Brasil e Artigas, Uruguai.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Realizar o cadastro de poços (tubulares e escavados) e fontes existentes na área de estudo;
- Identificar a vulnerabilidade natural dos aquíferos a partir do Modelo DRASTIC;
- Definir as áreas de risco potencial à contaminação das águas subterrâneas;
- Analisar parâmetros físico-químicos de qualidade das águas subterrâneas, com vistas às normativas;

2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa realizada compreende uma área transfronteiriça entre Brasil e Uruguai, no extremo sul do Brasil, a sudoeste do Estado do Rio Grande Sul, em Quaraí e ao norte do Uruguai, em Artigas, entre as coordenadas geográficas de 30°14'58" de Latitude sul e 56°30'02" de Longitude oeste com 30°30'01" de Latitude sul e 56°22'31" de Longitude oeste (Figura 1), apresentando uma área superficial de aproximadamente 243,24km².

Historicamente o processo de ocupação desta área ocorreu a partir de seculares divergências na fixação de limites dos domínios luso e espanhol na América. A área de Quaraí somente em 1801 é que passou a pertencer ao Brasil. Inicialmente, povoada por indígenas criadores de gado, evadidos das Missões Jesuíticas. Em 1817, foi concedida a primeira sesmaria a José de Melo. Em 1820, João Batista Castilho estabelece uma estância e passa a denominar-se Passo do Batista, local em que ainda hoje se faz a travessia Quaraí-Artigas. Em 1859 o povoado de São João Batista de Quaraí é elevado a freguesia. Devido à pecuária, desenvolve-se notavelmente e em 1875 é elevado à condição de vila e sede de município, desmembrado de Alegrete.

Atualmente, conforme IBGE (2000), o município de Quaraí apresenta uma população de aproximadamente 24.427 habitantes, cerca de 7,8 hab/km², sendo que 92,9% corresponde a população urbana e 7,1% a população rural, distribuídas em uma área de 3.238 km². Artigas, por sua vez, apresenta uma densidade demográfica de 6,3 hab/km² em uma área de aproximadamente 11.928 km².

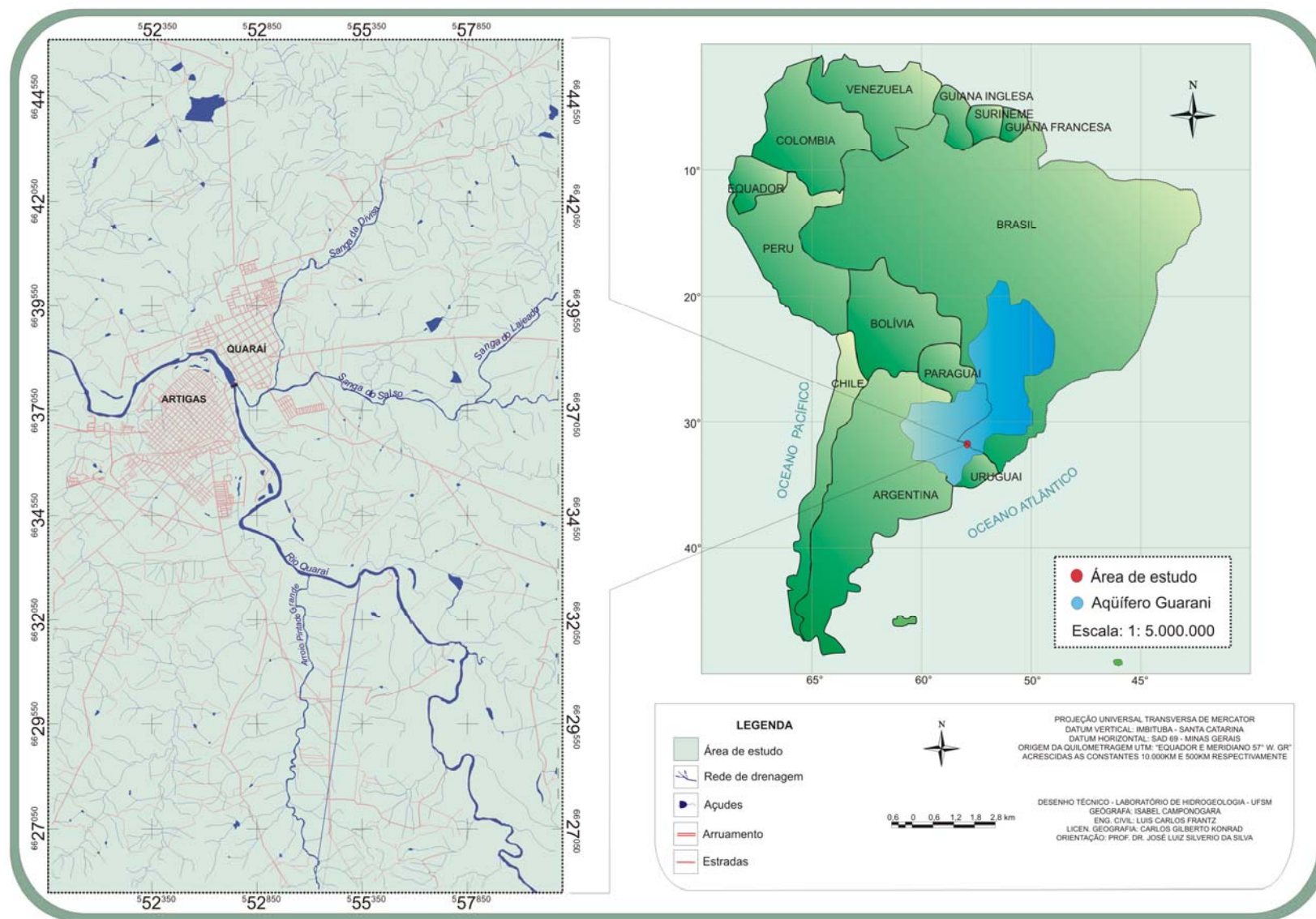


Figura 1 - Localização da área de estudo no Sistema Aquífero Guarani

A população total de acordo com o último censo de 1996 é de 74.968 habitantes, representando 2,3% da população total do Uruguai (<http://www.dinama.gub.uy>).

A economia da área de estudo está alicerçada principalmente no setor primário, na agricultura, destaque para a rizicultura e na pecuária a exploração concentra-se na bovinocultura e ovinocultura. Na agricultura destacam-se a produção de arroz, milho, soja e trigo. Na pecuária merecem destaque as criações de bovinos, para a produção leiteira e carne, ovinos, eqüinos e suínos. A criação de ovinos está voltada principalmente para a produção de lã e de carne. Destaque também para a fruticultura, principalmente de uvas, favorecidas pelo tipo de solo e clima subtropical.

O comércio está direcionado para atender o fluxo da população da região sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, bem como de outras regiões brasileiras como também originário da região norte do Uruguai.

No setor terciário, no que se refere a prestação de serviços, as cidades contam com agências bancárias. No setor de ensino identificou-se escolas de ensino fundamental, sendo a maioria públicas da rede municipal e da rede estadual além de particulares. O ensino médio conta com escolas pública e privada em ambos os países.

O abastecimento de água tanto na área urbana quanto na rural é proveniente de poços (tubulares e escavados) e também do Rio Quaraí para as duas cidades.

No que se refere aos aspectos físicos, geomorfologicamente, a área de estudo insere-se em uma faixa de transição situada entre a Cuesta de Haedo e a Depressão Periférica. Essa posição, aliada às condições climáticas, conferem à área, determinadas características geológicas, geomorfológicas, hidrográficas e de vegetação variada, ocasionando conseqüentemente uma paisagem diversificada.

O clima da área de estudo de acordo Köppen (1948) pode ser classificado como do tipo Cfa (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).

Em relação aos deslocamentos de massas de ar, que atuam com maior intensidade sobre a área de estudo, podem-se destacar a Massa Polar Velha e a Massa Polar Atlântica no inverno, estando esta última vinculada à intensidade do

Anticiclone Migratório Polar e, eventualmente, às Massas Tropical Continental e Tropical Atlântica, na estação do verão. As massas de ar polares que se deslocam e que atingem a área de estudo provocam frentes frias, sendo responsáveis pelas chuvas de origem frontal, bem distribuídas durante o ano (Hausman, 1995).

De acordo com Hausman (1995), o volume de precipitação média anual da área de estudo está abaixo dos 1400mm, com médias mensais de 100 a 150mm ocorrendo um pequeno déficit hídrico nos meses de dezembro a fevereiro. O mesmo autor cita que a região apresenta uma evapotranspiração real variando entre 800 a 900 mm anuais, resultando numa disponibilidade hídrica anual de 500 a 600mm. A infiltração média anual varia de 50 a 100mm o que representa uma variação de 3,5 a 7% do total anual precipitado.

Os ventos são predominantemente provenientes do quadrante leste, no entanto, também ocorre, de forma menos intensa, ventos do quadrante sul no inverno e do quadrante norte no verão.

Como consequência das características climáticas e da associação destas a outros aspectos físicos presentes na paisagem, a área apresenta uma rede de drenagem constituída por vários rios perenes, predominando canais de 1ª a 5ª ordem de grandeza. Desse modo, pode-se destacar o Rio Quaraí, Sanga Divisa, Sanga do Salso, Sanga do Lajeado, Pintado Grande e Pintadito pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Quaraí. Este conjunto hidrográfico é em parte responsável pela recarga do Sistema Aqüífero Guarani.

Com relação às condições litológicas estas se apresentam de forma variada devido sua localização. Conforme Hausman (1995) a área de estudo está situada nas seguintes províncias litológicas: Província Basáltica e Província Sedimentar Gondwânica. A Província Basáltica deu origem a três feições morfológicas distintas: o Planalto, a Borda do planalto e a Cuesta. Província Sedimentar Gondwânica deu origem à Depressão Periférica.

A respeito dos solos, de acordo com o Ministério da Agricultura (1973), a área apresenta solos resultantes basicamente de derrames basálticos, apresentando, por isso, maior fertilidade para desenvolvimento agrícola.

Contudo, a integração das características inferidas acima condicionou o tipo e a distribuição espacial da cobertura vegetal desta área, que originalmente era constituída pela Floresta Subcaducifólia Subtropical (Marchiori, 2001). A vegetação, na área de estudo, predominantemente caracteriza-se por campos, condicionados

ao relevo, que geralmente é suave. A cobertura vegetal da Região da Campanha é a pastagem natural, que se apresenta sobre uma variedade de gramíneas, cuja altura varia de 10 a 50 cm. Pode se apresentar em forma quase contínua ou em tufos, e quando esta forma acontece deixa alguns trechos do solo exposto.

3. REVISÃO DE MATRIZES TEÓRICAS

3.1. Água Subterrânea

A água subterrânea é toda a água que ocorre abaixo da superfície da terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas, e que sendo submetida a duas forças (de adesão e de gravidade) desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos. As águas cumprem uma fase do ciclo hidrológico, uma vez que constituem uma parcela da água da chuva (Borghetti, 2004).

A água existente na Terra tem origem no ciclo hidrológico, isto é, no sistema pelo qual a natureza faz a água circular do oceano para a atmosfera e desta para os continentes, de onde retorna à atmosfera e, superficial e subterraneamente, ao oceano. Este ciclo é conduzido, no solo e subsolo, pela ação da gravidade, bem como pelo tipo e densidade de cobertura vegetal e, na atmosfera e superfícies líquidas (rios, lagos, mares e oceanos), pelos elementos e fatores climáticos, como, por exemplo, temperatura do ar, ventos, umidade relativa do ar, insolação, que são os responsáveis pelos processos de circulação da água, dos oceanos para a atmosfera em uma determinada latitude.

A água subterrânea origina-se da chuva que precipita e infiltra no solo. Sendo assim, a quantidade de água a se infiltrar depende da quantidade de chuva e tipo de litologia. Para Rebouças (2002), as águas subterrâneas têm, regra geral, três origens principais: meteórica, conata e juvenil. A água meteórica, segundo Rebouças

(2002, p. 40) “corresponde às águas subterrâneas que são naturalmente recarregadas pela infiltração da parcela das que caem da atmosfera – chuva, neblina e neve, principalmente nos continentes, em geral, e numa bacia hidrográfica, em particular”. Esta perfaz um total de 10 milhões de Km³ e ocorre, regra geral, até a profundidade de 1000 metros, movimentando-se lentamente através do solo/subsolo, podendo desaguar em corpos d’água em períodos de estiagem ou sem chuva. Assim, o autor afirma que a determinação do escoamento básico dos rios constitui, regra geral, uma metodologia consistente de avaliação das recargas naturais da água subterrânea, ou seja, em regiões de rios perenes a contribuição dos fluxos subterrâneos é suficiente para alimentar as suas descargas durante o período sem chuvas. Esta situação ocorre em mais de 90% dos rios brasileiros. Ao contrário, quando os rios têm regime de fluxo temporário, significa que a contribuição dos fluxos subterrâneos não é suficiente para alimentar as suas descargas de base durante o período de estiagem ou sem chuva.

As águas conatas, para Rebouças (2002), são aquelas retidas nos sedimentos, desde a formação dos referidos depósitos, ou foram recarregadas em períodos climáticos favoráveis, a exemplo do que ocorre no *High Plains e Great Plains* (USA) cuja última fase de recarga mais abundante parece ter ocorrido durante o último período glacial.

Para o mesmo autor (op. cit) águas de origem juvenil, por sua vez, são aquelas “geradas pelos processos de formação das rochas graníticas magmáticas, principalmente”. O mesmo autor citando Berner e Berner (1987) comenta que esta é estimada em 0,3Km³/área. Salienta que desta forma, a mesma é quase insignificante se comparada aos volumes de água meteórica.

Do total da água disponível no planeta, a água doce é a que assume maior importância, no que se refere aos usos preponderantes, sem depender de meios técnicos e econômicos para tornar as águas salgadas e salobras potáveis para o ser humano. Tundisi (2000, p. 10) comenta sobre a porcentagem de água doce no planeta que, do total de água doce existente no planeta (2,5%), 69,9% estão sob forma sólida, 29,9% são águas subterrâneas, 0,3% localiza-se em rios e lagos e 0,9% localizam-se em outros reservatórios. É por este motivo que a água presente em subsuperfície (29,9%) apresenta grande importância no abastecimento da população mundial.

A demanda tem crescido tanto que chega faltar para a manutenção de populações em certas áreas com carência de abastecimento de água superficial; em áreas densamente povoadas, e em regiões onde a atividade agrícola (agricultura irrigada localizada em desertos e em outras regiões secas) e industrial requer muita água, estimulou-se o desenvolvimento do abastecimento de águas subterrâneas armazenadas em aquíferos¹, o que a torna uma fonte importante de abastecimento de água em todo o mundo.

A água subterrânea é a maior reserva de água doce facilmente acessível. Entretanto, muitos reservatórios de água subterrâneos são essencialmente água “fóssil”, que foi armazenada durante períodos geológicos anteriores e mais úmidos, que agora não está sendo recarregada. Sobre esta questão, Odum (1988, p. 162) afirma que “Infelizmente, grande parte desta água subterrânea foi armazenada em épocas passadas, e os reservatórios em regiões áridas ou não estão sendo abastecidos ou estão sendo reabastecidos a uma velocidade mais baixa do que a de utilização pelo homem. A água subterrânea de regiões áridas, como o petróleo, não é renovável”.

A designação de água subterrânea é, conforme Todd (1959, p. 1), “As águas subterrâneas, mencionadas sem nenhuma outra especificação, são geralmente compreendidas como significando a água que ocupa todos os vazios de um estrato geológico”.

Para Guerra & Guerra (1997, p. 28), água subterrânea é aquela que se infiltra nos solos e nas rochas, caminhando até o nível hidrostático. Sua utilização cresce ano após ano, apresentando vantagens em relação à água superficial, como: não ocupa espaço em superfície; sofre menor influência nas variações climáticas; é passível de extração perto do local de uso; tem temperatura constante; tem maior quantidade de reservas; tem melhor qualidade (física, química, biológica), tem proteção contra agentes poluidores; os poços são construídos à medida que é necessário mais água; e outras.

¹ É aquela litologia porosa e permeável, capaz de ceder água economicamente a obras de captação; exemplo: areia arenito; ou seja, o aquífero é um material geológico capaz de servir de depósito e de transmissor da água aí armazenada; assim, uma litologia só será aquífera se, além de conter água, ou seja, seus poros estando saturados (cheios) de água, permita a fácil transmissão da água armazenada; uma argila pode conter água (e muita), mas certamente não a libera por gravidade (WREGE, M. **Termos hidrogeológicos básicos.** Disponível em: <http://www.abas.org.br/estudos/hidrogeologia/termos_hidrogeo.htm> Acesso em: 24 maio 2003).

As desvantagens podem ser: o poço não dá placa de inauguração; o poço não se vê (ou seja, não tem a importância de uma barragem); a água subterrânea não se vê (o que implica uma série de mistificações); as alturas de recalque da água são maiores (o que implica maior gasto de energia); necessita de pessoal especializado (hidrogeólogo, p/ex.) para sua boa captação; pode ter conteúdo excessivo de sais dissolvidos (Wrege, 2003).

Segundo as palavras de Linsley & Franzini (1978), estudos sobre as águas subterrâneas como das águas superficiais não devem ser tratados como estes fossem independentes entre si.

Ao contrário, muitas correntes superficiais são alimentadas, sobretudo por águas subterrâneas. Em outros casos as águas das correntes superficiais constituem a principal fonte de recarga das águas subterrâneas. As duas fontes de abastecimento são realmente interdependentes e a utilização de uma delas pode afetar a disponibilidade de água na outra. Tanto os problemas das águas superficiais como os das águas subterrâneas devem ser considerados em conjunto nos planos de aproveitamento dos recursos hídricos (Linsley & Franzini, 1978, p. 99).

A ocorrência de água subterrânea se dá em formações geológicas permeáveis conhecidas como aquíferos, que, segundo Batalha (1986, p. 13), designam “Formação porosa (camada ou estrato) de rocha permeável, areia ou cascalho, capaz de armazenar e fornecer quantidades significativas de água”. A água presente nestas formações poderá ocupar os poros não preenchidos por matéria mineral sólida. Estes poros, também conhecidos como vazios, interstícios, poros ou espaços porosos (Todd, 1959), variam de tamanho compreendendo estruturas submicroscópicas em argilas e folhelhos a grandes cavernas e túneis em calcários e lavas, limitados por rocha ou argila impermeável que encerra a água (Linsley & Franzini, 1978; Odum, 1988). Dentre as formações rochosas armazenadoras de água subterrâneas as de maior importância são os depósitos granulares sedimentares (Todd, 1959).

Para se manter os estoques de água subterrâneas em volumes consideráveis para sua exploração há a necessidade da reposição da água que é extraída, ou seja, o recarregamento dos aquíferos subterrâneos pela água das precipitações. Entretanto, a taxa anual de recarregamento vem se reduzindo. Odum (1988) comenta que “... as atividades humanas tendem a aumentar a taxa do escoamento (pavimentando a terra, retificando e canalizando rios, tornando mais compactos os

solos agrícolas, desmatando etc.), o que reduz o recarregamento do muito importante compartimento de águas subterrâneas”.

Com a finalidade de aumentar o abastecimento natural das águas subterrâneas o homem desenvolveu técnicas para reabastecer artificialmente as bacias das águas subterrâneas. O reabastecimento artificial pode ser definido como o aumento da infiltração natural da água de precipitação ou superficial nas formações subterrâneas por algum método de construção, espalhamento de água ou pela variação artificial das condições naturais (TODD, 1959).

Segundo Todd (1959, p. 241), espalhamento de água refere-se à colocação da água sobre a superfície do terreno a fim de aumentar a quantidade da água que se infiltra no terreno e percola até o nível d'água.

A posição privilegiada, que a Terra encontra em relação ao Sol, proporciona condições favoráveis no recebimento de quantidade suficiente de radiação solar e conseqüentemente temperatura ideal para manter a maior parte da água em nosso planeta em estado líquido. Esta mesma radiação é responsável por um fenômeno importante, o ciclo hidrológico, para a movimentação desta água pelo planeta – formando um ciclo fechado – principalmente para as áreas continentais, que são totalmente dependentes das precipitações para a manutenção da vida na superfície das terras emersas.

Para Odum (1988), energeticamente o ciclo hidrológico é representado por dois circuitos, o circuito “ladeira acima” movido pela energia solar (evaporação) e o circuito “ladeira abaixo” (precipitação) com conseqüente liberação de energia utilizável pelos ecossistemas e realizando trabalho útil para o homem, como, por exemplo, a produção de energia hidrelétrica.

Para Todd (1959), dentro do ciclo hidrológico quase todas as águas subterrâneas constituem uma porção do sistema circulatório de águas da terra, fazendo parte deste ciclo. Para Silveira (1993), o ciclo hidrológico “é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre”. Batalha (1986) considera ciclo hidrológico como a “Sucessão de transformações de estado físico e de movimento da água, através da terra e da atmosfera”.

A precipitação é a principal fonte das águas subterrâneas, podendo a água percolar diretamente do solo até juntar-se às águas subterrâneas ou pode cair

diretamente sobre as águas superficiais, cursos d'água, lagos e reservatórios e em seguida, percolar dos alvéolos fluviais para o subsolo (Linsley & Franzini, 1978).

Segundo Manoel Filho (1997), abaixo da superfície do terreno, a água contida no solo e nas formações geológicas é dividida ao longo da vertical basicamente em duas zonas horizontais: zona não saturada (subdividida em três partes) e zona saturada, de acordo com a proporção relativa do espaço poroso que é ocupado pela água (Quadro 1).

Zonas Horizontais	Descrição
1. Zona não saturada, zona de aeração ou zona vadosa.	Situa-se entre a superfície freática e a superfície do terreno e nela os poros estão parcialmente preenchidos por gases e por água.
1.1. Zona de água do solo ou zona de evaporação	Situa-se entre os extremos radiculares da vegetação e a superfície do terreno.
1.2. Zona intermediária	Compreende entre o limite de ascensão capilar da água e o limite de alcance das raízes das plantas.
1.3. Zona capilar	Estende-se da superfície freática até o limite de ascensão capilar da água. Adota-se o conceito de franja capilar como um limite abaixo do qual o solo é considerado praticamente saturado (cerca de 75%).
2. Zona saturada ou zona de saturação	Situa-se abaixo da superfície freática e nela todos os vazios existentes estão preenchidos por água.

Quadro 1 - Distribuição vertical da água no subsolo
Fonte: Manoel Filho (1997)

Na definição de aquífero, tem uma importância grande o tipo de material rochoso das formações geológicas nos reservatórios de água. Segundo Thomas (1952), *apud* TODD (1959, p. 23), “Provavelmente 90 por cento de todos os aquíferos aproveitados consistem de rochas não consolidadas, principalmente cascalhos e areia. Estes aquíferos podem se divididos em quatro categorias, com base na forma de ocorrência: cursos de água, vales abandonados e soterrados, planícies e vales entre montanhas”.

Os aquíferos ocupam, a maioria deles, grandes extensões em área, tornando-se reservatórios subterrâneos de armazenamento. A recarga do aquífero poderá ser por meio natural ou artificial. Para Hirata & Ferreira (2001, p. 45), a recarga dos sistemas aquíferos é feita por dois mecanismos distintos: a natural, com água da precipitação que infiltra no solo e atinge o aquífero, e a induzida, representada por

águas provenientes de fugas das redes de água e esgoto. Os aquíferos podem ser classificados como não confinados ou confinados.

O aquífero não confinado é aquele em que o nível d'água serve como superfície superior da zona de saturação. É também conhecido como livre, freático, ou não artesiano. Por outro lado, o aquífero confinado, também conhecido como artesiano ou aquífero sob pressão, ocorre quando o nível d'água está confinado sob pressão maior do que a atmosférica por estratos subjacentes relativamente impermeáveis (Todd, 1959).

As águas subterrâneas encontram-se em constante movimento abaixo do nível do solo e este movimento varia no tempo e no espaço dependendo diretamente do tipo de formação rochosa atravessada. Este movimento da água está ligado diretamente à permeabilidade das rochas e dos solos.

Para Guerra & Guerra (1997, p. 479), permeabilidade é "(...) a capacidade que possuem certas rochas e solos de transmitir a água pelos poros ou interstícios, sendo expressa pela quantidade de água que passa por uma secção em uma unidade de tempo, segundo um gradiente hidráulico". Existem terrenos que são mais permeáveis que outros. Ela é inerente a certos tipos de rochas como, por exemplo, areias e seixos.

Outro conceito importante no estudo de águas subterrâneas refere-se a percolação. Para Batalha (1986, p. 87), percolação é o movimento de água feito através dos poros ou fissuras de um solo ou rocha, sob pressão hidrodinâmica, exceto quando o movimento ocorre através de aberturas amplas, tais como covas. Este movimento é geralmente lento e dá origem ao lençol freático (Guerra & Guerra, 1997).

Para que a água subterrânea possa ser utilizada para fins mais nobres como o abastecimento público, à qualidade da água é tão importante quanto a disponibilidade em quantidade suficiente para ser minerada (extraída). Entretanto, a qualidade desejada depende de sua finalidade, por exemplo, água potável; água utilizada na indústria ou água para irrigação, há variação na qualidade. Quanto maior a utilização das águas subterrâneas tanto maior é o cuidado visando a sua proteção.

Para o estabelecimento de critérios de qualidade haverá a necessidade da especificação dos padrões químicos, físicos e bacteriológicos, assim como a metodologia com vistas à apresentação dos resultados das análises da água. Desse

modo, será possível identificar se o aquífero está sendo contaminado, qual a substância contaminante e o possível local que originou a contaminação.

Pesquisadores estão permanentemente preocupados com a possibilidade de que as reservas de águas subterrâneas possam ser contaminadas, sejam elas, pelo desenvolvimento tecnológico que a sociedade moderna imprime, ou pelo uso excessivo; a qualidade tende a sofrer as conseqüências. Pensando nesta possibilidade, cientistas, pesquisaram e caracterizaram a vulnerabilidade dos aquíferos subterrâneos.

A proteção dos recursos hídricos subterrâneos é cada vez mais necessária uma vez que a maior parte da água doce, de fácil disposição ao homem, está em lençóis freáticos, portanto, sua preservação é imprescindível a todas as sociedades, como diz Odum (1988), a água é fator limitante maior do que a energia, significando que, sem a água em quantidade e de qualidade, a sociedade não se desenvolve.

A água de aquíferos confinados ou livres poderá ser extraída com a perfuração de poços tubulares (popularmente chamado poços artesianos), que são alternativas baratas ao abastecimento humano, agropecuário ou industrial, mas, para tanto, deverão ser bem projetados e construídos para evitar a contaminação por dejetos domésticos, industriais, fertilizantes, entre outros.

3.2. Vulnerabilidade natural de sistemas aquíferos e risco de contaminação

O conceito de vulnerabilidade de aquíferos, segundo Ribeira (2004), foi inicialmente utilizado por Le Grand (1964), nos EUA, e Albinet & Margat (1970), na França, e mais amplamente nos anos 1980 por vários outros autores (Aller *et al*, 1985; Bachmat & Collin, 1987, Foster, 1987, Foster & Hirata, 1988). Desde então, esse conceito tem sido usado para expressar:

- a) características intrínsecas que determinam a sensibilidade de um aquífero ser adversamente afetado por uma carga contaminante antrópica imposta;
- b) classificação dos aquíferos baseada na importância do recurso hídrico que é ou será utilizado no presente e no futuro incluindo a possibilidade de ser substituído por outro recurso; e
- c) classificação baseada na importância do aquífero em manter áreas ecológicas importantes.

O termo vulnerabilidade tem produzido, em alguns casos, uma certa vulgarização. Desde um ponto de vista geral (que também pode ser atribuído a outros elementos ambientais como o ar, o mar, por exemplo) poder-se-ia definir-se a vulnerabilidade como a sensibilidade ou susceptibilidade que tem um determinado meio, incluindo um determinado território, frente aos impactos de origem natural ou antrópica. Assim, por exemplo, é usual falar de vulnerabilidade dos aquíferos de uma zona determinada frente à contaminação de hidrocarbonetos, ou a vulnerabilidade dos ecossistemas frente a atividades antrópicas (Ribeira, 2004).

A vulnerabilidade natural ou intrínseca nos aquíferos pode ser definida, conforme Ribeira (2004), como uma serie de atributos ou características do mesmo que são o solo, a zona não saturada, os parâmetros hidráulicos do aquífero e a recarga, que controlam a aptidão do aquífero para fazer frente a um impacto indeterminado e sua capacidade de auto-restauração.

No entendimento de Foster (1987 *apud* FOSTER & 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 afetado por uma carga contaminante. Sendo que a vulnerabilidade do aquífero é em função da:

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

Estes dois componentes interagem com os seguintes componentes da carga contaminante no subsolo:

- O modo de disposição do contaminante no subsolo e em particular a magnitude de qualquer carga hidráulica associada;
- A classe do contaminante, em termos de sua mobilidade e persistência.

Esta interação culminará no 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 (Foster & Hirata, 1993, p. 67).

Dependendo do tipo de contaminante, se o mesmo for persistente e não degradável, e gerado por uma atividade contaminante amplamente distribuída, a tendência, ao longo dos tempos, é de todos os aquíferos se tornarem vulneráveis, deste modo, a diluição do contaminante no aquífero pode não diminuir o efeito deste

contaminante (Foster & Hirata, 1993). Para os aquíferos considerados com a menor vulnerabilidade à contaminação, estes tendem a ser os mais difíceis de serem reabilitados, quando contaminados, podendo ser considerados de alta vulnerabilidade à contaminação.

O maior problema para quem depende da água subterrânea, seja para o abastecimento público, para a irrigação ou para a utilização na indústria, está no seu esgotamento e na contaminação dos aquíferos, sobre este assunto Odum (1988) considera que:

O esgotamento não é a única ameaça que paira sobre a água subterrânea. A contaminação por substâncias tóxicas pode ser uma ameaça até maior. Pelo menos, o problema de lixo tóxico apresenta soluções tecnológicas reais, se as sociedades tiverem vontade e capacidade de pagar o preço de proteger um recurso aquático que, a longo prazo, é mais valioso do que o petróleo ou o ouro. Na verdade, seria possível argumentar-se em prol da preposição de que a água doce utilizável é potencialmente um fator limitante maior para a população do que a energia (Odum, 1988, p. 162-164).

Foster & Hirata (1993) salientam que a carga contaminante é proveniente das atividades antrópicas realizadas em superfície. A interação entre as características naturais do aquífero e as atividades antrópicas resultam na caracterização preliminar de áreas de maior ou menor risco de deterioração. Dois instrumentos para a proteção das águas subterrâneas são utilizados em vários países: perímetros de proteção de poços e fontes e mapas de vulnerabilidade à poluição de aquíferos.

Para Hirata (2001) reconhecem-se três situações distintas, segundo o histórico de ocupação do terreno:

- áreas onde as atividades já estão instaladas (fontes potenciais existentes);
- áreas onde já se conhece a contaminação do aquífero (fontes herdadas);
- áreas onde as atividades serão instaladas (fontes futuras).

Em cada um dos casos, a vulnerabilidade de aquíferos pode ser utilizada para priorizar a ação do órgão gestor, buscando aquelas atividades que oferecem maiores perigos de contaminação (interação entre vulnerabilidade e carga contaminante potencial ou restringir ou permitir a instalação de uma atividade segundo a sua vulnerabilidade). Em qualquer um dos casos, a vulnerabilidade de aquíferos pode ser usada no zoneamento do terreno, identificando aquelas atividades que não são compatíveis com os índices atribuídos ao terreno.

Para avaliar ou mapear a vulnerabilidade natural de aquíferos quanto ao risco de contaminação são utilizados vários métodos. A seguir no Quadro 2 apresentam-se alguns dos métodos mais empregados, com seus respectivos fatores de análise.

MÉTODO	AValiação DE	FATORES	REFERÊNCIA
<i>Surface Impoundment Assessment</i>	Sistema de decomposição de águas servidas	- zona não saturada - Importância do recurso - Qualidade das águas subterrâneas - Periculosidade do material	Lê Grand (1964)
<i>Landfill Siste Ranking</i> (Método Le Grand-Brawn)	Aterros sanitários e novos e em operação	- Distância aterro e poço produtores - Profundidade do nível da água - Gradiente do aquífero - Permeabilidade e capacidade de atenuação	Lê Grand (1983)
<i>Siste Ranking System</i>	Disposição de produtos químicos, novos e em operação.	- Solos, caract. Hidráulica sorção e tamponamento químico - Hidrodinâmicas do aquífero - Ar - População próxima	Hegerty <i>et al</i> (1973)
Poluição dos lençóis aquíferos	Vulnerabilidade geral	- Geologia (litologia e estrutura)	Taltasse (1972)
<i>Waste-soil interaction matrix</i>	Disposição de resíduos sólidos e líquidos e novas indústrias	- Efeitos na saúde - Caract. do produto químico - Comportamento do produto - Capacidade do solo/atenuação - Hidrogeologia - Caract. do local	Philips <i>et al</i> (1977)
<i>Siste Ranking Methodology</i>	Disposição de resíduos sólidos e líquidos e novas indústrias	- Receptor população/uso da água/uso local/degradação ambiental - Caminho, nível e tipo de contaminação, profundidade do nível da água, pluviometria, permeabilidade do solo - Caract. do resíduo-toxicidade, persistência - Prática de manejo-aspectos operacionais e construtivos	Kulfs <i>et al</i> (1980)
DRASTIC	Vulnerabilidade Geral	- D profundidade da água subterrânea - R recarga total - A meio aquífero - S solo - T topografia - I impacto na zona vadosa - C condutividade hidráulica	Aller <i>et al</i> (1985)
GOD	Vulnerabilidade Geral	- G Tipo de aquífero - O litologia zona vadosa - D profundidade da água	Foster & Hirata (1988)
<i>Grandwater Vulnerability Map for Nitrate</i>	Potencial de lixiviação de nitrato	- Tipo de solo - Caract. Hidráulica e litológica do aquífero	Carter <i>et al</i> (1987)
<i>Sintacs</i>	Vulnerabilidade Geral	- Igual ao DRASTIC, porém com pesos diferentes.	Civita <i>et al</i> (1990)
Perigo associado a sistema de saneamento <i>in situ</i>	Avaliar áreas de maior risco por sistema de saneamento <i>in situ</i>	- Vulnerabilidade (GOD) - Densidade população - Análises indicadores físico-químicos (Condutividade elétrica)	Ferreira & Hirata (1993)

Quadro 2 - Principais métodos para a determinação da vulnerabilidade à poluição de aquíferos.

Organização: Camponogara, I.

Fonte: Hirata (1999).

Dentre os métodos mais utilizados, dois se destacam: o Modelo de “GOD”, que trata da vulnerabilidade geral (Foster & Hirata, 1988), e o modelo DRASTIC (Aller *et al.*, 1985), que se constitui num sistema padronizado de avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos a partir de dados decodificados em planos de informações e é um dos índices de vulnerabilidade mais difundido atualmente.

A metodologia de DRASTIC foi desenvolvida pela *National Ground Water Association*, e é empregada pela Agência de Proteção Ambiental Norte-americana (US-EPA), constituindo-se num modelo qualitativo para avaliar a poluição potencial das águas subterrâneas usando variáveis hidrogeológicas da região em estudo (Aller *et al.*, 1987). Este modelo foi desenvolvido para avaliar áreas maiores que 0,4Km². As variáveis, denominadas fatores DRASTIC, são relacionadas entre si através de uma equação simples, aplicada a cada unidade geográfica de trabalho. Essa metodologia pode sofrer alterações, ou seja, podem ser feitas adaptações conforme as características específicas da área em estudo.

A outra metodologia muito utilizada para as pesquisas de vulnerabilidade natural à contaminação dos recursos hídricos subterrâneos é a de “GOD”, por Foster & Hirata (1985), que consiste no mapeamento da vulnerabilidade de aquíferos e na definição de áreas de maior risco. Isto se dá a partir do reconhecimento e classificação de atividades humanas que oferecem perigo de contaminação às águas subterrâneas.

A metodologia de “GOD” baseia-se em três parâmetros: o tipo de ocorrência da água subterrânea; as características, em termos litológicos e o grau de consolidação, dos estratos acima da zona saturada, e a profundidade do nível freático ou o teto do aquífero confinado. Embora reduzidas, essas três características contêm, qualitativamente, os parâmetros essenciais para definir a vulnerabilidade de um aquífero quanto ao risco de contaminação.

Esse tipo de trabalho, de caráter expedito, procura tirar partido de dados existentes e levantamentos hidrogeológicos disponíveis, sem que necessariamente sejam utilizados recursos e atividades adicionais. Portanto, são métodos que devem ser claramente diferenciados daqueles que se baseiam em investigações de campo, incluindo amostragens, medições de nível da água e de efluentes e, em muitos casos, perfuração de poços de monitoramento, os quais pertencem a um estágio mais avançado de estudo.

Estas metodologias são muito importantes, pois a demanda de água subterrânea tem-se intensificado nos últimos tempos o que reforça ainda mais o desenvolvimento destes métodos.

Entretanto, é importante ressaltar que antes de se definir qual o método a utilizar é necessário investigar as condições quanto ao risco de contaminação. Neste sentido, Foster & Hirata (1988) propõem um roteiro básico de avaliação, em separado da vulnerabilidade natural do aquífero e da carga poluidora, de cuja interação deve resultar uma caracterização preliminar das áreas de risco (Quadro 3).

NÍVEL DE AVALIAÇÃO	ASPECTOS-CHAVE			ESCALAS DE TRABALHO	
I. Reconhecimento preliminar (existência do risco)	Baseado em dados existentes	Sem amostragem	Ênfase aspectos qualitativos	Perfuração não justificável	Normalmente estado/província 1:250.000 a 1:500.000 (dados 10Km)
II. Avaliação Sistemica (grau de risco)					Normalmente urbano/município 1:50.000 a 1:500.000 (dados 1-2Km)
III. Reconhecimento de campo	Requer coleta de dados de campo	Requer amostragem e análise.	Ênfase aspectos quantitativos	Requer perfuração	Local 1:10.000 a 1:25.000 ou menor (dados 50-100m)
IV. Reconhecimento por rede de monitoramento					Local 1:25.000 a 1:50.000 a 1:50.000 (dados 200-500m)
V. Investigação completa de campo					Local 1:10.000 a 1:25.000 ou menor (dados 50-100m)

Quadro 3 - Níveis de avaliação do risco de contaminação das águas subterrâneas.
Fonte: Foster & Hirata, 1988.

Para as condições brasileiras, considera-se recomendável a realização de trabalhos de reconhecimento básico, em âmbito estadual ou regional (escala 1:250.000 ou 1:500.000), da situação de vulnerabilidade e risco de contaminação dos aquíferos, de modo a identificar e a delimitar áreas potencialmente críticas.

A avaliação da vulnerabilidade natural de uma área e o comportamento de um determinado produto com risco potencial de contaminação constituem procedimentos de alta relevância nos estudos de avaliação de riscos ambientais.

3.3. Parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas

A disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos para determinados tipos de uso depende fundamentalmente da qualidade físico-química, biológica e radiológica (Feitosa e Manoel Filho, 1997). Desse modo, nesta pesquisa abordou-se apenas alguns dos parâmetros físico-químicos, haja vista que para analisar as águas quanto às qualidades biológica e radiológica, é necessário maior custo.

O estudo hidrogeoquímico segundo Heath (1983 *apud* FRANTZ, 2005) tem por finalidade identificar e quantificar as principais propriedades e constituintes químicos das águas subterrâneas, procurando estabelecer uma relação com o meio físico. Os processos e fatores que influem na evolução da qualidade das águas subterrâneas podem ser intrínsecos e extrínsecos ao aquífero.

A água subterrânea tende a aumentar a concentração de substâncias dissolvidas, à medida que, percola nos diferentes aquíferos, mas muitos outros fatores interferem, tais como: clima, composição da água da recarga, o tempo de contato água/meio físico etc., além da contaminação provocada pelo homem (Heath, 1983).

Feitosa e Manoel Filho (1997) comentam que as águas subterrâneas raramente são portadoras de características estéticas perceptíveis, a não ser o sabor decorrente de sais dissolvidos em quantidade excessiva. Enquadra-se nas características de propriedades físicas os seguintes aspectos: temperatura, cor, odor, sabor, turbidez e sólidos em suspensão.

Os parâmetros físico-químicos estudados nesta pesquisa foram caracterizados, a seguir apresenta-se detalhadamente cada parâmetro.

Alcalinidade: conforme Zimbres (2003) a alcalinidade é a medida total das substâncias presentes numa água, capazes de neutralizarem ácidos. Se numa água quimicamente pura for adicionada pequena quantidade de um ácido fraco seu pH mudará instantaneamente. Numa água com certa alcalinidade a adição de uma pequena quantidade de ácido fraco não provocará a elevação de seu pH, porque os íons presentes irão neutralizar o ácido.

O mesmo autor comenta que no caso das águas subterrâneas a alcalinidade é devida principalmente aos carbonatos e bicarbonatos e, secundariamente, aos íons hidróxidos, silicatos, boratos, fosfatos e amônia. A alcalinidade total é a soma da

alcalinidade produzida por todos estes íons presentes numa água. A alcalinidade total de uma água é expressa em mg/L de CaCO_3 .

Condutividade Elétrica: da água é determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions. Os sais dissolvidos e ionizados presentes na água transformam-na num eletrólito capaz de conduzir a corrente elétrica. Como há uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais totais dissolvidos (STD) e a condutividade elétrica, pode-se estimar o teor de sais pela medida de condutividade de uma água.

A condutividade elétrica é um indicador da presença de material orgânico recente introduzido no corpo de água. Sob o Sistema Internacional de Unidades, deve-se utilizar o microsiemens/cm, numericamente equivalente ao micromhos/cm (Porto *et al.* 1991). Ainda segundo o mesmo autor em água pura, a condutividade elétrica é baixa, variando de centésimos de $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C . Quanto maior a concentração iônica, maior a condutividade (boa correlação entre condutividade e concentração iônica para um soluto).

Para Chapman e Kimstach (1998) a condutividade elétrica em águas doces varia de 10 a $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ e para a água do mar é naturalmente da ordem de $50.000 \mu\text{S}/\text{cm}$. Os mesmos autores afirmam que no momento em que a condutividade for igual ou maior que $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$, as águas estão salobras e/ou podem estar poluídas.

Na maioria das águas subterrâneas naturais, a condutividade elétrica da água multiplicada por um fator, que varia entre 0,55 a 0,75, gera uma boa estimativa dos Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na água (Feitosa e Manoel Filho, 1997). Nesta pesquisa será adotado o valor de 0,65 para a obtenção da concentração em mg/L.

Dureza Total: é definida como a dificuldade de uma água dissolver (fazer espuma) sabão pelo efeito do cálcio, magnésio e outros elementos como ferro, manganês, cobre, bário, etc. Alguns sólidos dissolvem-se rapidamente, enquanto outros se ionizam vagarosamente. O carbonato de cálcio se dissocia em íons de cálcio e carbonatos em grau dependente do pH da água, causando incrustações nas tubulações. Em condições de supersaturação, esses cátions reagem com ânions na água, formando precipitados. A água mole (baixa concentração de íons de cálcio) tende a dissolver a incrustação formada pelo carbonato de cálcio, enquanto que a água dura tende a precipitar carbonato de cálcio no interior das tubulações (Hammer, 1979).

Segundo Custódio e Llamas (1983 *apud* Feitosa e Manoel Filho, 1997), as águas com dureza total entre 0 e 50 mg/L de CaCO₃, são consideradas *brandas*. As águas com dureza total entre 50 e 100 mg/L de CaCO₃, são consideradas *pouco duras*. Aquelas com dureza total entre 100 e 200 mg/L de CaCO₃ são consideradas *duras*, e águas com mais de 200 mg/L de CaCO₃ até a saturação, *muito duras*.

OD: Feitosa e Manoel Filho (1997 *apud* FRANTZ, 2005, p.64) citam valores entre 1 e 5 mg/L para este parâmetro no caso das águas subterrâneas.

pH: consiste na medida de concentração de íons H⁺ na água (potencial hidrogeniônico). O balanço dos íons hidrogênio e hidróxido (OH⁻) determinam quão ácida ou básica ela é. A faixa de pH varia de 0 a 14. Se predominar o hidrogênio, a água é ácida (pH abaixo de 7), se predominarem as oxidrilas, ela é básica ou alcalina (pH acima de 7), um estado de neutralidade ou de equilíbrio da água ocorre se o pH for igual a 7 (Porto *et al*, 1991). Na água quimicamente pura os íons H⁺ estão em equilíbrio com os íons OH⁻ e seu pH é neutro. Os principais fatores que determinam o pH da água são a concentração do gás carbônico dissolvido e a alcalinidade. O pH das águas subterrâneas varia geralmente entre 5,5 e 8,5 (Feitosa e Manoel Filho, 1997). De acordo com a Portaria 528 (2004) que estabeleceu os padrões de qualidade de água para o consumo humano, o pH deve variar entre 6,5 e 9,5.

Sólidos Totais Dissolvidos (STD): corresponde à carga sólida em suspensão e que pode ser separada por simples filtração ou mesmo decantação. O termo “sólidos” é amplamente utilizado para a maioria dos compostos presentes em água e que permanecem em estado sólido após evaporação. Sólidos suspensos totais e sólidos dissolvidos totais correspondem aos resíduos não filtráveis e filtráveis respectivamente (Gastaldini e Mendonça, 2001).

A maioria das águas subterrâneas não apresenta sólidos em suspensão e quando um poço está produzindo água com significativo teor de sólidos em suspensão é geralmente como consequência de mau dimensionamento do filtro ou do pré-filtro. As características químicas das águas subterrâneas refletem os meios por onde percolam, guardando uma relação com os tipos de rochas drenados e com os produtos das atividades humanas adquiridos ao longo de seu trajeto. (Zimbres, 2003).

Temperatura: é a amplitude térmica anual das águas subterrâneas em geral é baixa (de 1 a 2° C) e independe da temperatura atmosférica, a não ser nos aquíferos

freáticos pouco profundos, onde a temperatura é um pouco superior à da superfície (Feitosa e Manoel Filho, 1997). A temperatura influencia os processos biológicos, as reações químicas e as bioquímicas, que ocorrem na água e também outros processos como a solubilidade dos gases dissolvidos. A solubilidade dos gases decresce e a dos sais minerais cresce com o aumento da temperatura da água (Porto *et al.*, 1991).

Segundo Chang (2001) foram registradas temperaturas entre 50 e 70 °C em diversos poços profundos localizados sobre o SAG. Segundo o meso autor a temperatura mais elevada foi registrada no município de Cianorte (PR), à profundidade de 1565 m. De acordo com Araújo *et al.* (1999) as águas do SAG na região de afloramentos é menor que 25°C.

A maioria das substâncias dissolvidas, nas águas subterrâneas, encontra-se no estado iônico. Segundo Custódio e Llamas (1983, apud FRANTZ, 2005, p.66) as principais características desses íons são os cátions e os ânions:

Os Cátions são:

Cálcio (Ca^{+2}): nas águas subterrâneas, os teores, em geral, variam entre 10 e 100 mg/L, sua fonte principal são os feldspatos plagioclásios (Feitosa e Manoel Filho, 1997). Segundo Drewer (1997) o cálcio e o magnésio entram no cálculo para obtenção da dureza total. Neste caso para os poços que não tenham valores de dureza total, mas possuem valores de concentração Ca^{2+} e Mg^{2+} , pode-se estimar o valor de dureza total em mg/L de CaCO_3 a partir equação: Dureza total (CaCO_3) = $2,5(\text{mg/L Ca}) + 4,1(\text{mg/L Mg})$.

Magnésio (Mg^{+2}): o magnésio tem propriedades parecidas com as do cálcio; mas é mais solúvel e difícil de precipitar. Juntamente com o cálcio é responsável pela dureza total e produz gosto salobro nas águas. Devido aos minerais fornecedores de magnésio serem mais estáveis diante do intemperismo químico do que os minerais fornecedores de cálcio, o seu teor nas águas subterrâneas é geralmente menor do que o cálcio. Ocorre nas águas subterrâneas entre 1 e 40 mg/L (Feitosa e Manoel Filho, 1997).

Potássio (K^{+}): ocorre em pequenas quantidades ou está ausente nas águas subterrâneas, devido à sua participação intensa em processos de troca iônica, além da facilidade de ser adsorvido pelos minerais de argila e, ainda, de seus sais serem bastante utilizados pelos vegetais. Os teores de potássio nas águas subterrâneas

são inferiores a 10 mg/L, sendo mais freqüentes valores entre 1 e 5 mg/L (Feitosa e Manoel Filho, 1997)

Sódio (Na^+): é um dos metais alcalinos mais abundantes e importantes nas águas subterrâneas. Seus principais minerais fontes são os (feldspatos plagioclásios) sendo pouco resistentes aos processos intempéricos. Os sais formados nestes processos são muito solúveis.

Nas águas subterrâneas o teor de sódio varia entre 0,1 e 100 mg/L, sendo que há um enriquecimento gradativo deste metal a partir das zonas de recarga. Segundo a OMS, o valor máximo recomendável de sódio na água potável é 200 mg/L, no Brasil o valor máximo permitido é 250mg/L conforme a Portaria nº 518/2004.

Os Ânions são:

Bicarbonato (HCO_3^-): este íon não se oxida nem se reduz em águas naturais, porém pode se precipitar com muita facilidade como bicarbonato de cálcio (CaCO_3). Sua concentração varia entre 50 a 350 mg/L em águas doces. É o ânion mais importante nas águas subterrâneas.

Carbonato (CO_3^{2-}): a quantidade relativa de íons de carbonato é função do pH e do conteúdo de gás carbônico. Segundo Logan (1965), o carbonato somente excederá o bicarbonato quando o pH for igual ou superior a 10. O carbonato normalmente pode ser encontrado em águas com pH > ou igual a 8,2.

Cloreto (Cl^-): sua alta solubilidade e o movimento lento das águas no aquífero vão provocando aumento gradativos e constantes dos seus teores nas águas subterrâneas na direção do fluxo, seu valor máximo permissível é de 250mg/L segundo a OMS e a Portaria nº518/2004.

Nitratos (NO_3^-): ocorre em geral com pequeno teor e pode ser removido das camadas superiores do solo para a água (Bower, 1978). O nitrato representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica e teores acima de 5mg/L podem ser indicativos de contaminação da água subterrânea por atividade humana (esgotos, fossas sépticas, depósitos de lixo, etc.). A presença de nitrito na água subterrânea é um indicativo de poluição recente.

As águas subterrâneas apresentam geralmente teores de nitrato no intervalo de 0,1 a 10 mg/L, porém, em águas poluídas, os teores podem chegar a 1.000mg/L (Feitosa e Manoel Filho, 1997).

Segundo Cederstrom (1964) beber água com muito nitrato é perigoso para senhoras grávidas porque elas dão a luz a crianças azuis, crianças onde falta à circulação do sangue. A doença das crianças azuis ou crianças normais que ficam doentes devido a ter bebido água com nitrato chama-se “cianose”.

Sulfato (SO_4^{2-}): origina-se da oxidação do enxofre presente nas rochas e da lixiviação de compostos sulfatados (gipsita e anidrita). As águas subterrâneas apresentam geralmente teores inferiores a 100 mg/L.

Flúor (F^-): o F^- possui solubilidade limitada e pouco contribui para a alcalinidade da água, pois se hidrolisa rapidamente. Suas concentrações estão entre 0,1 e 1,5 mg/L nas águas naturais, podendo chegar até 10 mg/L e, raramente a 50 mg/L em águas muito sódicas com pouco cálcio. A presença de cálcio limita a concentração de flúor (Feitosa e Manoel Filho, 1997). O limite ótimo de fluoreto para uma dada comunidade depende das condições climáticas, principalmente a temperatura do ar, que influenciará na quantidade de água ingerida pelas crianças ou adultos, além dos hábitos alimentares, pois alguns alimentos contém fluoretos (Souza, 2001 apud FRANTZ, 2005).

Silvério da Silva *et al.* (2000) estudaram as concentrações de flúor em 28 poços tubulares do município de Santa Maria, constatou apenas três valores acima do VMP (valor máximo permissível) estipulado pela Portaria N° 518/2004, fixado em 1,5mg/L. Em 2002 citaram-se valores de até 11 mg/L em águas subterrâneas do SAG nos municípios de Venâncio Aires e Santa Cruz do Sul, sugerindo que nem todas as águas do SAG são doces, nem potáveis.

3.4. Sistema Aqüífero Guarani

O Sistema Aqüífero Guarani é considerado o maior manancial de água doce subterrânea transfronteiriço do mundo, estendendo-se desde a Bacia Sedimentar do Rio Paraná – Brasil, Paraguai e Uruguai – até a Bacia do Chaco – Paraná na Argentina, principalmente. Está localizado (Figura 2) no centro-leste da América do Sul, entre as coordenadas 12° e 35° de latitude sul e 47° e 65° de longitude oeste, ocupando aproximadamente 75% da bacia do Paraná. Tem extensão total aproximada de 1,2 milhões de Km², sendo 840 mil Km² no Brasil, 225,5 mil Km² na Argentina 71,7 mil Km² no Paraguai e 58,0 mil Km² no Uruguai (Rocha, 1997).

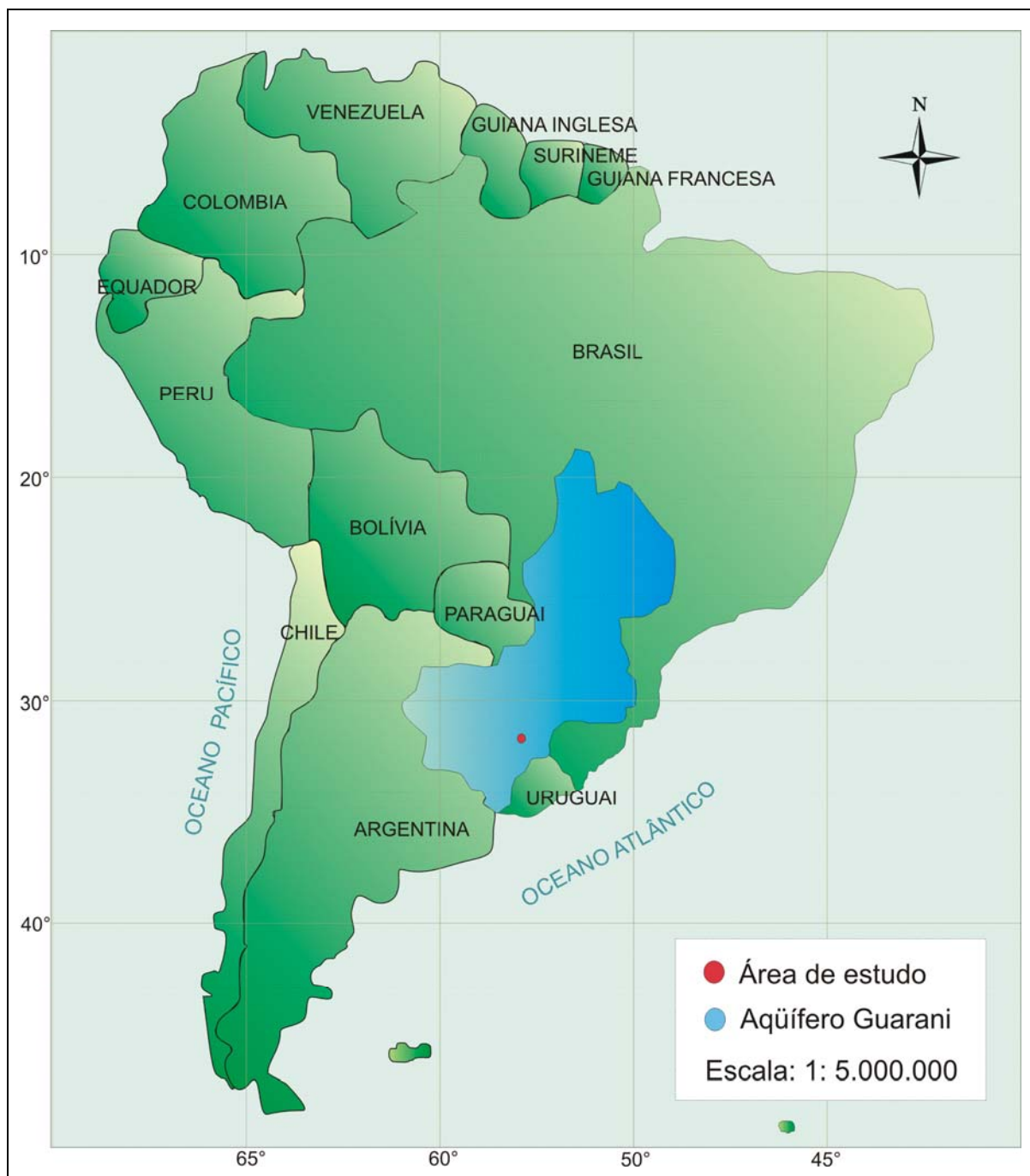


Figura 2 - Mapa esquemático do Sistema Aquífero Guarani na América do Sul.
Org.: Camponogara, I.

O termo Aquífero Guarani é a denominação formal dada ao reservatório transfronteiriço de água subterrânea doce, formado pelos sedimentos flúvio-lacustres do período Triássico (245-208 milhões de anos) – formação Pirambóia e Rosário de Sul no Brasil, Buena Vista no Uruguai; e sedimentos eólicos desérticos do período Jurássico (208-144 milhões de anos) – formações Botucatu no Brasil, Misiones no Paraguai e Tacuarembó no Uruguai e Argentina, (Rocha, 1997). Esta denominação foi dada em homenagem à nação Guarani que habitava essa região nos primórdios

do período colonial. Vale salientar que este sistema aquífero foi primeiramente denominado de Aquífero Gigante do Mercosul, por ocorrer nos quatro primeiros países participantes do referido acordo comercial (Araújo *et al.* 1995).

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, de idade triássico superior a jurássico inferior (190 milhões de anos atrás). Este arenito foi depositado em ambiente desértico, o que explica as características que faz dele um ótimo reservatório de água: Os grãos sedimentares que o constituem são de grande homogeneidade, havendo pouco material fino (matriz) entre os mesmos. Isto confere a este arenito alta porosidade e alta permeabilidade. A arquitetura do pacote sedimentar que constitui o Aquífero Guarani é resultante da presença dos derrames de lavas basálticas sobre eles depositados; da atividade de falhamentos e arqueamentos regionais; e do soerguimento das bordas da bacia sedimentar do Paraná.

A espessura total do aquífero varia de valores superiores a 800 metros até a ausência completa de espessura em áreas internas da bacia. As variações na espessura são atribuídas ao controle estrutural durante a deposição e ao controle erosional do ambiente desértico. As reservas permanentes, água acumulada ao longo do tempo, são da ordem de 45.000Km³, considerando uma espessura aquífera média de 250m e porosidade efetiva de 15%, e corresponde à somatória do volume de água de saturação do aquífero mais o volume de água sob pressão.

A combinação da qualidade da água ser, regra geral, adequada para consumo humano, em função do aquífero apresentar boa proteção contra os agentes de poluição que afetam rapidamente as águas dos rios e outros mananciais de água de superfície, aliado ao fato de haver a possibilidade de captação nos locais onde ocorrem as demandas e serem grandes as suas reservas de água, faz com que o Aquífero Guarani seja o mais econômico, social e flexível para abastecimento do consumo humano na área. O teor médio de sólidos totais dissolvidos está ao redor de 200mg/L, sendo uma ótima água para consumo humano. Porém, alguns poços perfurados no Paraná forneceram água com teor elevado de flúor (12mg/L), sendo impróprio para consumo humano. Ao que parece esta não é a química predominante das águas do aquífero.

Em regiões onde o aquífero está a mais de 1000m de profundidade a água pode atingir temperaturas de até 50°C, sendo muito útil em alguns processos industriais, hospitais, no combate à geada e para fins de recreação e lazer.

O aquífero pode ser dividido em três zonas principais no que se refere à proteção de sua imensa reserva de águas. Primeiramente as zonas de exposição livre do aquífero, onde o risco de contaminação é grande e onde a exploração é maior, mais barata, porém de menor intensidade pontual. Posteriormente têm-se as zonas produtoras de confinamento, onde o grau de proteção do aquífero é bem maior, pois os outros aquíferos sobrepostos a ele "filtram" a recarga. Por fim a terceira é a zona de descarga do aquífero, próxima ao centro da bacia, e que usa o Rio Paraná como descarga (Viana, 2003).

Desta forma, para cada uma das diferentes zonas que compõem o aquífero, deve-se ter medidas protetoras e de controle diferenciadas em relação à exploração desse recurso, bem como das atividades econômicas desenvolvidas em cada uma destas áreas.

3.6. Caracterização dos Sistemas de Informação Geográfica

Dangermond (1992) conceitua esses sistemas como um conjunto de *hardware*, *software* e dados geográficos projetados eficientemente para adquirir, armazenar, atualizar, manipular, analisar e visualizar todas as formas de informações geograficamente referenciadas.

O SIG faz parte de um grupo maior de tecnologias chamado de geoprocessamento. Para Burrough e McDonnell (1998), o SIG é mais que um simples automatizador de tarefas existentes, ele propicia ambos, um arquivo de dados espaciais na forma original e uma ferramenta para a exploração de interações entre processos e modelos em fenômenos espaciais e temporais.

De acordo com Doyle e Gray (1995), o aspecto mais importante no estabelecimento de um SIG, bastante funcional e acessível, é a organização do banco de dados. O estágio de montagem do mesmo requer sérias considerações a respeito dos objetivos a serem alcançados.

O SIG utilizado no presente estudo foi o *Spring 4.2*. O *software Spring* (Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas) é um banco de dados

geográfico de segunda geração, gratuito, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com as seguintes características:

- opera como um banco de dados geográfico sem fronteiras e suporta grande volume de dados (sem limitações de escala, projeção e fuso), mantendo a identidade dos objetos geográficos ao longo de todo banco;
- administra tanto dados vetoriais como dados matriciais (*raster*), e realiza a integração de dados de sensoriamento remoto num SIG;
- possibilita um ambiente de trabalho amigável e poderoso, por meio da combinação de *menus* e janelas com uma linguagem espacial facilmente programável pelo usuário (LEGAL - Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra);
- consegue escalonabilidade completa, isto é, ser capaz de operar com toda sua funcionalidade em ambientes que variem desde microcomputadores a estações de trabalho de alto desempenho.

Um SIG pode ser utilizado em estudos relativos ao meio ambiente e recursos naturais, na pesquisa da previsão de determinados fenômenos ou no apoio a decisões de planejamento, considerando a concepção de que os dados armazenados representam um modelo do mundo real (Richards, 1986). Entretanto, para que os elementos básicos de um determinado SIG possam ser utilizados de forma eficiente, é de fundamental importância que os profissionais ou responsáveis pelo projeto, implementação e uso do sistema sejam pessoas adequadamente capacitadas e com visão do contexto global.

3.7. Geoestatística

Atualmente, a geoestatística é um nome associado a um conjunto de técnicas utilizadas para analisar e inferir valores de uma variável distribuída no espaço ou tempo (Câmara *et al.*, 2000). A geoestatística é, pois, uma das ferramentas da análise espacial de dados. Na realidade, as propriedades naturais de uma determinada superfície são espacialmente contínuas. As amostras pontuais formam um subconjunto limitado em relação à quantidade de posições e valores possíveis dentro de uma área de interesse. Sendo assim, para se obter valores em posições não amostradas utilizam-se algoritmos inferenciais que se baseiam no conjunto amostral disponível.

Os SIG atuais incorporam vários algoritmos de inferência para espacializar propriedades segundo uma estrutura de grade regularmente distribuída no espaço. Entretanto, raramente essa espacialização é acompanhada de informações sobre a qualidade dos dados gerados e estas são importantes para apoiar decisões baseadas nos mesmos (Felgueiras *et al.*, 1999).

Para Silva (2003), produzir superfícies contínuas a partir de dados pontuais, determinados tratamentos matemáticos são necessários para a exportação de suas características não espaciais, além de suas áreas de abrangência. Para implementar tais procedimentos, é importante selecionar métodos adequados de interpolação. A escolha de um determinado método de interpolação é uma decorrência da disposição geográfica dos pontos e da utilização de critérios estatísticos. Entre os principais métodos de interpolação têm-se conforme demonstra o Quadro 4, inverso do quadrado da distância, *krigagem*, curvatura mínima, métodos multiquadráticos e triangulação de *Delaunay*.

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

Quadro 4 - Principais métodos de interpolação e sua descrição

Fonte: Silva (2003).

As implicações na escolha de método de interpolação mais conveniente têm repercussões significativas quando os dados são exportados para um ambiente de SIG, pois eles serão cruzados com inúmeros outros, a partir de regras apropriadas, e a posição geográfica das áreas é fator decisivo. Percebe-se que cada método de interpolação define limiar específico. Isto tem reflexos importantes nos dados espaciais, pois essas diferenças interferem significativamente no posicionamento

geográfico dos intervalos que estão sendo considerados (Berry, 1997). Dentre os métodos citados, nesta pesquisa utilizou-se da *Krigagem*, assim, a seguir apresentam-se mais detalhes a respeito deste método.

As técnicas de geoestatísticas de inferência, conhecidas por *krigagem*, consideram os atributos ambientais como variáveis aleatórias, o que possibilita a modelagem das incertezas associadas às inferências. Essas técnicas têm sido utilizadas, com frequência, para espacialização de atributos ambientais amostrados pontualmente (Oliver, 1990 *apud* CAMARGO, 1997).

A *krigagem* para Deutsch (1998) é um estimador de média ponderada local que utiliza o critério de minimização da variância de estimação para definir os pesos associados a cada amostra considerada. Além disso, esse critério permite a criação de um mapa de incertezas de estimação associado ao mapa de atributos espacializados. Estas são as principais vantagens do interpolador de *krigagem* em relação a outros interpoladores de média ponderada, cujos ponderadores são, em geral, definidos por paradigmas subjetivos.

Para Camargo *et al.* (2004) a *krigagem* compreende um conjunto de técnicas de estimação e predição de superfícies baseada na modelagem da estrutura de correlação espacial. A hipótese implícita no procedimento geoestatístico é que o processo estudado é estacionário. O que diferencia a *krigagem* dos outros métodos de interpolação é a estimação de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado. Além disso, a *krigagem* também fornece estimadores com propriedades de não tendenciosidade e eficiência.

A *krigagem* é um método geoestatístico que tem provado ser usual e popular em muitos campos de atividades. Este método produz recursos visuais de mapas com informações espaçadas irregularmente. A *krigagem* busca expressar tendências sugeridas em seus dados, tais como, por exemplo, pontos elevados podem ser conectados ao longo de uma crista ou de um pico, de preferência a um tipo de contornos isolados como na *mosca* de um alvo. A *krigagem* é um método de malhas muito flexível. Pode-se aceitar que o padrão da *krigagem* pode ser um ajuste para um arranjo de dados, especificando-se um modelo de variograma.

Para esta pesquisa utilizou-se do método geoestatístico *krigagem*, para a espacialização de informações, com o programa *Surfer 8*. Neste programa (*Golden*

software, 2002) a *krigagem* é definida como um interpolador exato ou suavizador, dependendo do uso específico dos parâmetros.

Segundo Zingano (2004), o *Surfer* é um *software* de interpolação para gerar curvas de isovalores e superfícies, baseados em um *grid*. O *grid* é formado por uma malha regular de valores que são gerados pela interpolação dos dados amostrados em campo. Esses dados, geralmente, estão espaçados irregularmente. O *Surfer* atribui a extensão [GRID] para o arquivo “*grid*”. O *Surfer* possui vários métodos de interpolação que devem ser selecionados conforme o tipo de dado que está sendo interpolado e que represente melhor a realidade do local. A seguir estão os métodos de interpolação que o *Surfer* oferece: Inverso de distância; *Krigagem*; Curvatura mínima; Ponto mais próximo; Regressão polinomial; Função *radial basis*; Método de *Shepard*; Triangulação com interpolação linear.

A interpolação por *krigagem* utilizada no *Surfer* é a *krigagem* ordinária pontual. Antes de aplicar a interpolação por *krigagem*, o usuário deve realizar um estudo de continuidade espacial sobre os dados. Esse estudo é imprescindível para correta utilização do método, por ser a base da geoestatística e o diferencial sobre os outros métodos de interpolação. Nesta pesquisa adotou-se como interpolador a *krigagem* pelo fato desta representar melhor a variabilidade dos dados espacializados, anisotropia, variações em diferentes direções.

Contudo, atualmente tem-se observado uma ampla utilização de técnicas de geoestatísticas em várias pesquisas, através de programas computacionais, com o intuito de obter melhores resultados em análises espaciais de fenômenos, principalmente relacionados ao meio ambiente.

3.8. Cartografia da informação hidrogeológica

A localização e a sedentarização de atividades antrópicas estão historicamente atreladas à disponibilidade dos recursos hídricos. O valor monetário atribuído a este recurso é diretamente proporcional à escassez com que ele se apresenta em cada local. A busca pela redução de custos tem estimulado a sociedade a melhor gerenciar a disponibilidade e uso dos recursos hídricos no tempo e no espaço.

Desse modo, para que se consiga uma gestão eficiente dos recursos hídricos, que proporcione uma oferta em termos de demanda, custo e qualidade adequada à sociedade, diversas técnicas e ferramentas têm sido utilizadas e desenvolvidas. O

mapeamento e localização das águas subterrâneas, com destaque para a identificação em meio cartográfico da quantidade e qualidade da água, dos locais de vulnerabilidade da interação recurso hídrico e atividade antrópica, são ações fundamentais na gerência eficiente dos recursos hídricos subterrâneos.

A integração do desenvolvimento tecnológico da informática e do monitoramento remoto à cartografia convencional gerou o aparecimento das técnicas de geoprocessamento, que constituem um conjunto de ferramentas especialmente adequadas à finalidade de gestão de recursos naturais.

A importância da utilização de SIG para o processamento de dados de hidrogeologia se fundamenta em alguns aspectos, tais como para o armazenamento de grandes quantidades de dados e na geração de informações, estas obtidas pela utilização de técnicas cartográficas de representação espaciais (mapas ou cartogramas) fundamentais para análises. Sem os SIG seria impossível processar tamanha quantidade de informações e muito menos difundi-las em nível mundial. Todavia, atualmente os SIG estão se tornando populares e acessíveis devido a seu baixo custo, pois existe uma variedade de programas computacionais livres e disponíveis a todos os interessados.

O mapeamento por temas de hidrogeologia, em geral, aprofunda cada vez mais a necessidade das ferramentas de geoprocessamento na tomada de decisão. O acesso da informação em qualidade, quantidade com rapidez e facilidade de compreensão são requisitos obrigatórios nos sistemas de gerenciamento. A integração da infinidade de bases cartográficas digitais é fundamental para se reduzir o tempo e o custo de estruturação da informação hidrogeológicas em SIG confiáveis e de fácil acesso.

Prevêem-se impactos positivos na adoção das técnicas de geoprocessamento, pois a geração de bancos de dados codificados espacialmente possibilita ajustes e sobreposições simultâneas de grande número de informações, obtendo-se novos mapas com rapidez e precisão. Os resultados obtidos nestes estudos podem servir de base para a orientação de uso mais racional das áreas de recarga e de maior vulnerabilidade de aquífero ou para outras situações.

Com o advento dos computadores pessoais e a popularização dos modelos numéricos de simulação nas águas subterrâneas, criou-se a errônea impressão de que os métodos de cartografia de vulnerabilidade seriam abandonados (Hirata, 2001). A realidade, entretanto, tem mostrado que a complexidade geológica e a falta

de dados confiáveis para uma simulação matemática têm restringido o seu uso, sobretudo em programas de proteção dos recursos hídricos subterrâneos. Com isso, nos últimos anos, tem-se observado um novo impulso no desenvolvimento e na aplicação de técnicas de vulnerabilidade de aquíferos à poluição.

Existem várias técnicas para a cartografia de vulnerabilidade, muitas das quais baseadas em diferentes critérios e até diferentes enfoques do que se entende como vulnerabilidade. Desta forma, Hirata (2001) ressalta a necessidade de uma ampla revisão sobre o tema, incluindo:

- a) Desenvolver e melhorar o conceito de vulnerabilidade de aquíferos permitindo que seja melhor aceito pela comunidade usuária e de geocientíficos;
- b) Estabelecer critérios básicos e consistentes para o mapeamento de vulnerabilidade de aquíferos.
- c) Testar a validade de métodos de vulnerabilidade baseada em estudos de monitoramento cuidadoso da qualidade das águas subterrâneas, sobretudo quando associados a modelos numéricos de transporte de fluxo e massa na zona não saturada;
- d) Desenvolver métodos de vulnerabilidade em aquíferos complexos, como em aquíferos cristalinos, cársticos e vulcânicos recentes;
- e) Adaptar métodos que permitam uma melhor caracterização de aquíferos multicamadas, especialmente onde a porção superficial já está contaminada e se explore níveis mais profundos.

As técnicas digitais têm revolucionado a cartografia e isso tem permitindo (Vrba & Zaporozec, 1994):

- a) melhorar os métodos de vulnerabilidade, reduzindo o tempo de elaboração de mapas;
- b) normatizar os métodos para se obter atributos básicos;
- c) melhorar a qualidade e precisão na definição das classes de vulnerabilidade, baseada no conhecimento do fluxo e transporte de contaminantes;
- d) incrementar a produção em larga escala de mapas de vulnerabilidade;
- e) atualizar rapidamente os mapas existentes com dados novos, permitindo integrá-los a rotinas de planejamento local e regional.

O mapa é a melhor maneira de representar a vulnerabilidade de aquíferos e, quando elaborado especificamente para cada diferente classe de contaminante,

estes podem ser integrados por meio de sistema de informação geográfica (SIG) e compilados em Atlas da vulnerabilidade de aquíferos.

4. METODOLOGIA

4.1. Procedimentos Metodológicos

A metodologia foi desenvolvida a partir da necessidade de avaliar as condições ambientais, presentes na área e com o intuito de atingir os objetivos propostos. Adotou-se como referencial teórico-metodológico a análise da ambiência de forma sistêmica, pois conforme Chistofolletti (1999), onde existe interação de fluxos e componentes, constitui-se como um exemplo de sistema espacial complexo. Desta forma, na Figura 3 encontram-se sintetizados e descritos de forma mais detalhada em forma de fluxograma, os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento desta pesquisa:

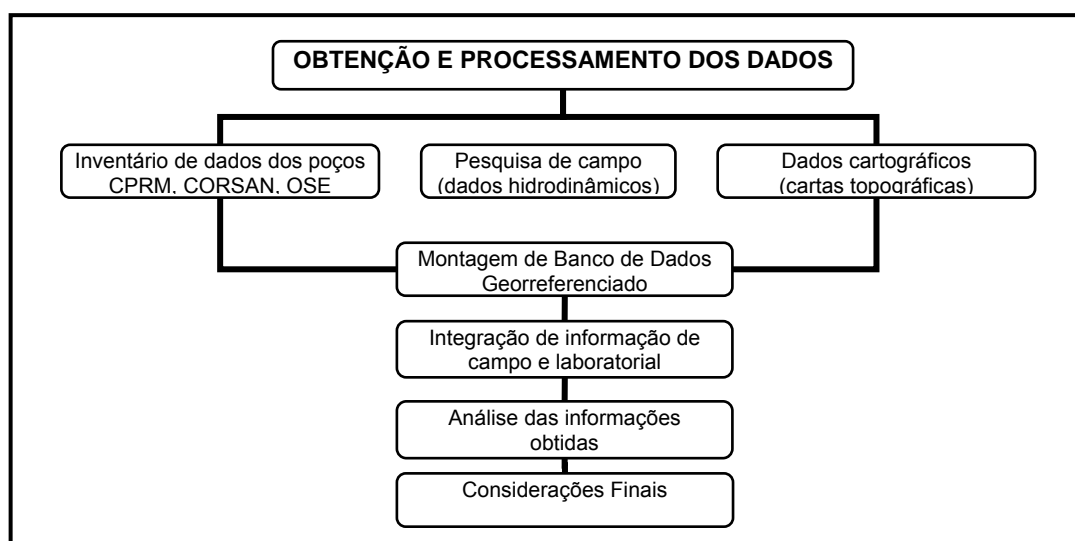


Figura 3 - Fluxograma das etapas de desenvolvimento da pesquisa.

Observando-se a Figura 3, pode-se constatar as distintas etapas pelo qual passou esta pesquisa, para tanto, a primeira etapa constituiu-se de um inventário de todos os dados e de informações existentes a respeito dos poços da área, bem como da seleção de materiais cartográficos e geológico.

Os dados obtidos de inventários são oriundos de empresas como a CPRM (Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais) diretamente do *site* eletrônico *Internet* pelo cadastro de usuários de poços subterrâneos SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas), CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento), do Projeto hidrogeológico da Fronteira Sudoeste do Rio Grande do Sul por Presotto *et al.* (1973), da prefeitura Municipal de Quaraí, da OSE (*Obras Sanitarias del Estado*) e IMA (*Intendencia Municipal de Artigas*), complementados por dados de pesquisa de campo.

Na segunda etapa realizou-se a montagem dos bancos de dados referentes aos dados cadastrais dos poços e dos dados temáticos (mapas). Os dados oriundos dos poços para o cadastro foram organizados e tabulados com o programa computacional *Microsoft Excel*. Esses dados foram tratados com programa computacional *Surfer 8* e aplicando o modelo geoestatístico *Krigagem*, em forma de cartogramas, que posteriormente foram utilizados para integração das informações espacializadas no SGI *Spring*.

Os dados cartográficos para a elaboração dos mapas temáticos foram executados no programa computacional *Spring* (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) na versão 4.2, com o qual fez-se a digitalização dos planos de informação para elaboração dos mapas temáticos.

Para a terceira etapa, realizou-se a integração dos planos de informação, ou seja, a etapa de processamento e sobreposição das informações para a elaboração de mapas, os quais são informações importantes para a avaliação da vulnerabilidade natural da área e referente ao risco de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos. Nesta etapa também realizaram-se análises laboratoriais de parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas, em amostras coletadas em dois períodos.

A quarta etapa consiste na integração das informações armazenadas nos banco de dados obtidas em pesquisa de campo e em laboratório, ou seja, etapa de análises de resultados e discussões de informações. Para a edição final dos resultados, como produtos cartográficos, utilizou-se de programas computacionais

que fazem parte do *Spring (Scarta e Iplot)* e do *CoreIDRAW 12*. Para a redação da pesquisa utilizou-se do *Microsoft Word*.

A última etapa da pesquisa constituiu-se nas considerações finais, ou seja, consiste na etapa reflexão crítica dos resultados obtidos e sua importância científica para este tema abordado. Para a compreensão da metodologia desta pesquisa, a seguir apresentam-se os procedimentos técnicos adotados para a obtenção e tratamento dos dados na geração das informações.

4.2. Procedimentos Técnicos

Para subsidiar a pesquisa tecnicamente foi necessário utilizar várias ferramentas cartográficas e computacionais para obter as informações como também análise laboratorial. Desta forma, a seguir apresentam-se os procedimentos técnicos utilizados em cada etapa da execução da pesquisa e seus respectivos materiais.

4.2.1. Cadastro dos poços

Para realizar o cadastramento dos poços e obter as informações dos mesmos, utilizou-se das informações disponibilizadas na página eletrônica <http://www.cprm.gov.br/bases/siagas>; cadastro de usuários de poços subterrâneos SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas), CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento), prefeitura municipal de Quaraí, do Projeto hidrogeológico da Fronteira Sudoeste do Rio Grande do Sul por Presotto *et al.* (1973), OSE (*Obras e Saneamento del Estado*), *Intendencia Municipal* de Artigas e também dados oriundos de pesquisa de campo.

Desse modo, elaborou-se um novo banco de dados, disposto no Anexo 01, com o uso do programa *Excel 2000*, constando as seguintes informações: o código do poço, local e município, situação do poço, proprietário, latitude e longitude (no Sistema de Coordenadas Geográficas e Sistema Universal Transversa de Mercator-UTM), altitude do local, profundidade, uso, nível estático, nível dinâmico, vazão, tipo de poço (T= tubular, E= escavado, N= nascente), ano de construção, formação geológica, litologia e tipo de aquífero, superfície potenciométrica. As coordenadas dos poços foram obtidas com GPS *GARMIN 12 XLX*, utilizando-se as coordenadas

planas do sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), com opção do Datum SAD 69, acrescidas as constantes 10,000Km e 500Km respectivamente com Meridiano Central 57° W de Greenwich.

4.2.2. Delimitação da área de estudo

Para delimitar a área de estudo elaborou-se o mapa base, utilizando cartas topográficas da DSG (Diretoria do Serviço Geográfico do Exército), sendo as cartas de Quaraí N, folha SH.21-Z-A-II/3-NO (MI-2977/NO) e Quaraí SO folha SH.21-Z-A-II/3-SO (MI-2977/SO) em escala 1:25.000, ambas na escala 1:25000. Como critério para delimitar a área considerou-se a distribuição espacial dos poços na área urbana e entornos, dos quais, de alguma forma influem no abastecimento das cidades ou que podem representar um meio para a propagação de contaminantes até o aquífero.

Assim, para obter o mapa base, as cartas topográficas foram transferidas do modo analógico para digital *raster* via *scanner*. Em meio digital fez-se o mosaico das cartas topográficas com o programa Computacional *Adobe Photoshop*. No aplicativo *Impima* do SIG *Spring* fez-se a mudança do arquivo TIFF para GRIB e no Programa Computacional *Spring 4.2* (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), realizou-se o registro (georreferenciamento) da imagem para posteriormente fazer a digitalização, via tela do computador, dos seguintes planos de informação: limite da área, estradas, rede de drenagem e vias urbanas. A edição do mapa foi realizada por meio do aplicativo *Scarta* do SIG *Spring* e *Corel DRAW*.

4.2.3. Mapa da Distribuição Espacial dos Poços

Para elaborar o mapa da distribuição espacial dos poços, utilizou-se do mapa base, executado no programa computacional *Spring 4.2*, e sobre ele inseriram-se os poços obedecendo as suas coordenadas UTM, ou seja, editaram-se os poços sobre a área de estudo, considerando sua localização espacial. Desta forma pôde-se visualizar e relacionar a outros parâmetros desta pesquisa. A edição final do mapa da distribuição espacial dos poços foi realizada no aplicativo *Scarta 4.2* e *Corel Draw 12* permitindo a interação do usuário.

4.2.4. Mapa da variação do nível estático dos poços

O mapa da variação do nível estático foi gerado utilizando-se as informações provenientes do cadastramento dos poços. Essas informações foram obtidas a partir de medições em campo, em poços onde foi possível introduzir o medidor de nível (freatímetro). Para realizar as medições necessita-se que haja no poço um cano pvc com diâmetro de 2 ou $\frac{3}{4}$, da “boca do poço” até a bomba submersa estes existem nos poços da CORSAN e não nos da OSE. Aos níveis estáticos foi obtido diretamente no site <http://www.cprm.gov.br/bases/siagas>; cadastro de usuários de poços subterrâneos SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas). A partir destas informações e realizada a consistência das mesmas fez-se a espacialização com o programa *Surfer 8*, com o interpolador *krigagem*, em forma de cartogramas.

O cartograma gerado, com a variação do nível estático dos poços, foi exportado e no programa *Corel Draw* onde se realizou a sobreposição com o mapa base, executado no Spring.

4.2.5. Mapa geológico

O mapa geológico foi elaborado com base na geologia da área, averiguada em pesquisa de campo. Através de observações no local de estudo pode-se identificar cada unidade geológica. Assim, demarcou-se a extensão das distintas unidades geológicas sobre as cartas topográficas, observando as coordenadas geográficas de cada área de ocorrência, as cotas altimétricas do terreno e também as características verificadas em vários pontos percorridos na área de estudo.

Posteriormente, em laboratório, transferiram-se as cartas topográficas analógicas para digital, juntando esta informação ao banco de dados já criado no programa *Spring 4.2*, e iniciou-se o processo de digitalização dos distintos planos de informação e pode-se comparar com os resultados obtidos da imagem de satélite, até obter o mapa geológico da área. Para comprovar a veracidade fizeram-se coletas de amostras em diferentes litologias e, no Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geociências da UFSM, realizaram-se as análises granulométricas.

Para a área de estudo identificaram-se 3 classes litológicas, as quais estão apresentadas no Quadro 5 com suas respectivas características:

Formação	Litologia
Sedimentos Cenozóicos	Areias, argilas e cascalhos fluviais.
Formação Serra Geral	Riolitos e riolacitos com disjunção tabular. Basaltos e andesitos toleíticos. Intertraps de arenitos. Lavas basálticas, diques e siltes de diabásio associados.
Formação Arenito Botucatu	Arenitos médios a finos, com estratificação cruzada e de grande porte.

Quadro 5 - Formações litológicas e suas respectivas características

Fonte: Pesquisa de campo e Lab. Hidrogeologia – Departamento de Geociências/UFSM (2005)

Organização: Camponogara, I & Silvério da Silva, J. L.

4.2.6. Mapa clinográfico

Para elaborar o mapa clinográfico foram consideradas as classes de declividade sugeridas por Aller *et al.* (1987) no método DRASTIC e já consagradas universalmente, sendo que a espacialização das mesmas foi realizada com o aplicativo computacional *Spring 4.2*. A declividade pode ser caracterizada como a inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal. Considerando um modelo numérico de terreno (MNT) de dados altimétricos extraídos da carta topográfica e traçando um plano tangente a esta superfície num determinado ponto (P), a declividade em P corresponderá à inclinação deste plano em relação ao plano horizontal.

Para a geração do mapa clinográfico, inicialmente faz-se a digitalização das curvas de nível em MNT (Modelo Numérico de Terreno), a partir das quais cria-se a grade triangular (TIN), com base na triangulação *Delaunay*. Esta serve de base para a geração do mapa clinográfico. Após, faz-se o fatiamento das classes de declividade. Esta é gerada usando-se a média ponderada por cota e por quadrante como critério de interpolação. O fatiamento consiste em gerar uma imagem temática a partir de uma grade retangular. Esta, por sua vez, trata-se de um modelo numérico que representa mais fielmente possível o relevo. Os temas da imagem temática resultante correspondem a intervalos de valores de cotas, denominados no *Spring* de fatias.

Desta forma, um plano de informação da categoria numérica originará um plano de informação de categoria temática representando um aspecto particular do modelo numérico de terreno. Conseqüentemente, a cada fatia deve-se associar uma

classe temática previamente definida no esquema conceitual do Banco de Dados ativo, estabelecendo-se assim as diferentes classes de declividade para a área de estudo. Por fim, para a edição do mapa final utilizaram-se o aplicativo Scarta e programa *Corel Draw 12*.

4.2.7. Mapa de solos

Para a identificação dos tipos de solos foram realizadas coletas de amostras de solo em diferentes locais na área de estudo, ou seja, foi analisada uma amostra para cada uma das 3 unidades geológicas. Estas amostras foram analisadas no Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geociências da UFSM. Os solos foram identificados por meio da avaliação e caracterização, em laboratório, da granulometria das rochas sedimentares e/ou rochas e produtos de alteração, frações de areia, silte e argila, segundo triângulo textural (Vieira, 1975 p. 263). No Quadro 6, apresentam-se as classes de texturas de solos obtidas a partir da análise granulométrica, sendo constatadas 3 classes de solo.

Texturas de solo	Características Granulométricas
Franco arenoso	30% de areia muito grossa, grossa e média, porém menos de 25% de areia muito grossa e menos de 30% de areia muito fina e fina.
Franca	Material do solo que contém de 7 a 27% de argila, de 28 a 50% de silte e menos de 52% de areia.
Franco siltoso	Material do solo que contém de 50% ou mais de silte e de 12% a 27% de argila (ou) 50 ou 80% de limo e menos de 12% de argila.

Quadro 6 - Texturas de solos e suas características

Fonte: Pesquisa de campo e Lab. Sedimentologia – Departamento de Geociências/UFSM (2005)

Organização: Camponogara, I & Silvério da Silva, J. L. (2005)

Para a espacialização cartográfica das unidades de solos utilizou-se do programa *Spring*. Desse modo, inicialmente utilizou-se da base geológica da área; posteriormente, com base nas análises granulométricas realizadas em laboratório, associou-se para cada unidade geológica as respectivas texturas de solos.

4.2.8. Mapa de vulnerabilidade natural

Para se obter o mapa de vulnerabilidade natural utilizou-se das informações provenientes do cadastro dos poços da área estudo, bem como dos mapeamentos descritos anteriormente. Assim, a metodologia utilizada para obter o mapeamento da vulnerabilidade natural baseia-se no modelo DRASTIC, que de acordo com Leite e Möbus (1998) trata-se de um sistema padronizado de avaliar a vulnerabilidade natural dos aquíferos a partir dos dados decodificados em planos de informações (PI's). Na Figura 4 pode-se observar o esquema conceitual do Modelo DRASTIC. Este modelo foi desenvolvido para avaliar áreas maiores de 0,4 km².

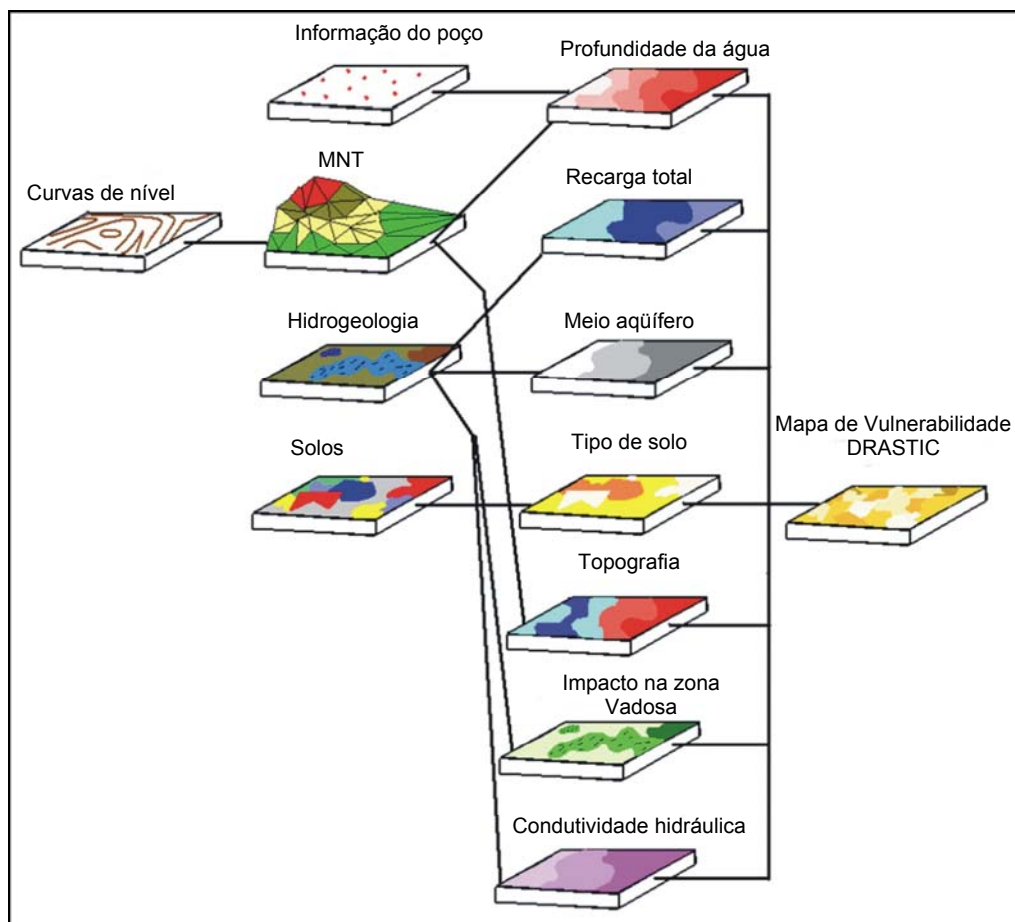


Figura 4 – Esquema de avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos (Modelo DRASTIC).
Fonte: Adaptado de Aller *et. al.* (1987) por Camponogara, I.

O cenário hidrogeológico inclui os principais fatores geológicos e do meio aquífero que conferem o nome à metodologia, sendo que para cada um dos fatores confere-se um peso, o qual está relacionada à maior ou à menor importância que se atribui ao fator na avaliação da vulnerabilidade do aquífero. O Quadro 7 ilustra os fatores DRASTIC, bem como seus respectivos pesos:

Fatores DRASTIC	Pesos (p)
D – Profundidade das águas subterrâneas (<i>Depth to water</i>);	5
R – Recarga total (<i>Recharge</i>);	4
A – Meio aquífero (<i>Aquifer media</i>);	3
S – Solos (<i>Soil media</i>);	2
T – Topografia (<i>Topography</i>);	1
I – Impacto na zona vadosa (<i>Impact of the vadose zone</i>);	5
C – Condutividade hidráulica (<i>Hydraulic conductivity</i>).	3

Quadro 7 - Fatores DRASTIC e seus respectivos pesos (Peso= p)

Fonte: abe.www.ecn.purdue.edu (2002)

Organização: Camponogara, I.

De acordo com o modelo, os fatores DRASTIC são divididos em faixas ou tipos de meios, cada um dos quais é estimado para uma variação entre 1 e 10, com base na significância do potencial de contaminação da água subterrânea ou do tipo de meio. A partir das faixas se estabelece a carga para cada situação. Quanto maior a carga, maior sua vulnerabilidade, ou seja, pior a condição no que se refere à susceptibilidade a contaminação.

Ao conjunto dos sete fatores (DRASTIC) são atribuídos pesos de acordo com a provável contribuição de cada um. Isso é feito com o intuito de se obter e quantificar o chamado índice potencial de poluição. Quanto mais elevado o índice, maior a vulnerabilidade do aquífero. Os fatores DRASTIC estão abaixo descritos:

- Profundidade do lençol freático (**D**): pode ser obtido em campo com medidor jaciri (freatímetro) de apito, com cabo de 100 metros, ou de dados pré-existentes, ou ainda, adquirido no sistema de informações de Águas Subterrâneas do Brasil, na página <http://www.cprm.gov.br>. No Quadro 8 apresentam-se as faixas de profundidade do lençol freático e suas respectivas cargas:

Faixas (m)	Carga (Dc)
0 – 1,5	10
1,5 – 4,6	9
4,6 – 9,1	7
9,1 – 15,2	5
15,2 – 22,9	3
22,9 – 30,5	2
>30,5	1

Quadro 8 - Faixas de profundidade da água subterrânea e respectivas cargas (Dc). (Peso: Dp=5).

Fonte: abe.www.ecn.purdue.edu (2002)

Organização: Camponogara, I.

- Recarga total (R): Segundo Hausman (1995) a infiltração anual para a área estudada varia entre 50 e 100mm/ano, de acordo com a precipitação do local de estudo. Por isso, o intervalo de recarga corresponde ao que varia de 51,85 a 103,7mm/ano e a carga 3. No Quadro 9 ilustra-se esse fator.

Intervalo de recarga em polegadas	Intervalo de recarga em mm/ano	Carga
0 – 2	0 – 51,85	1
2 – 4	51,85 – 103,7	3
4 – 7	103,7 – 181,48	6
7 – 10	181,48 – 259,26	8
>10	>259,26	9

Quadro 9 - Recarga total durante o ano (Peso: Rp= 4).

Fonte: abe.www.ecn.purdue.edu (2002)

Organização: Camponogara, I.

- Meio aquífero (A): Este fator é definido a partir de unidades geológicas e hidrogeológicas, podendo-se associar aos tipos de aquíferos (livres, confinados, semiconfinados, nascentes), disponíveis no *site* do SIAGAS/CPRM. O Quadro 10 ilustra este fator:

Tipo de meio aquífero	Faixa de variação (carga)	Cargas (Ac)
Folhelho maciço (rocha argilosa)	1 – 3	2
Metamórfica/Ígneas (rochas cristalinas)	2 – 5	3
Rochas Metamórficas/ Ígneas intemperizadas (saprólitos)	3 – 5	4
Till Glacial (depósitos de degelo glacial)	4 – 6	5
Calcários, arenitos e folhelhos acamadados	5 – 9	6
Arenito maciço	4 – 9	6
Calcário maciço	4 – 9	6
Cascalho com matriz arenosa (conglomerado)	4 – 9	8
Basalto fraturado	2 – 10	9
Calcário cárstico (poroso)	9 – 10	10

Quadro 10 - Tipos de meio aquíferos e suas respectivas cargas (Ac). (Peso: Ap=3).

Fonte: abe.www.ecn.purdue.edu (2002)

Organização: Camponogara, I.

– Solos (**S**): Este fator pode ser obtido a partir de levantamentos pré-existentes, ou da caracterização da granulometria das rochas sedimentares e/ou rochas e produtos de alteração, frações de areia, silte e argila. Também os tipos de texturas de solos podem ser identificados e espacializados e separados com o uso de imagens de satélite e/ou fotografias aéreas. O Quadro 11 apresenta alguns dos tipos de solos e suas respectivas cargas.

Granulometria	Carga (Sc)
Cascalho	10
Arenoso	9
Turfa	8
Argila agregada e/ou expansiva	7
Franco arenoso	6
Franco	5
Franco siltoso	4
Franco argiloso	3
Turfa	2
Argiloso não expansivo e não agregado	1

Quadro 11 - Solos e suas respectivas cargas (Sc), (Peso: Sp=2).

Fonte: abe.www.ecn.purdue.edu (2002)

Organização: Camponogara, I.

– Topografia (**T**): O fator Topografia pode ser identificado a partir das classes de declividade, identificadas por meio da elaboração da carta clinográfica da área. Neste caso usou-se as classes sugeridas por Leite & Möbus (1998). No Quadro 12 apresentam-se as diferentes classes de declividade e suas respectivas cargas.

Declividade (Topografia)	Cargas (Tc)
0 - 2%	10
2 - 6%	9
6 - 12%	5
12 - 18%	3
>18%	1

Quadro 12 - Classes de declividade e suas respectivas cargas (Tc). (Peso: Tp=1).

Fonte: abe.www.ecn.purdue.edu (2002)

Organização: Camponogara, I.

– Impacto da zona vadosa (**I**): Este fator corresponde àquela região do terreno não saturada em água, que apresenta poros mais gases ($CO_2 + O_2$), podendo sofrer ação dos elementos da biosfera, organismos escavadores, tais como oligoquetas, termitas, raízes, aeração, canalização, etc. É a região que pode sofrer flutuações

sazonais pela flutuação do nível do lençol freático. Este fator pode ser inferido no Quadro 13, bem como suas respectivas cargas.

Tipo de material	Faixa (carga)	Cargas típicas (Ic)
Camada confinante.	1	1
Silte/Argila	2 – 6	3
Folhelho (argilitos laminados)	2 – 6	3
Calcário	2 – 5	3
Arenito	2 – 7	6
Calcário, arenito e folhelho interacamadados	4 – 8	6
Areia e cascalho com significativa matriz siltica ou argilosa	4 – 8	6
Cascalho com pouca areia na matriz	4 – 8	8
Basalto (fraturas, amígdalas, vesículas)	2 – 10	9
Calcário cárstico (rocha porosa)	8 – 10	10

Quadro 13 - Impacto da Zona Vadosa e suas respectivas cargas (Ic). (Peso: Ip=5).

Fonte: abe.www.ecn.purdue.edu (2002)

Organização: Camponogara, I.

– Condutividade hidráulica (**C**): A condutividade hidráulica nas formações geológicas determina a facilidade de percolação de fluídos no subsolo através do aquífero. Nesta pesquisa foram utilizados informações de testes de bombeamento para obter-se a condutividade hidráulica pontual em poços. Desse modo, fez-se o cálculo da transmissividade e permeabilidade pelos métodos de Jacob e Theis, assim obteve-se uma condutividade hidráulica inferior a 4m/d. No Quadro 14 apresenta-se este fator e suas respectivas cargas.

Coefficiente de infiltração m/dia	Cargas (Cc)
0 – 4	1
4 – 12	2
12 – 28	4
28 – 41	6
41 – 82	8
> 82	10

Quadro 14 - Condutividade hidráulica, cargas (Cc). (Peso: Cp=3).

Fonte: abe.www.ecn.purdue.edu (2002),

Organização: Camponogara, I.

Estes fatores, denominados fatores DRASTIC, são avaliados entre si por meio de uma equação, aplicada a cada unidade geográfica de trabalho.

$$\text{Índice DRASTIC} = D_p D_c + R_p R_c + A_p A_c + S_p S_c + T_p T_c + I_p I_c + C_p C_c \quad (1)$$

Onde: D_p , R_p , A_p , S_p , T_p , I_p e C_p = pesos dos fatores DRASTIC.

Onde: D_c , R_c , A_c , S_c , T_c , I_c e C_c = Fator de carga das variáveis nos seus respectivos intervalos de ocorrência.

Para ressaltar a importância deste modelo, pode-se citar que, a partir da espacialização dos índices de vulnerabilidade obtidos por esta metodologia, pode-se identificar as áreas em condições ideais para locação de poços ou mesmo outras atividades, bem como os locais onde não são indicadas para aqueles fins, sugerindo-se então como áreas de preservação permanente (recarga de aquíferos).

No Quadro 15 apresentam-se os intervalos de vulnerabilidade recomendados pela metodologia DRASTIC. Pode-se observar que estes se estendem de uma susceptibilidade mínima, com índice menor que 35 (bem protegida, pouco vulnerável), até um índice máximo, maior que 120 (área de proteção obrigatória, extremamente vulnerável).

Grau de vulnerabilidade	Intervalos dos índices DRASTIC
Área protegida	<35
Área pouco vulnerável	35 – 65
Área vulnerável	65 – 95
Área muito vulnerável	95 – 120
Área de proteção obrigatória (Extremamente vulnerável)	>120

Quadro 15 - Classes de vulnerabilidade e seus respectivos intervalos, segundo Aller *et al.* (1987)

Fonte: Aller *et al.* (1987), extraído de abe.www.ecn.purdue.edu (2002)

Organização: Camponogara, I.

A partir do mapa de vulnerabilidade natural, ou seja, após a definição das áreas mais vulneráveis, estas são avaliadas em termos de risco de contaminação frente às atividades antrópicas existentes, as quais são classificadas segundo seu potencial de ameaça à qualidade da água subterrânea. A associação da vulnerabilidade natural dos aquíferos e o potencial de ameaça das atividades antrópicas permite a caracterização e a classificação do risco de contaminação dos aquíferos,

identificando as áreas mais críticas onde o monitoramento e estudos de maior detalhe devem ser direcionados.

4.2.9. Análise de parâmetros físico-químicos da águas subterrâneas

Para fazer a análise dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas da área, inicialmente fez-se a coleta de 10 amostras água, em poços e fontes. Essas amostras foram analisadas para o parâmetro de Alcalinidade, STD, O.D., temperatura, dureza, pH, C.E., Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , CO_3H , NO_3^{-3} , PO_4^{-3} , Cl^- e F^- , no Laboratório de Análises Químicas – UFSM, objetivando inferir e caracterizar conforme as normas.

De posse das análises laboratoriais realizadas no Laboratório de Análises Químicas – UFSM, organizou-se as informações em banco de dados no programa Excel, para facilitar a interpretação e a comparação dos resultados entre os poços. Para classificar as águas quanto ao tipo, simulou-se no programa Computacional Aquachem 4.0, utilizou-se para isso dos valores dos cátions e ânions das águas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos através do processamento e análise dos dados provindos de diversas fontes e suas avaliações estão apresentados em 2 temas principais, abordados pela presente pesquisa, sendo eles:

5.1) Estudo da vulnerabilidade natural de sistemas aquíferos;

5.2) Análise dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas;

5.1. Estudo da vulnerabilidade natural dos aquíferos

A vulnerabilidade natural dos aquíferos baseia-se em sete fatores intrínsecos ao meio aquífero. Para estabelecer a vulnerabilidade natural dos aquíferos inicialmente realizou-se o cadastro de 134 poços (tubulares e escavados) e fontes, distribuídos em uma área transfronteiriça, de aproximadamente 43,24km² (Figura 5). Em Quaraí, no Brasil, cadastrou-se 79 poços, sendo 12 pertencentes a CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento), 2 poços pertencem a prefeitura municipal de Quaraí e os demais a proprietários privados.

Em Artigas, no Uruguai, cadastrou-se 55 poços, destes 16 são de responsabilidade da OSE (*Obras Sanitarias del Estado*), 5 poços são pertencentes a *intendencia municipal* e o restante a proprietários particulares.

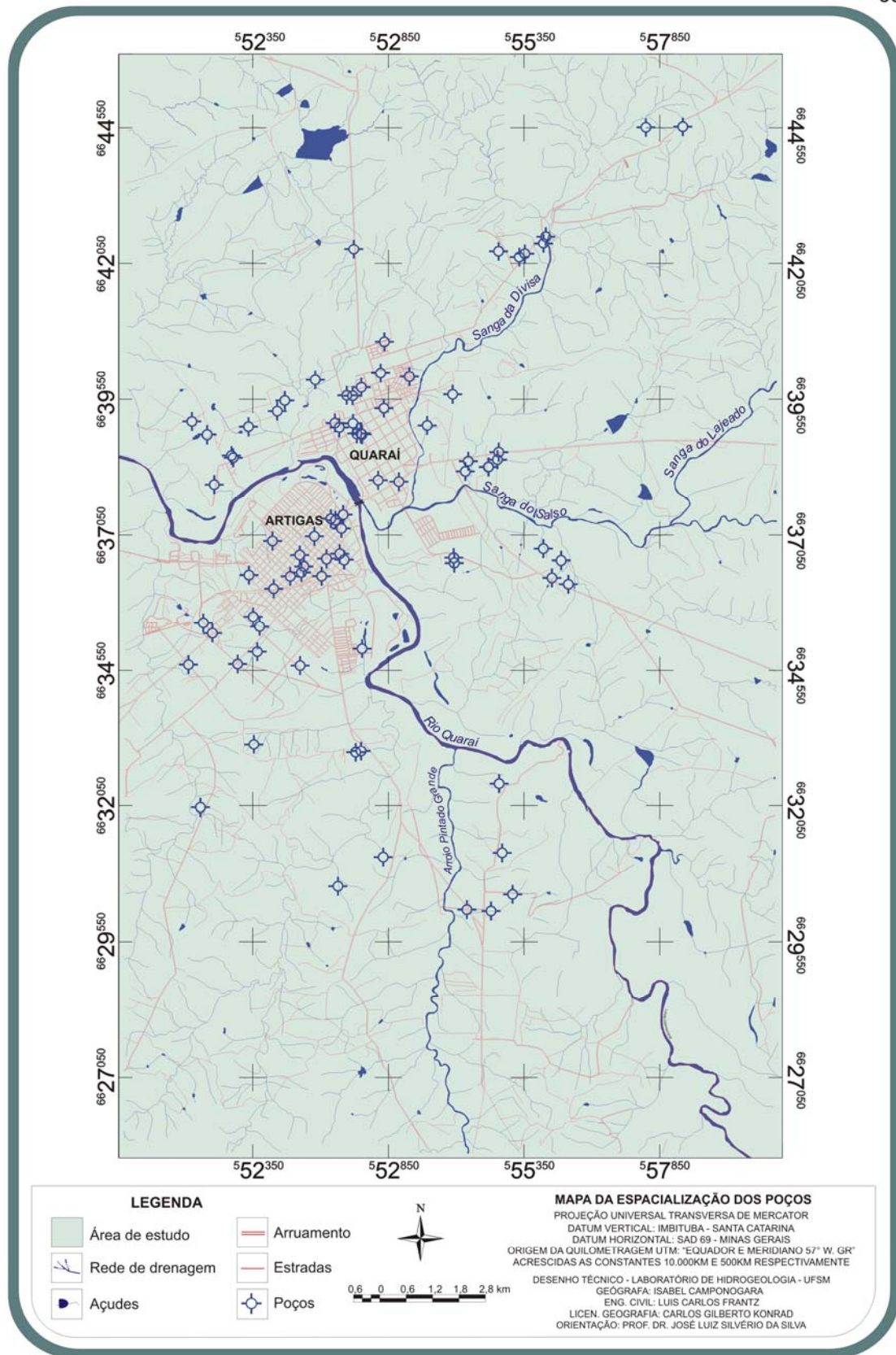


Figura 5 – Mapa da espacialização dos poços da área de estudo

É importante destacar que existem mais poços em relação ao que foi cadastrado para esta pesquisa, porém em virtude de disponibilidade financeira e de tempo, optou-se por apresentar apenas estes, que podem ser conferidos no Anexo 1. Neste pode-se verificar o número de poços cadastrados com suas respectivas informações obtidas para o desenvolvimento da presente pesquisa.

Para aplicar o Modelo DRASTIC, utilizou-se apenas 81 poços, pois não foi possível obter para todos, as informações necessárias para desenvolver a referida metodologia. O Anexo 2 mostra a relação dos 81 poços estudados, suas características e os parâmetros de entrada e saída necessários à determinação da vulnerabilidade natural de aquíferos. É importante destacar que a litologia identificada na área desempenha papel fundamental na aplicação da metodologia DRASTIC, pois através dela pode-se obter as informações a respeito do tipo de aquífero e dos solos. Também estão relacionados com a litologia, a condutividade hidráulica e o impacto na zona vadosa, avaliados separadamente.

Para identificar o fator **Profundidade**, utilizou-se do nível estático dos poços, entendido como sendo o nível da água do poço em situação de não bombeamento, sendo que foi de grande importância para a aplicação do modelo DRASTIC. O nível estático obtido de dados pré-existentes e em pesquisa de campo, através da mensuração do nível estático dos poços, com o uso do medidor (jaciri ou freatímetro), apresentou-se entre o mínimo de zero (0) e no máximo de 60 metros de profundidade. O valor zero corresponde aos poços jorrantes e às nascentes ou fontes que afloram em superfície (Figura 6). Os demais valores correspondem aos níveis dos poços tubulares e escavados.



Figura 6 – Exemplo de nível estático zero nos poços surgente, em Quairai, BR (A) e jorrante em Artigas, UY (B).

No Quadro 16 e na Figura 7 podem-se verificar os resultados obtidos deste fator e a respectiva representação cartográfica. Na metodologia DRASTIC, o fator Profundidade recebe peso 5. Em pesquisas de campo, realizadas em agosto e dezembro de 2004, e em março e julho de 2005, realizou-se as mensurações dos níveis estáticos dos poços, a maior parte deles por meio de medições diretas, com a utilização do medidor Jaciri.

No Quadro 16 pode-se verificar a que intervalo se enquadrou o nível estático de cada poço e o respectivo valor da carga no intervalo.

Intervalos de Nível Estático	Poços no intervalo (código do poço)	Índice DRASTIC (cargas)
0 – 1,5	QUA5B; Q-11; Q-1; PMQ19; PMQ18; PMQ17; PMQ16; OSE-410; A-7; 58-6; 9165.	10
1,5 – 4,6	QUA4; 58-7; 9182.	9
4,6 – 9,1	QUA8; Q-127; Q-126; OSE-1.4.002; EM-831; EM-830; EM-547; A-2; A-113; A-110; 9187; 9170.	7
9,1 – 15,2	PMQ27; PMQ21; OSE-1.4.016; OSE-1.4.012; OSE-1.4.003; EM-735; A-118; A-111; 9180; 9175; 9172; 9168; 9164.	5
15,2 – 22,9	OSE-1.4.013; EM-814; EM-744; EM-734; EM-716; EM-581; A-119; A-114; 9178; 9159; 9155; 9153.	3
22,9 – 30,5	QUA6; QUA3; QUA2B; PMQ32; PMQ30; PMQ03; OSE-Pintado Grande; OSE-1.4.011; OSE-1.4.010; EM-813; EM-796; EM-710; EM-691; EM-676; EM-546; 9179; 9151.	2
>30,5	QUA2C; QUA2; QUA1A; QUA1, Q-128; PMQ23; OSE-1.4.009; OSE-1.4.004; EM-639; A-112; 9171.	1

Quadro 16 - Classificação do Nível estático dos poços nos intervalos e suas respectivas cargas
Organização: Camponogara, I.

Na Figura 7 pode-se verificar que os maiores níveis estáticos dos poços estão na parte centro-oeste e a noroeste, sobre a Formação Serra Geral, em áreas de recarga indireta, e a sudeste, em parte na Formação Botucatu, com recarga direta. Sendo assim, no que se refere ao fator em análise, a situação em que se encontram os com estes níveis estáticos, são considerados em melhores condições sob o ponto de vista da vulnerabilidade, pois, quanto maior o nível estático significa que mais distante está o nível freático da superfície, e em situação menos favorável de ser atingido por um contaminante.

Em relação aos outros níveis estáticos menores, pode-se destacar que as águas estão mais vulneráveis à contaminação, pois o nível freático encontra-se mais próximo à superfície. Desta forma, com a realização de atividades antrópicas potencialmente poluidoras, estas podem atingir as águas subterrâneas.

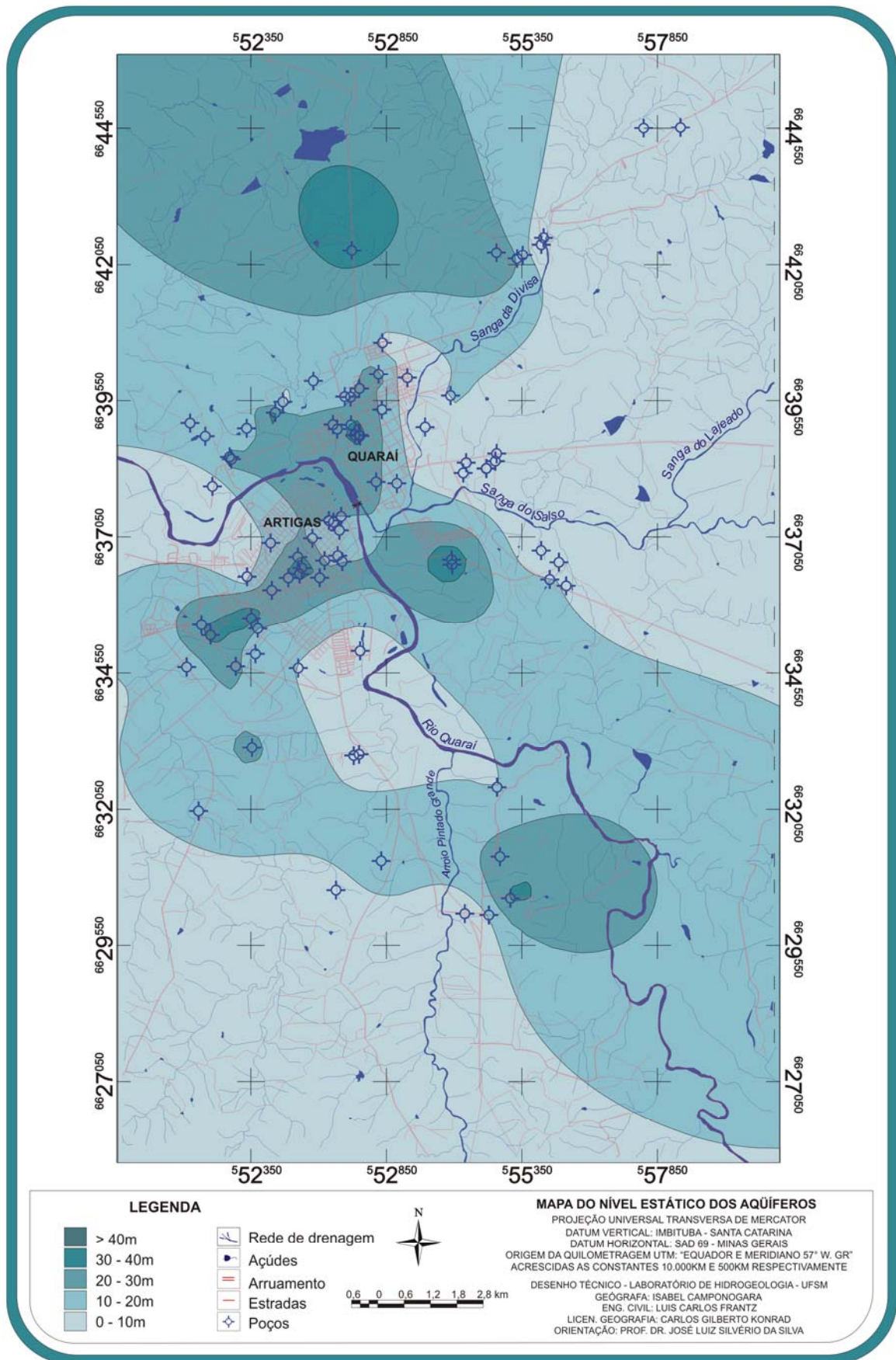


Figura 7 - Mapa da variação do Nível Estático dos poços

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

Na área de estudo tem-se uma precipitação média anual de 1400mm/ano, ou seja, aproximadamente 50 a 100mm/ano se infiltram para recarga do Sistema Aquífero Guarani. Este valor deverá ser confirmado em estudos futuros. Na aplicação do modelo considerou-se que esta infiltração é homogênea para toda a área, uma vez que a mesma possui apenas 243,24Km² e não apresenta variações na precipitação anual em seus diferentes setores. Sendo assim, no que se refere ao fator R, a área em estudo encontra-se no intervalo de recarga de 51,85 a 103,7mm/ano. Este intervalo confere ao fator uma carga igual a 3, conforme o Quadro 17.

Intervalo de recarga em polegadas	Intervalo de recarga em mm/ano	Carga
2 – 4	51,85 – 103,7	3

Quadro 17 - Recarga total durante o ano (Peso: Rp= 4).
Organização: Camponogara, I.

A recarga em aquíferos é um fator de extrema importância, pois através desta se mantêm o equilíbrio do aquífero. No caso de ocorrer superexploração, pode ocasionar problemas de rebaixamento dos níveis freáticos. Por isso, é importante usar a água racionalmente.

O fator **Meio Aquífero (A)** pode ser definido com base nas unidades geológicas e hidrogeológicas ou ser associado aos tipos de aquíferos (confinados, semiconfinados, livres, nascentes). Este parâmetro refere-se à capacidade de atenuação do aquífero, que é função do material que o constitui. Uma rocha de grãos mais grosseiros ou mais fraturados possui menor capacidade de atenuar os poluentes. Na área de estudo constatou-se a presença de aquíferos confinados (Fm. Serra Geral) e não confinados (Fm. Botucatu e Sedimentos Cenozóicos) aflorantes.

A Formações TRjb (Formação Botucatu) enquadra-se no tipo de meio aquífero dos arenitos. Correspondendo aos arenitos e folhelhos acamadados, os quais, por serem menos atenuantes, receberam carga 8.

A Formação Serra Geral (JKsg), a qual está inserida no tipo de meio aquífero dos basaltos fraturados, recebeu nota 3, ou seja, esta é a formação em melhor condição no que se refere ao fator A. Corresponde aos aquíferos confinados, que dificultam a infiltração, conseqüentemente a penetração de substâncias tóxicas não ocorre facilmente, a menos que existam fraturas ou fissuras presentes na unidade geológica, ou ainda vesículas e/ou amígdalas, formando uma porosidade secundária. Ressalta-se que a carga foi atribuída a toda a unidade geológica em análise. Assim, os poços que estão sobre a mesma unidade estão inclusos na mesma situação.

A unidade geológica classificada como Sedimentos Cenozóicos verificada na área, insere-se ao tipo de aquíferos aluviões, nestas áreas, não constatou-se nenhum poço em toda sua extensão. O Quadro 18 permite a visualização dos diferentes meios aquíferos com seus respectivos intervalos e cargas e a distribuição dos poços.

Tipo de meio aquífero	Faixa de variação (carga)	Poços	Cargas (Ac)
Arenitos (Botucatu)	5 – 9	OSE-1.4.016; 58-8	8
Basalto (Serra Geral)	2 – 10	QUA5B; Q-11; Q-1; PMQ19; PMQ18; PMQ17; PMQ16; OSE-410; A-7; 58-6; 9165; QUA4; 58-7; 9182; QUA8; Q-127; Q-126; OSE-1.4.002; EM-831; EM-830; EM-547; A-2; A-113; A-110; 9187; 9170; PMQ27; PMQ21; OSE-1.4.012; OSE-1.4.003; EM-735; A-118; A-111; 9180; 9175; 9172; 9168; 9164; OSE-1.4.013; EM-814; EM-744; EM-734; EM-716; EM-581; A-119; A-114; 9178; 9159; 9155; 9153; QUA6; QUA3; QUA2B; PMQ32; PMQ30; PMQ03; OSE-Pintado Grande; OSE-1.4.011; OSE-1.4.010; EM-813; EM-796; EM-710; EM-691; EM-676; EM-546; 9179; 9151; QUA2C; QUA2; QUA1A; QUA1, Q-128; PMQ23; OSE-1.4.009; OSE-1.4.004; EM-639; A-112; 9171.	3

Quadro 18 - Tipos de meio aquíferos e suas respectivas cargas (Ac) e distribuição dos poços em cada unidade. (Peso: Ap=3).
Organização: Camponogara, I.

Observando-se as informações no Quadro 18, percebe-se que a maioria dos poços estão localizados no aquífero do tipo confinado, da Formação Serra Geral. Estes aquíferos apresentam pequena capacidade de armazenamento de água, por

serem menos permeáveis em função de sua estrutura geológica ser maciça. A Figura 8 apresenta respectivamente os aspectos das formações litológicas presentes na área.

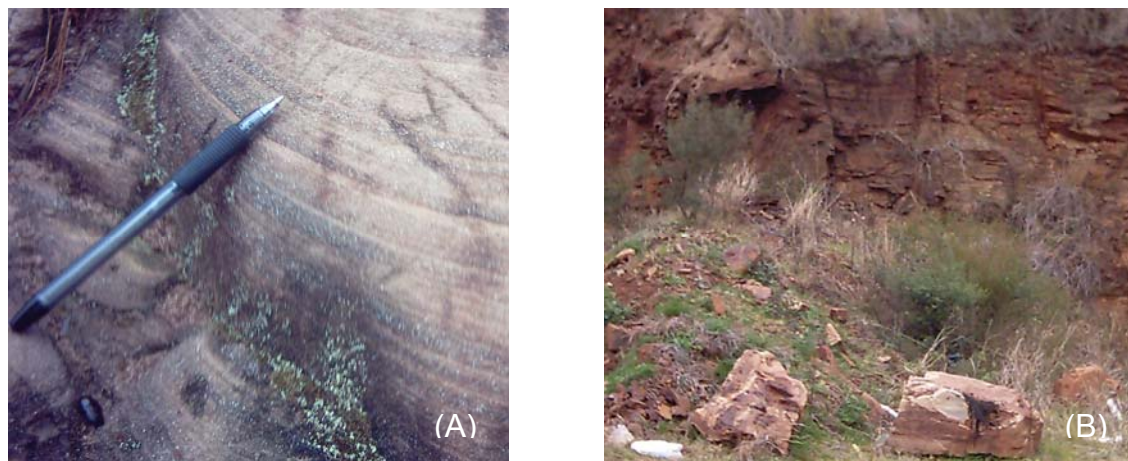


Figura 8 - Aspectos da Fm. Botucatu (A) e da Fm Serra Geral (B)

Observando-se na Figura 8, os aspectos das formações Botucatu e Serra Geral, percebe-se as características que diferenciam os arenitos, da Formação Botucatu, com relação aos basaltos, da Formação Serra Geral.

Os arenitos aflorantes da Formação Botucatu ocupam aproximadamente 5,01Km², o que representa 3,42% da área de estudo que abrange 243,24Km². Aparecem em alguns pontos isolados, aflorando em superfície, assim recebem recarga direta oriunda de chuvas. Apresentam boa permeabilidade e porosidade, por isso, permitem armazenamento e captação de água em grandes quantidades, sendo considerados os melhores aquíferos. Por outro lado, os basaltos, da Formação Serra Geral, ocupam a maior extensão, cerca de 229,9Km², aparecem recobrimdo os arenitos em 94,60% da área de estudo, deixando estes confinados. Os basaltos não permitem acúmulo de água, pois em sua estrutura não ocorrem espaços vazios, como nos arenitos, exceto em suas fraturas ou fissuras.

A unidade geológica Sedimentos Cenozóicos aparece em algumas áreas isoladas a leste e sudeste da área de estudo, em planícies aluviais do Rio Quarai e em outros pequenos rios, nestas áreas não se constatou a presença de poços penetrante. A área de abrangência desta unidade é de 8,33Km², cerca de 3,42% da área total. Na Figura 9 apresenta-se a espacialização cartográfica das formações geológicas presentes na área de estudo.

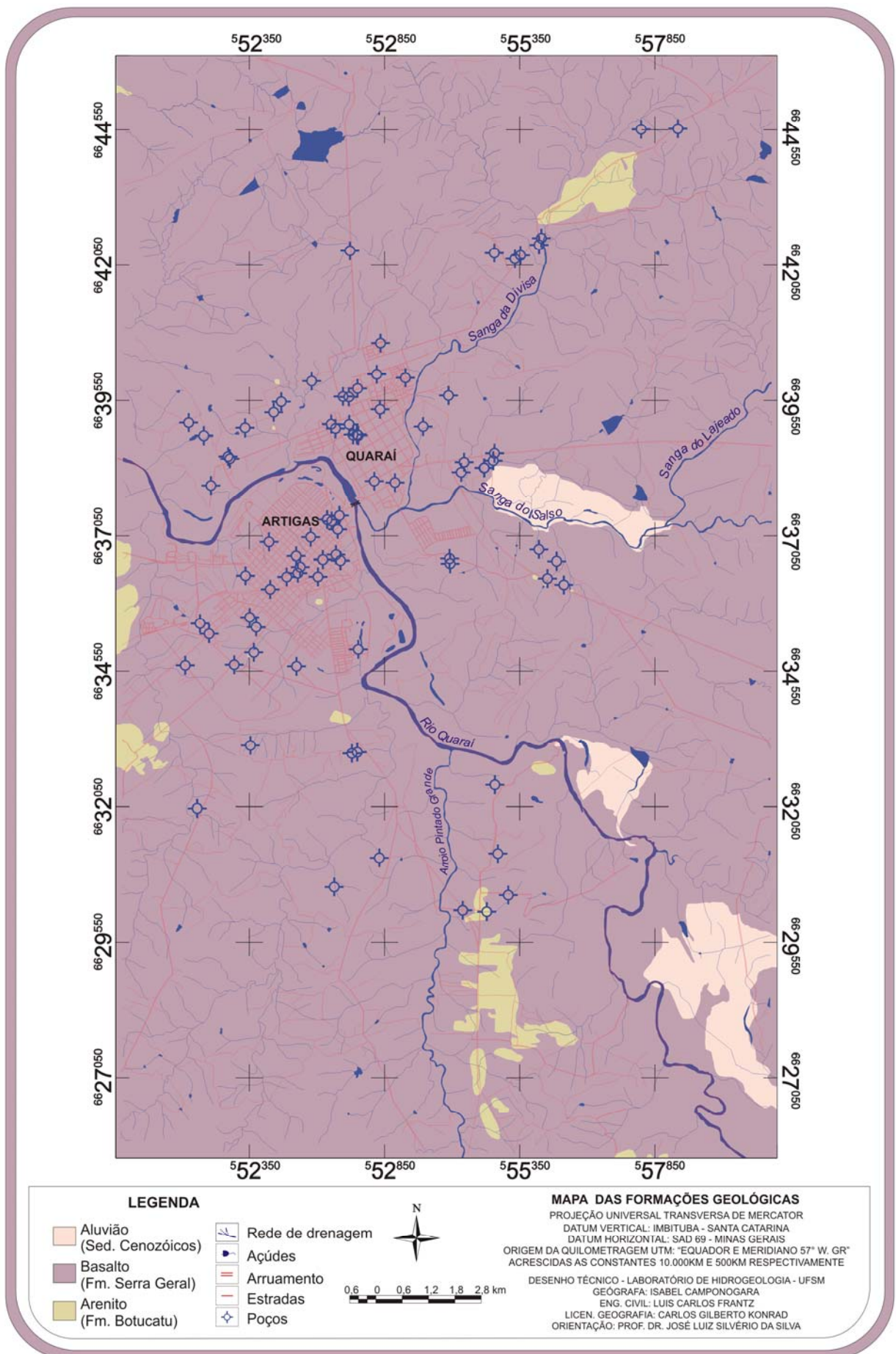


Figura 9 - Mapa das formações geológicas da área de estudo

O fator **Solos** (S) para o modelo DRASTIC recebe peso 2. O enquadramento e pontuação deste fator baseou-se nas amostras coletadas para cada unidade geológica presente na área. A referida análise granulométrica realizada permitiu constatar 3 tipos de solo. As cargas deste fator (S) foram dadas para cada unidade, de acordo com a percentagem de areia, silte e argila, conforme o modelo DRASTIC.

As referidas cargas foram dadas seguindo-se a lógica de que, quanto maior a granulometria de um solo, maior a permeabilidade. Como exemplo pode-se citar a areia muito grossa (1,0 – 2,0 mm) e o silte + argila (< 0,062 mm). O primeiro, de maior granulometria, possui maior permeabilidade que o segundo, de menor granulometria. Um solo que tem maior permeabilidade se caracteriza por deixar a água percolar mais facilmente no seu interior. Sendo assim, a carga contaminante que se infiltra junto com a água sofrerá uma menor atenuação antes de chegar ao aquífero.

O teste de granulometria realizado para as amostras geológicas coletadas da Formação Botucatu de acordo com o triângulo textural, este enquadrou-se no tipo Areia Franca fina, com 50% ou mais de areia fina, menos de 25% de areia muito grossa e média, e menos de 50% de areia muito fina. Esta unidade recebeu carga 6. A área ocupada por esta unidade textural de solos é de 5,01Km², cerca de 3,4% do total de 243,24Km². que corresponde a área de pesquisa.

A amostra coletada da unidade Formação Serra Geral foi classificada, de acordo com o triângulo textural, em Textura Franco Siltosa, com 50% ou mais de silte e de 12 a 27% de argila, ou 50 a 80% de silte e menos de 12% de argila. Assim, esta unidade recebeu carga 4. A área de abrangência corresponde a 229,09Km², o significa que abrange 94,60% do total de estudo No Quadro 19 apresentam-se as classes de solos com os respectivos poços distribuídos em cada intervalo.

A formação geológica Sedimentos Cenozóicos inconsolidados (areias brancas) apresentou uma percentagem de 7 a 27% de argila, de 28 a 50% de silte e menos de 52% de areia. Assim, de acordo com o triângulo textural (Vieira, 1975 p. 263), este solo é classificado como sendo de textura Franca. A área que esta unidade abrange corresponde a 8,33Km², ou seja, ocupa um percentual de 3,42% do total da área.

Na Figura 10 apresenta-se imagem das unidades de solos encontradas na área de pesquisa, assim pode-se constatar as características que os diferenciam.

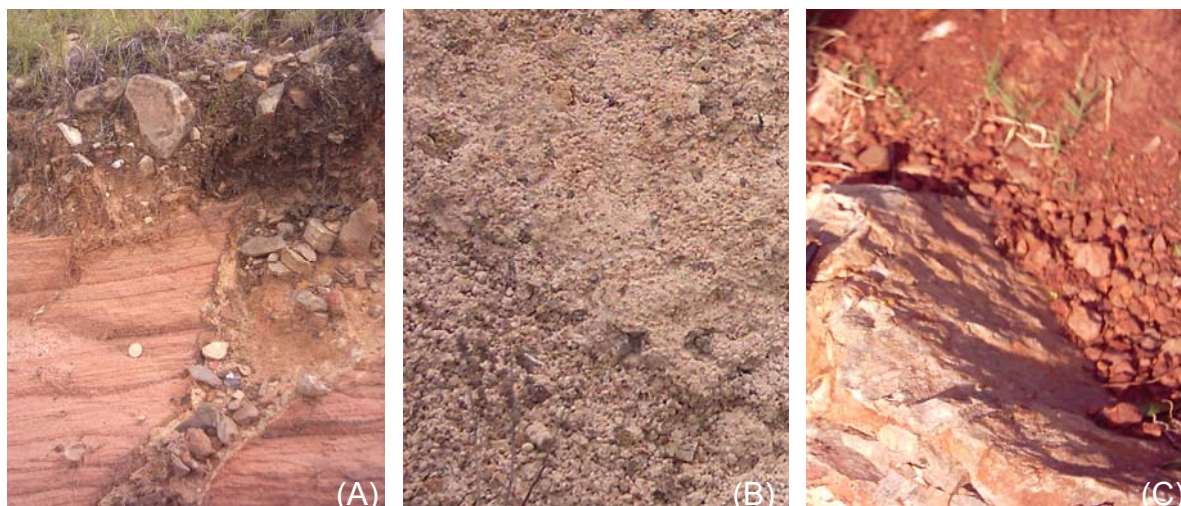


Figura 10- Aspectos das unidades de solos: Areia Franca fina (A), Franca (B) e Franco Siltosa (C).

No Quadro 19, pode-se ver que a maioria dos poços, cerca de 80, estão localizados na unidade de solos Franco siltosa, originário na Fm. Serra Geral. Na unidade de solo Franco arenoso, Fm Botucatu, constatou-se 2 poços. E na unidade de solos Franca (Sedimentos Cenozóicos) não se identificou poços e nem fontes.

Granulometria	Área (Km²)	Poços no intervalo	Carga (Sc)
Franco arenoso (Formação Botucatu)	5,01	OSE-1.4.016; 58-8	6
Franco siltosa (Formação Serra Geral)	229,9	A-7; A-110; A-113; A-118; OSE-1.4.003; OSE-410; EM-813; OSE-1.4.010; EM-639; EM-581; EM-546; OSE-1.4.009; OSE-1.4.004; QUA1; QUA2B; QUA2; QUA2C; PMQ30; 886; QUA3; Q-128; 9182; 9187; QUA2B, EM-716, OSE-1.4.011; OSE-1.4.012; QUA1A; EM-796. A-112; QUA5B; EM-830; A-114; A-119; EM-735; 9175; OSE-1.4.013; QUA6; 9178; 9179; Q5; Q127, OSE-1.4.001; OSE-Pintado Grande; A-111; A-112; EM-676; OSE-1.4.002; EM-710; EM-691; EM-814; EM-744; EM-547; A-2; EM-734; Q-1; Q-126; PMQ16; PMQ19; 9165; PMQ18; 58-6; PMQ03; 9164; 9153; 9159; 9171; PMQ21; PMQ23; 9170; 9155; 9168; 58-7; 9151; PMQ32; QUA8; 9180; Q11; EM-830; EM-831; PMQ17; PMQ27; QUA4.	4

Quadro 19 - Solos e suas respectivas cargas (Sc), distribuição dos poços (Peso: Sp=2).

Fonte: Pesquisa de campo e Lab. Sedimentologia – Departamento de Geociências/UFMS (2005)

Na Figura 11, apresenta-se a representação cartográfica das unidades de solos encontradas na área de estudo, bem como a locação dos poços (tubulares e escavados) e das fontes.

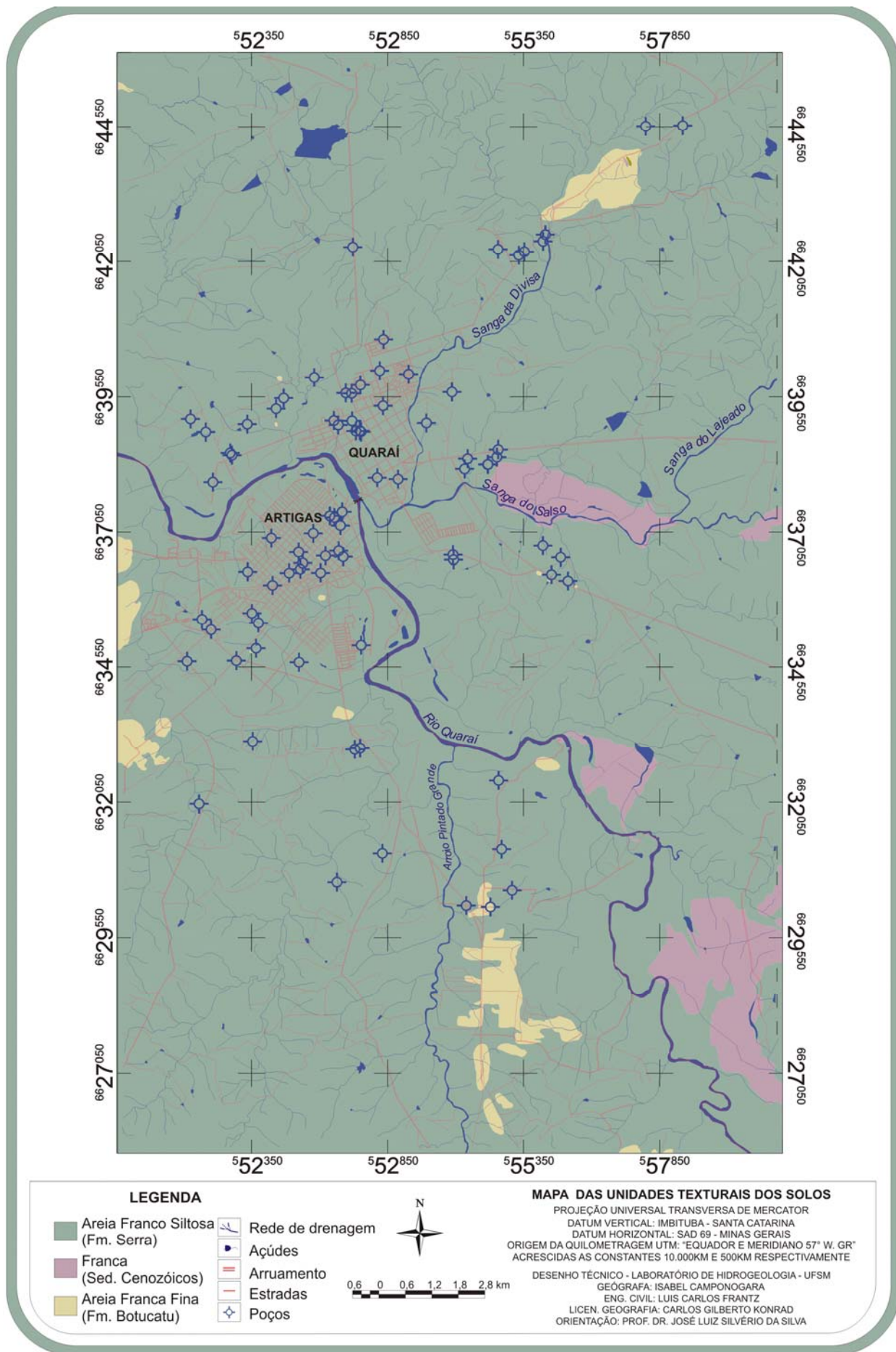


Figura 11 - Mapa das unidades texturas dos solos

O fator **Topografia**, obtido do levantamento da declividade, fornece informações valiosas a respeito das aptidões naturais da terra, ou seja, é revelador dos limites impostos pelo relevo para os diferentes tipos de uso. Neste sentido, é de grande valia para o planejamento de uso de uma área. Este foi identificado com base no Modelo Digital do Terreno (MNT), o qual foi obtido a partir das cartas topográficas.

Nesta pesquisa, especificamente, a declividade é de fundamental importância, pois constitui um dos fatores considerados pelo modelo DRASTIC para o levantamento da vulnerabilidade natural da área. Para o modelo DRASTIC o fator topografia tem peso igual a um (1), ou seja, é o fator considerado de menor importância pelo modelo em questão. A partir dos intervalos de classes do mapa clinográfico foram estabelecidos os diferentes valores de carga para a área conforme pode ser observado no Quadro 20.

Classes de Declividade	Área (Km²)	Poços no intervalo	Carga DRASTIC
0 – 2%	104,07	A-7; A-110; A-113; A-118; OSE-1.4.003; OSE-410; EM-813; OSE-1.4.010; EM-639; EM-581; EM-546; OSE-1.4.009; OSE-1.4.004; QUA1; QUA2B; QUA2; QUA2C; PMQ30; QUA3; Q-128; 9182; 9187; QUA2B, EM-716, OSE-1.4.011; OSE-1.4.012; OSE-1.4.016; QUA1A; EM-796.	10
2 – 6%	73,76	OSE-Pintado Grande; A-111; EM-676; OSE-1.4.002; EM-710; EM-691; EM-814; EM-744; EM-547; A-2; EM-734; Q-1; Q-126; PMQ16; PMQ19; 9165; PMQ18; 58-6; PMQ03; 9164; 9153; 9159; 9171; PMQ21; PMQ23; 9170; 9155; 9168; 58-7; 9151; PMQ32; QUA8; 9180; Q11; EM-830; EM-831; PMQ17; PMQ27; QUA4.	9
6 – 12%	45,23	EM-830; A-114; A-119; EM-735; 9175; OSE-1.4.013; QUA6; 9178; 9179; Q5; Q127, 58-8.	5
12 - 18%	11,17		3
>18%	9,01	A-112; QUA5B.	1

Quadro 20 - Classes de declividade da área de estudo com a distribuição dos poços e cargas sugeridas no modelo DRASTIC (Tc). Área total de estudo: 243,24Km².

Fonte: Lab. Hidrogeologia – Departamento de Geociências/UFSM (2005)

Organização: Camponogara, I.

Verificando-se o Quadro 20 pode-se constatar, que no intervalo de declividade de 0 – 2%, encontram-se 28 poços. Este intervalo recebe carga igual a 10 e

representa 42,8% da área total de estudo. Para o intervalo de 2 -6%, que representa 30,32% da área total, estão 39 poços, e sua carga corresponde a 9. No intervalo de 6 – 12%, que corresponde a 18,6% da área de estudo, constatou-se a presença de 12 poços, e sua carga é 5. No intervalo de 12 – 18%, que corresponde a 4,6% da área total de estudo, não verificou-se a presença de poços. Para o intervalo de declividade maior que 18%, que representa 0,37% da área total, verificou-se 2 poços, e este recebeu carga igual a 1. Na Figura 12 pode-se verificar a representação cartográfica das declividades com os respectivos poços.

A declividade é um fator muito importante para a recarga dos aquíferos, pois em declividades menores o processo de infiltração ocorre com maior intensidade; em contrapartida, nas declividades maiores ocorre maior escoamento superficial e conseqüentemente menor será a infiltração.



Figura 12 - Mapa cenográfico da área de estudo

O fator **impacto na zona vadosa (I)**, entendida como a região do terreno não saturada em água que antecede a zona saturada, recebe peso 5. É definido a partir da análise do tipo de material da zona acima do nível freático (zona vadosa). Este material é determinante do tempo de percurso do poluente até a zona saturada, permitindo a ocorrência de diversos processos de atenuação. O Quadro 21 apresenta os intervalos do fator impacto na zona vadosa (I), com respectiva classificação dos poços.

Tipo de material	Faixa (carga)	Poços no intervalo	Cargas típicas (Ic)
Arenito Botucatu, (Cenozóico)	2 – 7	OSE-1.4.016; 58-8	3
Basalto (fraturas, amígdalas, vesículas)	2 – 10	QUA5B; Q-11; Q-1; PMQ19; PMQ18; PMQ17; PMQ16; OSE-410; A-7; 58-6; 9165; QUA4; Q-5; 58-7; 9182; QUA8; Q-127; Q-126; OSE-1.4.002; EM-831; EM-830; EM-547; A-2; A-113; A-110; 9187; 9170; PMQ27; PMQ21; OSE-1.4.012; OSE-1.4.003; EM-735; A-118; A-111; 9180; 9175; 9172; 9168; 9164; OSE-1.4.013; EM-814; EM-744; EM-734; EM-716; EM-581; A-119; A-114; 9178; 9159; 9155; 9153; QUA6; QUA3; QUA2B; PMQ32; PMQ30; PMQ03; OSE-Pintado Grande; OSE-1.4.011; OSE-1.4.010; EM-813; EM-796; EM-710; EM-691; EM-676; EM-546; 9179; 9151; 886; QUA2C; QUA2; QUA1A; QUA1, Q-128; PMQ23; OSE-1.4.009; OSE-1.4.004; EM-802; EM-639; A-112; 9171.	9

Quadro 21 - Impacto da Zona Vadosa e suas respectivas cargas (Ic). (Peso: Ip=5).
 Fonte: Pesquisa de campo e Lab. Sedimentologia – Departamento de Geociências/UFMS (2005)
 Organização: Camponogara, I.

A Formação Botucatu (TRjb) foi enquadrada nos arenitos, recebendo carga 3; e a Formação JKsg (Formação Serra Geral) enquadra-se no tipo de material basalto (fraturas, amígdalas e vesículas) e recebeu carga 9. Os arenitos da Formação Botucatu recebe carga menor por serem menos atenuantes; por outro lado, os basaltos, que são uma camada confinante, não permitem a penetração de contaminantes, a não ser que existam fraturas em sua estrutura, por isso recebem um valor maior na sua carga.

O fator **condutividade hidráulica (C)**, que consiste na quantidade de percolação de água no subsolo através do meio aquífero, segundo o modelo DRASTIC, recebe peso 3. Em relação à carga, atribuiu-se o valor 1 em função de que nos ensaios de bombeamento dos poços, inseridos nas formações geológicas

presentes na área, o valor obtido para a permeabilidade foi inferior a 4 m/dia, calculados pelos métodos de Hantush, Theis, Cooper-Jacob e por relações empíricas (Silvério *et. al*, 2005). Por isso adotou-se para toda a área o intervalo que pode ser conferido no Quadro 22.

Permeabilidade (m/d)	Cargas (Cc)
0 – 4	1

Quadro 22 - Condutividade hidráulica, cargas (Cc). (Peso: Cp=3).
Organização: Camponogara, I.

Nos arenitos da Formação Botucatu e nos Sedimentos Cenozóicos (aluviões), a condutividade hidráulica é maior de que nos basaltos, pois a percolação da água ocorre com maior facilidade, devido à grande permeabilidade, fato este que facilita a circulação da água no interior destas Formações.

A partir dos resultados obtidos em cada fator pode-se constatar a vulnerabilidade natural dos aquíferos da área de estudo. No Anexo 2 constam as informações utilizadas e os resultados obtidos com aplicação do Modelo DRASTIC.

Desta forma, obtiveram-se, para a área de estudo, 3 classes quanto ao grau de vulnerabilidade natural dos aquíferos. A classe considerada como vulnerável corresponde ao intervalo dos índices DRASTIC de 65 a 95. Esta classe ocupa a maior extensão da área de estudo. As áreas que representam esta classe estão localizadas no setor noroeste estendendo-se para a parte central até o sudeste da área de estudo. Nesta classe verificou-se a presença de 58 poços.

A classe classificada como muito vulnerável corresponde ao intervalo do índice DRASTIC que é de 95 a 120. Abrange o setor nordeste estendendo-se até leste, abrange também em alguns pontos no centro e a oeste e na parte sudoeste da área de estudo. São áreas de grande preocupação, pois apresentam um índice de susceptibilidade muito alto, sendo necessário para estas áreas muito cuidado na execução de qualquer atividade que apresente algum tipo de risco para a manutenção da qualidade da água. Nesta classe verificou-se a locação de 23 poços.

A classe considerada como extremamente vulnerável corresponde ao intervalo do índice DRASTIC que está acima de 120. Esta classe aparece em menor abrangência na área de estudo, ocupando uma pequena área na parte centro-sul. Verificou-se a presença de 1 poço. Ressalta-se que, conforme a metodologia, são áreas de proteção obrigatória.

A Figura 13, que apresenta a espacialização cartográfica da vulnerabilidade natural dos aquíferos, permitiu a identificação das áreas mais vulneráveis frente às atividades com potencial de poluição. Assim tem-se um instrumento de grande importância para o local de estudo, pois através desta representação cartográfica, pode-se identificar os locais menos indicados e os mais apropriados para locação de poços ou mesmo para instalação de empreendimentos como hospitais, indústrias, aterros sanitários, entre outros e com isso proteger o meio ambiente de possíveis eventos de contaminação.

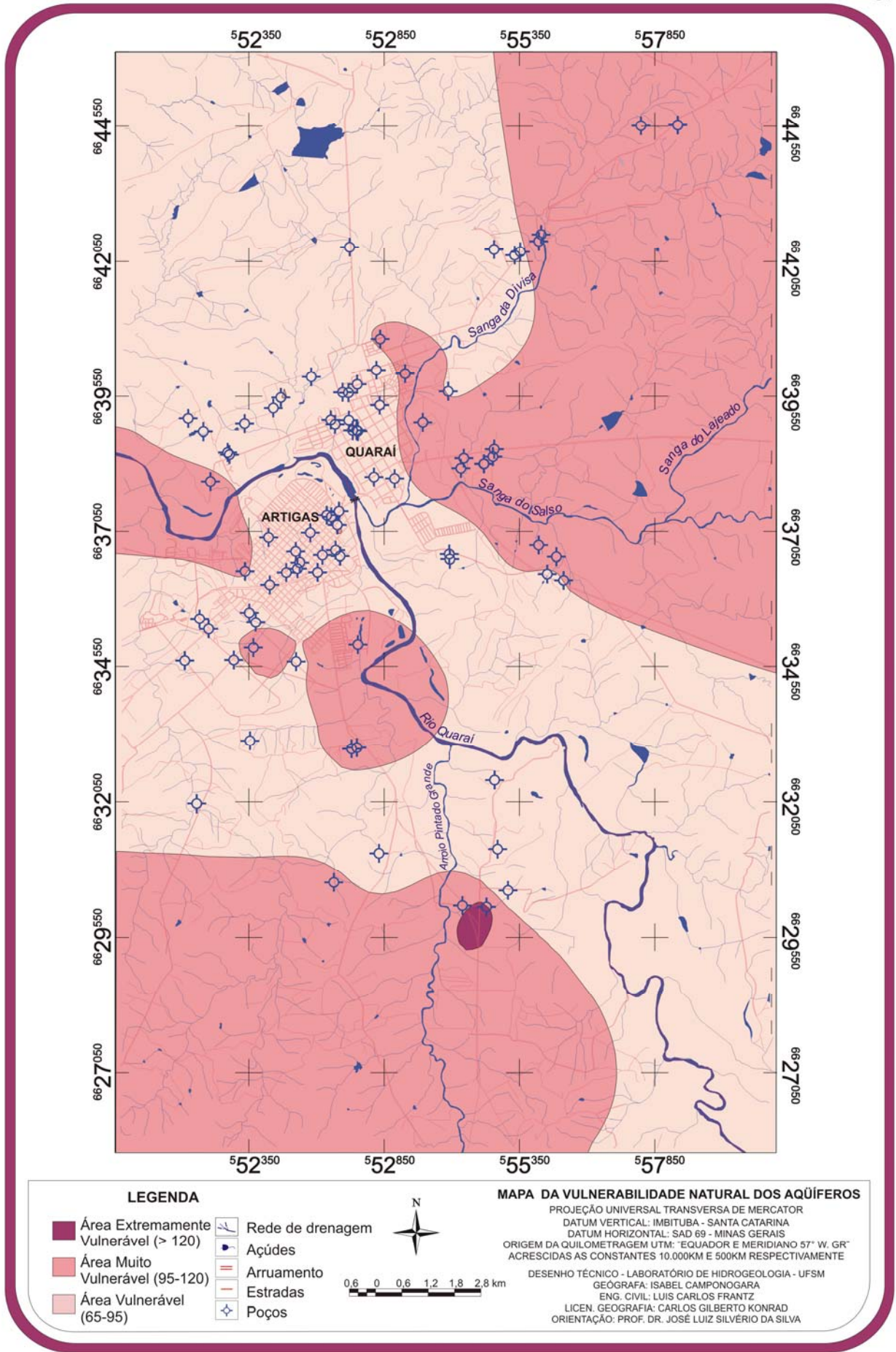


Figura 13 - Mapa da vulnerabilidade natural dos aquíferos

5.2. Análise de parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas

A água subterrânea para área de estudo é um fator importantíssimo, pois além de ser essencial para vida, desempenha papel fundamental em várias atividades como para abastecimento urbano, industrial, recreação, dessedentação humana e animal, entre outras. Desse modo, visando conhecer os aspectos de qualidade das águas subterrâneas é que se estudaram alguns parâmetros físico-químicos em 15 poços, os quais podem ser conferidos nos Quadros 23 e 24. Na Figura 14 pode-se visualizar um dos poços selecionados para coletas de amostras de água e o momento de medição de parâmetros de campo.



Figura 14 – Poço selecionado para coleta de amostra d' água e recipiente de armazenamento com seus respectivos equipamentos utilizados para medir parâmetros de campo.

Nas ilustrações da Figura 14 pode-se visualizar um dos poços selecionados para coleta juntamente com recipiente utilizado para armazenar a água, trata-se de uma garrafa plástica de 750ml, também pode-se visualizar o equipamento utilizado para fazer as medições de alguns parâmetros de campo tais como: pH, CE, OD, alcalinidade total e as temperaturas do ar e da água. No caso da avaliação da condutividade elétrica utilizou-se o condutivímetro HANNA HI 93.000. Para a avaliação dos dados de pH, oxigênio dissolvido, e temperatura da água, utilizou-se uma Multisonda D55 HORIBA e a Alcalinidade Total foi obtida por titulação com fenoltaleína alcoólica + alaranjado de metila e titulação com solução de H_2SO_4 a 0,02N, no mesmo dia da coleta, obtendo-se concentração em mg/l.

No Quadro 23 constam a relação dos poços estudados com respectivos valores obtidos em cada parâmetro realizado em campo. Pode-se conferir os valores obtidos em campo em relação à temperatura da água, que apresentou-se entre

21,5°C a 25,3°C. O pH das amostras variou de 5,3 a 7,52, ou seja, para as amostras que apresentaram pH maior que 7 revelam que as águas são básicas, para as amostras abaixo de 7 caracterizam-se como ácidas. Assim, conforme a Portaria 528 (2004) que estabeleceu os padrões de qualidade de água, para o consumo humano, o pH recomendado deve variar entre 6,0 a 9,5. Portanto, as amostras encontraram-se abaixo da faixa para consumo humano representando cerca 60%.

Em relação ao parâmetro condutividade elétrica, o mesmo ocorreu entre 62 a 711µS/cm, desta forma, pode-se destacar que este parâmetro encontra-se entre os indicados pelas normas, que é de varia de 10 a 1000µS/cm. Salienta-se que no caso de ocorrer valores, por exemplo, iguais ou maiores que 1000µS/cm, as águas estariam salobras e/ou poderiam estar quimicamente fora dos padrões para consumo humano.

No que se refere ao parâmetro O.D., sua variação ocorreu entre 0,96mg/l a 7,22mg/l, assim pode-se destacar que conforme Feitosa e Manoel Filho (1997), os valores deste parâmetro, no caso das águas subterrâneas, ficam entre 1 e 5 mg/l.

Para o parâmetro alcalinidade, a mesma ocorreu entre 34,6 mg/l a 237,27 mg/l. Segundo Zimbres (2003) a alcalinidade total, no caso das águas subterrâneas, é devida principalmente a ocorrência de carbonatos e bicarbonatos e, secundariamente, aos íons hidróxidos, silicatos, boratos, fosfatos e amônia. A alcalinidade total é a soma da alcalinidade produzida por todos estes íons presentes numa água.

Código	C.E. (µS/cm)	pH	Alcalinidade (mg/L)	STD (mg/L)	O.D. (mg/L)	Temp. °C	Dureza
Q-1	64	5.75	34.71	41.6	7.22	21.5	30.17
PMQ17	318	7.15	164.29	206.7	5.2	22.5	167.79
Q-10	280	6.65	148.1	182	2.63	24.2	99.17
QUA1	285	6.95	129.58	185.25	4.54	22.5	159.6
PMQ4	711	6.46	267.27	462.15	1.06	22.6	345.49
410	378	7.52	163.14	245.7	4.81	23.7	146.93
10.4.16	281	6.4	143.47	182.65	4.18	21.7	169.62
A-2	656	6.67	200.16	426.4	0.96	22.9	306.33
EM-547	432	7.13	181.65	280.8	2.76	21.9	244.67
EM-716	557	7.34	207.1	362.05	2.43	23.7	169.33
EM-674	317	7.21	156.2	206.05	4.4	23.4	197.68
Q-7	253	6.25	65.95	164.45	3.01	21.5	123.07
A-9	62	5.3	25.45	40.3	2.62	25.3	36.99
A-10	273	6.51	115.7	177.45	2.95	22.8	162.92
9178	240	6,39	99,50	1560	9,37	22,1	16,22

Quadro 23 – Parâmetros de análise físico-químicos de campo em março de 2005.

Fonte: Silvério da Silva, J. L. *et al* (2005)

Organização: Camponogara, I.

O parâmetro STD variou de 40,3 a 462,15 mg/l. o que de acordo com a Resolução 357/2005, são todas consideradas doces, isto é, apresentam uma concentração de STD menor 500mg/l.

No parâmetro Dureza constatou-se que a variação ocorreu entre 30,17 a 345,49mg/L. Assim, conforme os resultados do parâmetro Dureza, pode-se constatar que as águas dos poços Q-1, A-9 e 9178, classificaram-se como águas brandas. Para as águas do poço Q-10, as águas classificaram-se entre pouco duras. As águas dos poços PMQ17, QUA1, 410, 10.4.16, EM-716, EM-674, Q-7 E A-10, classificaram-se como águas duras. E os poços A-2 e EM-547, apresentaram-se águas com características muito duras. De acordo com a Portaria 518/2004 todas são potáveis em relação a este parâmetro que tem VMP (valor máximo permissível) de 500 mg/L.

As águas em análise receberam estas classificações (branda, pouco dura, dura e muito dura), pois conforme Custódio e Llamas (1983) *apud* FEITOSA e MANOEL FILHO (1997) as águas com dureza total entre 0 e 50 mg/L de CaCO₃, são consideradas *brandas*. As águas com dureza total entre 50 e 100 mg/L de CaCO₃, são consideradas *pouco duras*. Aquelas com dureza total entre 100 e 200 mg/L de CaCO₃ são consideradas *duras*, e águas com mais de 200 mg/L de CaCO₃ até a saturação, muito duras. No Quadro 24 têm-se a relação dos poços estudados com os respectivos resultados de análises em laboratório dos ânions e cátions em mg/L.

Código	Ca ²⁺	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	(CO ₃ H) ⁻	NO ₃ ⁻³	SO ₄ ⁻²	CL ⁻	F ⁻
Q-1	10.20	1.14	4.01	1.02	34.71	4.97	3.23	3.51	0.113
PMQ17	54.70	7.57	16.68	0.92	164.29	2,5	9.04	4.70	0.463
Q-10	30.40	5.65	22.4	0.49	148.1	2,5	4.35	3.51	0.469
QUA1	50.90	7.89	8.31	1.61	129.58	2,5	7.09	3.93	0.256
PMQ4	99.00	23.9	21.4	0.3	267.27	9.5	9.87	37.90	0.239
410.00	44.80	8.52	23	1.4	163.14	4.63	11.89	7.93	0.271
10.4.16	52.40	9.42	7.81	1.25	143.47	4.54	7.31	2.74	0.270
A-2	87.60	21.3	28	0.74	200.16	10.81	7.71	47.38	0.433
EM-547	71.30	16.2	16.28	1.14	181.65	5.22	17.21	10.39	0.369
EM-716	60.40	4.47	43.3	2.51	207.1	19.33	7.49	22.53	0.671
EM-674	63.90	9.25	6.24	1.15	156.2	2,5	7,90	2.60	0.266
Q-7	33.60	9.53	6.13	0.51	65.95	21.26	7.04	6.88	0.121
A-9	11.40	2.07	1.67	2.18	25.45	3.69	3,80	3.44	<0,100
A-10	42.70	13.7	6.12	0.96	115.7	9.06	10.11	4.21	0.122

Quadro 24 – Análise laboratorial de parâmetros físico-químicos.

Fonte: Silvério da Silva, J. L. *et al* (2005)

Organização: Camponogara, I.

Referente aos resultados obtidos das análises dos ânions e cátions no programa Aquachem, informa-se que as águas analisadas estão de acordo com as normas de potabilidade, sendo de boa qualidade para consumo humano. Das 15 amostras de água analisadas, as mesmas classificaram-se em 5 tipos distintos: cálcica bicarbonatada (1), cálcica magnesiana bicarbonatada clorada (1), magnesiana bicarbonatada (1), cálcica magnesiana bicarbonatada (7) e cálcica sódica bicarbonatada (5). Acredita-se que a vulnerabilidade de composições relaciona-se aos diferentes polítipos rochosos em que a água esteja em contato, sejam os arenitos pertencentes as formações Botucatu e Rosário do Sul, bem como as rochas vulcânicas, ora maciças, ora vesiculares, ora amigdalóides, contendo fraturas.

De acordo com a Portaria 518/2004, que fixa como VMP (valor máximo permissível) 1,5ml// para flúor, todas as quinze amostras avaliadas estão abaixo deste limite de potabilidade.

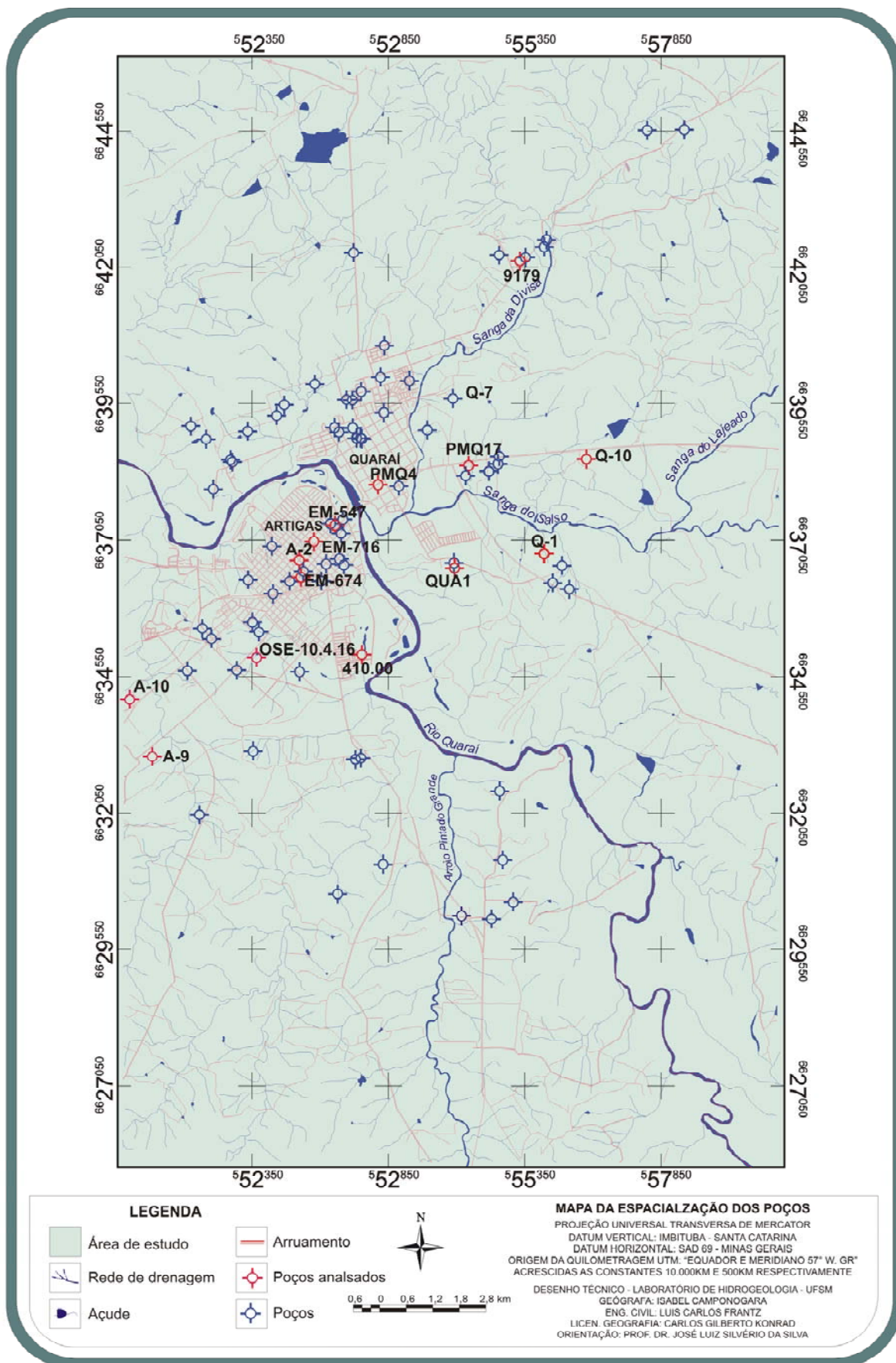


Figura 15 – Espacialização dos poços selecionados para coletas de amostras d'água

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

Devido à importância de se compreender a dinâmica dos sistemas aquíferos e contribuir para a proteção e gerenciamento ambiental, é que o presente estudo visou aprofundar os conhecimentos no Sistema Aquífero Guarani. Neste sentido, esta pesquisa propôs estudar a vulnerabilidade natural dos aquíferos a partir da representação cartográfica e análise de parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas, na área transfronteiriça, em Quaraí, BR e Artigas, UY, e assim contribuir para as investigações que visam à utilização em equilíbrio dos recursos hídricos subterrâneos e a preservação dos mananciais, no caso deste estudo, o Sistema Aquífero Guarani.

Para tanto, inicialmente, foi realizado um inventário das informações hidrodinâmicas de 134 poços e fontes, destes apenas 81 foram utilizados para obter a vulnerabilidade natural dos aquíferos e 16 para as análises físico-químicas das águas subterrâneas. Por meio deste levantamento obtiveram-se as informações que possibilitaram a execução dos objetivos propostos.

A identificação das formações geológicas da área foi de extrema importância, uma vez que, para se obter os demais resultados do Modelo DRASTIC, necessitou-se utilizar das informações provenientes da geologia, para os solos e o meio aquífero.

Com o mapeamento da vulnerabilidade natural dos aquíferos, obtida através da aplicação do Modelo DRASTIC, o qual relaciona sete fatores ligados ao meio natural, possibilitou a identificação de três classes de vulnerabilidade (vulnerável, muito vulnerável e extremamente vulnerável). De posse destas informações, pode-se identificar as áreas de maior susceptibilidade à contaminação frente a fontes potenciais de poluição, assim, tem-se uma ferramenta de grande importância para a

área de estudo, pois, pode-se eleger as áreas adequadas para locação de poços ou para o desenvolvimento de atividades econômicas com potencial de poluição, e então adotar medidas preventivas para a proteção de possíveis eventos que venham a contaminar os aquíferos ou a expansão urbana evitando desmatamentos.

A respeito do Modelo DRASTIC é importante ressaltar quanto a dificuldade de se conseguir os sete fatores, pois alguns deles necessitam de muita pesquisa de campo, e qualquer suplementação aos dados analisados demandaria maior custo e tempo de pesquisa, como é o caso da condutividade hidráulica, que é obtida através de testes de bombeamentos em poços. Ainda sobre a necessária expansão das pesquisas de campo, sugere-se a realização de vários ensaios para os diferentes tipos de litologias, e, na seqüência, adotar-se uma média entre elas, e reduzir-se, assim, a possibilidade de erros.

A utilização dos SIGs para o geoprocessamento, para a aplicação das técnicas geoestatísticas e cartográficas, e as pesquisas em campo, possibilitaram a obtenção dos mapas temáticos, facilitando a análise da pesquisa.

Em relação aos parâmetros físico-químicos das águas, os resultados obtidos, mostraram que as mesmas estão de acordo com as normas de potabilidade, sendo de boa qualidade para consumo humano. Quanto aos tipos de águas obtidos com as análises dos ânions e cátions no uso do programa computacional Aquachem, verificou-se nas 15 amostras que as mesmas classificaram-se em 5 tipos distintos, como cálcica bicarbonatada, cálcica magnésiana bicarbonatada clorada, magnésiana bicarbonatada, cálcica magnésiana bicarbonatada e cálcica sódica bicarbonatada, e todas são doces.

Ressalta-se que a área em estudo apresenta uma estrutura de certa forma susceptível, principalmente no que se refere ao comportamento litológico, que influencia diretamente no sistema de recarga do aquífero, o que pode comprometer a qualidade das águas.

Recomenda-se, como sugestão, para à área de estudo o aprimoramento e aprofundamento em pesquisas que envolvam a disposição de resíduos sólidos, sobre os postos de combustíveis e os cemitérios. Outras fontes de contaminação como os esgotos *in natura* ou seu vazamento em canalizações. Em muitos casos estas atividades podem modificar a qualidade dos recursos hídricos, e com isso comprometer sua conservação às futuras gerações. Também, recomenda-se estudos sobre a direção dos fluxos subterrâneos, das condições de recarga natural,

dos volumes exatos de extrações e dos riscos de contaminação nas áreas de afloramento, para posterior monitoramento, proteção e manejo sustentável desses recursos, em especial o sistema Aquífero Guarani, tanto pelo Brasil quanto pelo país vizinho, o Uruguai.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS

ALLER, L., *et al.* **DRASTIC**: a standardized system for evaluating groundwater pollution potencial using hydrogeologic setting. United States: EPA, 1997.

ARAUJO, I. M. *et al.* **Aqüífero gigante do mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai**: mapas hidrológicos das formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. Curitiba: 1995.

ASMUS, H. E. **Uma Visão Crítica da Metodologia para Levantamento Ambiental costeiro no Brasil**. In: *Encontro Nacional de Estudos Sobre o Meio Ambiente*, Londrina, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – ABAS. Disponível em: < <http://www.abas.org.br> >. Acesso em: 10 out. 2004

BATALHA, B. L. **Glossário de engenharia ambiental**. Brasília: D.N.P.M., 1986.

BERRY, J. K. **Justifiable Interpolation**. GIS World, Feb, 1997, 34p.

BOWER, H. **Ground water hidrology**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1978, 480p.

BORGHETTI, N. R. B; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. **Aqüífero Guarani**. A verdadeira integração dos países do Mercosul: Curitiba. 2004. 214p.

BRASIL – **Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica**. Levantamento de reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife: DPP, 1973.

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

CÂMARA, G., *et al.* **Análise espacial de dados geográficos**. FEIRA E Congresso Internacionais de Geoinformação. São Paulo, 2000.

CEDERSTROM, D. J. **Água Subterrânea, Uma Introdução**. Centro de publicações técnicas aliança, Missão Norte-Americana de Cooperação Econômica e Técnica no Brasil – USAID: Rio de Janeiro, 1964.

CHANG, H. K. Uso atual e potencial do Sistema Aqüífero Guarani: **atividade 3 do Projeto Aqüífero Guarani**. Brasil: Agência Nacional de Águas, 2001. Disponível em: < http://www.ana.gov.br/guarani/gestão/gest_cbasico.html >. Acesso em: 21 jun 2003.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 256p, 1999.

COMPANHIA DE PESQUISAS E RECURSOS MINERAIS – CPRM. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br> >. Acesso em: 02 mar 2005.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 273 (20 de novembro de 2000). Dispõe sobre prevenção e controle da poluição em postos de combustíveis e serviços. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, 2001. 4p.

_____. Resolução nº 357 de 13 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para... Substitui a Resolução CONAMA nº 20 de 18 de junho de 1986. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo Brasília, DF, 2005.

DANGERMOND, J. What is a Geographic information System (GIS) In: JOHNSON, A. I.; PETTERSSON, C. B.; FULTON, J. L. **Geographic Information Systems (GIS) and Mapping – Practices and Standards**. Philadelphia: ASTM STP 1126, Eds. American Society for Testing and Materials, 1992, p.11-17.

DEUTSCH, C. V. JOURNAL, A. G. **GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide**. New York: Oxford University Press, 1998, 369 p.

DORST, J. **Antes que a natureza morra: por uma ecologia política**. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

DOYLE, T. M.; GRAY, N. F. **Protocol for monitoring and predicting the impact of acid mine drainage: Designing and setting up a geographical information system (GIS)**. Technical Report: 25, Water Technology Research, Trinity College, University of Dublin, Dublin, 1995. 38p.

DREVER, J. I. **The geochemistry of natural waters: surface and groundwater environments**. Upper Saddle River Prentice Hall. 3rd ed. 1997, 436p.

FELGUEIRAS, C. A.; *et al.* **Inferências e Estimativas de Incertezas Utilizando Técnicas de Krigeagem Não Linear**. In: V CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA – GIS BRASIL 99, Salvador. [CD-ROM]. *Anais*. 1999.

FOSTER, S. & HIRATA, R. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes**. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. (Boletim N.º 10).

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data**. Lima: CEPIS/PAHO/WHO, 1988.

FRANTZ, L. C. **Avaliação do Índice de Vulnerabilidade do Aquífero Guarani no Perímetro Urbano da Cidade de Sant' Ana do Livramento – RS**. Santa Maria/RS. 2005. 125f. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

GASTALDINI, M. do C. C.; Mendonça, A. S. F. Conceitos para a avaliação da qualidade da água. In: Paiva, J. B. D. e Paiva, E. M. C. D. (Org.) Hidrologia aplicada à gestão de pequenas Bacias Hidrográficas. Porto Alegre: ABRH, 2001. p.429-451.

GREGORASHUK, J. de los S. **Estudio del uso actual y potencial del acuífero guaraní: enero 2001**. Disponível em: <<http://www.sg-guarani.org.pdf>>. Acesso em: 02 mar 2004.

GUERRA, A. T. & GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

HAMMER, M. J. **Sistemas de Abastecimento de Água e Esgoto**. Rio de Janeiro. Ed. Livros Técnicos e Científicos, 1979. 563 p.

HAUSMAN, A. **Províncias Hidrogeológicas do Rio Grande do Sul**. São Leopoldo/RS: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 1995. 125p.

HIRATA, R. & REBOUÇAS, A. **La protección de los recursos hídricos subterráneos: Una visión integrada, basada en perímetro de protección de pozos y vulnerabilidad de acuíferos**. Boletín Geológico y Minero. Instituto Tecnológico GeoMinero de España. v.110. 1999, 79-92p..

HIRATA, R. C. A. & FERREIRA, L. M. R. Os aquíferos da bacia hidrográfica do alto Tietê: disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n. 1, p. 43-50, 2001.

HIRATA, R. **Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterráneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto Geológico, CETESB, 2 v. 1997.

HIRATA, R. **Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterráneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto Geológico, CETESB, 2 v. 1997.

HIRATA, R. **Protección de acuíferos frente a la contaminación: metodología. I seminario-taller**. Toluca, México: 20-22 de Junio de 2001.

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia Estatística**. 2001.

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia Estatística**. 2003.

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

LANNA, A. E. **Gestão dos Recursos Hídricos**. In: Hidrologia, Ciência e Aplicações. Porto Alegre: Editora da Universidade, ABRH, EDUSP, 2001. p. 728-768.

LEITE, C. E. S. e MÖBUS, G. **Vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos da região de rochas sedimentares da bacia do rio Mundaú/Ceará**. X Congresso Brasileiro de Águas Subterráneas: São Paulo, 9 – 11 de Setembro. 1998, 8p.

LINLEY, R. K. & FRANZINI, J. B. **Engenharia de recursos hídricos**. São Paulo: McGraw-Hill, 1978.

LUFT, C. P. **Minidicionário Luft**. 20^a ed. 5^a impressão. São Paulo, Ática, 2000, 688p.

MANOEL FILHO, J. Contaminação da água subterrânea. In: FEITOSA, F. A. C. & MANOEL FILHO, J. **Hidrologia - conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, UFPE, 1997, p. 109-114.

MARCHIORI, J. N. C. **Fitogeografia do Rio grande do Sul: enfoque histórico e sistema de classificação**. Porto Alegre: EST Edições, 2002. 9-49p.

MAZIEIRO, L. **Levantamento da vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos no município de Dona Francisca – RS**. Santa Maria/RS. 2002. 125f. Dissertação de Mestrado (Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria n. 518, de 25 de março de 2004**. Atualiza as disposições da Portaria n° 1469 de 29 de dezembro de 2000. Brasília, 2004.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988.

OSÓRIO, Q. da S. **Vulnerabilidade natural de aquíferos e potencial de poluição das águas subterrâneas. Santa Maria/RS**. 2004. 139f. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

OSÓRIO, Q. da S. **Vulnerabilidade natural dos aquíferos e potencial de poluição das águas subterrâneas, na bacia hidrográfica do arroio Arenal, Santa Maria/RS**. 2002. 53f. Monografia (Licenciado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, 2002.

PORTO, M. F. A.; BRANCO, S. M.; De LUCA, S. J. **Caracterização da qualidade da água**. In: Porto, R. L. L. (org) **Hidrologia Ambiental**. São Paulo: Editora da USP. ABRH, p. 27-66 (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v. 3).1991.

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

REBOUÇAS, A. C. **Águas Doces no Brasil**. Academia Brasileira de Ciências, Instituto de Estudos Avançados da USP. 2002.

REBOUÇAS, A. C. **Águas Subterrâneas**. Academia Brasileira de Ciências. São Paulo: USP. 1999.

RIBEIRA, F. Calidad, contaminación y protección de acuíferos *in* III Curso Hispanoamericano de Hidrología Subterránea. 4 de octubre al 3 de diciembre de 2004, Montevideo-UY.

RICHARDS, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis: na introduction**, Berlin: Springer-Verlag. 1986.

ROCHA, G. A. **O grande manancial do cone sul**. São Paulo: Estudos Avançados, 1997.

Secretaria de Turismo do Rio Grande do Sul. Disponível em <<http://www.terragaucha.com.br>>. Acesso em: 27 fev 2005.

SILVA, A. de B. **Sistemas de informações geo-referenciadas: conceitos e fundamentos.** Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2003. 240p.

SILVEIRA, A. L. L. da. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica.** In: TUCCI, C. E. M. (Org.) Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. da Universidade, 1993. cap. 2, p. 35-52.

SILVERIO DA SILVA, J. L., FLORES E. M. M., BERTAZZO, V. M., **Estudo hidroquímico das Águas Subterrâneas da Região de Santa Maria, no RS.** In: XXVII CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000, 10p.

SILVERIO DA SILVA, J. L. *et al.* **Caracterização de áreas de recarga e descarga do Sistema Aquífero Guarani em Santana/Rivera e Quaraí/Artigas e estudo da vulnerabilidade natural em Quaraí/Artigas.** UFSM/UDeLaR. Santa Maria, 2005. 200p.

SOLANES, M. **Integrated water management water planning and water legislation.** From the perspective of the dublim principles. Technical Advisory committee, Global Water Partnership. Manila, 1997. 9-13 June.

TODD, D. K. **Hidrologia de águas subterrâneas.** São Paulo: Edgard Blücher, 1959.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da água no Brasil.** Brasília : UNESCO, 2001.

TUNDISI, J. G. Limnologia e gerenciamento integrado de recursos hídricos: avanços conceituais e metodológicos. **Ciência & Ambiente**, v. 1, n. 21, p. 9-20, 2000.

VIANA, P. C. G. **Aspectos da Gestão do Aquífero Guarani no âmbito do Mercosul.** Universidade Tuiuti do Paraná [S. I.]: Núcleo de Pesquisa em Geografia Aplicada - NPGA. 2003.

VIEIRA, L. S. **Manual da Ciência do Solo.** São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 1975. 464p.

VRBA, J. e ZAPOROZEC, A. **Guidebook on mapping groundwater vulnerability. Internacional Association of hidrologists – International Contributions to Hydrogeology** 16. 1994.

WREGGE, M. **Termos hidrogeológicos básicos.** Disponível em: <http://www.abas.org.br/estudos/hidrogeologia/termos_hidrogeo.htm> Acesso em: 24 maio 2003.

ZIMBRES, E. **A Água Subterrânea.** Disponível em: <<http://www.meioambiente.pro.br>>. Acesso em: 09 jul 2003.

ZINGANO, A. C. **Surfer para Windows –Guia de consulta.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Laboratório de Pesquisa Mineral e Planejamento Mineiro. Notas de aula, Curso 2004, 20 p., ilustrado.

Dirección Nacional del Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.dinama.gub.uy>>. Acesso em: 05 mar 2006.

ANEXOS

ANEXO 1 – Banco de Dados sobre os poços presentes na área de estudo

A-111	554829,21	6632515,19	105,62	GPS DIF			Almedia	52	9,8												
A-110	554680	6630184	105	GPS MAN			Pedro Fernandez	52	8,1												
A-10	548214	6634098		GPS MAN	UY		Flia. Taveira														
A-1	550353,90	6634955,00	111,95	GPS DIF	UY		Predio del 1.4.016														
58-8	557517	6644545	160		BR		Meia Água		1,25				Conf.	BA/AR	SG/BO			Desm.			
58-7	549480	6638920	118	CARTA*	BR		Hidraulica Saladero		90	15,8	25,8	14,1	Conf.	BA/AR	SG/BO			Desat.			
58-6	553511	6639086	99		BR		Gr.Padre Reus		160	1			Conf.	BA/AR	SG/BO						
553728	553728	6638771	116		BR		Quinto Zorrilho		192							T		Bomb.	289	21,8	Múltiplo
552942	552942	6638590	109		BR		Rua Baltazar Brum									T		Bomb.	414	20,8	Múltiplo
552448	552448	6639798	120	CARTA*	BR		Centro Esport. de Quaraí		66				Conf.	BA	SG	T		Aband.			
552155	552155	6642313	140		BR		RS 377 km 514,6		108							T		Bomb.	332	21,1	Múltiplo
555641	555641	6642424	121		BR		Cent. Treinam. Horizonte		50	5	9	4				T		Bomb.	127	22,3	Múltiplo
555415	555415	6642341	126		BR		Chácara da Lagoa									T		Bomb.	87	20,7	Múltiplo
555684	555684	6642549	131		BR		Chácara Santa Isabel		45	4		4				T		Bomb.	151	22,2	Múltiplo
555391	555391	6642185	137		BR		Chácara do Walter		40							T		Bomb.	149	21,6	Múltiplo
555300	555300	6642231	140		BR		Chácara Maria Elizabete		42	12	20	3				T		NI	223	21,5	
554819	554819	6642275	162		BR		Aterro Mun.		47	27		3,3		BA	SG	T		Aband.			Múltiplo
555198	555198	6642169	133	CARTA*	BR		Escola Mun. Barroin		63	21,5				BA	SG	T		Bomb.	221	21	
549734	549734	6639270	133		BR		Chácara Santa Rosa		63							T		Parado	311	22,5	Lazer
549920	549920	6638256	114		BR		São João do Quaraí,270									T		Aband.	293,7		
552038	552038	6639640	110		BR		Vila do Parque		40	13	15	5		BA/AR	SG/BO	T		Bomb.	281	23,9	Múltiplo
552979	552979	6638242	118		BR		Super 300		50							T		Bomb.	419	28	Múltiplo
553977	553977	6639658	123		BR		Círculo Militar de Quaraí		100	12		6				T		Bomb.	295	26,3	Múltiplo
552152	552152	6639126	121		BR		5° RC MEC		92	32,5		10,286				T		Bomb.	457	25,8	Múltiplo
550903	550903	6639545	114		BR		Chácara Santa Teresa		35	6		5				T		Bomb.	274	21,9	Múltiplo
549201	549201	6639160	129		BR		Cabanha Branca 3		54	14	17	3						NI	112	22,5	
549603	549603	6637728	107		BR		Cabanha Branca 2									T		Aband.			
554637	554637	6638337	108		BR		Sanga do Salso		136	0		5				T		Bomb.	280	22,1	Múltiplo
552993	552993	6638065	105		BR		Super Posto Quaraí		95	12	18	9		BA/AR	SG/BO	T		Bomb.	240	22,6	Múltiplo
554788	554788	6638481	105		BR		Engenho S. João Batista		133,5							T		Bomb.	299	21	Múltiplo
552442	552442	6638820	127		BR		Gremio Recreativo		70							T		Bomb.	511	22,1	Múltiplo
552417	552417	6639149	124		BR		Antigo Curtume		70							T		Parado	875	22,1	Industrial
552305	552305	6639788	127		BR		Vigario da Cruz Jobim		117	20		8				T		Bomb.	762	20,7	Industrial
553812	553812	6638347	106		BR		Posto Cheguhem		40							T		Bomb.	304	23,8	Lazer
553190	553190	6638708	103		BR		Baltazar Brum,1060		63							T		Bomb.	594	21,5	
552870	552870	6640883	129		BR		Clube		38							T		Parado	498	22,1	
551462	551462	6639925	104		BR		Matadouro Mun.		24	17,5	19,5	2	Conf.	BA/AR	SG/BO	T		Bomb.	292	22,5	
552718	552718	6639404	116		BR		Posto Combustível		80	16		2				T		Bomb.	744	24,5	
549926	549926	6638544	117		BR		Chácara do Romi		60	22		5				T		Parado	154,9	21	
551900	551900	6639050	118		BR		Hosp. Carid. de Quaraí		110	27	43,5	18	Livre	BA/AR	SG/BO	T		Equi.			Abast. Urb.

GPS DIF = gps diferencial

GPS DIF* = 'x,y manuales, z diferencial

CARTA* = 'x,y manuales, z de CARTA*

PROX = z por proximidad con pozo muy cercano

PROX* = 'x,y manuales, z por proximidad con pozo muy cercano

GPS MAN = gps manual

AR = Arenito

BA = Basalto

SG = Serra Geral

Obst. = Obstruído

NI = Não Instalado

® = Avaliação executada pela UFMS/Udelar

OSE = Obras e Saneamento del Estado

Sur. = Surgente

T = Tubular

Esc. = Escavado

Desm. = Desmoronado

Aband. = Abandonado

Conf. = Confinado

ANEXO 2 – Banco de Dados do Modelo DRASTIC

			GPS			Aquíf.		Form.		(m)	D (C)	D (I)	R	A (C)	A (I)	S (C)	S (I)	T (C)	T (I)	I (C)	I (I)	C (C)	C (I)	Valor DRASTIC
A-2	551940	6637202	GPS MAN	UY	Piscina Depto. de Deportes					7,85	10	50	24	2	6	4	8	10	10	3	15	1	3	116
A-119	550336,28	6633239,21	GPS DIF	UY						22,2	7	35	24	2	6	4	8	9	9	3	15	1	3	100
A-118	549357,87	6632084,25	GPS DIF	UY						11,95	3	15	24	2	6	4	8	5	5	3	15	1	3	76
A-114	552705,51	6631177,66	GPS DIF	UY						18,3	5	25	24	2	6	4	8	10	10	3	15	1	3	91
A-113	551877	6630639	GPS MAN	UY						5	3	15	24	2	6	4	8	5	5	3	15	1	3	76
A-112	555075,64	6630489,73	GPS DIF	UY						32	7	35	24	2	6	4	8	10	10	3	15	1	3	101
A-111	554829,21	6632515,19	GPS DIF	UY						9,8	1	5	24	2	6	4	8	9	9	3	15	1	3	70
A-110	554680	6630184	GPS MAN	UY						8,1	5	25	24	2	6	4	8	9	9	3	15	1	3	90
58-8	557517	6644545		BR	Meia Água	Conf.	BA/AR	SG/BO		1,25	7	35	24	6	18	6	12	10	10	6	30	1	3	132
58-7	549480	6638920	CARTA	BR	Hidráulica Saladero	Conf.	BA/AR	SG/BO		15,8	10	50	24	2	6	4	8	5	5	3	15	1	3	111
58-6	553511	6639086		BR	Gr.Padre Reus	Conf.	BA/AR	SG/BO		1	3	15	24	2	6	4	8	9	9	3	15	1	3	80
9187	555641	6642424		BR	Cent. Treinam. Horizonte					5	10	50	24	2	6	4	8	9	9	3	15	1	3	115
9182	555684	6642549		BR	Chácara Santa Isabel					4	7	35	24	2	6	4	8	10	10	3	15	1	3	101
9180	555300	6642231		BR	Chácara Maria Elizabete					12	9	45	24	2	6	4	8	10	10	3	15	1	3	111
9179	554819	6642275		BR	Aterro municipal		BA	SG		27	5	25	24	2	6	4	8	9	9	3	15	1	3	90
9178	555198	6642169	CARTA	BR	Escola Municipal Barroin		BA	SG		21,51	2	10	24	2	6	4	8	5	5	3	15	1	3	71
9172	553977	6639658	6639050	BR	Círculo Militar de Quaraí					13	3	15	24	2	6	4	8	5	5	3	15	1	3	76
9171	552152	6639126		BR	5° RC MEC					32,5	5	25	24	2	6	4	8	10	10	3	15	1	3	91
9170	550903	6639545		BR	Chácara Santa Teresa					6	1	5	24	2	6	4	8	9	9	3	15	1	3	70
9168	549201	6639160		BR	Cabanha Branca 3					14	7	35	24	2	6	4	8	9	9	3	15	1	3	100
9165	554637	6638337		BR	Sanga do Salso					0	5	25	24	2	6	4	8	10	10	3	15	1	3	91
9164	552993	6638065		BR	Super Posto Quaraí		BA/AR	SG/BO		12	10	50	24	2	6	4	8	9	9	3	15	1	3	115
9159	552305	6639788		BR	Vigario da Cruz Jobim					20	5	25	24	2	6	4	8	9	9	3	15	1	3	90
9155	551462	6639925		BR	Matadouro Municipal	Conf.	BA/AR	SG/BO		17,5	3	15	24	2	6	4	8	9	9	3	15	1	3	80
9153	552718	6639404		BR	Posto Combustível					16	3	15	24	2	6	4	8	10	10	3	15	1	3	81
9151	549926	6638544		BR	Posto Combustível					22	3	15	24	2	6	4	8	9	9	3	15	1	3	80

* = SA/BA; ** = BA/AR; *** = BA/BO/RS; ® = Avaliação executada pela UFSM/Udelar; NI = Não Instalado; NI = Não Instalado; Obst. = Obstruído; BO = Botucatu; AR = Arenito; SG = Serra Geral; (C) = Carga; (I) = Índice.