

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS**

**ANÁLISE DOS RECURSOS HÍDRICOS
SUBTERRÂNEOS NO MUNICÍPIO DE SÃO LUIZ
GONZAGA/ RS**

TRABALHO DE GRADUAÇÃO B

Adilson de Chaves

Santa Maria, RS, Brasil

2007

2007

Bacharel em Geografia

CHAVES, Adilson de

CCNE/UFSM, RS

ANÁLISE DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO MUNICÍPIO DE SÃO LUIZ GONZAGA/ RS

por

Adilson de Chaves

Trabalho de Graduação apresentado ao Curso de Geografia
Bacharelado da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Silvério da Silva

Santa Maria, RS, Brasil

2007

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Naturais e Exatas
Departamento de Geociências
Curso de Geografia Bacharelado**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova o Trabalho de Graduação B

**ANÁLISE DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO
MUNICÍPIO DE SÃO LUIZ GONZAGA/ RS**

elaborada por
Adilson de Chaves

como requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Geografia

COMISSÃO EXAMINADORA:

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

Andréa Valli Nummer, Dra. (UFSM)

Bernardo Sayão Penna e Souza, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 05 de março de 2007.

DEDICATÓRIA

*À minha família, em especial minha mãe Maria e meu pai Nelson, pelo amor recebido e valores morais ensinados, sendo, pois, meus primeiros mestres ao longo de minha criação;
Dedico também a meu orientador e amigo Prof. José Luiz Silvério da Silva*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por minha existência e por me acompanhar no decorrer deste percurso.

À minha família, pelo amor, carinho e dedicação. A meus pais Nelson e Maria, meus irmãos Nilson e Roseli, aos meus sobrinhos e afilhados, os quais compreenderam e aceitaram minhas ausências em momentos e datas especiais, propiciadas pela minha dedicação quase que exclusiva aos estudos.

À Universidade Federal de Santa Maria por me disponibilizar um ensino gratuito e de qualidade, deixando-me apto para uma carreira profissional promissora. Também sou grato ao programa de assistência estudantil oferecida por esta instituição, com o qual fui beneficiado ao longo de quatro anos recebendo moradia, alimentação, transporte, entre outros benefícios.

Ao meu orientador e amigo Prof. José Luiz Silvério da Silva pela oportunidade de fazer parte da equipe de trabalho do Laboratório de Hidrogeologia (LABHIDROGEO/ UFSM) e acima de tudo pelo privilégio de fazer parte de seu rol de amigos, disponibilizando-me conselhos, ensinamentos e companheirismo, sendo, pois meu exemplo como profissional devido a suas atitudes demonstradas ao longo de nosso convívio.

À Comissão examinadora desta monografia: Prof^a. Dra. Andréa Valli Nummer e Prof. Dr. Bernardo Sayão Penna e Souza pela leitura crítica, sugestões e ensinamentos.

Aos amigos do Laboratório de hidrogeologia, Isabel Camponogara, Viviane Capoane, Luis Carlos Frantz, Carlos Gilberto Konrad, Fabiano André Marion e Fabílula Silva, pelos conhecimentos profissionais passados ao decorrer de nosso convívio, também pelo companheirismo e amizade.

Aos colegas e amigos da 31^a turma de Geografia da UFSM, em especial aos colegas da turma de Geografia Bacharelado, pelo companheirismo demonstrado durante os quatro anos de nossa formação.

Aos professores que ministraram aulas no Curso de Geografia, pelo conhecimento compartilhado. Também aos funcionários do Departamento de Geociências, em especial à Nilza Doico, pela dedicação, apoio e amizade.

Aos amigos da Casa do Estudante Universitário (CEU II/UFSM), em especial aos colegas de apartamento, pela amizade e incentivo demonstrado ao longo de nosso convívio. Sou grato também ao amigo Adriano de Bairros, por sua amizade e incentivo.

Aos irmãos em Cristo da Igreja Assembléia de Deus de Camobi, em especial ao grande amigo Joanês Gusatto, por seu companheirismo e conselhos dados durante nosso convívio.

Aos amigos da Prefeitura Municipal de Santa Maria, em especial ao Prefeito Municipal Valdeci Oliveira e à Jarcedi Jaques Terra, pela amizade e as oportunidades profissionais disponibilizadas pelos mesmos. Também sou grato aos amigos da Secretaria de Município de Proteção Ambiental de Santa Maria, pela amizade e companheirismo ao longo de meu estágio realizado nesta instituição.

À Prefeitura Municipal de São Luiz Gonzaga, pelo apoio logístico concedido durante os trabalhos de campo, bem como, pelo incentivo dado ao presente trabalho. Sou grato especialmente ao amigo José Pinheiro Vieira (Teca), pelo incentivo, seu conhecimento empírico e disponibilidade para os trabalhos de campo e pelo fornecimento de informações e materiais que foram de suma importância para o desenvolvimento do presente trabalho.

À Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) de São Luiz Gonzaga, pelo apoio logístico disponibilizado durante a pesquisa, bem como, pela prestação de informações relevantes ao trabalho.

Ao Jornal *A Notícia* (São Luiz Gonzaga), pela publicação de nossos artigos, bem como, pela matéria publicada sobre nosso trabalho, informando a população são-luisense a cerca de nossa pesquisa no município.

A todos que de alguma forma ajudaram para o desenvolvimento do presente trabalho.

“A água é a seiva de nosso planeta. Ela é a condição essencial da vida de todo ser vegetal, animal ou humano. Sem ela não poderíamos conceber como é a atmosfera, o clima, a vegetação, a cultura ou a agricultura. O direito à água é um dos direitos fundamentais do ser humano: o direito à vida,”.

(Declaração Universal dos Direitos da Água/ Art. 2º)

“Enquanto o poço não seca, não conhecemos o valor da água.”

Thomas Fuller

RESUMO

Trabalho de Graduação B
Curso de Geografia Bacharelado
Universidade Federal de Santa Maria

ANÁLISE DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO MUNICÍPIO DE SÃO LUIZ GONZAGA/ RS

AUTOR: ADILSON DE CHAVES

ORIENTADOR: JOSÉ LUIZ SILVÉRIO DA SILVA

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 05 de março de 2007.

Este trabalho apresenta uma análise dos Recursos hídricos Subterrâneos no município de São Luiz Gonzaga/ RS. Nesse sentido, teve-se como objetivo principal estudar a vulnerabilidade natural dos aquíferos e realizar uma avaliação das características físico-químicas e hidrodinâmicas da água subterrânea. Além disso, objetivou-se cadastrar os poços tubulares e as atividades potencialmente poluidoras da água subterrânea na área urbana e parte da área rural. Para tanto, utilizou-se para a execução do estudo, dados pré-existentes, pesquisa de campo e técnicas computacionais. A metodologia empregada para o estudo da vulnerabilidade natural dos aquíferos foi o Modelo "GOD". Para caracterizar as águas subterrâneas, fez-se a análise de parâmetros físico-químicos em amostras coletadas em abril de 2005 e agosto de 2006. Como resultado mais relevante pode-se destacar, em relação à vulnerabilidade natural dos aquíferos da área, que a mesma foi desprezível. Quanto aos resultados obtidos das análises dos parâmetros físico-químicos, destaca-se que as águas estão de acordo com as normas de potabilidade, sendo de boa qualidade para consumo humano.

Palavras-chave: Recursos Hídricos Subterrâneos; parâmetros físico-químicos; sistemas aquíferos; vulnerabilidade natural.

ABSTRACT

Work of Graduation B
Corse of Geography
Universidade Federal de Santa Maria

ANALYSIS OF GROUDWATER RESOURCES IN THE MUNICIPALITY OF SÃO LUIZ GONZAGA/ RS

AUTHOR: ADILSON DE CHAVES

ADVISOR: JOSÉ LUIZ SILVÉRIO DA SILVA

Date and place of the defense: Santa Maria, March 05th, 2007.

This work presents on analysis of groundwater resources in the municipality of São Luiz Gonzaga/RS. In this way, the main objective was to study the natural vulnerability of the aquifer and realize on evaluates of the physicochemical and hydrodynamic characteristics of the groundwater. Besides, the other objective was to register the wells and potentially polluter activities for the groundwater in the urban area and rural part. In this way, it was used for the execution of the study pre existent data, field research and computer techniques. The methodology used to study the aquifer natural vulnerability leaned on in the GOD model. To characterize the groundwater, it was mode analysis of physicochemical parameters in samples collected in April of 2005 and August of 2006. As more relevant result it was verified the natural vulnerability of aquifer in the area, that the some was considered despicable. In relation to the obtained results of the analysis of the physicochemical parameters, it is perceptible that water is according to norms of drinkobleness, it has good quality for human consumption.

Keywords: Groundwater Hydrics Resources; physicochemical parameters; system aquifer; Natural vulnerability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização do município de São Luiz Gonzaga/ RS.....	19
Figura 2 - Mapa dos Comitês de Bacias Hidrográficas no Estado do Rio Grande do Sul.....	20
Figura 3 - Mapa de localização do município de São Luiz Gonzaga/ RS no Sistema Aquífero Guarani (SAG).....	23
Figura 4 – Ciclo Hidrológico.	27
Figura 5 - Representação esquemática da distribuição vertical da água no solo e subsolo.....	29
Figura 6 - Tipos de aquíferos.	32
Figura 7 - Fontes potenciais de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos.	36
Figura 8 - Fluxograma das etapas de desenvolvimento da pesquisa.....	54
Figura 9 – Esquema conceitual do modelo “GOD”.....	61
Figura 10 - Esquema de Análise da Metodologia “GOD”.	62
Figura 11 – Mapa de espacialização dos poços tubulares na área de estudo	65
Figura 12 - Poços da CORSAN que atingem o Aquífero Guarani.....	66
Figura 13 - Perfis dos poços que captam água do Aquífero Guarani.....	67
Figura 14 - Poços sem selo sanitário: (A) P9 e (B) P11.	68
. 68	
Figura 16 – Momento da medida da alcalinidade da água subterrânea.....	70
Figura 17 – Mapa de espacialização da alcalinidade da água dos poços na área de estudo	72
Figura 18 – Mapa de espacialização da condutividade elétrica da água dos poços na área de estudo.....	74
Figura 19 – Mapa de espacialização do oxigênio dissolvido (O ₂) da água dos poços na área de estudo	76
Figura 20 – Mapa de espacialização do pH da água dos poços na área de estudo ..	79

Figura 21 – Mapa de espacialização dos Sólidos Totais Dissolvidos (STD) da água dos poços na área de estudo.....	81
Figura 22 – Mapa de espacialização da temperatura da água dos poços na área de estudo	83
Figura 23 – Mapa de espacialização do nível estático dos poços na área de estudo	86
Figura 24 – Mapa de espacialização da profundidade dos poços na área de estudo	88
Figura 25 – Modelo Numérico do Terreno (MNT) da área de estudo.....	89
Figura 26 – Mapa da espacialização da altitude na “boca” dos poços na área de estudo	90
Figura 27 – Mapa da superfície potenciométrica dos aquíferos da área de estudo ..	91
Figura 28 - Fontes pontuais de contaminação - lixão (A); posto de combustível (B) e cemitério (D) e fonte difusa – canal superficial contaminado (C).....	93
Figura 29 – Fontes potenciais de contaminação: processo de crescimento da área urbana (A); canal superficial contaminado (B) (setor Sudoeste da área urbana) e construção de “poço negro” (C).	95
Figura 30 – Área de afloramento da Fm. Botucatu (A) e “poço negro” construído sobre rochas de arenito aflorante.	95
Figura 31 – Mapa da espacialização das fontes potencialmente poluidoras na área de estudo	99
Figura 32 – Mapa da espacialização da vulnerabilidade natural dos aquíferos na área de estudo	102
Figura 33 - Aspectos da Fm. Botucatu (A) e da Fm. Serra Geral (B).....	103

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.....	42
Quadro 3 – Parâmetros de análise físico-químicos de campo em abril de 2005 e agosto de 2006.....	69
Quadro 4 – Parâmetros Hidrodinâmicos.....	84
Quadro 5 – Postos de combustível identificados na área de estudo.....	96
Quadro 6 – Lava-a-jatos identificados na área de estudo.....	97
Quadro 7 – Cemitérios identificados na área de estudo.....	98
Quadro 8 – Índices de vulnerabilidade em 9 poços na área de estudo.....	100

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 – Banco de Dados sobre os poços cadastrados na área de estudo 118

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	9
LISTA DE QUADROS.....	11
LISTA DE ANEXOS	12
INTRODUÇÃO	15
1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
1.1 Localização do Município de São Luiz Gonzaga/ RS.....	18
1.2 Aspectos Históricos do Município de São Luiz Gonzaga/ RS	20
1.3 Aspectos Físicos do Município de São Luiz Gonzaga/ RS.....	21
1.4 Aspectos Sócio-econômicos do Município de São Luiz Gonzaga/ RS.....	24
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	26
2.1 Recursos Hídricos	26
2.2 Recursos Hídricos Subterrâneos	30
2.3 Sistemas Aqüíferos	32
2.3.1 Sistema Aqüífero Guarani	33
2.4 Contaminação dos Recursos Hídricos Subterrâneos.....	35
2.5 Vulnerabilidade natural de sistemas aqüíferos e risco de poluição das águas subterrâneas	40
2.5.1 Métodos para avaliar a vulnerabilidade de aqüíferos	41
2.5.1.1 Método “GOD” e mapeamento da vulnerabilidade natural	43
2.5.2 Parâmetros Hidrodinâmicos relacionados à vulnerabilidade natural	44
2.6 Aspectos Qualitativos das águas subterrâneas	45
2.7 Proteção dos recursos hídricos subterrâneos.....	48
2.8 Sistemas de Informação Geográfica (SIG).....	50
2.9 Cartografia de informação hidrogeológica.....	52
3 MÉTODOS E TÉCNICAS	54
3.1 Procedimentos Metodológicos	54

3.2 Procedimentos Técnicos.....	56
3.2.1 Delimitação da área de estudo.....	56
3.2.2 Cadastro dos poços.....	57
3.2.3 Coleta dos parâmetros.....	57
3.2.4 Mapa da Distribuição Espacial dos Poços.....	58
3.2.5 Mapa de espacialização dos dados físico-químicos, hidrodinâmicos e vulnerabilidade.....	59
3.2.6 Modelo Numérico do Terreno (MNT).....	60
3.2.7 Avaliação do índice de Vulnerabilidade Natural à contaminação de aquíferos.....	61
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	64
4.1 Análise e cadastro dos poços.....	64
4.2 Análise dos parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos.....	68
4.2.1 Análise dos parâmetros físico-químicos.....	68
4.2.1.1 Alcalinidade.....	70
4.2.1.2 Condutividade elétrica.....	73
4.2.1.3 Oxigênio Dissolvido (OD).....	75
4.2.1.4 pH (potencial hidrogeniônico).....	77
4.2.1.5 Sólidos Totais Dissolvidos (STD).....	80
4.2.1.6 Temperatura.....	82
4.2.2 Análise dos parâmetros hidrodinâmicos.....	84
4.2.2.1 Nível Estático.....	85
4.2.2.2 Profundidade.....	87
4.2.2.3 Superfície Potenciométrica e análise do relevo.....	89
4.3 Identificação das fontes potencialmente poluidoras.....	92
4.3.1. Urbanização e os cursos de água superficial potencialmente contaminados.....	93
4.3.2 Postos de serviços e lava-a-jatos.....	96
4.3.3 Cemitérios.....	97
4.3.4 Disposição de resíduos sólidos.....	98
4.4 Índice de Vulnerabilidade Natural dos Sistemas Aquíferos.....	100
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES.....	104
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS.....	107
ANEXOS.....	117

INTRODUÇÃO

Historicamente, a água sempre foi um recurso indispensável para o ser humano, sendo considerada a “molécula da vida”. A água é utilizada na irrigação, na dessedentação dos animais e no abastecimento das cidades, sendo que este último uso tem aumentado substancialmente, acompanhando o crescimento populacional.

Atualmente tem-se uma grande procura pela água subterrânea como fonte para o abastecimento urbano, visto que as águas superficiais se tornam cada vez mais poluídas. Outro motivo é o baixo custo de captação e distribuição, além de um menor grau de contaminação.

Conseqüentemente tem-se uma crescente exploração deste recurso, que é feita na maioria das vezes sem o devido cuidado, ocasionando assim, problemas no que tange a alteração da qualidade das fontes subterrâneas de água que pode ser causada por vazamentos de fossas sépticas, solos contaminados, disposição ilegal e não regulamentada de lixões, cemitérios, entre outras.

Diante disso, esta pesquisa, tem como problemática de estudo a vulnerabilidade natural nos aquíferos Serra Geral e Guarani e os riscos de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos no município de São Luiz Gonzaga no Estado do Rio Grande do Sul.

O trabalho tem como objetivo principal analisar os recursos hídricos subterrâneos da área de estudo, no que diz respeito à vulnerabilidade natural dos aquíferos (Método *G.O.D*) e realizar uma avaliação das características físico-químicas (vistas às normativas) e hidrodinâmicas da água subterrânea. Além disso, objetiva-se cadastrar os poços tubulares e as atividades potencialmente poluidoras da água subterrânea na área urbana e parte da área rural.

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 nas águas subterrâneas, por sua localização no interior de rochas, a penetração de substâncias poluidoras tem maior dificuldade, além disso, muitas rochas funcionam como filtro, tornando os custos de tratamento menores. Normalmente o tratamento é realizado com cloração e fluoretação de acordo com a Portaria 518/ 2004.

Visto que os recursos hídricos subterrâneos estão sofrendo uma intensa e crescente exploração, há ainda poucas informações disponíveis sobre estes recursos, no que diz respeito à qualidade, quantidade, localização e informações sobre os poços de captação, bem como das atividades poluidoras, resultando numa falta de controle adequado por parte do poder público e da sociedade em geral, com vistas ao uso racional da água subterrânea.

No município de São Luiz Gonzaga, mais de 70%¹ da população é abastecida por água subterrânea, advinda de poços tubulares pertencentes à Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) e à Prefeitura Municipal de São Luiz Gonzaga (PMSLG), além da água de poços tubulares de uso particular.

Assim, tem-se a importância de estudos que investiguem os recursos hídricos subterrâneos, visto que, apesar de muito utilizados ainda são pouco conhecidos. Fazem-se necessárias análises que disciplinem a exploração das águas subterrâneas, bem como, a caracterização da vulnerabilidade natural dessas áreas.

Deve-se lembrar que existem várias legislações que regulam o uso e outorga das águas subterrâneas. A Constituição Federal de 1988 atribui aos Estados a obrigação de legislar. O Código de Meio Ambiente do Estado do RS/2000, no Art. 134, “Incumbe ao Poder Público manter programas permanentes de proteção das águas subterrâneas, visando ao seu aproveitamento sustentável, e a privilegiar a adoção de medidas preventivas em todas as situações de ameaça potencial a sua qualidade”. Ainda o Decreto Estadual Nº. 42.047/2002 também regulou o uso das águas subterrâneas no Estado.

Neste sentido, justifica-se a realização desta pesquisa, em razão de que as águas subterrâneas estão sendo deterioradas pelas atividades antrópicas, e já é fato

¹ Segundo dados da CORSAN/ São Luiz Gonzaga

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 de 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.

A presente pesquisa foi estruturada em quatro capítulos. No capítulo um apresenta-se a localização da área de estudo e uma breve descrição dos aspectos históricos, físicos, sociais e econômicos, onde se caracterizam de modo geral todos os aspectos pertinentes à área em estudo.

O capítulo dois 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 três constam os procedimentos metodológicos das etapas de efetivação da pesquisa, os quais estão divididos em procedimentos metodológicos e procedimentos técnicos.

E, por fim, no capítulo quatro apresentam-se os resultados e discussões da pesquisa desenvolvida, ou seja, o que realmente foi investigado nesta pesquisa.

1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

1.1 Localização do Município de São Luiz Gonzaga/ RS

O município de São Luiz Gonzaga está localizado nas coordenadas geográficas 28° 24' 30" de latitude sul e 54° 57' 35" de longitude oeste do meridiano de Greenwich, a uma altitude média de 231 metros. Apresenta uma área territorial de 1.297,9 Km², sendo 15 Km² de área urbana e 1.282,9 Km² de área rural (PMSLG, 2007).

São Luiz Gonzaga pertence à macrorregião sul do país, a Mesorregião Noroeste Rio-Grandense e à Microrregião de Santo Ângelo. No que diz respeito aos Coredes (Conselhos Regionais de Desenvolvimento), o município em estudo está inserido no Corede Missões (FEE, 2007).

O município está distante 533 km da capital Porto Alegre e, apresenta como principal via de acesso, a rodovia federal BR-285, sendo beneficiado também, com as rodovias estaduais RS-161 e RS-168.

Os limites políticos do município de São Luiz Gonzaga são: ao norte os municípios de Caibaté, Cerro Largo, Salvador das Missões, São Pedro do Butiá e Roque Gonzales; ao sul o município de Bossoroca; ao leste os municípios de São Miguel das Missões e Vitória das Missões e ao oeste os municípios de Dezesesseis de Novembro, Santo Antônio das Missões e São Nicolau (Figura 1).

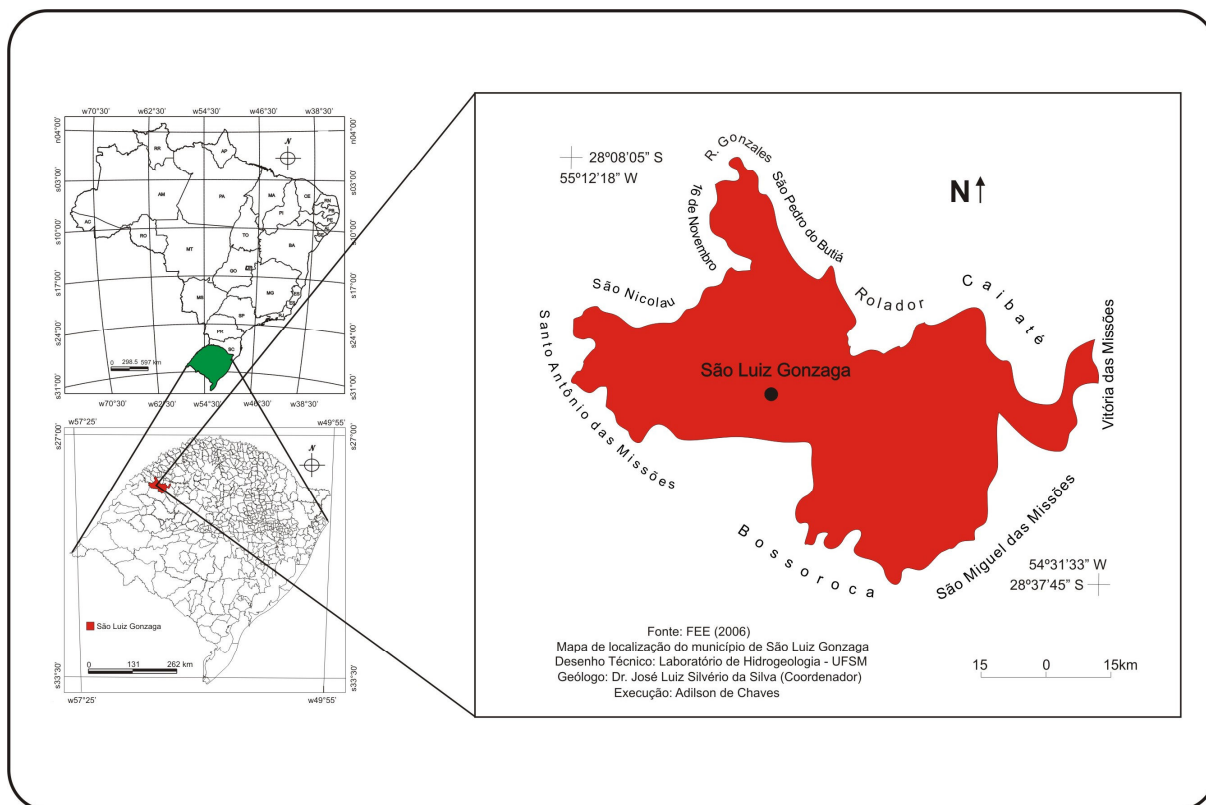


Figura 1 - Mapa de localização do município de São Luiz Gonzaga/ RS.

Outra importante localização a ser realizada, é quanto à Bacia Hidrográfica, na qual a área de estudo está inserida, visto ser a unidade básica de planejamento e gestão (Artigo 171 da Constituição Estadual/ 1989). A Lei 10.350/94 estabeleceu para cada bacia do estado a formação de comitês de gerenciamento de bacias, sendo que para o Rio Grande do Sul foi determinada a criação de três Regiões Hidrográficas: Região Hidrográfica do Guaíba (G), Região Hidrográfica do Uruguai (U) e Região Hidrográfica do Litoral (L). Essas regiões foram subdivididas em bacias hidrográficas, totalizando 25 unidades, sendo que para cada uma esta prevista a criação de um comitê de bacia.

O município de São Luiz Gonzaga pertence à Região Hidrográfica do Uruguai (U), pertencendo a duas Bacias Hidrográficas, U 40 - Butuí - Piratinim - Icamaguã e U 90 – Ijuí (Figura 2).

De acordo com a Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA, 2007), o Comitê de Gerenciamento U 90 – Ijuí, já se encontra instalado. Já o Comitê de Gerenciamento U 40 - Butuí-Piratinim-Icamaguã, encontra-se em comissão provisória.

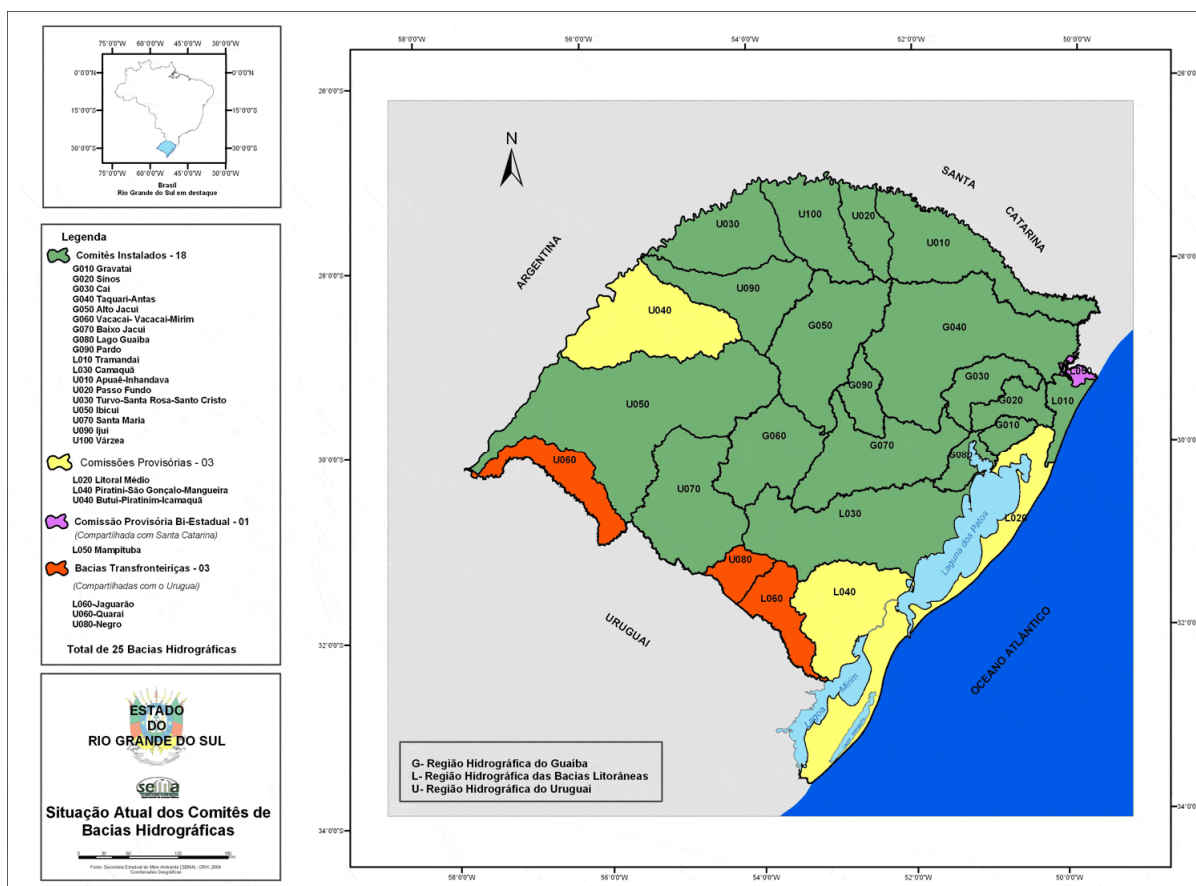


Figura 2 - Mapa dos Comitês de Bacias Hidrográficas no Estado do Rio Grande do Sul.
 Fonte: SEMA (2007).

1.2 Aspectos Históricos do Município de São Luiz Gonzaga/ RS

Historicamente, o início do processo de ocupação da área se deu quando em 1687, padre Miguel Fernández, sacerdote da Companhia de Jesus, partiu do povoado missionário de Conceição (atual Argentina), acompanhado de 2922 guarani-missionários para fundar a Missão de São Luiz Gonzaga, às margens do arroio Ximbocu, afluente do rio Piratini.

São Luiz Gonzaga fez parte da República Guarani desde sua fundação, até 1756 quando, em consequência do Tratado de Madri (1750) os índios e os jesuítas foram expulsos pelos exércitos português e espanhol.

Após a expulsão dos Jesuítas das Missões, estabeleceu-se um novo plano de governo cujos resultados foram desastrosos. Tudo que havia sido construído com arte, gosto, trabalho, e sacrifício de preciosas vidas entrou em decadência. Os

índios, que haviam se transformados, em pedreiros, pintores e entalhadores, foram mortos ou fugiram abandonando o território vítimas da fúria dos exércitos na luta pela terra (Nascimento, 2001).

O tempo passou e São Luiz Gonzaga entrou na fase agrícola. Depois de mais de um século de inteiro abandono, já no século XIX, a região começou a experimentar um clima de desenvolvimento e, em 1880, ano da emancipação política², São Luiz Gonzaga já possuía algumas das edificações necessárias para que a vila prosperasse. No início do século XX, o então Senador Pinheiro Machado procurou canalizar atividades de progresso para o local: o aprendizado agrícola, a estrada de ferro e a ponte sobre o rio Piratini, foram disponibilizados graças à sua intervenção.

Nascimento (1987) divide a História de São Luiz Gonzaga em quatro fases: a Construção, o Apogeu, a Decadência e a Reconstrução. A Construção tem seu início com a fundação da redução em 1687, indo até a primeira década do século XVIII. O Apogeu vai até 1750, quando São Luiz Gonzaga atinge um grande desenvolvimento econômico, social, político e cultural. A Decadência (fase da Guerra) estende-se até o início do século XX. A fase mais recente, a da Reconstrução, inicia durante a década de 1910 - 1920.

1.3 Aspectos Físicos do Município de São Luiz Gonzaga/ RS

De acordo com o projeto RADAMBRASIL (1986), morfologicamente, a área em estudo encontra-se inserida na Região Geomorfológica do Planalto das Missões, que faz parte do Domínio Morfoestrutural das Bacias e coberturas sedimentares e ocupa a porção central, entre a Região Geomorfológica Planalto das Araucárias para Leste e Sul, e a Região Geomorfológica Planalto da Campanha para Oeste e Sudoeste.

Quanto à geologia da área, segundo Carraro et al. (1974), São Luiz Gonzaga pertence à Província Geomorfológica do Planalto e à Formação Serra Geral (Jurássico-Cretáceo), Grupo São Bento, composta de lavas basálticas, diques e sills

² A emancipação política de São Luiz Gonzaga ocorreu em 03 de junho de 1880 (Nascimento, 2001).

de diabásio associados. Os principais constituintes do basalto são o plagioclásio (labradorita) e os piroxênios (augita e pigeonita). Ainda, segundo Carraro et al. (1974), na área em estudo "... O principal vulcanismo ocorreu na parte média do Cretáceo Inferior (120-130 milhões de anos) tendo, porém as principais manifestações ocorrido no Jurássico Superior ou mesmo antes."

No que diz respeito à Hidrogeologia do município, uma caracterização importante a ser feita é sobre a Província Hidrogeológica a qual o mesmo pertence. São Luiz Gonzaga faz parte da Província Basáltica, que de acordo com Hausman (1995, p.68):

Fazendo parte integrante de um dos maiores derrames de lava do mundo, recobre aproximadamente 1.200.000 Km² na América do Sul. No Rio Grande do Sul, a área recoberta pelos basaltos, é da ordem dos 137.000 Km², o que representa quase a metade do território do Rio Grande do Sul.

Ainda, segundo este autor, à estrutura da Província Basáltica, para o Norte, o contato do basalto com o arenito sobe, até atingir em São Luiz Gonzaga profundidades inferiores a 120m.

As variações morfológicas, estruturais e a espessura do derrame, permitiram distinguir as Sub-Províncias. Assim, a presente área faz parte da Sub-Província do Planalto. Hausman (1995, p.84), nos diz que:

O planalto (...) constitui uma unidade geomorfológica, bem definida, apresentando peculiaridades sob o ponto de vista hidrogeológico, que permite classificá-lo como uma sub-unidade. De um lado temos a geomorfologia que lhe imprime características hidrogeológicas e de outro, a sua espessura aliada a uma geometria peculiar, que o individualiza quanto à possibilidade de ser atingido o arenito subjacente.

Outra característica da Sub-Província do Planalto citada por Hausman (1995, p. 84), é que, "É formado pelas maiores espessuras da coluna vulcânica, sobreposta aos arenitos, um dos fatos que o individualiza das outras Sub-Províncias".

Nesta Sub-Província, de uma maneira geral, a captação do Arenito Botucatu não é viável, pois não permite um bombeamento técnico e economicamente viável por estar profundo. São Luiz Gonzaga, não se enquadra nesta situação, pois, segundo Hausman (1995, p. 87), "Em alguns pontos, na porção ocidental do Planalto, o aquífero Botucatu poderá ser atingido em profundidades bem menores, inferiores a 200m, como em São Luiz Gonzaga".

Um aspecto hidrogeológico importante sobre o município, é que o mesmo apresenta seu território na área de abrangência do Aquífero Guarani (Figura 3), considerado um dos maiores mananciais de água doce subterrânea do mundo.

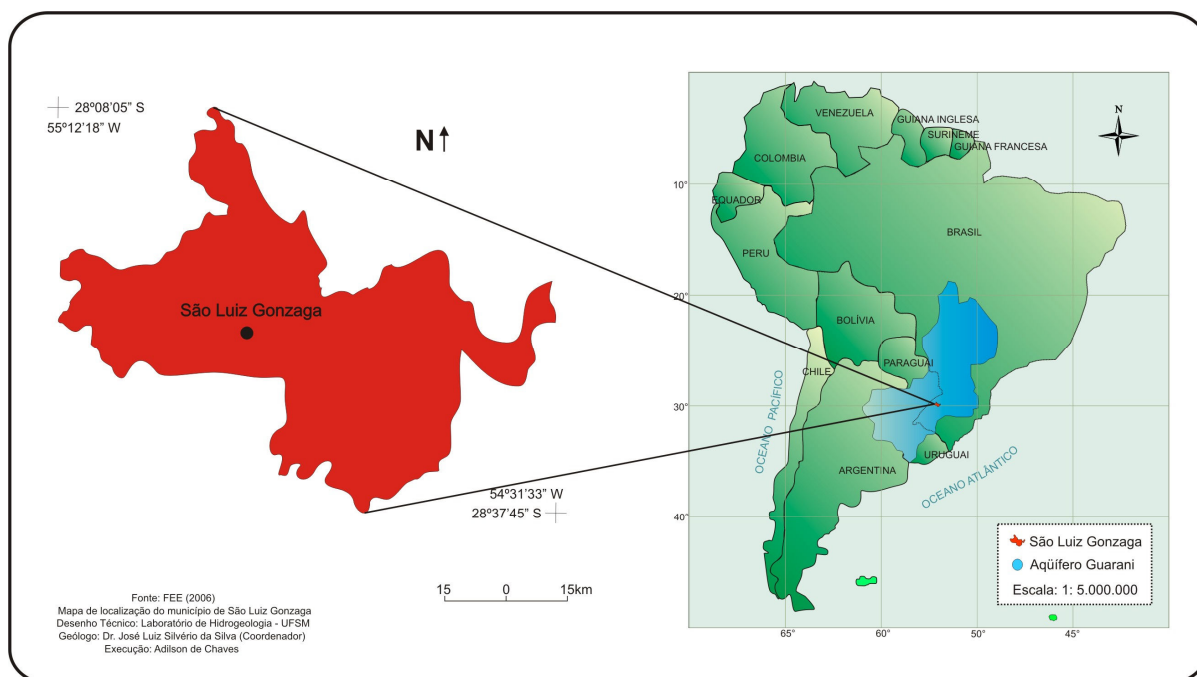


Figura 3 - Mapa de localização do município de São Luiz Gonzaga/RS no Sistema Aquífero Guarani (SAG).

Ainda deve-se destacar o Mapa Hidrogeológico do Estado do RS, realizado pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM, 2006). A área em estudo faz parte da Formação Serra Geral (Sistema Aquífero Serra Geral I/ sg1), considerado Aquífero com alta a média possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidade por fraturas. Ainda, segundo o Mapa Hidrogeológico, a área de estudo apresenta duas Unidades Hidroestratigráficas, sendo elas, a Serra Geral (SG), com baixa produtividade, apresentando uma capacidade específica (Q/s) entre 0,5 e 2 m³/h/m e a Botucatu (Bot), com média produtividade, apresentando uma capacidade específica (Q/s) entre 2 e 4 m³/h/m.

Quanto à pedologia da área, São Luiz Gonzaga apresenta solos de cor avermelhados, que indicam a presença de óxido de ferro e apreciáveis quantidades de matéria orgânica. Segundo a EMBRAPA, estes solos são denominados Latossolos, que possuem excelentes condições físicas, e embora apresentem

graves limitações quanto à fertilidade natural, tornam-se excepcionalmente produtivos quando utilizado sob sistemas de manejo tecnificados, que incluem a correção da acidez, o aumento da fertilidade e o controle da erosão.

Quanto à classificação climática, segundo Köppen (1948), pode ser enquadrada para a área em estudo em um clima subtropical com verões quentes e invernos moderados, do tipo Cfa, descrito como:

C: temperado quente ou mesotermal, temperatura média do mês mais frio entre -3°C e 18°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 .

A precipitação média anual em São Luiz Gonzaga é de 1800mm, sendo a temperatura média anual de 20°C (Hausman, 1995).

Quanto à vegetação presente na área de estudo, há predominância de campos e parte da cobertura vegetal é de floresta subtropical (Tomasi & Araújo, 2004).

São Luiz Gonzaga apresenta-se sulcado pelos arroios Piraju, Itapevi, Barrigudo e Ximbocuzinho³ e pelos rios Ijuí, Piratini e Ximbocu, pertencentes a duas bacias hidrográficas que banham a região, a do Ijuí e a Piratinim. A área urbana, por estar localizada num patamar, apresenta uma drenagem do tipo radial, onde as principais nascentes localizam-se no perímetro urbano. Este conjunto hidrográfico é em parte responsável pela recarga dos aquíferos da área.

1.4 Aspectos Sócio-econômicos do Município de São Luiz Gonzaga/ RS

Conforme o censo demográfico do IBGE (2000), a população do município de São Luiz Gonzaga totalizou 39.553 habitantes, com uma densidade demográfica de

³ O arroio Ximbocuzinho está distante aproximadamente 6 km do perímetro urbano e abastece em parte a população urbana são-luisense (cerca de 30% do abastecimento urbano segundo dados da CORSAN). Como já mencionado anteriormente, o restante, cerca de 70% do abastecimento urbano é realizado pela captação de água subterrânea, provinda de poços que atingem o Aquífero Guarani no município.

30,47 hab/ Km². Estimativas do IBGE apontaram para o ano de 2005, uma população total de 35.454 habitantes.

Quanto à distribuição da população por sexo, 19.272 habitantes são do sexo masculino e 20.281 habitantes são do sexo feminino. No que se refere à distribuição urbano-rural, tem-se que 6.801 habitantes se encontram no meio rural e 32.752 habitantes compõe a população urbana do município (IBGE, 2000).

Segundo dados da FEE (2000), a taxa de analfabetismo no município apresentou um índice de 9,78% e a expectativa de vida ao nascer foi de 73,36 anos.

No que diz respeito à economia do município de São Luiz Gonzaga, a mesma está baseada no setor primário, na agricultura e na pecuária. Na agricultura destacam-se a produção de soja – 134.460 toneladas; mandioca – 15.000 toneladas; trigo – 32.400 toneladas; milho – 16.610 toneladas e arroz – 1.615 toneladas. Na pecuária merecem destaque as criações de bovinos - 71.700 cabeças; ovinos - 6.500 cabeças e suínos - 6.140 cabeças (IBGE, 2003).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Recursos Hídricos

A água se encontra presente em quase todos os lugares, denominando-se “molécula da vida”. Assim, segundo Branco (1993, p.42),

Sendo fator indispensável à vida dos seres terrestres a água é utilizada na irrigação dos solos, na dessedentação dos animais de criação e no abastecimento das cidades. Esse último uso é considerado o mais complexo abrangendo todas as qualidades que podem ser exigidas nos outros dois.

Considerada a substância mais abundante do planeta, a água recobre 2/3 da superfície terrestre. No entanto, cerca de 97,5% do total de água na Terra é salgada. Menos de 2,5% são doces e estão distribuídas entre as calotas polares (68,9%), os aquíferos (29,9%), rios e lagos (0,3%) e outros reservatórios (0,9%). Assim, apenas 1% da água doce pode ser aproveitado pela humanidade, o que representa 0,007% de toda a água do planeta (Hirata, 2000).

Com o crescimento populacional e o desenvolvimento industrial e tecnológico, a demanda por água tem aumentado substancialmente. Desta forma, os recursos hídricos têm sofrido significativas alterações. A água é um recurso natural renovável, no entanto não é inesgotável, sofrendo assim sensivelmente com as ações humanas que modificam a qualidade e a quantidade da água no tempo e no espaço (Christofidis, 2002).

Desta forma, os recursos hídricos tornam-se escassos, adquirindo um valor cada vez maior, tornando-se assim, um bem econômico. Percebe-se então, atualmente, uma valorização da água como um bem dotado de valor econômico. A própria legislação brasileira dos recursos hídricos, mais especificamente a Lei 9.433/97, estabelece alguns instrumentos, entre eles a cobrança pelo seu uso.

Os recursos hídricos têm a sua distribuição na Terra comandada pelo ciclo hidrológico (Figura 4).

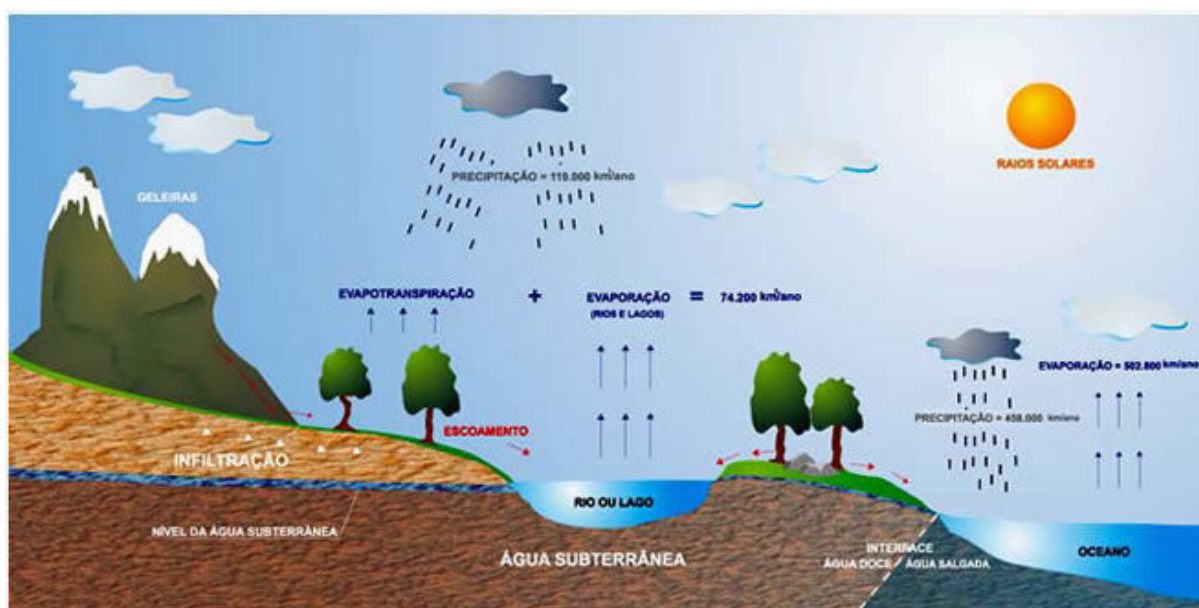


FIGURA 1.2 - CICLO HIDROLÓGICO FONTE: BOSCARDIN BORGHETTI et al. (2004)

Figura 4 – Ciclo Hidrológico.

Fonte: <http://www.oaquiferogarani.com.br>

Segundo Tucci et al. (1993, p. 35), “(...) o ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada de água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e a rotação terrestre”.

O ciclo hidrológico, ou ciclo da água na Terra, é a contínua circulação da água em nosso planeta. Não tem início nem fim, mas o conceito de ciclo hidrológico comumente começa com as águas do oceano, uma vez que cobrem 3/4 da superfície da Terra (CETESB, 1978).

A descrição do ciclo hidrológico pode ser feita a partir do momento em que a precipitação toma um destino variado. Uma parcela é reevaporada, outra é interceptada pela vegetação, construções e outros objetos, e é parcialmente reevaporada diretamente. Outra parcela escoar sob a superfície terrestre até os

cursos d'água. Outra parte infiltra-se na terra. Esta última parte pode ter vários destinos; parte é retirada por capilaridade à superfície; outra é utilizada pela vegetação; outra parte, ainda, junta-se à água do solo; por fim, uma parte, que é na maioria das vezes insignificante mas com importância considerável, infiltra-se até grandes profundidades até o lençol freático. A água em meio subterrâneo tem seu deslocamento lento, assim, a água subterrânea⁴ levará dias para percorrer poucos metros (Brater & Wisler, 1964).

Também, parte da água infiltrada no subsolo ajuda a manter a dinâmica das águas superficiais, assim segundo CETESB (1978, p. 13):

Ao juntar-se à massa da água subterrânea, a água infiltrada move-se através dos poros da matéria do subsolo, podendo reaparecer na superfície em locais de nível inferior ao que penetrou no lençol aquífero. A água subterrânea descarrega naturalmente em tais lugares em forma de vertentes, que mantêm o fluxo dos cursos em período de estiagem.

O ciclo hidrológico é, pois, o sistema pelo qual a natureza faz a água circular do oceano para atmosfera e retornar, superficial e subterraneamente, ao oceano por vias tortuosas, umas curtas e outras longas, quer quanto ao tempo, quer quanto ao espaço.

No que toca à distribuição da água no solo e nas formações geológicas, deve-se considerar duas zonas de acordo com a proporção relativa do espaço poroso ocupado pela água (Figura 5): zona de aeração e zona de saturação, onde ocorre a superfície freática, lençol freático ou ainda superfície piezométrica.

⁴ Água subterrânea, de acordo com a Resolução Nº. 15 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos “as águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo”.

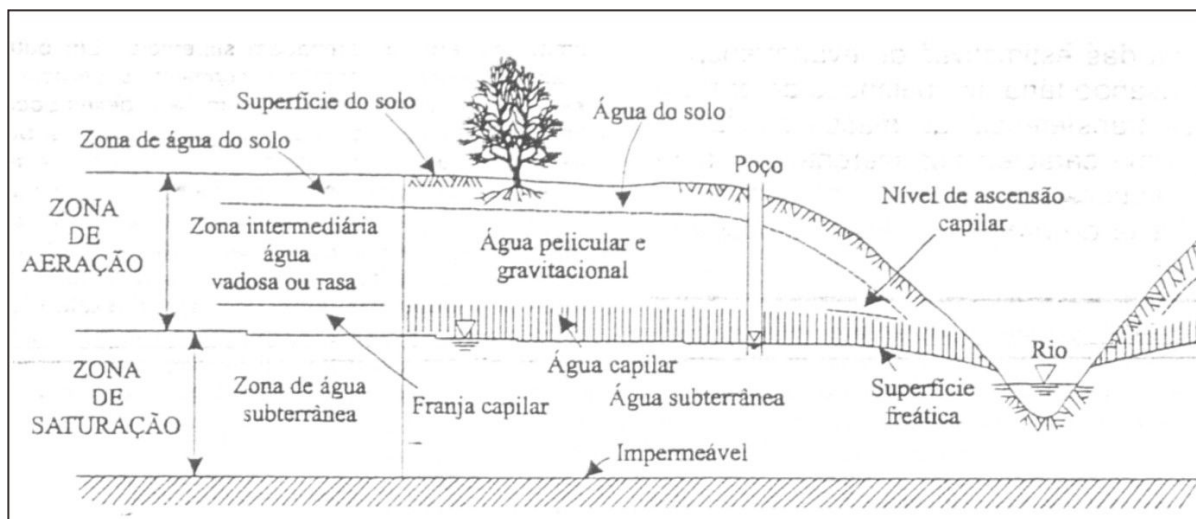


Figura 5 - Representação esquemática da distribuição vertical da água no solo e subsolo.
Fonte: Cabral et al. (2001).

Assim Tucci et al. (1993, p. 289), considera as seguintes zonas:

Zona de saturação: todos os espaços vazios encontram-se completamente ocupados pela água; zona de aeração: os poros contêm água e ar (ou vapor de água). A zona de saturação está limitada superiormente pela linha de saturação (superfície piezométrica) e inferiormente por uma barreira impermeável. As fontes, os poços e as correntes efluentes têm origem na zona de saturação.

A zona de aeração está limitada pela superfície do terreno e pela linha de saturação. Podem-se diferenciar três zonas: a zona de água do solo, a zona intermediária e a zona capilar.

A água que ocorre na zona saturada é denominada de água subterrânea, e pode ser retirada a partir de perfuração de poços tubulares; esta zona é limitada em seu topo por uma limítrofe de saturação ou por camadas impermeáveis de leitos ou argila ou rocha.

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).

2.2 Recursos Hídricos Subterrâneos

O homem dispõe de dois tipos de recursos para o abastecimento: as águas de superfície (lagos, cursos de água, represas etc.) e as águas subterrâneas que apesar de sua importância são pouco conhecidas.

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 subterrâneas cumprem uma fase do ciclo hidrológico, uma vez que constituem uma parcela da água da chuva (Borghetti et al., 2004).

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. Conforme Todd (1959), as águas subterrâneas, mencionadas sem nenhuma outra especificação, são aquelas que ocupam todos os vazios de um estrato geológico.

Para Guerra & Guerra (1997), 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, por não ocupar espaço em superfície; sofrer menor influência nas variações climáticas; ser passível de extração perto do local de uso; ter temperatura constante; ter maior quantidade de reservas; ter melhor qualidade (física, química, biológica), ter proteção contra agentes poluidores; os poços são construídos à medida que é necessário mais água.

Por apresentar vantagens em relação às águas superficiais, 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 aquíferos, o que a torna uma fonte importante de abastecimento de água em todo o mundo.

A água de aquíferos confinados ou livres poderá ser extraída com a perfuração de poços tubulares (popularmente chamados de poços artesianos), que são alternativas pouco onerosas ao abastecimento humano, agropecuário ou industrial, mas, para tanto, deverão ser bem projetados e construídos, de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), para evitar a contaminação por dejetos domésticos, industriais, fertilizantes, entre outros.

Segundo a NBR 12244/92, "(...) Poço é definido como qualquer obra de captação de água subterrânea executada com sonda, mediante perfuração vertical". Também, esta norma estabelece que o poço deve ter selo sanitário, perfil construtivo e ser executado por técnicos habilitados.

Segundo a ABAS (2005), os poços rasos, cisternas, cacimbas ou amazonas, são poços de grande diâmetro (1 metro ou mais), escavados manualmente e revestidos com tijolos ou anéis de concreto. Captam a água do lençol freático e possuem geralmente profundidades na ordem de até 20 metros. Já os poços tubulares profundos (artesianos e semi-artesianos), são obras de engenharia geológica de acesso a água subterrânea, executada com sonda perfuratriz mediante perfuração vertical com diâmetro de 4" a 36" (polegadas) e profundidade de até 2000 metros, para captação de água.

2.3 Sistemas Aqüíferos

Um conceito importante a se considerar é o de aqüífero, que segundo Tucci et al. (1993, p. 289), “(...) é uma formação geológica (ou um grupo de formações) que contém água e permite que a mesma se movimente em condições naturais e em quantidades significativas”.

Os aqüíferos podem ser classificados em confinados e não confinados (livres ou freáticos), dependendo da ausência ou da presença da linha da água (Figura 6).

O aqüífero 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 aqüífero confinado, também conhecido como artesiano ou aqüífero sob pressão, ocorre quando o nível d'água está confinado sob pressão maior do que a atmosférica por estratos subjacentes relativamente impermeáveis (Todd, 1959).

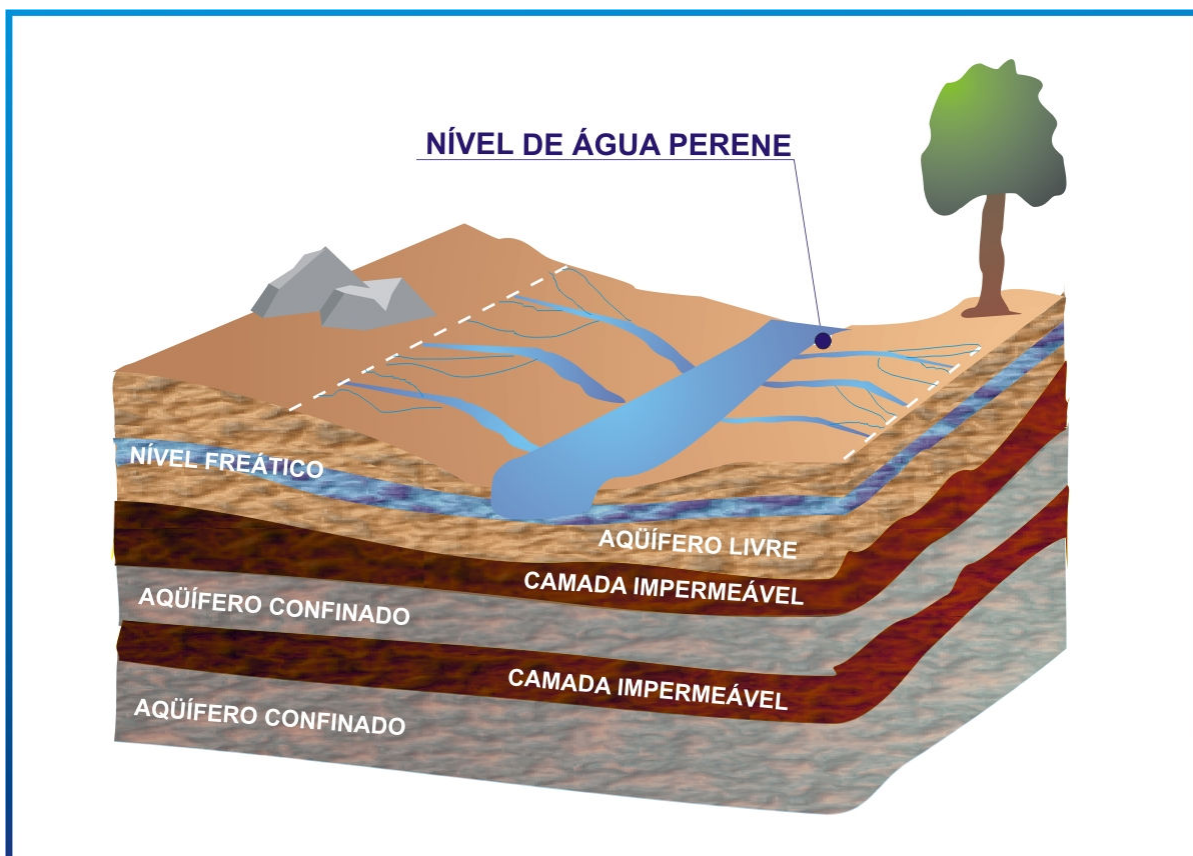


Figura 6 - Tipos de aqüíferos.

Fonte: <http://www.oaquiferoguarani.com.br>

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 ser divididos em quatro categorias, com base na forma de ocorrência: cursos de água, vales abandonados e soterrados, planícies e vales entre montanhas.

De acordo com a Resolução n. 15/2001, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) aquífero é o “corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos”.

Os aquíferos ocupam, na maioria das vezes, 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”.

Utiliza-se a denominação “Sistema”, pois um aquífero pode ocupar a área de uma ou de várias bacias hidrográficas, ou mesmo entre estados, ou ainda transfronteiriço entre países.

2.3.1 Sistema Aquífero Guarani

Considerado originalmente, o maior manancial de água doce subterrânea transfronteiriço do mundo, o Sistema Aquífero Guarani, estende-se desde a Bacia Sedimentar do Rio Paraná – Brasil, Paraguai e Uruguai – até a Bacia do Chaco – Paraná na Argentina. Está localizado 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 (Figura 3, área em cor azul).

O Aquífero Guarani tem extensão total aproximada de 1,2 milhões de Km² (1.195.000 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).

No Brasil ocupa parte de oito estados brasileiros: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais⁵.

Esse 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. 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. 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 e para fins de recreação e lazer (Viana, 2003).

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, menos onerosa, 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

⁵ Nota do orientador (2007).

desse recurso, bem como das atividades econômicas desenvolvidas em cada uma destas áreas. Estes estudos estão sendo realizados em vários projetos coordenados pela Secretaria Geral do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani.

2.4 Contaminação dos Recursos Hídricos Subterrâneos

Um ponto importante a se considerar, é a poluição das águas subterrânea, sendo difícil sua identificação. Neste contexto entende-se a poluição das águas subterrâneas como qualquer deterioração na qualidade natural das águas, resultante de atividades humanas provocadas ou acidentais.

Quanto à área afetada pela contaminação das águas subterrâneas, pode ter origem em dois tipos de fontes: pontuais e difusas (Foster & Hirata, 1993).

A contaminação difusa dos recursos hídricos subterrâneos ocorre em função da falta de saneamento de áreas residenciais urbanas e do uso agrícola do solo com a disposição de agrotóxicos e/ ou fertilizantes. Já, como exemplo de fontes pontuais de contaminação tem-se os lixões, os aterros controlados e os aterros de disposição de resíduos industriais, fossas sépticas, vazamentos de produtos químicos, além de cemitérios.

Sobre a contaminação das águas subterrâneas Foster & Hirata (1993, p. 7) nos dizem que:

Prevenir a contaminação é melhor que remediá-la. Para os recursos hídricos, a preservação consiste em estabelecer um programa claro e eficiente de proteção dos aquíferos e controle das atividades humanas, planejando e ordenando a ocupação e o uso do solo. É condição essencial para o desenvolvimento de estratégias, visando à preservação dos recursos hídricos, o estabelecimento de áreas ou atividades com maior risco de degradação dos aquíferos, a fim de priorizar a aplicação de recursos técnicos e financeiros em locais de maior interesse sócio-econômico e ambiental.

Portanto, o estudo da vulnerabilidade de contaminação das águas subterrâneas se faz necessário. Vulnerabilidade, segundo Foster & Hirata (1993, p. 7):

Representa sua maior suscetibilidade a ser adversamente afetado por uma carga contaminante imposta. É um conceito inverso da capacidade de assimilação de contaminantes de um corpo receptor de água superficial, com a diferença de que os aquíferos possuem uma cobertura de substratos que proporciona uma maior proteção.

Para se avaliar os riscos de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos, faz-se necessário a análise sistêmica, ou seja, relacionando as fontes ou cargas contaminantes em superfície (Figura 7) e a vulnerabilidade natural existente na área. Desta forma, faz-se mister um estudo e levantamento das fontes ou atividades potencialmente poluidoras, verificando assim, as reais possibilidades de contaminação que essas atividades representam.

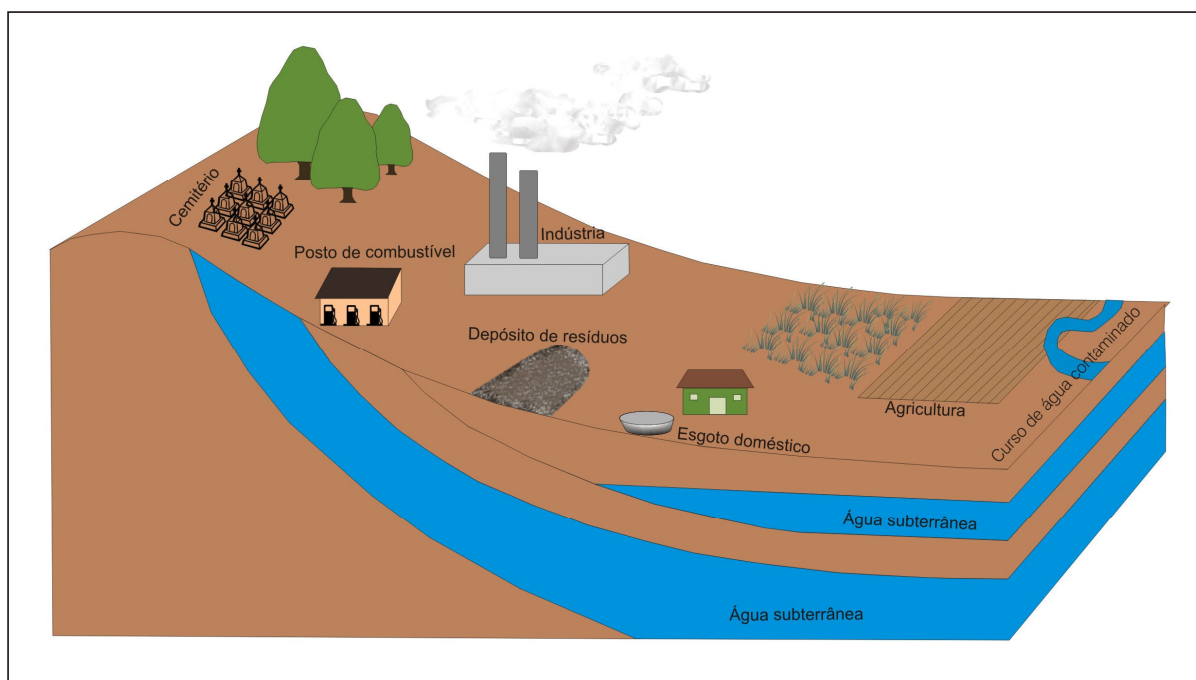


Figura 7 - Fontes potenciais de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos.
Fonte: Adaptado de Heath (1982)

Entre as principais atividades que têm gerado impacto sobre a qualidade das águas subterrâneas, podem-se citar a urbanização, a inadequada disposição de efluentes líquidos industriais e de resíduos sólidos e algumas práticas de cultivos agrícolas.

Segundo Foster & Hirata (1993, p. 31):

É fundamental a divisão entre contaminantes por fontes pontuais (que são fáceis de identificar) e por fontes difusas. Da mesma forma, é importante a subdivisão das atividades em que a geração da carga contaminante no subsolo é parte integral do projeto e atividades em que é componente incidental, especialmente considerando a sua implicação para a prevenção e o controle da contaminação.

Muita atenção tem sido dada aos impactos da urbanização sobre os cursos d'água superficiais. Contudo, a urbanização também afeta os recursos hídricos subterrâneos. Assim, por mudanças radicais no padrão e razão de recarga dos aquíferos e pelos impactos adversos na qualidade desta recarga, a urbanização pode influenciar diretamente na qualidade e quantidade das águas subterrâneas.

Assim, segundo Bovolatto (2005),

Um fato comum em relação aos processos envolvidos na urbanização é que resulta em impermeabilização (através da compactação dos solos e pavimentação) de uma significativa proporção da área superficial e a maior parte da água provém, muitas vezes, de áreas que extrapolam os limites urbanos. Arranjos de sistemas de saneamento e drenagem, os quais são fundamentais quando consideramos o ciclo hidrológico urbano, expandem-se com o tempo e variam amplamente em função dos diferentes padrões de desenvolvimento urbano. As mudanças na recarga dos aquíferos causadas pela urbanização, por sua vez influenciam os níveis da água subterrânea e os regimes de fluxo nos aquíferos. Isto pode levar muito tempo uma vez que a constante de resposta dos aquíferos são normalmente maiores que todos os componentes do ciclo hidrológico urbano. Conseqüentemente, levarão muitos anos antes que os aquíferos alcancem o equilíbrio com as mudanças hidrológicas induzidas pelos processos de urbanização.

Alguns processos relacionados à urbanização podem causar mudanças radicais na qualidade desta recarga. Esta tem sido a causa de severos problemas, porém essencialmente difusos relacionados à contaminação da água subterrânea por compostos nitrogenados (normalmente nitrato, mas às vezes amônia), elevação dos níveis de salinidade (especialmente sódio e cloreto) e elevadas concentrações de carbono orgânico dissolvido que, por sua vez, causa o aumento da solubilidade do ferro e de outros metais (Foster *et al.*, 1999).

Silvério da Silva *et al.* (2006), também identificaram nitratos e cloretos afetando a qualidade natural das águas do SAG na região da fronteira Brasil-Uruguai em Santana do Livramento-Rivera e em Quaraí-Artigas.

Os postos de combustível podem gerar contaminação das águas subterrâneas, pois estas instalações manipulam grandes volumes de hidrocarbonetos potencialmente contaminantes armazenados em tanques

enterrados, podendo ocorrer vazamentos devido à corrosão dos mesmos (Foster et al., 2003).

Segundo a ANA (2005), a preocupação com os postos de combustível e seus tanques de armazenamento subterrâneo, somados aos danos que podem causar ao meio ambiente, e o reconhecimento do potencial poluidor dos mesmos levou à criação da Resolução nº. 273 do CONAMA, que regulamenta a instalação destes empreendimentos, estabelecendo que a instalação e operação de postos revendedores de combustível dependerão de licenciamento prévio do órgão ambiental. Desta forma, os postos de combustível passam a ser passíveis de licenciamento ambiental.

Da mesma forma, os depósitos de resíduos sólidos também poluem as águas subterrâneas. Segundo a ANA (2005), o lixão é uma forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública.

Os resíduos lançados nos lixões acarretam problemas a saúde pública, como proliferação de vetores de doenças, geração de maus odores, e principalmente, poluição do solo e das águas subterrâneas e superficiais.

Os cemitérios executados de forma inadequada também podem ser risco potencial para a contaminação das águas subterrâneas.

Segundo Pacheco (2006), os sepultamentos de corpos, historicamente, remontam a 100 mil anos antes da nossa era. A partir de 10 mil anos a.C., as sepulturas são agrupadas e, assim, aparecem os primeiros cemitérios com túmulos individuais e sepulturas coletivas.

Foster & Hirata (1993, p. 39), afirmam que:

Os cemitérios, em que os cadáveres são enterrados nos solos, são uma fonte potencial de contaminação patogênica da água subterrânea e deveriam ser incluídos nos cadastros de atividades contaminantes.

Os cemitérios são um risco potencial para o meio ambiente, sendo que na maioria das vezes quando da sua implantação, a mesma ocorre em terrenos de baixo valor imobiliário ou com condições geológicas, hidrogeológicas e geotécnicas inadequadas. Os impactos ambientais são mais freqüentes nos cemitérios públicos, os quais, em geral, são implantados e operados de forma negligente.

Ainda segundo Pacheco (2006), os impactos ambientais causados pelos cemitérios, são classificados em duas categorias:

O impacto físico primário ocorre quando há contaminação das águas subterrâneas de menor profundidade (aqüífero freático) e, excepcionalmente, das águas superficiais. O impacto físico secundário ocorre quando há presença de cheiros nauseabundos na área interna dos cemitérios proveniente da decomposição dos cadáveres.

A decomposição dos cadáveres tem como resultado a liberação do líquido humoroso, também conhecido por necrochorume⁶. Com a ação das águas superficiais e, das chuvas infiltradas nas sepulturas o necrochorume pode atingir e contaminar as águas subterrâneas (aqüífero freático). Assim, se essa água fluir para áreas externas do cemitério e forem captadas através de poços escavados, pode trazer riscos à saúde das pessoas que dela consumirem.

Com a Resolução do CONAMA N^o. 335 de 03 de abril de 2003, os cemitérios horizontais e verticais a serem implantados terão que requerer licença ambiental para funcionamento. Também, segundo a Resolução N^o. 368 de 28 de março de 2006, diz que, “ (...) o nível inferior das sepulturas deverá estar a uma distância de pelo menos um metro e meio acima do mais alto nível do lençol freático, medido no fim da estação das cheias”.

Outra fonte potencial de contaminação são os cursos de águas superficiais contaminados. Os cursos de águas superficiais, como rios, ribeirões, riachos e canais, são freqüentemente usados para a disposição final de águas residuais e resíduos sólidos de diversas origens. Tais drenagens são convertidas em fontes de contaminação das águas subterrâneas, sob certas condições hidrológicas.

Os cursos de águas superficiais apresentam relação com as águas subterrâneas. Eles podem ser efluentes quando recebem a descarga das águas subterrâneas, ou influentes quando apresentam níveis de água superior aos níveis da água subterrânea, apresentando assim, potencial para recarregar os aqüíferos. Como resultado da sazonalidade do rio ou do bombeamento das águas subterrâneas, esta relação pode variar naturalmente.

⁶ O necrochorume é um líquido viscoso, de cor acizentada a acastanhada, cheiro acre e fético, polimerizável (tendência a endurecer), rico em sais minerais e substâncias orgânicas degradáveis, incluindo a cadaverina e a putrescina, duas aminas tóxicas, também conhecidas como alcalóides cadavéricos (Pacheco, 2006).

Assim, cursos de água poluídos que estiverem contribuindo para a recarga dos aquíferos, podem contaminar os mesmos. Segundo Foster & Hirata (1993, p. 66), “(...) qualquer curso de água muito contaminado, em condições de baixo fluxo, deve ser considerado como um perigo de alto potencial de contaminação das águas subterrâneas”.

Podemos assim entender, que os estudos sobre as águas subterrâneas e superficiais não devem ser tratados separadamente. Segundo Linley & Franzini (1978):

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 (Linley & Franzini, 1978, p. 99).

2.5 Vulnerabilidade natural de sistemas aquíferos e risco de poluição das águas subterrâneas

Para 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.

A vulnerabilidade de um aquífero é função da inacessibilidade hidráulica da penetração de contaminantes e a 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:

- a) forma de disposição do contaminante no subsolo e em particular a magnitude de qualquer carga hidráulica associada;
- b) mobilidade e persistência da classe do contaminante;

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).

Vulnerabilidade não significa risco de poluição. O risco de Poluição depende não só da vulnerabilidade, mas também da existência de cargas poluentes significativas que possam entrar no ambiente subterrâneo. Assim, é possível existir um aquífero com um alto índice de vulnerabilidade, mas sem risco de poluição, caso não haja carga poluente significativa, ou de haver um risco de poluição excepcional apesar do índice de vulnerabilidade ser baixo. O risco é causado não apenas pelas características intrínsecas do aquífero, muito estáveis, mas também pela existência de atividades poluentes (Leitão *et al.*, 2003).

2.5.1 Métodos para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos

Existem vários sistemas de avaliação e mapeamento de vulnerabilidade, entre eles, o Albinet e Margat (1970), Haertle (1983), Aller *et al.* (1987)⁷ e Foster (1987).

A seguir no Quadro 2 apresentam-se alguns dos métodos mais empregados, com seus respectivos fatores de análise.

⁷ Índice DRASTIC

MÉTODO	AVALIAÇÃO DE	FATORES	REFERÊNCIA
<i>Surface Impoundment Assessment</i>	Sistema de decomposição de águas servidas	- zona não saturada - Importância do recurso - Qualidade das águas subterrâneas - Periculosidade do material	Lê Grand (1964)
<i>Landfill Siste Ranking (Método Le Grand-Brawn)</i>	Aterros sanitários e novos e em operação	- Distância aterro e poço 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).

Alguns desses sistemas incluem índices de vulnerabilidade formados por parâmetros hidrogeológicos, morfológicos e outras formas de parametrização das características do meio, de um modo bem definido. A adoção de índices de vulnerabilidade tem a vantagem, em princípio, de eliminar ou minimizar a subjetividade inerente aos processos de avaliação (Leitão *et al.*, 2003).

2.5.1.1 Método “GOD” e mapeamento da vulnerabilidade natural

O método “GOD” foi desenvolvido por Foster (1987) e aprimorado para as condições brasileiras por Foster & Hirata (1993) e Foster *et al.* (2003). Baseia-se em informações pré-existentes e necessita de apenas três níveis de parâmetros: **G**= grau de confinamento hidráulico do aquífero, **O**= ocorrência dos tipos litológicos penetrados pelo poço e **D**= “Depht” a profundidade da água subterrânea. Portanto é um método que apresenta relativa facilidade de execução, bastando apenas que se tenham informações pré-existentes, que se faça uma avaliação da consistência das informações, ou que estes dados sejam buscados em cada poço.

Segundo Foster *et al.* (2003), o método de mapeamento da vulnerabilidade natural à contaminação consiste na hierarquização de índices relativos à maior ou menor sensibilidade a poluir a zona não saturada. Sendo assim, esse tipo de mapeamento é o primeiro passo na avaliação do risco à poluição da água subterrânea.

Para Meaulo (2004), os mapas de vulnerabilidade natural à contaminação combinam diferentes categorias de informações, que por sua vez, consideram as propriedades e/ou capacidade de proteção que cada tipo de material geológico apresenta ante os diversos tipos de poluentes. Nesse contexto, as classes de vulnerabilidade são unidades que mensuram de forma comparativa e relativa à capacidade atenuadora dos estratos sobrepostos ao nível da água.

Portanto, os mapas de vulnerabilidade são considerados como instrumentos preventivos e orientados para auxiliar no planejamento do uso e ocupação do solo, uma vez que com seu uso, podem-se definir áreas de maior e menor suscetibilidade à contaminação antrópica.

2.5.2 Parâmetros Hidrodinâmicos relacionados à vulnerabilidade natural

Os parâmetros hidrodinâmicos relacionados à vulnerabilidade natural são: altitude, profundidade, nível estático e superfície potenciométrica.

A altitude refere-se à representação da cota do terreno na “boca” dos poços subterrâneos (ABAS, 2005). Esta informação pode ser obtida através da medição em campo com auxílio de aparelho de GPS (Global System – Sistema de Posicionamento Global), ou ainda, com auxílio de uma carta topográfica da área em estudo. Também, pode-se obter esta informação através dos poços que estão cadastrados no SIAGAS/ CPRM.

A profundidade refere-se à medida, em metros, da “boca” do poço até o fundo dos mesmos (ABAS, 2005). Pode-se obter esta informação durante a perfuração dos poços.

O nível estático, de acordo com a NBR 12244, é a “(...) Profundidade do nível da água de um poço em repouso, isto é, sem bombeamento, medida em relação à superfície do terreno local”.

Segundo Yassuda et al. (1965, p. 22), nível estático de um poço, “(...) É o nível de equilíbrio da água, no poço, quando o mesmo não está sendo bombeado”.

O nível estático é o nível no qual a água permanece no poço quando não está sendo extraída do aquífero, quer por bombeamento ou por fluxo livre. Os níveis dos poços, em uma dada região, indicam o comportamento do lençol freático quanto à direção geral de seu fluxo (Leinz & Leonardos, 1970).

A medida do nível da água (nível estático) pode ser realizada através de uma sonda elétrica, constituída de um eletrodo suspenso por um par de fios metálicos isolados e de um amperômetro, que indica o fechamento do circuito e a passagem da corrente quando o eletrodo toca a superfície da água. Também, pode-se realizar esta medida através de uma trena de aço (Yassuda, 1965). Ainda pode ser realizada com uso do freatímetro, ou sonda sonora (apito) tipo Jaciri, com cabo de 100 metros.

Outro parâmetro hidrodinâmico é a superfície potenciométrica, que segundo Heath et al. (1982), é uma superfície que representa a carga total em um aquífero; ou seja, ela representa a altura acima do datum a qual o nível da água se eleva num poço bem vedado que penetra o aquífero.

A superfície potenciométrica indica a direção do fluxo da água subterrânea. É estabelecida através da diferença entre a cota do terreno, medido na “boca” do poço, e o nível estático do mesmo. Assim, a superfície potenciométrica é o valor da coluna de água no poço em relação a um datum. No presente trabalho considerou-se como nível zero o nível do mar no Porto de Imbituba/ Santa Catarina.

Assim, a superfície potenciométrica indica pontos equipotenciais, traçando-se perpendicularmente a essas, a linha de fluxo subterrâneo sob ação da gravidade e de parâmetros hidrodinâmicos das rochas (Moreira, 2005).

2.6 Aspectos Qualitativos das águas subterrâneas

Outra característica importante na investigação das águas subterrâneas são os parâmetros físico-químicos, assim, para CETESB (1978, p. 45):

O relativamente lento movimento da água infiltrando-se no solo propicia-lhe um íntimo e demorado contato com os minerais que formam a crosta terrestre e que nela vão dissolvendo em maior ou menor proporção. Assim a água subterrânea vai aumentando o seu teor em substâncias dissolvidas à medida que prossegue no seu movimento, até que entre essas seja alcançado um equilíbrio. Muitos fatores do meio influem nos processos químicos.

Os minerais dissolvidos na água subterrânea afetam seus usos específicos. Se uma ou mais das substâncias dissolvidas estiverem presentes em quantidade superior à que pode ser tolerada, a água deve ser submetida a um tratamento que os elimine ou os remova, de modo que possa servir para o fim pretendido. Cita-se como exemplos teores de sais dissolvidos superiores a 1000mg/L, teores de flúor acima de 0,9mg/L (Silvério da Silva et al. 2000 e 2002). Portanto, nem toda água subterrânea é doce e, muitas vezes também não é potável de acordo com a Portaria Nº. 518/2004.

Alguns parâmetros como a alcalinidade, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH, sólidos totais dissolvidos e temperatura, são extremamente importantes para caracterizar a água subterrânea.

A alcalinidade é definida como a capacidade de uma água neutralizar ácidos, sendo uma consequência direta da presença e/ ou ausência de carbonatos e

bicarbonatos (Feitosa & Manoel Filho, 1997). 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.

Com relação às 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 de todos estes íons presentes numa água. A alcalinidade total de uma água é expressa em mg/l de CaCO_3 (Zimbres, 2003 apud Frantz, 2005).

Outro parâmetro importante é a condutividade elétrica. Segundo Feitosa & Manoel Filho (1997, p. 88), condutividade elétrica é, "(...) a medida da facilidade de uma água conduzir a corrente elétrica, estando diretamente ligada com o teor de sais dissolvidos sob a forma de íons".

Frantz (2005, p. 62) nos diz que:

A condutividade 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.

Sobre a unidade de medida da condutância, Feitosa & Manoel Filho (1997, p. 88), nos dizem que:

A unidade de medida da condutância é o Mho^8 , inverso do Ohm, unidade de resistência elétrica. Os valores da condutividade para as águas subterrâneas são referidos ao milionésimo do Mho/cm , ou seja, $\mu\text{Mho/cm}$ ($\mu\text{Mho/cm}$ a uma temperatura padrão de 25°C).

Segundo a Portaria Nº. 357/2005, as águas doces apresentam teor de sais igual ou inferior a 500mg/L ; as águas salobras apresentam teor de sais superior a 500 e inferior a 3000mg/L ; e as águas salinas apresentam teor de sais superior a 3000mg/L .

⁸ Atualmente prefere-se utilizar o MSiemens/cm (informação pessoal do orientador).

Também, a análise do oxigênio dissolvido é importante para a caracterização da água subterrânea.

Segundo Feitosa & Manoel Filho (1997), o oxigênio dissolvido pode estar em pequena quantidade na água subterrânea e sua concentração é função da temperatura, da pressão e do total de sais dissolvidos na água. Ainda segundo estes autores, o oxigênio dissolvido corrói o ferro, o aço e o latão. Se há um aumento na temperatura, o ataque corrosivo tende a se acelerar e a quantidade de oxigênio dissolvido a diminuir.

Nas águas subterrâneas tem concentração de oxigênio dissolvido entre 0 e 5 mg/L.

Outro parâmetro analisado é o pH, sendo a 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), ocorrendo um estado de neutralidade ou de equilíbrio da água, se o pH for igual a 7 (Porto *et al*, 1991 apud Frantz, 2005).

Os principais fatores que determinam o pH da água são a concentração do gás carbônico dissolvido e a alcalinidade.

Segundo Feitosa & Manoel Filho (1997, p. 90), "(...) A maioria das águas subterrâneas tem pH entre 5,5 e 8,5. Em casos excepcionais pode variar entre 3 e 11.

Conforme a Portaria Nº. 518/2004 que estabelece os padrões de qualidade da água para o consumo humano, o pH deve variar entre 6,5 a 9,5 para as águas de abastecimento público.

Também, deve-se citar os sólidos totais dissolvidos, que de acordo com Feitosa & Manoel Filho (1997, p.90), é "(...) o peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume. Representa a concentração de todo o material dissolvido na água, seja ou não volátil".

Segundo a CETESB (1978), a concentração total dos minerais dissolvidos na água serve como índice geral da prestabilidade da água para muitos usos. Assim, a água com demasiado teor de minerais dissolvidos não é conveniente para certos usos. Desta forma, as águas com um elevado teor de sólidos dissolvidos devem ser

encaradas como potencialmente corrosivas para os filtros e outras partes da estrutura dos poços, mesmo abstraindo-se outras características da água.

Por fim, cita-se a temperatura, sendo que a amplitude térmica anual das águas subterrâneas em geral é baixa, entre 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 & Manoel Filho, 1997).

Segundo Porto et al., (1991 apud Frantz, 2005, p. 65):

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.

2.7 Proteção dos recursos hídricos subterrâneos

Naturalmente, por sua natureza, os aquíferos são mais protegidos quanto à contaminação do que as águas superficiais. Porém, como não são visíveis, chamam menos a atenção dos órgãos gestores e da sociedade como um todo (ABAS, 2005).

Desta forma, a exploração da água subterrânea tem que observar a proteção dos aquíferos durante a fase de perfuração e a de operação dos poços; o perímetro de proteção dos poços; o equilíbrio regional do aquífero quanto às recargas e as descargas, e os limites outorgados pelo poder público.

Portanto, não se pode considerar que a simples proteção conferida pela natureza a um aquífero, seja suficiente para mantê-lo qualitativamente adequado. Assim, Foster & Hirata (1993), recomendam o estabelecimento de um programa claro e eficiente de proteção dos aquíferos e o controle das atividades humanas, planejando e ordenando a ocupação e o uso do solo.

Hirata (2000) aponta dois mecanismos importantes utilizados para a proteção das águas subterrâneas: a classificação de acordo com o grau de vulnerabilidade à contaminação e a implantação de áreas de proteção de poços.

Os perímetros de proteção constituem uma das formas mais antigas de proteger uma captação de água subterrânea por implicarem restrições na utilização do terreno envolvente. Com a sua implantação pretendem-se evitar os elevados

custos e demoras, associados à recuperação das águas subterrâneas, e também proteger e garantir a sua qualidade a longo prazo de modo a assegurá-la para as futuras gerações. O perímetro de proteção corresponde à área de superfície e subsuperfície envolvente de uma ou mais captações destinadas ao abastecimento público, onde as atividades susceptíveis de alterar a qualidade da água subterrânea são limitadas, proibidas, ou regulamentadas de modo progressivo⁹.

Assim, segundo Leitão et al. (2005, p. 06):

Com a delimitação dos perímetros de proteção em torno de uma captação pretende-se (a) evitar a chegada de substâncias poluentes à captação, (b) assegurar a atenuação do poluente durante o seu percurso entre o foco de poluição e a captação, por atuação dos processos naturais de diluição e de autodepuração, (c) recorrer, atempadamente, a fontes de abastecimento alternativas¹⁰ em caso de descargas acidentais de poluentes que coloquem em perigo o sistema de abastecimento público e (d) garantir a proteção das águas subterrâneas no interior da zona de contribuição da captação.

De um modo geral, as zonas englobadas num perímetro de proteção são do interior para a periferia: (a) zona de proteção imediata ou de restrições absolutas, (b) zona de proteção intermédia ou de restrições máximas, e (c) zona de proteção alargada ou de restrições moderadas.

Em determinadas situações podem também ser definidas zonas de proteção especial, no caso de aquíferos cársticos ou fraturados, e zonas de proteção perante a intrusão salina, em regiões costeiras.

No Estado do Rio Grande do Sul, segundo o Decreto Nº. 42.047, de 26 de dezembro de 2002, relativo ao gerenciamento e à conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos, estabeleceu em seus Arts. 29, 30, 32, 33 e 34, as áreas de proteção de poços:

Art. 29 - As áreas de proteção máxima compreendem, no todo ou em parte, zonas de recarga de aquíferos vulneráveis à poluição e que se constituam em reservatórios de água essenciais ao abastecimento público, não sendo nestas áreas permitido a implantação de empreendimentos e atividades poluidoras.

Art. 30 - Nas áreas de proteção de poços e outras captações subterrâneas será instituído um Perímetro Imediato de Proteção Sanitária que abrange

⁹ As restrições diminuem com o aumento da distância à captação (Leitão et al., 2005).

¹⁰ Toda modalidade de abastecimento coletivo de água distinta do sistema de abastecimento de água, incluindo, entre outras, fonte, poço comunitário, distribuição por veículo transportador, instalações condominiais horizontal e vertical (Portaria Nº. 518/2004).

um raio mínimo de 10 metros a partir do ponto de captação, o qual deverá ser cercado e protegido, devendo seu interior estar resguardado da entrada ou da infiltração de poluentes

Art. 31 – Além do Perímetro Imediato de Proteção Sanitária será estabelecido, com base em estudos hidrogeológicos, um perímetro de alerta contra poluição, o qual deverá ser coincidente com a Zona de Contribuição do poço, sendo que neste Perímetro não poderá ser implantada qualquer atividade potencialmente poluidora.

Salienta-se que em muitas áreas rurais é muito comum observar-se animais pastando próximo dos poços. Estes animais liberam suas fezes e urina que na ausência de selo sanitário podem infiltrar na água subterrânea do próprio poço.

2.8 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

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.

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), e 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, além de administrar tanto dados vetoriais como dados matriciais (raster) e realizar a integração de dados de sensoriamento remoto num SIG. Também, este aplicativo 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, também, 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 apud Camponogara, 2006).

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. 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 (Camponogara, 2006).

Para Silva (2003), para se produzir superfícies contínuas a partir de dados pontuais, são necessários determinados tratamentos matemáticos 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 (Camponogara, 2006).

No presente estudo, fez-se uso do método de interpolação *Krigagem*. Este método de interpolação considera os atributos ambientais como variáveis aleatórias, o que possibilita a modelagem das incertezas associadas às inferências.

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.

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 (Camponogara, 2006).

2.9 Cartografia de informação hidrogeológica

Segundo Foster & Hirata (1993, p. 81):

Os mapas de vulnerabilidade constituem uma base técnica para o planejamento de ação de controle dos aquíferos, à medida que permitem a identificação e representação cartográfica de áreas potencialmente críticas.

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 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 espacial (mapas ou cartogramas) fundamentais para análises. Sem os SIG seria impossível processar tamanha quantidade de informações e muito menos difundí-la 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 (Camponogara, 2006).

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 mais bem 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.

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.

Para o presente estudo utilizou-se do método geoestatístico *krigagem*, para a espacialização de informações, com o programa *Surfer 8.0*. Neste programa (*Golden software*, 2002) a *krigagem* é definida como um interpolador exato ou suavizador, dependendo do uso específico dos parâmetros. Ele incorpora a anisotropia e as tendências básicas de um modo eficiente e natural.

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 interpolação¹¹ que devem ser selecionados conforme o tipo e a quantidade de dados que estão sendo interpolados, e que represente melhor a realidade do local.

¹¹ Inverso de distância; *Krigagem*; Curvatura mínima; Ponto mais próximo; Regressão polinomial; Função *radial basis*; Método de *Shepard*; Triangulação com interpolação linear.

3 MÉTODOS E TÉCNICAS

3.1 Procedimentos Metodológicos

Adotou-se como referencial teórico-metodológico a análise sistêmica, pois conforme Chirstofoletti (1999), onde existe interação de fluxos e componentes, constitui-se como um exemplo de sistema espacial complexo.

Os procedimentos metodológicos adotados no presente trabalho encontram-se no fluxograma abaixo (Figura 8) :

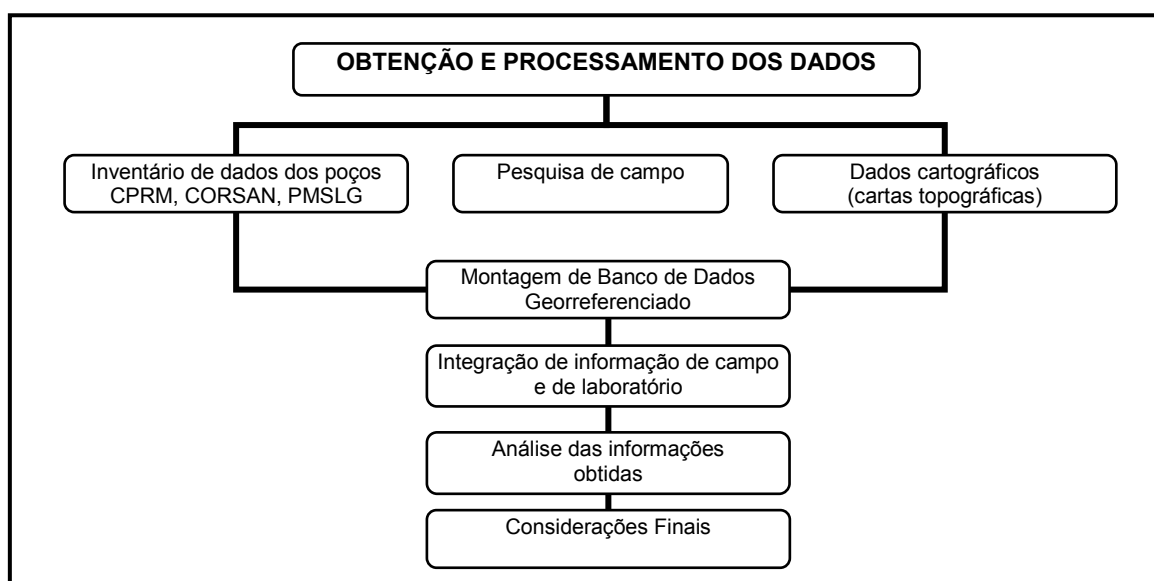


Figura 8 - Fluxograma das etapas de desenvolvimento da pesquisa

Num primeiro momento, fez-se o levantamento cadastral das informações a respeito dos poços localizados na área de estudo. Estas informações foram extraídas diretamente do *sítio* eletrônico da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM), pelo cadastro de usuários de poços subterrâneos SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas). Também, procurou-se buscar informações na CORSAN e na Prefeitura Municipal de São Luiz Gonzaga. Estas informações foram complementadas por meio de trabalhos de campo na área de estudo, tanto urbana quanto rural.

Posteriormente, realizou-se a montagem do banco de dados com as informações levantadas na primeira etapa. Para tanto, utilizou-se o programa computacional *Microsoft Excel*. Posteriormente estes dados foram tratados com programa computacional *Surfer 8*, com o qual utilizando-se como interpolador geoestatístico a *Krigagem*, a construção de cartogramas para posterior integração das informações espacializadas no SIG *Spring 4.2*.

Para a elaboração dos mapas temáticos e mapa base da área de estudo, utilizou-se do programa computacional *Spring* (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) na versão 4.2, onde por meio deste fez-se o manuseio digital das informações cartográficas (digitalização dos planos de informação - PIs).

A próxima etapa consistiu na integração dos planos de informação, onde realizou-se o processamento e sobreposição das informações para a elaboração dos mapas utilizados no presente trabalho.

Na etapa seqüente, fez-se a integração das informações armazenadas nos banco de dados obtidas na primeira etapa (pesquisa de campo). Assim, realizou-se as análises dos resultados e as discussões das 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 Programa *CorelDRAW 12*. Para a redação do trabalho utilizou-se do *Microsoft Word 2003*.

Por fim, como ultima etapa, realizaram-se as considerações finais, onde fez-se a reflexão crítica dos resultados obtidos e sua importância científica.

A seguir, apresentam-se os procedimentos técnicos empregados para a obtenção e tratamento dos dados na geração das informações.

3.2 Procedimentos Técnicos

Para o desenvolvimento da presente pesquisa foram utilizados diversos procedimentos cartográficos, computacionais, além de análise laboratorial (definição de alguns valores de potabilidade das amostras de águas subterrâneas).

3.2.1 Delimitação da área de estudo

Para a delimitação da área de estudo, utilizou-se a carta topográfica da DSG (Diretoria do Serviço Geográfico do Exército), folha SH. 21-X-B-II-3; MI-2913/3 em escala de 1/ 50.000, edição de 1975 e 1977.

Como critério para a delimitação da área de estudo, considerou-se a distribuição espacial dos poços estudados, sendo que os mesmos concentraram-se na área urbana e entornos. Desta forma, estabeleceu-se como área de estudo, um retângulo envolvendo 12 quadriculas da carta topográfica, contendo cada uma 4 km², totalizando uma área de 48 Km². Salienta-se que, partindo-se do pressuposto que se usou como base cartográfica a carta topográfica com edição nos anos de 1975 e 1977, os mapas confeccionados no presente trabalho apresentam as informações cartográficas não atualizadas, principalmente no que diz respeito à área urbana. Estudos futuros no Plano Diretor deverão atualizar as informações.

Para a obtenção do mapa base, a carta topográfica foi transferida do modo analógico para o meio digital *raster* via “scanner”. No aplicativo Impima do SIG Spring fez-se a mudança do arquivo TIFF para GRIB e no Programa Computacional Spring 4.2, 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.

3.2.2 Cadastro dos poços

Para realizar o cadastramento dos poços e obter-se 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, CORSAN, Prefeitura Municipal de São Luiz Gonzaga, bem como, através de dados providos de pesquisas de campo na área de estudo.

Assim, elaborou-se um novo banco de dados, disposto no Anexo 01, com o uso do Programa Excel 2000, constando as seguintes informações: Código do poço, local, proprietário, uso da água, latitude e longitude (no Sistema de Coordenadas Geográficas e Sistema Universal Transversa de Mercator-UTM), altitude (metros), profundidade (metros), tipo de aquífero, nome do aquífero, nível estático (metros), nível dinâmico (metros), superfície potenciométrica (metros), temperatura do ar e a temperatura da água (°C), pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), sólidos totais dissolvidos/ STD (mg/L), oxigênio dissolvido/ OD (mg/L) e alcalinidade total (mg/L). As coordenadas dos poços foram obtidas com uso de GPS, marca Garmim extrex Vista, 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.

3.2.3 Coleta dos parâmetros

As informações sobre os poços e a coleta das águas subterrâneas utilizadas no presente trabalho, foram obtidos de duas formas: dados pré-existentes e dados obtidos através de trabalho de campo.

Os dados pré-existentes foram obtidos através do cadastro eletrônico de usuários de águas subterrâneas do SIAGAS, disponíveis no sitio da CPRM. Os demais dados foram obtidos através de medições realizadas em trabalhos de campo nos anos de 2005 e 2006.

Nos trabalhos de campo, efetuaram-se os seguintes procedimentos:

a) Analisaram-se os aspectos construtivos dos poços, através de inspeções visuais no local, além do registro de imagens realizada com uma máquina fotográfica digital. Também, identificou-se a localização dos mesmos com auxílio de um GPS;

b) Mediram-se os parâmetros físico-químicos das águas dos poços visitados, sendo os seguintes dados coletados:

- temperatura do ar – medido através de um termômetro de mão (°C);

- pH, oxigênio dissolvido (OD) e temperatura da água – medidos através da Sonda multiparâmetros Horiba D-55;

- condutividade elétrica – medido através do Condutímetro Hanna HI 93000;

- sólidos totais dissolvidos – obteve-se o valor dos sólidos totais dissolvidos multiplicando-se o valor da condutividade elétrica expressa em $\mu\text{S}/\text{cm}$ pelo valor 0,65, resultando numa concentração em mg/L. Utilizou-se este valor com base em Feitosa & Manoel Filho (1997, p. 90), “(...) Na maioria das águas subterrâneas naturais, a condutividade elétrica da água multiplicada por um fator, que varia entre 0,55 e 0,75, gera uma boa estimativa dos sólidos totais dissolvidos na água”. Assim, fez-se a média entre os fatores recomendados pelos autores citados, estabelecendo-se para o presente estudo o valor 0,65.

- alcalinidade - a alcalinidade foi obtida pela titulação em laboratório, das amostras recolhidas em campo, com ácido sulfúrico 0,02N e uso dos indicadores fenoftaleína alcoólica e alaranjado de metila, pela mudança de cor.

c) Foram identificados e cadastrados as fontes potencialmente poluidoras dos recursos hídricos subterrâneos, bem como, realizou-se o registro fotográfico das mesmas. Junto a isto, realizou-se a obtenção das coordenadas de localização desses pontos com auxílio de um GPS.

3.2.4 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.

3.2.5 Mapa de espacialização dos dados físico-químicos, hidrodinâmicos e vulnerabilidade

Os mapas de espacialização dos dados físico-químicos e hidrodinâmicos foram gerados utilizando-se as informações pré-existentes, bem como, os dados obtidos em trabalho de campo.

Os mapas de espacialização dos dados físico-químicos foram elaborados utilizando-se os dados provenientes das coletas de trabalho de campo. Fez-se a espacialização dos dados de alcalinidade total, da condutividade elétrica, do Oxigênio dissolvido (OD), do pH, dos sólidos totais dissolvidos (STD) e da temperatura da água.

Para os mapas de espacialização dos dados hidrodinâmicos, utilizou-se de informações pré-existentes. Obtiveram-se dados através do cadastro eletrônico de usuários de águas subterrâneas do SIAGAS/ CPRM, bem como, da CORSAN e Prefeitura Municipal. Também, obtiveram-se informações diretas dos proprietários dos poços particulares. Com relação aos dados hidrodinâmicos, fez-se a espacialização da altitude dos poços, nível estático, superfície potenciométrica e a profundidade.

Para a construção do mapa de vulnerabilidade procedeu-se da mesma maneira, no entanto utilizaram-se como dados, os índices de vulnerabilidade obtidos através do Método “GOD” que será mais bem detalhado no item 3.2.7.

Todos os mapas, independentemente dos dados espacializados, foram elaborados seguindo-se o mesmo processo. Assim, a partir das informações, fez-se a espacialização das mesmas com o programa computacional *Surfer* 8.0, o qual gerou cartogramas de isolinhas através do interpolador¹² Krigagem.

¹² Segundo Landim et al. (2002), interpolar significa predizer ou estimar o valor da variável em estudo num ponto não amostrado.

Para a elaboração dos cartogramas de espacialização dos dados, procedeu-se da seguinte forma:

- os dados ou parâmetros a serem representados e sua correspondente localização em coordenadas UTM, foram tabulados em um banco de dados em uma planilha do Programa *Excel*. Para a espacialização de cada informação foi necessário elaborar três colunas de informações: coordenadas N/S, coordenadas L/O e o parâmetro a ser analisado;

- No Programa *Surfer*, fez-se os seguintes passos: Menu *File*, *New*, abre novo *Plot Document*; Menu *Grid*, *Data*, selecionou-se a planilha outrora construída, indicou-se o método de interpolação utilizado (krigagem), *Ok*; Menu *Map*, “*Contour Map*, *New Contour Map*”, selecionou-se o arquivo anteriormente gerado em formato *.grid*, e automaticamente gerou-se o cartograma de representação desejado. O próximo passo foi sobrepor os poços estudados nos cartogramas de parâmetros. Assim, procedeu-se os passos: “*Menu Map*, *Post Map*, *New Post Map*”, selecionou-se o arquivo com os poços e os mesmos foram sobrepostos automaticamente ao cartograma de parâmetros espacializados.

Todos os cartogramas foram elaborados a partir da Projeção Universal de Mercator, tendo como Datum Vertical Ibituba - Santa Catarina e Datum Horizontal SAD 69 - Minas Gerais, tendo origem de quilometragem UTM “Equador e Meridiano 51°WGR”, acrescidas as constantes 10.000 Km e 500 Km, respectivamente.

Os cartogramas gerados com as informações foram exportados no formato *.wmf* (windows Picture) e no programa computacional Corel Draw 12, realizou-se a edição e posterior sobreposição com o mapa base executado no programa computacional Spring 4.2.

3.2.6 Modelo Numérico do Terreno (MNT)

Para a construção do Modelo Numérico do Terreno (MNT), utilizou-se das curvas de nível digitalizadas no programa *Spring 4.2*, onde exportou-se as mesmas em formato DXF-R12. Com auxílio do programa *Dxf2xyz 1.3*, fez-se a conversão do arquivo “*dxf*”. No programa *Surfer* converteu-se as curvas para o formato “*grid*” e com a ferramenta *Surface* gerou-se o Modelo Numérico do Terreno.

3.2.7 Avaliação do índice de Vulnerabilidade Natural à contaminação de aquíferos

Para a determinação do índice de vulnerabilidade natural de aquíferos utilizou-se do Método “GOD”, desenvolvido por Foster & Hirata (1993) e Foster *et al.* (2003). Esse Método é assim chamado devido suas iniciais de origem inglês, significando respectivamente *Groundwater hydraulic confinement* (grau de confinamento hidráulico), *Overlaying strata* (Ocorrência de substrato litológico), *Depth to groundwater table* (Distância da água, ou seja, profundidade do lençol freático ou teto do aquífero confinado).

A avaliação da vulnerabilidade envolve três etapas (Figura 9):

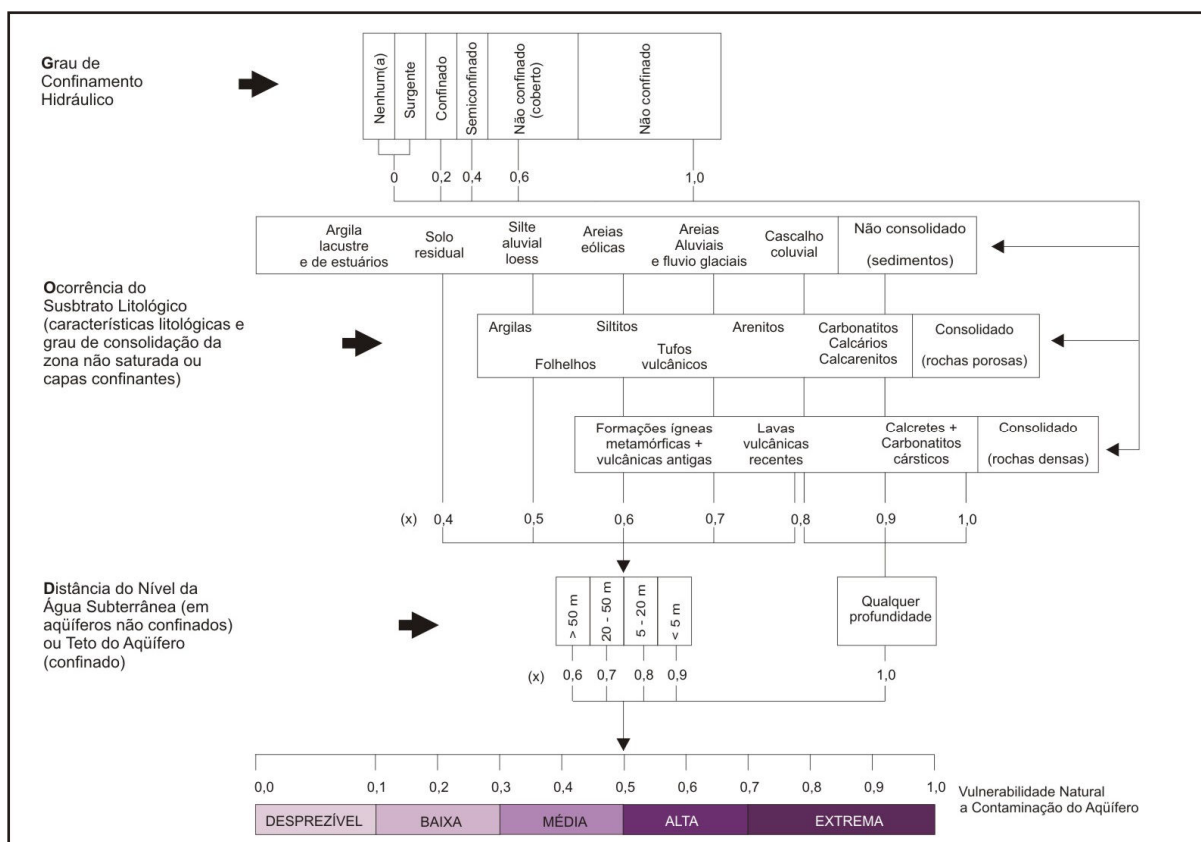


Figura 9 – Esquema conceitual do modelo “GOD”.

Fonte: Foster et al. (2003).

A figura 9 representa o esquema de combinação de valores atribuídos conforme a situação de cada um dos parâmetros descritos no método. O grau de confinamento hidráulico (**G**) é o primeiro parâmetro avaliado e o valor atribuído ao poço ou a nascente varia entre zero (para surgente) e 1,0 (para não-confinado). O valor 1 indica a condição de maior risco potencial. O próximo parâmetro analisado é a ocorrência do estrato, que classifica as amostras quanto ao tipo de aquífero varia respectivamente de 0,4 a 1,0. O último parâmetro é o nível da água, indicada pela profundidade do nível estático, e confere valores entre 0,6 e 0,9 (para profundidades menores do que 50m).

O índice de vulnerabilidade é o resultado do produto entre os três valores obtidos. Esse índice é enquadrado em classes, tais como: desprezível, baixa, média, alta e extrema.

Um esquema simplificado dos dados necessários na aplicação da metodologia desenvolvida por Foster *et al.*, (2003) pode ser vista a seguir (Figura 10).

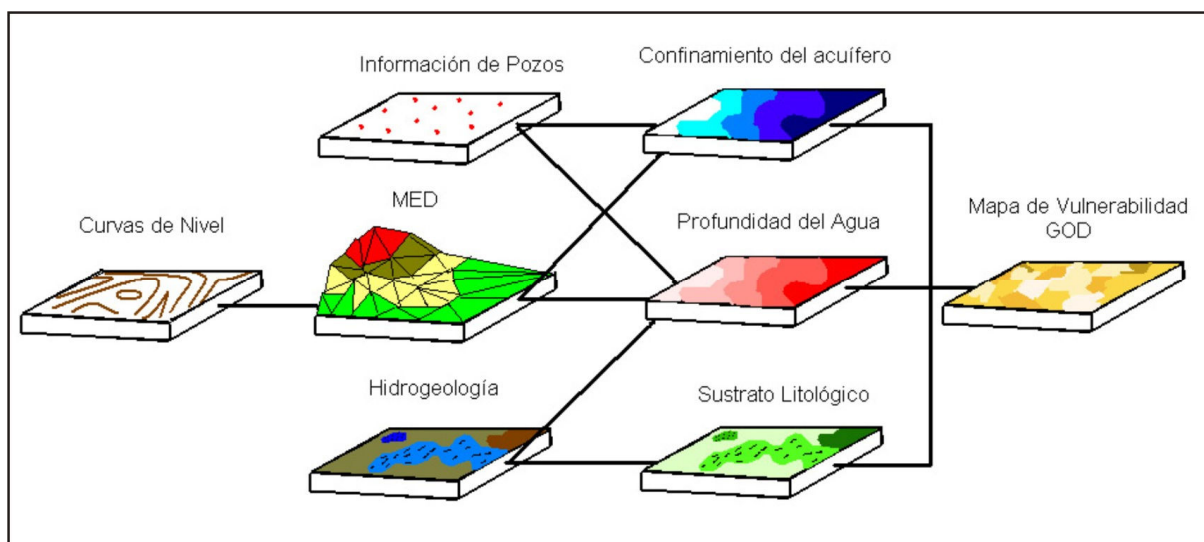


Figura 10 - Esquema de Análise da Metodologia "GOD".
Fonte: Foster et al. (2003).

De posse dos dados dos poços distribuídos no banco de dados, foram atribuídos valores para cada índice, começando com o parâmetro G - Groundwater occurrence. Este parâmetro classifica os aquíferos quanto à pressão atuante sobre partículas, poros e fraturas em:

- 1) Não confinado (livre ou freático) nota: 1,0;
- 2) Não confinado coberto (livre ou freático coberto), nota: 0,6;
- 3) Semiconfinado (confinado drenante), nota: 0,4;
- 4) Confinado artesiano (confinado não drenante surgente), nota: 0,2;
- 5) Surgente (nascente), nota: 0,0.

A seguir, atribui-se valores para o segundo parâmetro, **O - Overall Aquifer Class**, que classifica o aquífero em função do grau de confinamento e das características litológicas das camadas aquíferas penetradas no poço. Nesta classificação obteve-se somente um tipo de litologia, a Formação Serra Geral¹³, cuja nota foi 0,6.

Por fim, atribuiu-se os valores do último parâmetro, **D - Depth to Groundwater Table or strike**, que classifica os aquíferos em relação à profundidade do nível freático (aquífero livre ou freático) ou profundidade do topo do aquífero (aquífero confinado drenante e não drenante).

Os aquíferos que apresentam níveis estáticos mais superficiais poderão ser atingidos mais facilmente por uma carga contaminante imposta na superfície do terreno, portanto recebem notas maiores. Já os poços com níveis estáticos profundos dificilmente serão afetados pela contaminação oriunda da superfície, recebendo, portanto uma nota menor de 0,6 pois são filtrados pelas rochas e/ ou seus produtos de intemperização.

De posse dos valores referentes aos três parâmetros, efetuou-se o produto dos mesmos, obtendo-se como resultado um valor que varia de 0,0 a 1,0. Esse valor final indica a classe de vulnerabilidade natural que cada poço - desprezível, baixa, média, alta e extrema.

¹³ A Fm. Serra Geral constitui-se de derrames vulcânicos de constituição basáltica de porosidade primária inferior a 1%, compondo um aquífero do tipo cristalino/fraturado ou fissural. Portanto, a água subterrânea encontra-se em lavas antigas, maciças ou vesiculares (Silvério da Silva et al., 2004).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os principais resultados obtidos através do processamento e análise dos dados são apresentados nos itens abaixo:

- 4.1 Análise e cadastro dos poços
- 4.2 Análise dos parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos
- 4.3 Identificação das fontes potencialmente poluidoras
- 4.4 Índice de Vulnerabilidade Natural dos Sistemas Aquíferos

4.1 Análise e cadastro dos poços

Na área de estudo identificou-se um total de 21 poços distribuídos em uma área de 48 km². Dos 21 poços identificados, 6 pertencem a CORSAN, 10 pertencem à Prefeitura Municipal de São Luiz Gonzaga, 1 pertence ao Presídio Estadual de São Luiz Gonzaga e 4 pertencem a proprietários privados. Ressalta-se que apenas 2 poços estão registrados no cadastro de usuários de poços subterrâneos - SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas) da CPRM - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. Salienta-se que há um número maior de poços na área de estudo, mas em virtude de dificuldades técnicas e financeiras optou-se por cadastrar apenas 21 poços. Na figura 11 apresenta-se a espacialização dos 21 poços cadastrados na área de estudo.

Analisando-se a distribuição espacial dos poços, percebe-se que os mesmos concentram-se distribuídos no entorno da área urbana. Os 3 poços localizados a nordeste da área de estudo (SLU-2, SLU-5 e SLU-6), pertencentes à CORSAN (Figura 12), abastecem em torno de 70% da área urbana do município. Estes poços atingem o Aqüífero Guarani a uma profundidade média de 100 metros.



Figura 12 - Poços da CORSAN que atingem o Aqüífero Guarani.
Fonte: Trabalho de campo (2006).

Analisando-se os perfis construtivos destes poços (Figura 13), nota-se que no poço SLU-2, o arenito da Formação Botucatu encontra-se a uma profundidade inicial de 43 metros. Percebe-se ainda, analisando-se o perfil, que há mais duas camadas de arenito intertrape (83,9 metros e 95 metros) até a consolidação da Formação Botucatu aos 100 metros de profundidade. Analisando-se o segundo perfil, do poço SLU-6, nota-se que não há presença de arenito intertrape, sendo que o arenito da Formação Botucatu é encontrado há 115,4 metros.

Estando os dois poços há uma distância inferior a 300 metros, pode-se inferir que há uma descontinuidade da camada de arenito da Formação Botucatu.

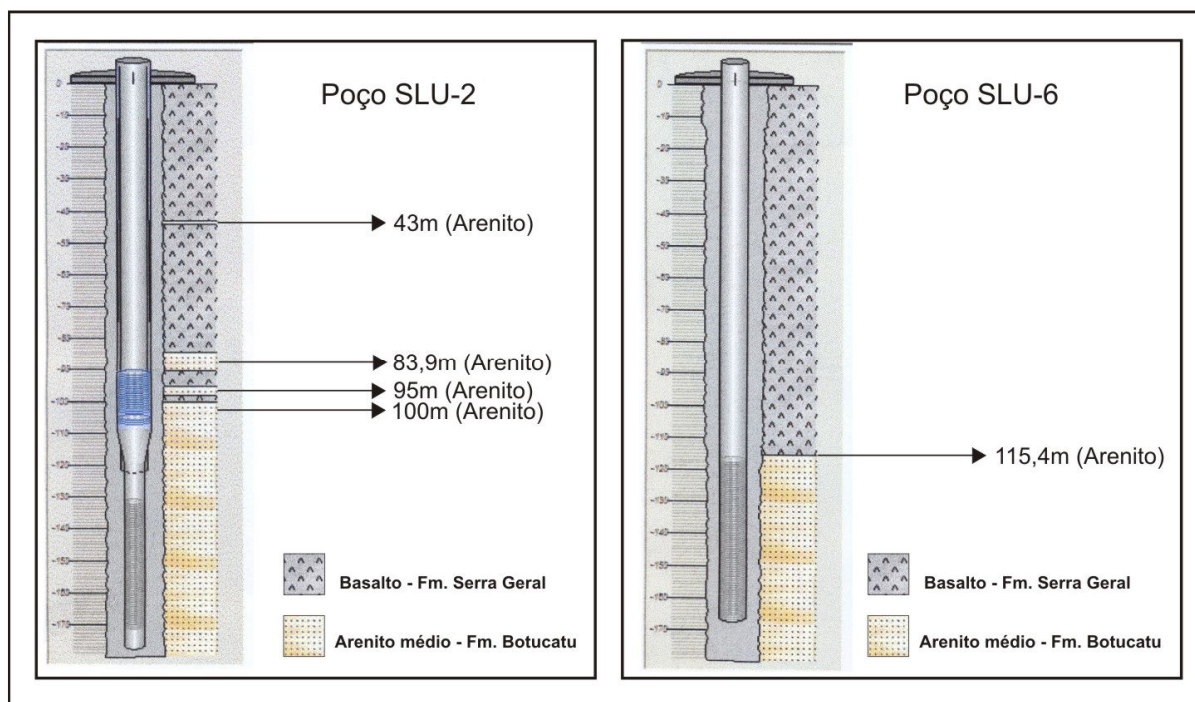


Figura 13 - Perfis dos poços que captam água do Aquífero Guarani.
Fonte: CPRM/ SIAGAS (2007).

Quanto à identificação dos poços, no que diz respeito aos aspectos construtivos, percebeu-se que alguns poços da Prefeitura Municipal não apresentavam selo sanitário (Figura 14). De acordo com a NBR 12244, trata-se de uma laje de concreto, fundida no local, envolvendo o tubo de revestimento. Deve ter declividade do centro para a borda, espessura mínima de 15 cm e área não inferior a 1m^2 , sendo que o mesmo é importante para a proteção contra a contaminação oriunda da superfície do terreno.



Figura 14 - Poços sem selo sanitário: (A) P9 e (B) P11.

Fonte: Trabalho de campo (2006)

4.2 Análise dos parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos

4.2.1 Análise dos parâmetros físico-químicos

Uma característica importante na investigação das águas subterrâneas são os parâmetros físico-químicos. Nos últimos anos tem-se reconhecido que a investigação das características físico-químicas das águas subterrâneas é tão importante quanto a sua quantidade disponível.

No presente estudo fez-se a medição em campo de alguns parâmetros físico-químicos (Figura 15).

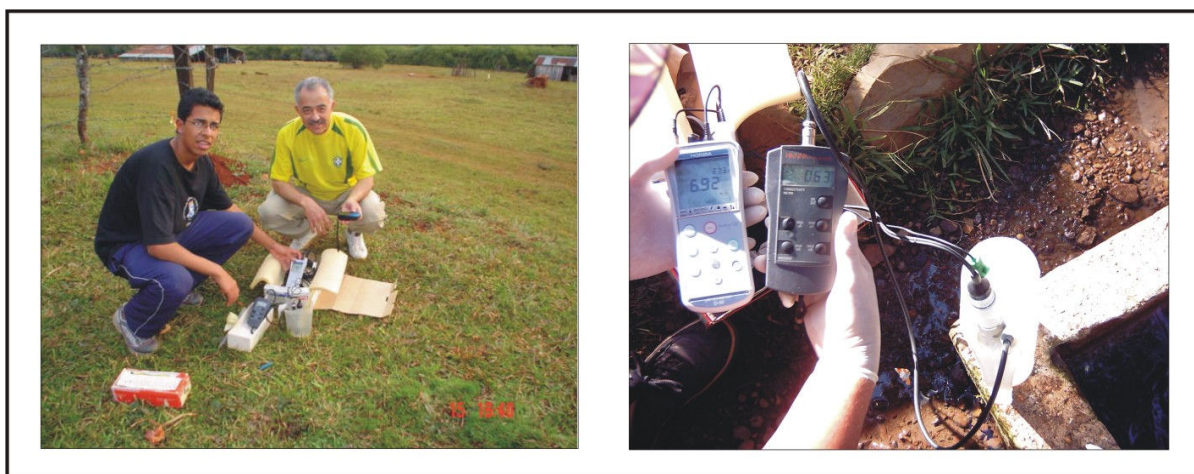


Figura 15 – Momento da medição em campo dos parâmetros físico-químicos da água subterrânea
Fonte: Trabalho de campo (2006).

Nas ilustrações da Figura 15 pode-se visualizar o momento de uma das medidas em campo. Também, visualiza-se os equipamentos utilizados para fazer as medições de alguns parâmetros de campo tais como: pH, C.E e O.D. 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 3 constam a relação dos 20 poços onde se investigou os parâmetros físico-químicos da água subterrânea, com respectivos valores obtidos em cada parâmetro realizado em campo.

Código	Alcalinidade (mg/L)	C.E. ($\mu S/cm$)	O.D. (mg/L)	pH	STD (mg/L)	Temp. °C
P1	76,57	260	4,63	6,23	169	21,6
P2	100,03	278	6,8	7,57	181	20,5
P3	-	440	5,85	7,44	286	20
P4	-	155	6,01	6,61	101	17
P5	-	718	4,83	9,5	467	21
P6	62,98	269	6,02	6,72	175	17,7
P7	118,56	468	4,6	6,38	305	21
P9	193,89	349	4,3	6,87	227	21,8
P10	64,22	267	4,5	6	174	22
P11	67,92	271	4,7	6,1	177	21,8
P12	69,16	235	3,8	5,64	153	22
P13	67,92	200	4,5	6,2	130	23,1
P14	43,22	104	4,6	5,75	68	22,5
P15	39,52	105	4,3	5,33	68	22
SLU-12	143,26	470	4,9	7,08	306	22,5
PM-2	119,8	362	5,2	6,54	235	21,5
SLU-2	122,26	300	4,18	7,02	195	21,5
SLU-3	64,22	180	5,05	6,22	117	22
SLU-5	101,27	244	5,3	7,02	159	22
SLU-6	116,09	276	5,16	7,33	179	21,2

Quadro 3 – Parâmetros de análise físico-químicos de campo em abril de 2005 e agosto de 2006.
Fonte: Trabalho de campo (2005/ 2006).
Organização: Chaves, A. de.

A seguir, fez-se uma análise dos resultados obtidos de cada parâmetro estudado.

4.2.1.1 Alcalinidade

A alcalinidade foi obtida pela titulação com ácido sulfúrico 0,02N e uso dos indicadores fenolftaleína alcoólica e alaranjado de metila, pela mudança de cor (Figura 16). Nos poços estudados a alcalinidade variou de 39,52 a 193,89 mg/l de CaCO_3 . O mapa da Figura 17 mostra a espacialização dos valores de alcalinidade dos poços estudados.



Figura 16 – Momento da medida da alcalinidade da água subterrânea

Informa-se que a alcalinidade total obtida foi devida à presença de íons bicabornato (HCO_3^-). Eles se formam da reação entre o CO_2 atmosférico dissolvido com água, formando o ácido carbônico H_2CO_3 , e posteriormente pela sua dissociação ou perda de H^+ , forma-se o íon HCO_3^- . Este ligar-se-á aos cátions Na^+ ,

K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , oriundos da intemperização dos minerais contidos nas rochas saturadas em água subterrânea¹⁴.

¹⁴ Informação pessoal do orientador (2006).

Figura 17 – Mapa de espacialização da alcalinidade da água dos poços na área de estudo

Notou-se que os maiores valores de alcalinidade ocorreram no setor Sudoeste e os menores nos extremos Noroeste e Sudeste.

4.2.1.2 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica é a capacidade da água de conduzir corrente elétrica. Varia de acordo com a temperatura da água. Como há uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais dissolvidos e a condutividade elétrica, pode-se estimar o teor de sais pela medida de condutividade de uma água. A medida é feita através de condutímetro e a unidade usada é o MHO (inverso de OHM, unidade de resistência). Como a condutividade aumenta com a temperatura, usa-se 25°C como temperatura padrão, sendo necessário fazer a correção da medida em função da temperatura se o condutímetro não o fizer automaticamente (Feitosa & Manoel Filho, 1997).

Os valores variaram entre 104 a 718 $\mu\text{S}/\text{cm}$, estando entre os valores indicados pelas normas (10 a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Salienta-se que no caso de ocorrer valores, por exemplo, iguais ou maiores que 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, as águas estariam salobras e/ou poderiam estar quimicamente fora dos padrões para consumo humano (Portaria 518/2004). O mapa da Figura 18 mostra a espacialização da variação da condutividade elétrica na área em estudo.

Notou-se que os maiores valores localizaram-se nos setores Sudoeste, cobrindo a maior parte da área urbana, e os menores valores no extremo Sudeste e Noroeste do mapa.

Figura 18 – Mapa de espacialização da condutividade elétrica da água dos poços na área de estudo

4.2.1.3 Oxigênio Dissolvido (OD)

Em relação a concentração de OD, os valores obtidos para a área de estudo variaram entre 3,8 a 6,8 mg/L. O mapa da Figura 19 traz a espacialização dos dados de concentração de oxigênio dissolvido nas águas subterrâneas avaliadas em 20 poços.

Notou-se que os valores extremos da concentração de O.D, encontram-se nos setores Central para os mais baixos e, no setor Oeste da área de estudo e parte leste da área urbana, para os mais altos. Os poços da CORSAN localizados no setor Nordeste ficaram entre 4,18 a 5,30mg/L, coincidindo com os valores médios em águas subterrâneas (Feitosa & Manoel Filho, 1997).

4.2.1.4 pH (potencial hidrogeniônico)

O potencial hidrogeniônico da água também foi avaliado neste trabalho em 20 poços. Na área de estudo notou-se uma variação do pH da água entre 5,33 a 9,5. O mapa da Figura 20 traz a espacialização dos dados do pH nas águas subterrâneas avaliadas em 20 poços na área de estudo.

De acordo com a Portaria nº 518/2004, recomenda-se que no sistema de distribuição para abastecimento público o pH da água seja mantido entre os valores de 6,0 a 9,5. O poço P5 (Penitenciária Estadual de São Luiz Gonzaga), obteve valor de pH 9,5, ficando no limite dos valores máximos permitidos (VMP). Já, três poços obtiveram valor de pH menor do que 6, ficando estes a baixo do valor estabelecido pela Portaria nº 518/2004, são eles: o poço P12 (setor Nordeste da área urbana), obteve valor 5,64; o poço P14 (extremo sudeste do mapa), obteve valor 5,75 e o poço P15 (extremo sudeste do mapa) obteve valor 5,33. Assim, sugere-se uma análise mais detalhada em laboratório para confirmar os resultados visando-se enquadrar nos padrões nacionais, pois podem oferecer risco aos seus consumidores. Esta informação tem importância para a vigilância sanitária que deve monitorar a qualidade da água servida pela CORSAN e pelos poços tubulares da Prefeitura Municipal.

Percebe-se pela análise dos mapas de espacialização de alcalinidade (Figura 16) e pH (Figura 20), que não há uma relação direta entre estes parâmetros. Assim, não significa que uma água alcalina deve ser básica (pH superior à 7). Segundo a CETESB (1978), existe alguma confusão com o termo 'alcalinidade', porquanto alcalinidade não significa necessariamente que o pH do meio deve ser superior a 7. A água subterrânea com pH abaixo de 7 pode conter alguns sais que neutralizam ácidos e, portanto, ter alguma alcalinidade mensurável. Notou-se que as águas que apresentam maior acidez localizam-se no setor central e no extremo Sudeste, necessitando de novas campanhas de avaliação destes parâmetros. As águas alcalinas localizaram-se no setor Nordeste e Sudoeste da área de estudo.

Salienta-se que não foram avaliados os teores de ferro que poderiam estar em concentração acima do valor máximo permitido (VPM) pela Portaria 518/2004, de 0,3 mg/L. As águas corrosivas, com o tempo podem contribuir com a dissolução do

ferro contido no revestimento do poço tubular revestido com ferro ou aço galvanizado.

Figura 20 – Mapa de espacialização do pH da água dos poços na área de estudo

4.2.1.5 Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Os STD são a soma de todos os constituintes minerais presentes na água. Segundo o padrão de potabilidade da OMS, o limite máximo permissível de STD na água é de 1000 mg/L, o que também coincide com o valor máximo permitido (VMP) da Portaria 518/2004, que estipula os padrões para o consumo humano no Brasil.

Na área em estudo, os sólidos totais dissolvidos variaram entre 68 a 467mg/L. O mapa da Figura 21 traz a espacialização dos dados de STD nas águas subterrâneas avaliadas em 20 poços na área de estudo.

De acordo com a Portaria 357/2005, em todos os poços analisados, a água foi considerada doce, pois não ultrapassou o valor de 500mg/L. Nota-se que os valores mais elevados encontram-se nos setores Sudoeste e Centro-Sul, enquanto os menores valores no setor extremo Sudeste.

Figura 21 – Mapa de espacialização dos Sólidos Totais Dissolvidos (STD) da água dos poços na área de estudo

4.2.1.6 Temperatura

As águas subterrâneas têm uma amplitude térmica pequena, isto é, sua temperatura não é influenciada pelas mudanças da temperatura atmosférica. Exceções são os aquíferos freáticos pouco profundos. Em profundidades maiores, a temperatura da água é influenciada pelo grau geotérmico local (em média 1°C a cada 30 m). No Aquífero Guarani são comuns temperaturas de 40 a 50°C em suas partes mais profundas. Em regiões vulcânicas ou de falhamentos profundos águas aquecidas podem aflorar na superfície dando origem às fontes termais.

No Estado do Rio Grande do Sul é conhecido o potencial hidrotermal em Irai, Erechim e Nova Prata, sendo ainda pouco investigado. A partir do SIAGAS/ CPRM, tem-se para a cidade de Sobradinho, com comportamento semelhante ao de São Luiz Gonzaga, rochas vulcânicas e arenitos interderrames, um poço com 28°C na profundidade de 540m. A água é hipotermal, mas apresenta propriedades minerais.

Em São Luiz Gonzaga a temperatura da água nos poços variou de 17 a 23,1°C. O mapa da Figura 22 mostra a variação da temperatura das águas dos poços estudados.

A faixa de variação foi pequena (6,1°C), pois os poços atingem no máximo 180m. Os maiores valores de temperatura localizaram-se no setor Leste da área de estudo, também em algumas porções da área central. As menores temperaturas foram detectadas na porção leste da área urbana, em direção ao rio Uruguai.

Observou-se que o poço P6 (setor Oeste da área urbana), o qual apresentou a menor temperatura (17,7°C), foi aquele que apresentou o nível estático mais superior (0m), portanto apresentando surgência/ artesianismo. Esta observação pode indicar contribuição de águas mais profundas. Assim, necessita de maiores investigações no futuro, sugerindo-se estudos usando isótopos.

Figura 22 – Mapa de espacialização da temperatura da água dos poços na área de estudo

4.2.2 Análise dos parâmetros hidrodinâmicos

No Quadro 4 constam a relação dos 20 poços estudados e seus parâmetros hidrodinâmicos, bem como, a altitude da “boca do poço”.

Código	Nível Estático (NE)	Profundidade (m)	Superfície Potenciométrica (m)	Altitude (m)
P1	7	-	238	245
P2	-	-	-	218
P3	6	-	222	228
P4	-	-	-	233
P5	-	-	-	222
P6	0	-	221	221
P7	-	98	-	232
P8	-	140	-	197
P9	-	135	-	201
P10	-	107	-	248
P11	-	111	-	260
P12	-	131	-	253
P13	-	86	-	234
P14	-	105	-	241
P15	-	100	-	248
SLU-12	80	-	134	214
PM-2	38	-	195	233
SLU-2	78	180	105	183
SLU-3	58	-	184	242
SLU-5	82	180	105	187
SLU-6	83	-	115	198

Quadro 4 – Parâmetros Hidrodinâmicos
 Fonte: SIAGAS/ CPRM/ CORSAN/ PMSLG
 Organização: Chaves, A. de.

Os dados hidrodinâmicos são importantes no estudo da vulnerabilidade natural de aquíferos, bem como, na avaliação de sua potencialidade.

Em muitas áreas, conclusões gerais, mas muito valiosas sobre o sentido do movimento da água subterrânea podem ser derivadas de observações da superfície topográfica. Assim, no presente trabalho, além dos dados hidrodinâmicos, fez-se a análise da altitude (dos poços e do terreno) e do relevo (Modelo Numérico do Terreno - MNT) da área em estudo.

4.2.2.1 Nível Estático

O nível estático é o nível da água no poço quando a mesma não está sendo extraída do aquífero, e é expressa pela distância do nível do solo na “boca do poço” até o nível da água no poço. O nível estático na área de estudo variou entre 0m (poço P6/ surgente) a 83m (poço SLU-6/ setor Nordeste, pertencente à CORSAN atingindo o SAG). O mapa da Figura 23 mostra a espacialização dos níveis estáticos nos poços estudados.

As áreas com maior nível estático são consideradas menos vulneráveis à contaminação, ao contrário das áreas com menor nível estático. Analisando-se a área em estudo percebe-se que a região mais vulnerável, levando-se em conta o nível estático, é o setor noroeste. A região nordeste, que abrange os poços da CORSAN que atingem o SAG são as que obtiveram maior nível estático, sendo esta menos vulnerável a contaminação da superfície, com base somente neste parâmetro.

Salienta-se que 8 poços, pertencentes à Prefeitura Municipal de São Luiz Gonzaga, não apresentaram valores de nível estático pois não foi possível a medida em campo. Estes poços tinham a tampa lacrada e não apresentam tubo guia, cano pvc (com diâmetro de 2 ou $\frac{3}{4}$), da “boca do poço” até a bomba submersa, necessário para se fazer tal medida.

4.2.2.2 Profundidade

Dos 21 poços estudados verificou-se que 11 possuem dados de profundidade dos poços, sendo que as mesmas variam entre 86 a 180 m.

O mapa da Figura 24 apresenta a espacialização da profundidade dos poços estudados.

Analisando-se o mapa de espacialização da profundidade dos poços, percebe-se que os poços mais profundos estão no setor Nordeste da área de estudo, onde se localizam os poços da CORSAN que atingem o SAG (SLU-2, SLU-5 e SLU-6), com profundidades médias de 180 metros. Assim, esta área poderia ser considerada menos vulnerável a contaminação, pois os lugares mais profundos estão mais protegidos da poluição superficial devido à espessura de rochas vulcânicas. No entanto, aparecem camadas de arenito intertrape indicando condutividade hidráulica diferenciada. O Método “GOD” com relação às litologias, no parâmetro “O”, infere os tipos rochosos a cima do nível estático.

Os poços com profundidades menores estão localizados no setor Sudeste da área de estudo e atingem somente as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral.

Figura 24 – Mapa de espacialização da profundidade dos poços na área de estudo

4.2.2.3 Superfície Potenciométrica e análise do relevo

A direção da inclinação da superfície potenciométrica é também importante porque indica a tendência da direção do movimento do fluxo da água subterrânea. A posição e a inclinação da superfície potenciométrica de um aquífero confinado são determinadas através da diferença entre a altitude do terreno onde se localiza o poço, medido na “boca do poço” e o nível estático do mesmo.

O Modelo Numérico do Terreno (MNT) da Figura 25 e o mapa de espacialização da Figura 26 mostram respectivamente as direções de escoamento superficial de acordo com a geomorfologia da área e a altitude da boca dos poços. O mapa da figura 27 mostra superfície potenciométrica dos poços.

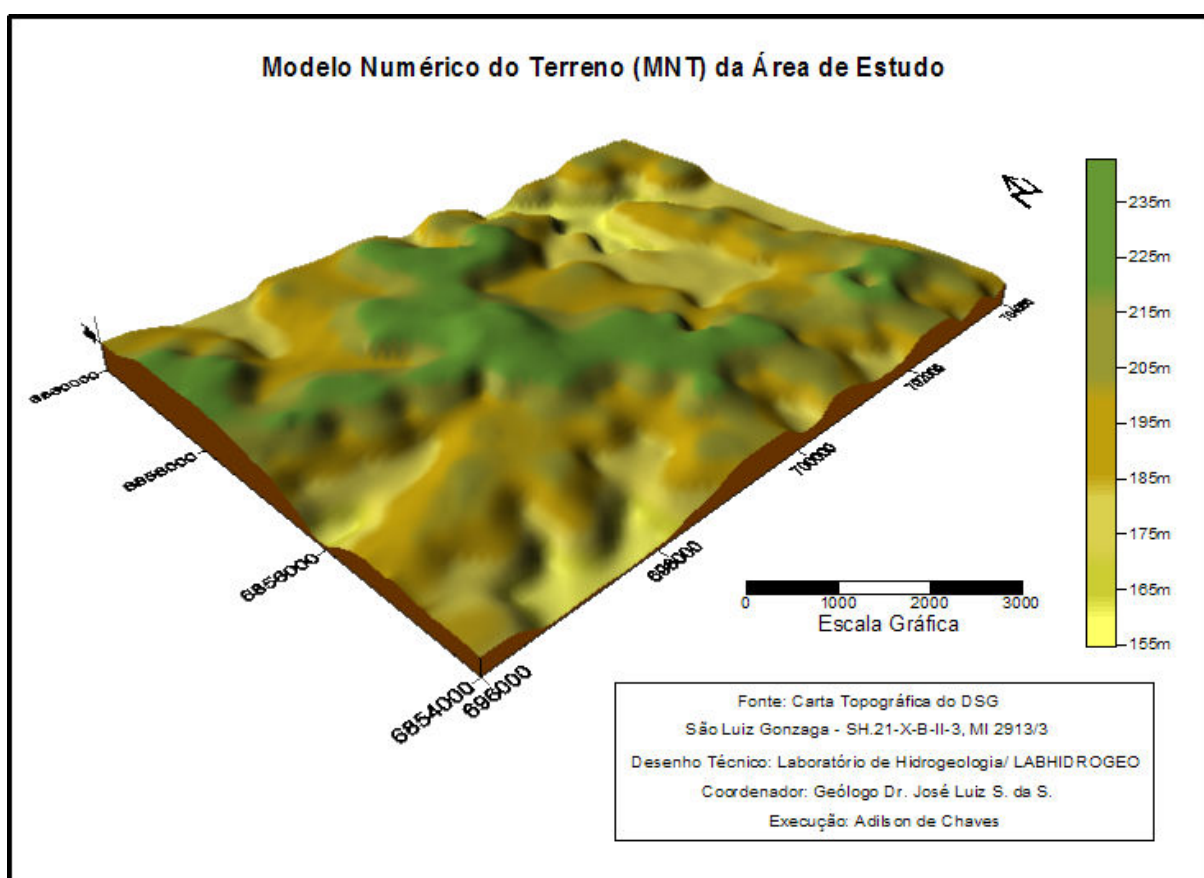


Figura 25 – Modelo Numérico do Terreno (MNT) da área de estudo

Figura 26 – Mapa da espacialização da altitude na “boca” dos poços na área de estudo

Figura 27 – Mapa da superfície potenciométrica dos aquíferos da área de estudo

Analisando-se a Figura 26, percebe-se que as cotas altimétricas variam entre 260m, no poço P11 (setor Noroeste da zona urbana), até 183m no poço SLU-2 da CORSAN (localizado no Setor Nordeste, próximo ao arroio Barrigudo). Percebe-se, também, com a análise do MNT, que as direções de escoamento superficial são de Nordeste, Noroeste e Sudoeste. Nota-se que os arroios Barrigudo, Piraju, Itapevi e Ximbocuzinho, são alimentados por este escoamento.

A Figura 27, também ilustra as direções preferenciais de fluxo subterrâneo, mostrando tendências similares ao fluxo superficial. Pela análise do fluxo subterrâneo, percebe-se que há 3 direções principais (Nordeste, Noroeste e Sul-Sudeste), coincidindo assim, com o fluxo superficial. Assim, nota-se que há contribuição do aquífero para perenizar os cursos dos arroios¹⁵, principalmente no setor nordeste da área de estudo, onde está localizado o Arroio Barrigudo e onde tem-se as menores cotas altimétricas dos poços.

Analisando-se estes mapas, percebe-se que a água subterrânea na área em estudo tem um fluxo radial, a partir da área com maior superfície potenciométrica, localizada na região oeste e perto da área urbana, com as maiores altitudes.

Verificando-se o mapa de fluxo da água subterrânea (Figura 27), pode-se perceber a existência de três cemitérios, localizados nos setores Nordeste, Oeste e sudeste da área urbana (cemitério municipal, Figura 28/D), que estão na direção do fluxo da água subterrânea, o que demonstra certo risco para a contaminação do lençol freático. Também, o lixão, localizado no setor Leste do mapa, esta em área de direção do fluxo superficial e subterrâneo. Assim, avalia-se a existência de risco de contaminação do arroio Barrigudo, que encontra-se a aproximadamente 300 metros do local.

4.3 Identificação das fontes potencialmente poluidoras

Para se avaliar os riscos de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos, deve-se considerar a integração entre a vulnerabilidade natural dos

¹⁵ Segundo a CETESB (1978), são chamados de cursos efluentes (relativamente ao aquífero).

aqüíferos e a fonte ou carga contaminante em superfície. Assim, faz-se necessário identificar a as atividades ou fontes potencialmente poluidoras.

No município de São Luiz Gonzaga, identificou-se algumas fontes, atividades e empreendimentos que trazem risco à contaminação da água subterrânea (Figura 28).



Figura 28 - Fontes pontuais de contaminação - lixão (A); posto de combustível (B) e cemitério (D) e fonte difusa – canal superficial contaminado (C).

Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

4.3.1. Urbanização e os cursos de água superficial potencialmente contaminados

Os processos de urbanização exercem uma grande influencia nos mecanismos de recarga dos aqüíferos e a instalação da rede de água potável e/ ou esgoto é muito significativa neste sentido. Assim, em situações onde não há

saneamento básico ou existem desenvolvidos esquemas de rede de esgoto em pequena escala, haverá algum risco de contaminação das águas subterrâneas.

No município de São Luiz Gonzaga, comparando-se a área urbana do ano de 1975/1978 (ano de edição da carta topográfica utilizada nos mapas do presente trabalho) e a atual área urbana do município (Figura 29/A) infere-se que houve um aumento significativo em termos de área construída.

Como a área de estudo não apresenta coleta/captação de esgoto, esses resíduos são lançados na maioria das vezes diretamente nos cursos de água superficial (Figura 29/B) que se tornam um risco potencial para a contaminação da água subterrânea. Assim, se o curso de água for influente em relação ao aquífero, ou seja, se for um curso que concorre para o suprimento da zona de saturação, ao recarregar o aquífero pode vir a contaminá-lo. Durante os trabalhos de campo, notou-se a presença de diversos cursos de água em precárias condições quanto à poluição por resíduos sólidos, bem como, casos em que havia o lançamento direto de esgoto nos canais (um exemplo pode ser visualizado na Figura 28/C).

O esgoto que não é lançado diretamente nos canais, é destinado à “poço negro”, construídos nas residências (Figura 29/C). Dependendo da litologia do local onde são construídos, podem trazer risco de contaminação ao lençol freático, pois a maior parcela do município localiza-se em aquíferos cristalinos fissurais pertencentes a Formação Serra Geral. Apenas localmente no setor Noroeste da área urbana, ocorrem arenitos aflorantes pertencentes à Formação Botucatu e ao SAG (Figura 30/A), formando aquíferos granulares porosos, com elevado risco de contaminação, sendo esta uma área de recarga direta das chuvas. Nesta área de afloramento, constatou-se em trabalho de campo a presença de um “poço negro” construído diretamente sobre a rocha de arenito (Figura 30/B), o que caracteriza extremo risco para a contaminação do lençol freático, já que todo material é lançado diretamente sobre a área aflorante, e assim, infiltra-se facilmente até a subsuperfície, devido porosidade da rocha de arenito.



Figura 29 – Fontes potenciais de contaminação: processo de crescimento da área urbana (A); canal superficial contaminado (B) (setor Sudoeste da área urbana) e construção de “poço negro” (C).
Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

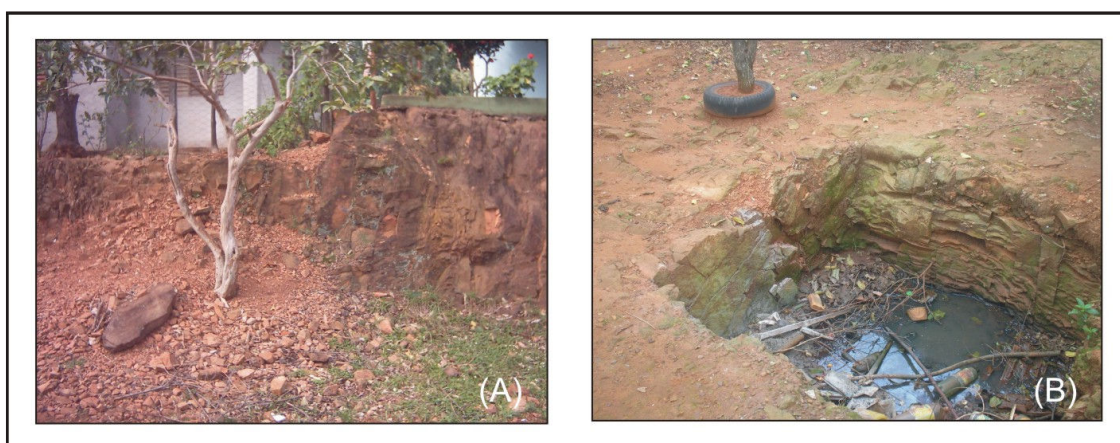


Figura 30 – Área de afloramento da Fm. Botucatu (A) e “poço negro” construído sobre rochas de arenito aflorante.
Fonte: Trabalho de campo (2006).

Os efeitos do suprimento de água em núcleos urbanos e da disposição de esgotos não estão limitados à área geográfica ocupada pelas cidades. Com a sua

expansão, as cidades podem degradar as suas áreas periféricas, influenciando negativamente naquelas áreas que constituem em pontos de recarga dos sistemas hídricos subterrâneos, quer seja através do saneamento in situ, quer seja através de descargas industriais, disposição de resíduos sólidos e, à infiltração de cursos superficiais poluídos.

4.3.2 Postos de serviços e lava-a-jatos

Os postos de combustível estão entre os principais responsáveis pela contaminação das águas subterrâneas e do solo em diversas regiões urbanas do Brasil segundo levantamentos feitos por agências ambientais do governo federal e dos Estados que indicam que as águas subterrâneas de áreas onde estão localizados postos de combustível são contaminadas sistematicamente por vazamentos de combustíveis, os quais ocorrem em sua maior parte em função de perfurações ou rachaduras nos tanques de armazenamento.

A Resolução Nº 273 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), regula esta atividade uma vez que ela utiliza o subsolo, sendo possível a contaminação do lençol freático.

Em São Luiz Gonzaga foram identificados ao todo 8 postos de combustível (Quadro 5).

Nome do posto	UTM (N/S)	UTM L/O	Altitude (m)	Lavagem	Caixa coletora
Greff	6856949	698373	245	Sim	Sim
Br Quincas	6855229	696745	219	Sim	Sim
Piratini	6855986	699474	244	Sim	Sim
Zanini	6854967	699474	232	Sim	Sim
Mercosul	6854940	699282	216	Sim	Sim
Texaco	6855547	702036	230	Sim	Sim
Esso	6855873	700815	222	Sim	Sim
Br 444	6855041	703236	242	Sim	Sim

Quadro 5 – Postos de combustível identificados na área de estudo.

Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

Organização: Chaves, A. de.

Constatou-se que todos os postos apresentam caixa coletora de resíduos, águas, óleos e graxas. Também, todos praticam a atividade de lavagem de veículos. Salienta-se, que todos os poços de combustível usam poços para o abastecimento de água.

Os lava-a-jatos podem ser extremamente nocivos para a alteração da qualidade natural das águas dos lençóis freáticos e uma fonte de contaminação das águas. Durante o trabalho de campo foram visitados 3 lava-a-jatos (Quadro 6).

Lava-a-jato/ localização	UTM N/S	UTM L/O	Altitude (m)
Lava-a-jato I/ setor Sul da área urbana	6855529	699686	240
Lava-a-jato II/ setor Sul da área urbana	6855520	699782	242
Lava-a-jato III/ setor Sul da área urbana	6855289	699397	218

Quadro 6 – Lava-a-jatos identificados na área de estudo

Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

Organização: Chaves, A. de.

Constatou-se que nenhum deles apresentava caixa separadora de resíduos, sendo as águas de lavagem, contendo resíduos de óleos lubrificantes e outros, são dispostos sem tratamento, direto na canalização pluvial. Sugere-se medidas de controle pelo órgão ambiental responsável.

4.3.3 Cemitérios

Outra fonte potencialmente poluidora são os cemitérios. Os restos mortais tornam-se perigosos poluentes em função do seu processo de decomposição, que ao todo leva em média 3 anos e da origem a um líquido chamado necrochorume, que é eliminado durante o primeiro ano após o sepultamento. Este líquido ao entrar em contato com a água da chuva pode atingir o lençol freático.

A Resolução Nº 335 do CONAMA regula o licenciamento desta atividade. Informa-se que a disposição dos “caixões” no terreno devem ficar no mínimo a 1,5m acima da cota máxima do lençol freático, no ponto considerado.

Em São Luiz Gonzaga foram identificados 3 cemitérios (quadro 7).

Cemitério/ localização	UTM N/S	UTM L/O	Altitude (m)
Cemitério municipal/ setor Sudoeste da área urbana	6855268	701365	245
Cemitério da Vila Itapevi/ setor Oeste da área urbana	6856149	697550	210
Cemitério da Vila Malvina/ setor Noroeste da área urbana	6858194	698559	240

Quadro 7 – Cemitérios identificados na área de estudo

Fonte: Trabalho de campo 2005/2006

Organização: Chaves, A. de.

Ressalta-se que não foram encontrados poços nos cemitérios, portanto não é conhecida a profundidade do nível da água.

4.3.4 Disposição de resíduos sólidos

A disposição de resíduos sólidos é uma fonte importante de carga contaminante no subsolo especialmente em locais onde o nível freático esteja em contato direto com o resíduo.

Em São Luiz Gonzaga foi visitado o lixão onde são depositados os resíduos vindos da coleta municipal (Figura 28/A). Pode-se perceber pela Figura 28/A, que o local encontra-se em situação inadequada, representando risco para a contaminação das águas subterrâneas e/ou superficiais. Em períodos de chuva a água precipitada mistura-se aos resíduos formando o chorume, que pela infiltração pode contaminar o lençol freático pontualmente. Salienta-se que, apesar do lixão assentar-se em rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, representa risco de contaminação ao arroio Barrigudo pois esta próximo a este canal (aproximadamente 300 metros).

O mapa da Figura 31 espacializa as principais fontes potencialmente poluidoras na área de estudo.

4.4 Índice de Vulnerabilidade Natural dos Sistemas Aquíferos

O Quadro 8, apresenta os índices de vulnerabilidade de 9 poços na área de estudo, os quais apresentaram todos os parâmetros necessários ao uso do Método “GOD”:

Poço	Grau de Confinamento	Ocorrência Litológica	Distância do Nível da água	Vulnerabilidade	Classe
P1	0,2	0,6	0,8	0,1	Desprezível
P3	0,2	0,6	0,8	0,1	Desprezível
P6	0,0	0,6	0,9	0,1	Desprezível
PM-2	0,2	0,6	0,7	0,08	Desprezível
SLU-2	0,2	0,6	0,6	0,07	Desprezível
SLU-3	0,2	0,6	0,6	0,07	Desprezível
SLU-5	0,2	0,6	0,6	0,07	Desprezível
SLU-6	0,2	0,6	0,6	0,07	Desprezível
SLU-12	0,2	0,6	0,6	0,07	Desprezível

Quadro 8 – Índices de vulnerabilidade em 9 poços na área de estudo.

Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

Organização: Chaves, A. de.

Os 9 poços na área de estudo foram classificados como vulnerabilidade desprezível. Esse resultado deve-se a dois fatores principais que interferem diretamente na obtenção do índice de vulnerabilidade. O primeiro, é que todos os poços estudados estão locados em área de substrato litológico constituído por formações vulcânicas antigas, recebendo nota 0,6. Outro fator é que todos os poços foram classificados como confinados, pois os mesmos (com exceção dos 3 poços da CORSAN que atingem o arenito Botucatu) se encontram perfurados no basalto, recebendo assim, nota 0,2. Estes aquíferos formados no basalto são chamados de fraturados ou fissurados e ocorrem quando a água ocupa fraturas e fendas abertas em rochas duras e compactas.

A capacidade destas rochas em acumular água está relacionada à quantidade de fraturas, suas aberturas e suas intercomunicações, daí menor vulnerabilidade natural. Ilustra-se o poço SLU-2 (CORSAN), localizado no setor Nordeste do mapa, em que ocorre o arenito interderrame na profundidade de 43 metros, e somente em 100 metros ocorre camadas mais espessas da Formação Botucatu. Assim, como não ocorrem poços no arenito da Formação Botucatu aflorante no setor Noroeste da

área urbana, esta área de recarga direta não foi avaliada na simulação do mapa da Figura 32, que apresenta a espacialização dos dados de vulnerabilidade natural dos aquíferos, sendo as informações extrapoladas para estas áreas através do interpolador Krigagem.

Figura 32 – Mapa da espacialização da vulnerabilidade natural dos aquíferos na área de estudo

Salienta-se que o resultado “desprezível” do índice de vulnerabilidade não significa necessariamente que não há risco de contaminação das águas subterrâneas, as quais necessitam monitoramento físico-químico e bacteriológico.

Como já comentado anteriormente, outra questão que merece cuidado no que diz respeito à vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação, é o fato de haver na área de estudo um afloramento de arenito, podendo ser este da Formação Botucatu (Figura 33/A). São raros os afloramentos de arenitos no Planalto das Missões, que é constituído de derrames vulcânicos (Figura 33/B) e arenitos interderrames.



Figura 33 - Aspectos da Fm. Botucatu (A) e da Fm. Serra Geral (B).
Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

Este afloramento localiza-se no setor Noroeste da área urbana, na Vila Trinta, estendendo-se em uma área de aproximadamente 5.000m² (ver mapa da Figura 24). Sugere-se uma melhor avaliação geológica da área, investigando a origem deste arenito. A princípio, como hipótese, diz-se que este afloramento originou-se a partir de arenito intertrape ou interderrame. Contudo, esta área é considerada uma área de recarga, visto a característica granulométrica da Formação Botucatu.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

A avaliação da vulnerabilidade de aquíferos à contaminação constitui-se em um dos aspectos de maior importância para subsidiar o planejamento do uso do solo e para gerenciar a instalação e o funcionamento de empreendimentos potencialmente impactantes aos recursos hídricos subterrâneos. 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 urbana e parte da área rural do município de São Luiz Gonzaga, 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 Serra Geral e o Sistema Aquífero Guarani (SAG).

Para tanto, inicialmente, foi realizado um levantamento de informações necessárias para a montagem de um banco de dados que possibilitaram a execução dos objetivos propostos.

Em relação aos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas, sobrepondo-se os mapas de espacialização, nota-se que não houve sobreposição direta, indicando não ter havido correlação entre estes parâmetros. Quanto aos resultados obtidos, os mesmos estão de acordo com as normas de potabilidade, sendo de boa qualidade para consumo humano. No entanto, visto que alguns valores obtidos ficaram no limite dos valores máximos permitidos, sugere-se uma campanha de monitoramento na qualidade físico-química e bacteriológica de um

número maior de poços e/ou fontes, buscando-se verificar variações sazonais, incluindo-se os poços da zona rural do município.

No que diz respeito à vulnerabilidade, na área de estudo os aquíferos (Serra Geral e Guarani) são pouco vulneráveis a contaminação (vulnerabilidade inexistente, segundo metodologia GOD).

Quanto ao Método “GOD”, utilizado para o estudo da vulnerabilidade, pode-se dizer que o mesmo foi eficiente, apesar de apresentar algumas limitações. Desta forma, o método não avaliou a área de afloramento da Formação Botucatu, devido à falta de poços que forneçam informações desta área. Assim, houve uma generalização na espacialização da vulnerabilidade natural dos aquíferos.

Apesar da pouca vulnerabilidade, deve-se lembrar de que os aquíferos menos vulneráveis não são facilmente contaminados, mas quando atingidos por uma carga contaminante não são de fácil recuperação, deve-se ter um cuidado maior quanto à prevenção. Alia-se a isto, o fato de que a Formação Botucatu não foi avaliada, representando uma área de recarga direta a partir das precipitações pluviométricas.

Sugere-se que na área de estudo, deve-se estabelecer um programa claro e eficiente de proteção dos aquíferos e controle das atividades humanas, planejando e ordenando a ocupação e o uso do solo. O cadastramento dos poços e pontos potenciais de contaminação foi uma contribuição, no momento em que atendeu o Código Estadual do Meio Ambiente. Assim, este cadastro poderá ser atualizado na medida em que obter-se novas informações. Salienta-se que no cadastro do SIAGAS/CPRM, somente haviam cadastrados dois poços tubulares da CORSAN. Assim, houve avanços no conhecimento e localização do uso deste recurso.

No município de São Luiz Gonzaga a maior parte do abastecimento (70%) público urbano é realizado através da captação em poços profundos e, uma vez que a cidade não possui redes coletoras de esgotos, todo o saneamento urbano é feito através da disposição in situ dos efluentes domésticos. O subsolo toma papel chave na disposição dos esgotos urbanos devido ao crescimento de práticas inadequadas de saneamento, recebendo toda a sorte possível de contaminantes quer sejam de origem doméstica ou industrial. Desta forma, alterações no comportamento dos fluxos hidráulicos dos aquíferos e na qualidade da água subterrânea, podem exercer um forte impacto negativo na qualidade dos mananciais subterrâneos.

Esta situação, dependendo das características dos perfis de solo e rocha que se sobrepõe às rochas armazenadoras e fornecedoras de água subterrânea, podem

levar ao comprometimento da qualidade dessas águas. Nesse sentido, percebe-se a urgência no investimento em setores como o de saneamento, tanto na canalização de esgoto com a edificação de redes, como com seu tratamento com edificação de uma estação de tratamento.

Também, devem-se estabelecer áreas adequadas para as atividades com maior risco de degradação dos aquíferos, a fim de priorizar a aplicação de recursos técnicos e financeiros em locais de maior interesse sócio-econômico e ambiental. Priorizando-se os poucos recursos estaduais e federais para a implantação de uma infra-estrutura com rede de esgotos e Estação de Tratamento, bem como, executando-se um aterro sanitário de acordo com as normas da ABNT¹⁶ e ABES¹⁷.

O presente trabalho, também serviu para indicar áreas que devem ser melhor estudadas, pois regiões como o afloramento de arenito, presente no município, não podem ser alvos de atividades poluentes desenvolvidas em superfície. Assim, esta área, deverá ser conservada, ou seja, sugere-se a não-intervenção humana. Deverá ser observada a conservação de áreas de influência dos poços ali perfurados. Sugere-se, também, atenção especial ao esgoto nesta área, bem como, na revisão do Plano Diretor Municipal, para que contemple esta e outras áreas vulneráveis a contaminação.

Têm-se a necessidade, também, de um controle dos níveis freáticos dos poços, principalmente os pertencentes à Prefeitura Municipal. Para isto necessita-se padronizar as “bocas dos Poços” colocando-se uma tubulação auxiliar de PVC com diâmetro de duas polegadas até a profundidade da bomba submersa visando facilitar a entrada do medidor de nível de água tipo Jaciri. Buscando-se, assim, adequar as normas de outorga da SEMA (2007) e Decreto Estadual Nº.42.047/2002.

Também, recomendam-se estudos sobre a direção dos fluxos subterrâneos, das condições de recarga natural, dos volumes exatos de extrações e dos riscos de contaminação na área de afloramento, para posterior monitoramento, proteção e manejo sustentável dos recursos hídricos subterrâneos.

¹⁶ ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

¹⁷ ABES – Associação Brasileira de Saneamento.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS

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

_____. NBR 12212: **Projeto de poço para captação de água subterrânea**. Rio de Janeiro, 1992. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.abas.org.br>>. Acesso em: 05 jan. 2007.

Água Subterrânea e Poços Tubulares; trad. Da primeira edição original norte-americano publicado pela JOHNSON DIVISION, UPO, INC., SAINT PAUL, Minnesota. 3. Ed. Ver. São Paulo, CETESB, 1978.

ALBERTI, E. A. **Estudo da Vulnerabilidade Natural dos Aqüíferos no Perímetro Urbano de Tupanciretã/RS**. 2004. 65 p. Monografia (Trabalho de Graduação A) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil**. Brasília: ANA, 2005.

AQUÍFERO GUARANI. Disponível em: <<http://www.oaquifero guarani.com.br>>. Acesso em: 12 de fev. 2007

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.

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

BAIOTO, R.; QUEVEDO, J.; NASCIMENTO, A. O. do. **São Luiz Gonzaga e São Lourenço Mártin**. Porto Alegre: Martins Livreiro, 1988.

BRANCO, S. M. **Água**: origem, uso e preservação. 8. Ed. São Paulo: Moderna, 1993.

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

BOVOLATO, L. E. Estudo de vulnerabilidade à contaminação de águas subterrâneas utilizando a metodologia "GOD" para a área urbana de Araguaína/ TO. In: VI SEMANA DE GEOGRAFIA, 2005, Presidente Prudente. **Anais eletrônicos/ Resumo expandido**. Presidente Prudente: Unesp, 2005. Disponível em: <http://www2.prudente.unesp.br/eventos/semana_geo/luiseduardobovolato.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2005.

Brasil. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988: atualizada até a Emenda Constitucional n. 20, de 15-12-1988. 21. ed. São Paulo: Saraiva, 1999.

_____. **Lei nº 9.433 de 8 de Janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BROLLO, J. M.; VEDOVELLO, R.; ODA, G. H. **Avaliação da Vulnerabilidade natural de aquíferos à contaminação através de um sistema gerenciador de informações geoambientais** – Um instrumento de gestão ambiental. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo, 2000.

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

CABRAL, J.; KOIDE, S.; SIMÕES, S. J. C; MONTENEGRO, S. **Recursos Hídricos Subterrâneos**. 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. 237-277.

CAMPONOGARA, I. **Vulnerabilidade Natural no Sistema Aquífero Guarani e Análise de Parâmetros físico-químicos das Águas Subterrâneas em Quarai, BR e Artigas, UY.** Santa Maria/RS. 2006. 120f. Dissertação de Mestrado (Geografia e Geociências) - Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

CAMPONOGARA, I. **Vulnerabilidade Natural do Sistema Aquífero Guarani, em Santana do Livramento, RS, com uso de Geotecnologias.** Santa Maria/RS. 2006. 110f. Dissertação de Mestrado (Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

CARRARO, C. C. et al. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul** (Escala 1: 1000000). Porto Alegre: Instituto de Geociências UFRGS, 1974.

CHAVES, A. de. & SILVA, J. L. S. da. Estudo da Vulnerabilidade Natural à Contaminação de aquíferos e risco de poluição das águas subterrâneas no município de São Luiz Gonzaga. **Jornal A Notícia**, São Luiz Gonzaga, 24 ago. 2005. p. 11.

CHAVES, A. de. & SILVA, J. L. S. da. Áreas de recarga direta do Aquífero Guarani em São Luiz Gonzaga/ RS. **Jornal A Notícia**, São Luiz Gonzaga, 03 maio. 2006. p. 11.

COMPANHIA DE PESQUISAS E RECURSOS MINERAIS. CPRM – Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br> >. Acesso em: 20 dez. 2006.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. CONAMA. Resolução n. 335 de 03 de abril de 2003. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo Brasília, DF, 2003.

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

_____. 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 n. 368 de 28 de março de 2006. Altera dispositivos da Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo Brasília, DF, 2006.

_____. Resolução n. 335 de 03 de abril de 2003. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo Brasília, DF, 2003.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (Brasil). Resolução n. 15 de 11 de janeiro de 2001. Delega competência a SINGRH e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, poder executivo, Brasília, DF, 2001. 03p.

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

CHRISTOFIDIS, D. Conflitos e uso sustentável dos recursos hídricos. In. **Conflito e uso dos recursos naturais**. Theodoro, S. H. (org.). Rio de Janeiro: Garamond. 2002

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

DSG - Diretoria de Serviço Geográfico do Exército. Porto Alegre: **Rincão de São Pedro (MI-2912/4)**. Porto Alegre, 1980. (Carta Topográfica: Escala 1: 50.000).

DSG - Diretoria de Serviço Geográfico do Exército. Porto Alegre: **São Luiz Gonzaga (MI-2913/3)**. Porto Alegre, 1980. (Carta Topográfica: Escala 1: 50.000).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<http://www.embrapa.br>>. Acesso em: 09 de fev. 2007.

FACHIN, E. F. **Distribuição Espacial dos Poços Tubulares Profundos e Informações Físico-Químicas das Águas Subterrâneas no Município de Santa Maria/RS**. 2003. 72 p. Monografia (Trabalho de Graduação A) – Universidade Federal de Santa Maria, 2003.

FEITOSA, A.C.F. & MANOEL FILHO, J. (Coord.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. CPRM/LABHID. Fortaleza, 1997. 412 p.

FENZL, N. J. **Introdução à Hidrogeoquímica**. Belém: Universidade Federal do Pará, 1986.

FOSTER, S. S. D. & HIRATA, R. **Contaminación de las águas subterráneas**. Organización Mundial de la Salud. Organización Panamericana de la Salud, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Del Ambiente. Lima, Peru, 1987.

_____. **Determinação de Riscos de Contaminação das Águas Subterráneas: um método baseado em dados existentes**. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. (Boletim n.º 10).

FOSTER, S. S. D. et al. **Groundwater impacts and issues in developing cities – an introductory review**. I Proceedings of the IHA XXVII Congress “Groundwater in the urban environment, 1999, (Vol. 21, pp. 3 – 18.).

FOSTER, et al. **Protección de la calidad Del Agua Subterránea: guia para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales**. Madri: Ediciones Mundi - Prensa, 2003.

FRANTZ, L. C. **Avaliação do Índice de Vulnerabilidade do Aqüífero 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.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA. FEE - Fundação de Economia e Estatística. Disponível em: <<http://www.fee.tche.br>>. Acesso em: 08 de jan. 2007.

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

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

_____. Comportamento do Freático nas Áreas Basálticas do Rio Grande do Sul. **Boletim Paranaense de Geografia**, n. 18 a 20, p. 177-214, 1996.

HEATH, R. C. **Hidrologia básica de águas subterrâneas**, Denver: 1983. 86 p. USGS Paper nº20. Wrege, M. e Potter, P. (Trad.) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS.

HIRATA, R. Recursos Hídricos. In: TEIXEIRA, W. et al (orgs.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

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

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.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 16 de abril. 2006.

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

LANDIM, P. M. B. et al. Introdução à confecção de mapas pelo “software”*Surfer*. DGA, IGCE, UNESP/ Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 08, 21pp. 2002. Disponível em:<<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 14 fev. 2007.

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

LEINZ, V. & LEONARDOS, O. H. **Glossário Geológico**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1970.

LEITÃO, T. E. et al. Poluição de Águas Subterrâneas: Principais problemas, processos de prevenção e de reabilitação. In: 6º SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LINGUA OFICIAL PORTUGUESA, 16., 2003, Recife. **Anais eletrônicos**. Cabo Verde: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 2003. Disponível em: <<http://www.dha.inec.pt/nas>>. Acesso em: 12 fev. 2003.

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

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.

MEAULO, F. J. **Vulnerabilidade natural à poluição dos recursos hídricos subterrâneos da área de Araraquara (SP)**. 2004. 108f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

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.

MOREIRA, C. M. D. **Aspectos qualitativos da água subterrânea no Campus da UFSM, Santa Maria - RS**. 2005. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

NASCIMENTO, A. O. do. **Mostra da Arte Missioneira: 1981 – 1987**. São Luiz Gonzaga: Gráfica A Notícia, 1987.

NASCIMENTO, A. O. do. et al. **Perfil Municipal de São Luiz Gonzaga**. São Luiz Gonzaga: Gráfica A Notícia, 2001.

PACHECO, A. Os Cemitérios e o Ambiente. **Revista Mensal do CREA/RS**, n. 24, p. 30, 2006.

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

PAVÃO, A. D. M. **Avaliação do índice de vulnerabilidade na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria – RS**. 2004. 112 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria/ UFSM, Santa Maria, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO LUIZ GONZAGA. PMSLG – Prefeitura Municipal de São Luiz Gonzaga. Disponível em: <<http://www.saoluizrs.com.br>>. Acesso em: 09 de fev. 2007.

RIO GRANDE DO SUL. **Constituição (1989). Constituição do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CORAG, 1989. 133 p.

_____. **Lei n. 10.350 de 30 de dezembro de 1994**. Política Estadual dos Recursos Hídricos. 1994. 30 p.

_____. Lei n. 11.520 de 03 de agosto de 2000. **Código Estadual do Meio Ambiente**. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. 2000.

_____. **Decreto n. 42.047 de 26 de dezembro de 2002**. Regulamenta disposições da Lei n. 10.350, de 30 de dezembro de 1994, com alterações, relativas ao gerenciamento e à conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, dezembro 2002.

SALLES, V. **Avaliação da Vulnerabilidade Natural à Contaminação dos Recursos Hídricos Subterrâneos no Município de Faxinal do Soturno, RS**. 113f. Monografia (Especialização em Geociências) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. SEMA – Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Disponível em <<http://www.sema.rs.gov.br>>. Acesso em 16 jan. 2007.

SECRETARIA GERAL DO PROJETO DE PROTEÇÃO AMBIENTAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SISTEMA AQUIFERO GUARANI. PSAG. Disponível em: <<http://www.sg-guarani.org>>. Acesso em 15 fev. 2007.

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

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

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

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 et al. Novas Hipóteses sobre a origem do flúor no Sistema Aquífero Guarani na Depressão Central Gaúcha, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEA, 12., **Anais...** Florianópolis: ABAS, 2002, CD-rom.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L., MAZIERO, L., DOS SANTOS, E. F. Impactos da atividade humana sobre o solo – aquíferos In: SOLOS E AMBIENTE: I FORUM, 2004, Santa Maria. **Fórum....** Santa Maria: Departamento de solos, UFSM, Ed. Pallotti, 2004, p. 145 – 167.

SILVERIO DA SILVA et al. (2005). Projeto do sistema aquífero guarani. **Segundo Relatório**. Secretaria Geral/Organização dos Estados Americanos - SG/OEA. UFSM/UdeLaR, 2005. 1 CD-Rom.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L. et al. **Projeto Nº. 10 do Fundo das Universidades**. Disponível em: <<http://www.sg-guarani.org>>. Acesso em: 15 jan. 2007.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. SIAGAS – Sistema de Informação de Águas Subterrâneas. Disponível em: <<http://www.siagas.cprm.gov.br>>. Acesso em: 16 de abril. 2005.

SURFER8. **Contouring and 3D surface mapping for scientists and engineers**. User's Guide. Golden Software Inc. 2004. Versão 8. Colorado - U.S.A.

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

TOMASI, D. B. & ARAÚJO, M. C. P. de. **As vertentes da educação ambiental: a ocupação de São Luiz Gonzaga (RS), a preservação dos banhados e dos recursos hídricos**. São Luiz Gonzaga: Gráfica A Notícia, 2004.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. Da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa. **Estrutura e apresentação de monografias, dissertações e teses – MDT**. 6ª ed. Santa Maria, 2006.

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.

YASSUDA, E. R.; NOGAMI, P. S.; MONTRIGAUD, R. de. **Poços Profundos: Manual Técnico**. São Paulo: Faculdade de Higiene e Saúde Pública, 1965.

ZIMBRES, E. (2003). Disponível em: <<http://www.meioambiente.pro.br>>. Acesso em: 10 mar. 2006.

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.

ANEXOS

Anexo 1 – Banco de Dados sobre os poços cadastrados na área de estudo

Código Poço	UTM E	UTM N	Alt. (m)	Localização	Proprietário	Prof. (m)	N.E. (m)	N.D. (m)	S.P (m)	Tipo Aquíf.	pH	O. D (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	S.T.D (mg/L)	C.E. (µS/cm)	Temp.H ₂ O (°C)	Uso Água
P1	698373	6856949	245	Posto Greff	Particular	-	7	-	238	Confinado	6,23	4,63	76,57	169	260	21,6	Multiplo
P2	696770	6855200	218	Posto Quincas	Particular	-	-	-	-	Confinado	7,57	6,8	100,03	181	278	20,5	Multiplo
P3	700837	6855849	228	Posto Esso	Particular	-	6	-	222	Confinado	7,44	5,85	-	286	440	20	Multiplo
P4	702046	6855478	233	Posto Xamam	Particular	-	-	-	-	Confinado	6,61	6,01	-	101	155	17	Multiplo
P5	697624	6855304	222	Penitenciária	Penitenciária	-	-	-	-	Confinado	9,5	4,83	-	467	718	21	Particular
P6	697504	6856696	221	Vila Trinta	Prefeitura	-	0	-	221	Confinado	6,72	6,02	62,98	175	269	17,7	Abandonado
P7	699727	6854573	232	Vila Trevo	Prefeitura	98	-	-	-	Confinado	6,38	4,6	118,56	305	468	21	Abast. Urbano
P8	698261	6855046	197	Vila Loureiro	Prefeitura	140	-	-	-	Confinado	-	-	-	-	-	-	Abast. Urbano
P9	698012	6854840	201	Vila Loureiro	Prefeitura	135	-	-	-	Confinado	6,87	4,3	193,89	227	349	21,8	Abast. Urbano
P10	698774	6857018	248	Vila J.Nasc.	Prefeitura	107	-	-	-	Confinado	6	4,5	64,22	174	267	22	Abast. Urbano
P11	698672	6857124	260	Vila J.Nasc.	Prefeitura	111	-	-	-	Confinado	6,1	4,7	67,92	177	271	21,8	Abast. Urbano
P12	698940	6857061	253	Vila Harmonia	Prefeitura	131	-	-	-	Confinado	5,64	3,8	69,16	153	235	22	Abast. Urbano
P13	703350	6855798	234	Área Industrial	Prefeitura	86	-	-	-	Confinado	6,2	4,5	67,92	130	200	23,1	Abast. Urbano
P14	703355	6854908	241	Vila União	Prefeitura	105	-	-	-	Confinado	5,75	4,6	43,22	68	104	22,5	Abast. Urbano
P15	702507	6855042	248	P. Centenário	Prefeitura	100	-	-	-	Confinado	5,33	4,3	39,52	68	105	22	Abast. Urbano
SLU-12	697534	6855997	214	Vila Itapevi	CORSAN	-	80	-	134	Confinado	7,08	4,9	143,26	306	470	22,5	Abast. Urbano
PM-2	697985	6855972	233	Alto Floresta	CORSAN	-	38	-	195	Confinado	6,54	5,2	119,8	235	362	21,5	Abast. Urbano
SLU-2	701858	6858564	183	Vila Marcos	CORSAN	180	78	110	105	Confinado	7,02	5,18	122,26	195	300	21,5	Abast. Urbano
SLU-3	702339	6854977	242	Vila Harmonia	CORSAN	-	58	-	184	Confinado	6,22	5,05	64,22	117	180	22	Abast. Urbano
SLU-5	701761	6858836	187	Vila Marcos	CORSAN	180	82	83,2	105	Confinado	7,02	5,3	101,27	159	244	22	Abast. Urbano
SLU-6	701605	6858431	198	Vila Marcos	CORSAN	-	83	85,2	115	Confinado	7,33	5,16	116,09	179	276	21,2	Abast. Urbano

UTM – Universal Transversa de Mercator; N.E. – Nível Estático; N.D. – Nível Dinâmico; S.P. – Superfície Potenciométrica; O.D. – Oxigênio Dissolvido; S.T.D. – Sólidos Totais Dissolvidos ; C.E. – Condutividade Elétrica