



PROJETO

**SISTEMA DE INFORMAÇÃO PARA O  
GERENCIAMENTO AMBIENTAL DOS RECURSOS  
HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NA ÁREA DE  
AFLORAMENTO DO AQUIFERO GUARANI NO  
ESTADO DE SÃO PAULO**

COOPERAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO  
(BRASIL)

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, SAÚDE PÚBLICA E  
PROTEÇÃO AO CONSUMIDOR DO ESTADO DA BAVIERA  
(ALEMANHA)

APOIO:  
*PROCOP*  
*FAPESP*

Abril 2004



**SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO**

*Prof. Dr. José Goldemberg – Secretário*

*Profa. Dra. Suani Teixeira Coelho – Secretária Adjunta*

**INSTITUTO GEOLÓGICO – IG/SMA**

*Dra. Sonia Aparecida Abissi Nogueira – Diretora Geral*

**COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB**

*Dr. Rubens Lara – Diretor Presidente*

**INSTITUTO FLORESTAL – IF/SMA**

*Dra. Maria Cecília Wey de Brito – Diretora Geral*

**SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, SAÚDE PÚBLICA E PROTEÇÃO AO CONSUMIDOR DO ESTADO DA BAVIERA ("Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz")**

*Dr. Werner Schnappauf – Secretário*

**PROJETO TECHNOLOGY TRANSFER WATER (TTW)**

*Dr. Erich Eichenseer – Coordenador*

**AGÊNCIA DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BAVIERA ("Bayerisches Landesamt Für Wasserwirtschaft" - LfW)**

*Dr. Albert Göttle - Presidente*



## **EXECUÇÃO**

### **SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO - SMA/SP**

*Instituto Geológico – IG/SMA*

*Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB*

*Instituto Florestal – IF/SMA*

### **SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, SAÚDE PÚBLICA E PROTEÇÃO AO CONSUMIDOR DO ESTADO DA BAVIERA**

*Projeto TTW*

*Agência de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Baviera – LfW*

*Consórcio Aqua Bavaria Guarani*

## **COORDENAÇÃO**

### **SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO**

*Profa. Dra. Suani Teixeira Coelho (Secretária Adjunta da SMA/SP) – Coordenadora Geral*

*Dra. Mara Akie Iritani (Instituto Geológico/SMA) – Coordenadora Executiva*

*Eng. Otávio Okano (CETESB Regional da Bacia do Mogi Guaçu e Pardo) – Responsável Técnico*

### **SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, SAÚDE PÚBLICA E PROTEÇÃO AO CONSUMIDOR DO ESTADO DA BAVIERA**

*Dr. Erich Eichenseer (Projeto TTW) – Coordenador Geral*

*Dr. Hans Frisch (LfW) – Coordenador Técnico*

*Dr. Uwe Troeger (COPLAN AG) – Coordenador Técnico dos Consultores*

## **APOIO FINANCEIRO**

*Programa de Controle de Poluição – PROCOP/CETESB*

*Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo - FAPESP*



## **ARTICULAÇÃO INSTITUCIONAL DA COOPERAÇÃO TÉCNICA**

*Ana Lúcia Segamarchi – Assessora de Projetos Especiais – APE/SMA*

*Wulf Riess - Conselheiro Ministerial e Diretor do Departamento de Relações Internacionais*

*Susan Klein – Cooperação Internacional*

## **COLABORAÇÃO**

*Departamento de Água e Esgoto de Ribeirão Preto – DAERP*

*Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE sede e Ribeirão Preto*

*Secretaria de Planejamento e Gestão Ambiental – Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto*



## **EQUIPE EXECUTORA**

### **SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO**

#### **INSTITUTO GEOLÓGICO – IG/SMA**

*Mara Akie Iritani – coordenadora executiva*

*Luciana Martin Rodrigues Ferreira*

*Márcia Maria Nogueira Pressinotti*

*Antonio Carlos Moretti Guedes*

*Felipe Silva Silles (estagiário)*

*Kelly Cristina Melo (estagiária)*

#### **COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB**

##### **Regional da Bacia do Mogi Guaçu e Pardo**

*Otávio Okano – responsável técnico*

*Marco Antonio Sanches Artuzo*

##### **Divisão de Desenvolvimento de Sistemas e Administração de Dados**

*Tang Hai Ling Chieh*

*José Mário Nogueira dos Santos*

##### **Divisão de Qualidade de Solo, Águas Subterrâneas e Vegetação**

*Dorothy Carmen Pinatti Casarini*

*Claudio Luiz Dias*

*Rosângela Pacini Modesto*

#### **INSTITUTO FLORESTAL – IF/SMA**

*João Regis Guillaumon*

*Marco Aurélio Nalon*

### **SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, SAÚDE PÚBLICA E PROTEÇÃO AO CONSUMIDOR DO ESTADO DA BAVIERA**

#### **BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT – LFW**

*Hans Frisch*

#### **CONSÓRCIO AQUA BAVARIA GUARANI**

*Uwe Troeger – COPLAN AG*

*Günter Schuler – Geologisches Büro Prof. Dr. Schuler & Dr. Ing. Goedecke*

*Rainer Garschhammer – IT & More*

*Christoph Kulls - Hydroisotop*



## **COLABORADORES**

*Arlete Tiekko Ohata – SMA/SP*

*Prof. Dr. Osmar Sinelli – Universidade de São Paulo e Faculdades COC*

*Joaquim Ignácio da Costa Neto – DAERP*

*Saulo de Tarso Ferreira – DAERP*

*Carlos Farjani Neto – DAERP*

*José Luiz Barbieri – Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto*

*Maurício de Melo Figueiredo Junior – Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto*

*Paulo Barbosa – Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto*

*Celso Peticarrari – DAEE Ribeirão Preto*

*José Laércio Sanches – DAEE Ribeirão Preto*

*Luiz César Santos Carvalho – DAEE Ribeirão Preto*

*Elcio Linhares Silveira – DAEE São Paulo*

*Marcos Massoli – DEPRN/SMA*



## SUMÁRIO

### 1. INTRODUÇÃO

### 2. OBJETIVOS

### 3. PARTICIPAÇÃO, COLABORAÇÃO E APOIO AO PROJETO

### 4. ÁREA DE ESTUDO

#### 4.1. CARACTERÍSTICA GERAIS

#### 4.2. CONTEXTO GEOLÓGICO

#### 4.3. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

##### 4.3.1. Unidades aquíferas

##### 4.3.2. Parâmetros hidráulicos

##### 4.3.3. Vulnerabilidade natural do aquífero

### 5. METODOLOGIA

### 6. RESULTADOS

#### 6.1. AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA BASEADA NOS DADOS EXISTENTES

##### 6.1.1. Aquífero Guarani em Ribeirão Preto

##### 6.1.2. Fluxo subterrâneo

##### 6.1.3. Exploração do aquífero

#### 6.2. AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA DE DELIMITAÇÃO DE ÁREAS DE PROTEÇÃO DE POÇOS DO ESTADO DA BAVIERA

##### 6.2.1. Conceitos

##### 6.2.2. Princípios e procedimentos aplicados à proteção da água subterrânea no Estado da Baviera

###### 6.2.2.1. Princípios

###### 6.2.2.2. Classificação das áreas de proteção

###### 6.2.2.3. Delimitação das áreas de proteção no Estado da Baviera

###### 6.2.2.4. Atividades antrópicas permitidas nas áreas de proteção

##### 6.2.3. Exemplos de aplicação da metodologia do Estado da Baviera em Ribeirão Preto

#### 6.3. PROPOSIÇÃO DE ESTRATÉGIA DE PROTEÇÃO DO AQUÍFERO GUARANI EM RIBEIRÃO PRETO

##### 6.3.1. Mecanismos legais

##### 6.3.2. Proposta de restrições a serem aplicadas nas zonas de proteção

##### 6.3.3. Proposta de áreas de proteção em Ribeirão Preto

###### 6.3.3.1. Área de proteção máxima do Aquífero Guarani em Ribeirão Preto

###### 6.3.3.2. Área de proteção de poços destinados ao abastecimento público

###### 6.3.3.3. Área de restrição e controle

#### 6.4. AVALIAÇÃO DA TAXA DE RECARGA



6.5. SISTEMA PILOTO DE INFORMAÇÃO

## **7. CONCLUSÕES**

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Mapa de localização do município de Ribeirão Preto
- Figura 2 – Mapa geológico da região de Ribeirão Preto (Sinelliet *al* 1973)
- Figura 3 – Poço 86
- Figura 4 – Poço 76
- Figura 5 – Fotolineamentos interpretados a partir de fotografias aéreas de Ribeirão Preto
- Figura 6 – Seções geológicas EW da região da área urbana de Ribeirão Preto
- Figura 7 – Mapa potenciométrico da região da área urbana de Ribeirão Preto
- Figura 8 – Crescimento do número de poços em Ribeirão Preto de acordo com os dados obtidos no cadastro SIDAS (DAEE 2001) e no DAERP
- Figura 9 – Aumento da profundidade dos poços ao longo dos anos
- Figura 10 – Evolução demográfica em Ribeirão Preto baseado em dados de Seade e Censo IBGE obtidos em [www.ribeiraopreto.sp.gov.br](http://www.ribeiraopreto.sp.gov.br)
- Figura 11 - Traçado da Zona de Contribuição (ZC) e de Transporte (ZT) de uma captação (modificado de Lerner 1992)
- Figura 12 - Relação entre a Zona de Contribuição (ZC) e a Zona de Influência (ZI) em aquíferos com superfície potenciométrica inclinada (Witten et al. 1995)
- Figura 13 – Determinação da área de captura de um poço seguindo a metodologia do Estado da Baviera (baseado em Schuler 2002)
- Figura 14 – Limite da área de proteção considerando um fator de segurança para compensar a dispersão lateral e heterogeneidade do aquífero (baseado em Schuler 2002)
- Figura 15 – Exemplo de delimitação de áreas de proteção de poços em Ribeirão Preto
- Figura 16 – Proposta de áreas de proteção para o município de Ribeirão Preto
- Figura 17 – Processos de fluxo da água subterrânea considerados no modelo hidrogeológico conceitual idealizado para a área de estudo (Kulls 2003)
- Figura 18 – Mapas mensais de distribuição da taxa de recarga para o período de setembro/1996 a agosto/1997 obtidos através da aplicação do programa REGIS (Kulls 2003)
- Figura 19 - Conceito do Sistema de Informação
- Figura 20 – Arquitetura geral das informações do Sistema Piloto de Informação desenvolvido (SIAGuarani)
- Figura 21 – Esquema do Modelo Entidade – Relacionamento (MER) do sistema piloto
- Figura 22 – Detalhe do Modelo Entidade – Relacionamento (MER) do sistema piloto



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Profundidade do nível da água nos poços em relação à profundidade da camada confinante

Tabela 2 – Comparação do nível d'água medido na época da perfuração e em 2002 por Guido (2003)

Tabela 3 – Crescimento do número de poços perfurados em Ribeirão Preto de acordo com os dados do cadastro de poços de SIDAS/DAEE e DAERP

Tabela 4 – Comparação entre as zonas de proteção propostas neste estudo e existentes nas legislações brasileira e alemã e em Foster et al (2002)

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo I - Catálogo Geral de Atividades e Uso do Solo Permitidos, com Restrições e Proibidos nas Áreas de Proteção das Captações de Água para Consumo Humano - Estado da Baviera – Alemanha

Anexo II - Proposta de Restrições a Serem Aplicadas na Área de Proteção de Captações de Água Subterrânea

Anexo III – Visualizações do SIAGuarani



## 1. INTRODUÇÃO

O Aquífero Guarani é a principal reserva subterrânea de água doce da América do Sul, ocupando uma área de aproximadamente 1,2 milhão de km<sup>2</sup>, estendendo-se pelo Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai. Sua maior ocorrência está no Brasil, ocupando uma área de 839.800 km<sup>2</sup>, seguida da Argentina, Paraguai e Uruguai (Araújo *et al.* 1999).

No Brasil, este aquífero abrange 8 estados, sendo que no Estado de São Paulo o Aquífero Guarani abrange uma área de 155.800 km<sup>2</sup>, com uma área de recarga, mais vulnerável à poluição da água subterrânea (São Paulo 1997), correspondente a 15% da área total do aquífero (Gualdi 1999).

Muitos municípios do Estado de São Paulo têm o Aquífero Guarani como principal fonte de abastecimento público (Casarini & Okano 1999), como o município de Ribeirão Preto, localizada na área de recarga deste aquífero e considerado pólo de desenvolvimento regional.

Segundo Rocha (1997), há a necessidade de uma conjunção de esforços para superar as deficiências existentes no conhecimento e exploração do Aquífero Guarani. Este autor propôs, sob a forma de programas e projetos, as linhas básicas de ação para subsidiar a política de desenvolvimento das águas subterrâneas, onde se destacam os seguintes temas:

- defesa contra a poluição através da identificação e caracterização das áreas potencialmente críticas, sujeitas à poluição, junto às faixas de recarga;
- pesquisa básica através da elaboração de um modelo hidrogeológico de simulação de balanço hídrico; e
- difusão de informações aos usuários.

Frente à oportunidade de desenvolver trabalhos conjuntos com o Governo da Baviera (Alemanha), a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, considerando sua missão e de suas instituições, elaborou uma proposta de projeto que viesse ao encontro com estas diretrizes definidas por Rocha (1997) e também atendesse as necessidades identificadas nos diagnósticos realizados nas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo



localizadas na área de recarga do Aquífero Guarani.

Este esforço deu origem a este projeto, denominado Sistema de informação para o gerenciamento ambiental dos recursos hídricos subterrâneos na área de afloramento do Aquífero Guarani no Estado de São Paulo, o qual foi desenvolvido dentro do âmbito da [Cooperação Técnica](#) entre Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA/SP) e a Secretaria de Meio Ambiente, Saúde Pública e Proteção ao Consumidor do Estado da Baviera ("*Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz*"), inicialmente denominada Ministério do Desenvolvimento Regional e Questões do Meio Ambiente ("*Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen*" – STMLU).

Em meados de dezembro de 2001, uma reunião técnica entre os coordenadores brasileiros e alemães para definir o plano executivo e operacional dos trabalhos marcou o início efetivo do projeto.

A área selecionada para o desenvolvimento do projeto foi o município de Ribeirão Preto, pólo de desenvolvimento regional e localizado sobre a área de recarga do Aquífero Guarani.

Este presente relatório tem a finalidade de registrar e divulgar os principais resultados deste projeto de cooperação técnica, que poderão ser utilizados para dar início a um processo de definição de estratégias de proteção do Aquífero Guarani, em especial em sua área de recarga.

## 2. OBJETIVOS

No quadro atual, muitos dados importantes para subsidiar a proteção ambiental da água subterrânea estão dispersos em diferentes setores/instituições. Este fato, associado à falta de ferramentas técnicas para a tomada de decisões, gera a demanda de maior esforço e tempo por parte dos órgãos de controle e gerenciamento dos recursos hídricos.

Este fato acontece pois cada instituição, ou mesmo cada setor dentro de uma instituição, tem uma responsabilidade diferente, organizando apenas as informações que são ligadas diretamente ao desenvolvimento de seu trabalho, em função da sistemática adotada desde tempos anteriores à preocupação com o



gerenciamento integrado dos recursos hídricos.

O esforço para integrar estas informações dispersas pode ajudar a entender melhor o comportamento da água subterrânea, apontando a necessidade de coleta de novas informações e também facilitar o processo de intercâmbio de dados entre setores e instituições.

Uma tarefa de extrema importância da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, realizada através de seus órgãos, é o controle e fiscalização de atividades existentes e a avaliação da viabilidade de implantação de novos empreendimentos, visando, entre outras preocupações, a proteção dos recursos hídricos.

Neste sentido, os perímetros de proteção de poços, definidos no Decreto Estadual 32.955/91 que regulamenta a Lei Estadual 6.134/88, constituem ferramentas importantes para a tomada de decisões visando à conservação da qualidade da água subterrânea. Entretanto, a sua delimitação passa por uma definição de metodologias apropriadas para cada cenário hidrogeológico (Hirata 1994 e Iritani 1998), sendo também necessário definir as restrições de uso do solo de acordo com a importância hidrogeológica das unidades aquíferas.

Nesta direção, este projeto propõe-se a fornecer bases para um processo de definição de estratégias de proteção do Aquífero Guarani, especialmente em sua área de recarga, através da integração, em um sistema piloto de informação, dos dados existentes sem afetar a autonomia de cada setor e instituição, e da introdução do conceito de perímetro de proteção de poços associada à estimativa do balanço hídrico como ferramentas ao gerenciamento ambiental deste recurso.

Assim, o objetivo imediato deste projeto consistiu em estruturar um sistema piloto de informação que integrasse os bancos de dados com as informações espaciais existentes nos diferentes setores/órgãos do sistema de meio ambiente para dar suporte às atividades da SMA/SP de proteção ambiental do Aquífero Guarani, utilizando o município de Ribeirão Preto como área de estudo.

Neste sistema piloto de informação os setores e instituições permanecem responsáveis pela coleta, organização e sistematização de seus próprios dados, mas as informações necessárias ao gerenciamento ambiental do Aquífero Guarani estarão disponíveis e acessíveis de uma forma integrada no sistema piloto de informações.



Associado ao sistema piloto, avaliou-se a viabilidade de delimitação de perímetros de proteção de poços, definindo-se uma proposta de diretrizes para o controle ambiental e restrições de uso do solo nestas áreas. E, para dar suporte ao gerenciamento e à delimitação dos perímetros de proteção dos poços, foi realizado, com base nos dados existentes, um cálculo da taxa de recarga do aquífero de forma a subsidiar a avaliação da disponibilidade hídrica em Ribeirão Preto.

Este projeto visou, principalmente, contribuir para as ações do órgão de controle ambiental e instituições de pesquisa do Estado de São Paulo, e procurou agregar também informações que podem ser úteis às demais instituições ligadas ao gerenciamento ambiental do Aquífero Guarani na região.

### **3. PARTICIPAÇÃO, COLABORAÇÃO E APOIO AO PROJETO**

Por parte da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, estão envolvidos na execução do projeto, os profissionais do Instituto Geológico, da CETESB (sede e regional da Bacia Mogi-Guaçu e Pardo) e do Instituto Florestal.

A coordenação geral da cooperação técnica e do projeto é realizada pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA/SP) através Dra. Suani Teixeira Coelho, Secretária Adjunta da pasta. A coordenação técnica do projeto coube ao Instituto Geológico, através da pesquisadora Mara Akie Iritani, e teve como Responsável Técnico, o Eng. Otavio Okano, gerente da CETESB Regional da Bacia do Mogi-Guaçu e Pardo.

Por parte do Estado da Baviera, o projeto foi desenvolvido sob a orientação do Projeto TTW ("*Technology Transfer Water*"), coordenado anteriormente pelo Dr. Martin Grambow e atualmente pelo Dr. Erich Eichenseer, que se trata de um programa de transferência de tecnologia em temas ligados aos recursos hídricos da Secretaria de Meio Ambiente, Saúde Pública e Proteção ao Consumidor do Estado da Baviera. A coordenação técnica do projeto, por parte do Estado da Baviera, coube à Agência de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado da Baviera ("*Landesamt für Wasserwirtschaft – LfW*"), através do Dr. Hans Frisch. A



execução do projeto ficou a cargo do consórcio denominado Aqua Bavaria Guarani (formado pelas empresas IT & More, Geologisches Büro Prof. Dr. Schuler & Dr. Ing. Goedecke, Hydroisotop e Coplan), coordenado pelo Prof. Dr. Uwe Tröger, o qual reuniu os profissionais especialistas que auxiliaram nas atividades e permitiu a troca de experiência e conhecimentos nas áreas de hidrogeologia, gerenciamento de recursos hídricos e sistemas de informação.

A cooperação técnica baseou-se na transferência e intercâmbio de conhecimentos, não envolvendo repasse de recursos financeiros. A transferência de conhecimentos deu-se através de consultores alemães desenvolvendo parte do projeto no Brasil e através de visitas e treinamentos de profissionais brasileiros na Alemanha.

Este projeto contou, também, com a colaboração de instituições locais como o Departamento de Água e Esgoto de Ribeirão Preto (DAERP), a Secretaria de Planejamento e Gestão Ambiental da Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto, e ao Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), sede e Diretoria da Bacia do Pardo-Grande (CBH-PG), que forneceram dados e suporte operacional para o desenvolvimento de parte dos trabalhos. E ainda, contou com a colaboração do Prof. Dr. Osmar Sinelli, das Faculdades COC de Ribeirão Preto e da Universidade de São Paulo no fornecimento de informações e nas discussões sobre a hidrogeologia da região.

As atividades do projeto foram realizadas com os recursos das instituições executoras e com suporte financeiro do PROCOP (Programa de Controle da Poluição) e da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - Processo 02/10368-0).

## **4. ÁREA DE ESTUDO**

### **4.1. CARACTERÍSTICA GERAIS**

A área de estudo selecionada foi o município de Ribeirão Preto dada a importância do Aquífero Guarani no abastecimento público. E ainda, o município se situa na área de afloramento desta unidade aquífera, onde a vulnerabilidade natural é mais elevada, indicando maiores riscos de contaminação como



apontado no Mapa de Vulnerabilidade e Risco a Contaminação das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo (IG/DAEE/CETESB, 1997).

O município de Ribeirão Preto, localizado na porção nordeste do Estado de São Paulo, a cerca de 320 km de distância da capital (Figura 1), está contido entre os paralelos 21° e 21° 30' sul e meridianos 47° 30' e 48° oeste (coordenadas 190 a 225 km W e 7630 a 7670 km S). A principal via de acesso ao município é através da Rodovia Anhanguera (SP-330).

Ribeirão Preto faz limite com os seguintes municípios: ao sul, Guatapar; a sudeste, Cravinhos; ao norte, Jardinópolis; a leste, Serrana; ao oeste, Dumont; a noroeste, Sertãozinho; e ao nordeste, Brodósqui.

O município, com 642 km<sup>2</sup> e cerca de 505.000 habitantes ([www.ribeiraopreto.sp.gov.br](http://www.ribeiraopreto.sp.gov.br)), a maioria concentrada na área urbana, é um pólo de desenvolvimento regional no nordeste paulista, apresentando grande crescimento urbano e desenvolvimento econmico. Em um raio de cerca de 200 km do município encontram-se algumas das principais cidades do interior dos estados de São Paulo e de Minas Gerais, como Araraquara, Bauru, Barretos, Campinas, Franca, Limeira, São Carlos, São José do Rio Preto, Uberaba, Uberlândia, entre outras, sendo o acesso facilitado pela qualidade das rodovias. A atividade agroindustrial ligada ao açúcar e álcool é uma importante atividade econmica, sendo que as plantações de cana-de-açúcar dominam o cenário rural. Devido ao desenvolvimento econmico, outras atividades têm crescido no município como serviços e outros ramos da indústria como metalurgia. A rea urbana ocupa toda a parte norte do município, com tendências de expansão ao longo das principais rodovias e estradas. No restante da área, devido à ocorrência de tipo de solo favorável (latossolo roxo), predomina a atividade agrícola.

A maior parte do município encontra-se na bacia hidrográfica do rio Pardo, o qual representa o limite norte da rea. O ribeirão Preto, com direo de sul para norte, é o principal tributário do rio Pardo nessa região, englobando grande parte da área do município em sua bacia hidrográfica (Figura 1). Apenas a porão meridional do município está localizada na bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu, que corre ao sul de Ribeirão Preto. De acordo com o Sistema de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, o município de Ribeirão Preto



pertence a UGRHI 4.

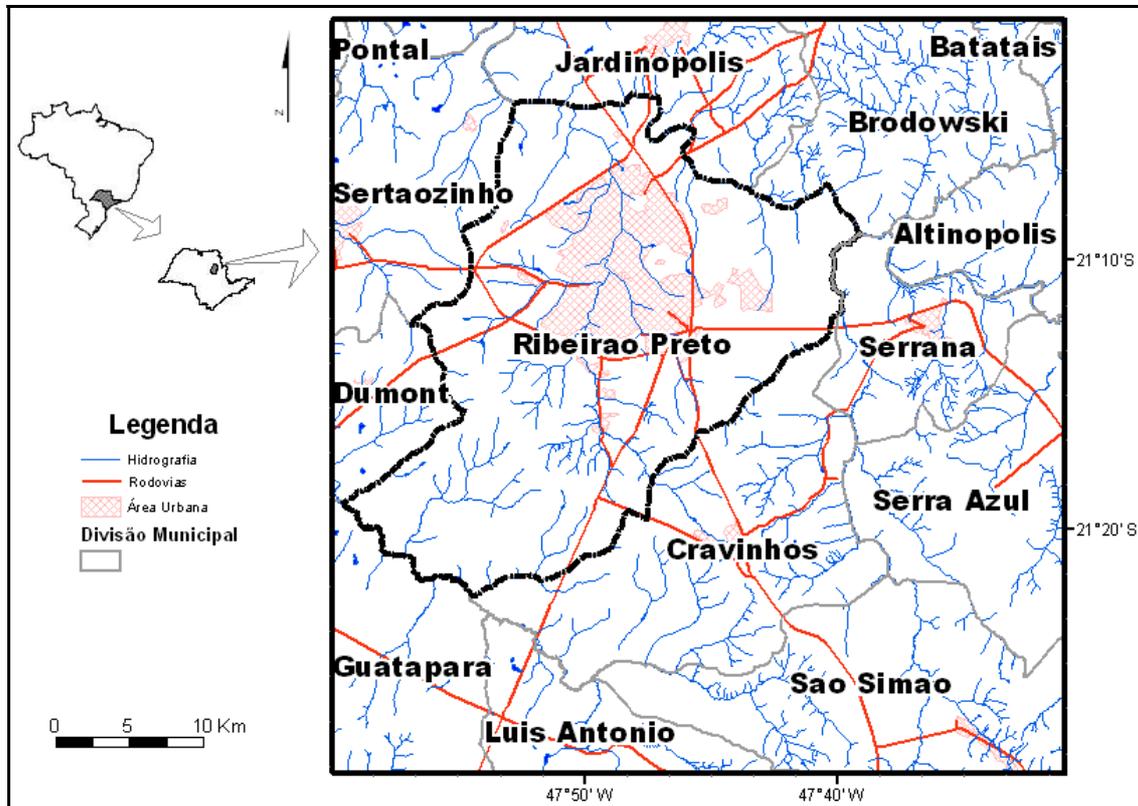


Figura 1 – Mapa de localização do município de Ribeirão Preto

## 4.2. CONTEXTO GEOLÓGICO

O município de Ribeirão Preto localiza-se na borda leste da Bacia Sedimentar do Paraná, onde afloram parte das rochas do Grupo São Bento, sedimentos das formações Pirambóia e Botucatu e rochas básicas da Formação Serra Geral (Figura 2).

Em profundidade ocorre a Formação Pirambóia, subjacente à Formação Botucatu, composta por sedimentos arenosos, com significativo conteúdo de argila, de ambiente predominantemente fluvial e localmente lacustrino, de idade triássica-jurássica. Os arenitos possuem, em geral, granulação média a fina, com porções argilosas com maior frequência na base da formação (IPT 1981). Segundo Sinelli et al. (1980), a espessura desta formação não deve ultrapassar 140 metros na região de Ribeirão Preto. Entretanto, esta espessura é difícil de ser determinada em função dos diversos corpos intrusivos de diabásios.



A Formação Botucatu assenta-se sobre a Formação Pirambóia ora em contato concordante, com modificação gradual da litologia ora através de mudança brusca erosiva. Esta unidade geológica é composta praticamente por arenitos eólicos uniformes, de granulação fina a média, bem selecionados, de idade jurássica - cretácica inferior. Localmente, encontram-se sedimentos mais finos intercalados, algumas vezes, de ambiente lacustre. Devido a interdigitação com os basaltos, a espessura desta formação apresenta variações consideráveis (Soares et al 1973), sendo que DAEE (1974) estima que a espessura não deve ultrapassar 90-100 metros na região de Ribeirão Preto.

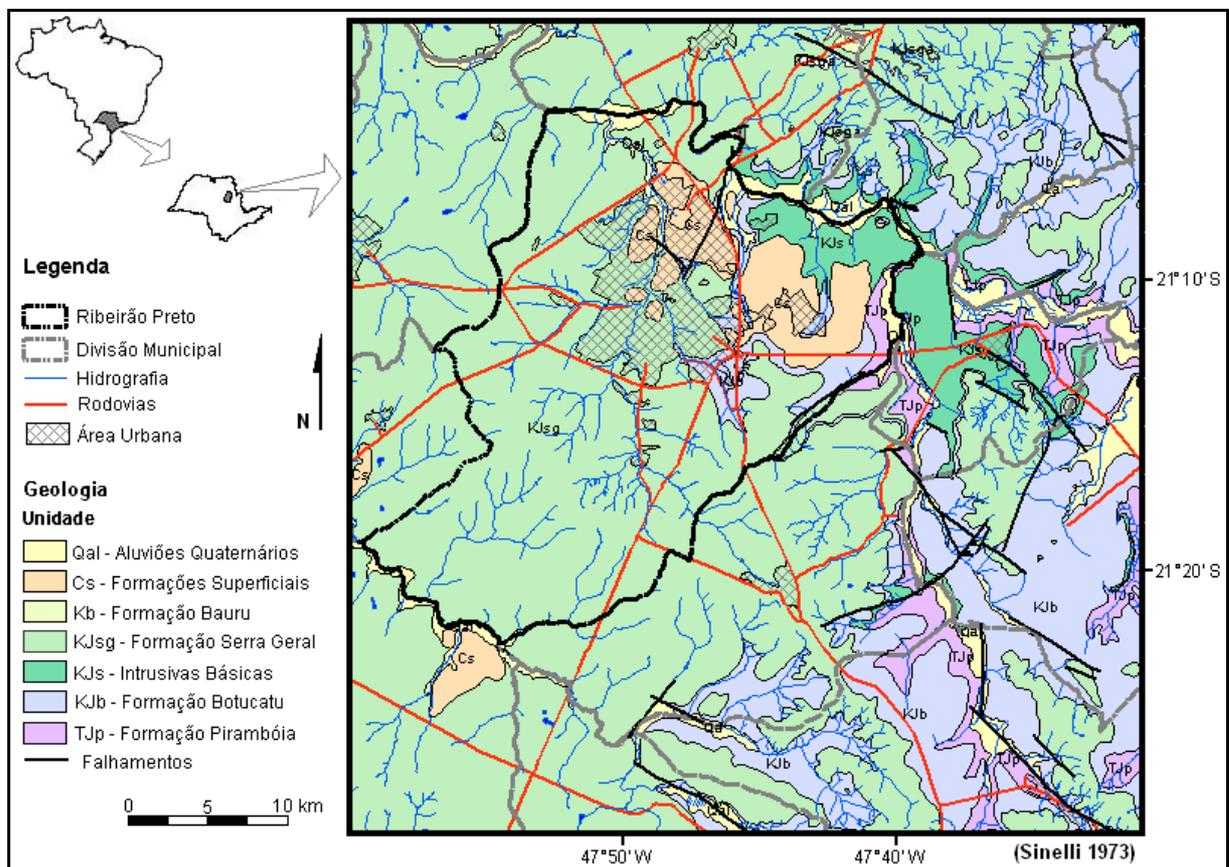


Figura 2 – Mapa geológico da região de Ribeirão Preto (Sinelli *et al* 1973)

A Formação Serra Geral, de idade jurássico - cretácica, é composta por um conjunto de derrames basálticos, muitas vezes intercalados com o arenito da Formação Botucatu, formando os arenitos intertrappianos cujas espessuras podem variar desde centímetros a até 50 metros (IPT 1981). Estes intertrapps



costumam ser mais freqüentes na parte inferior da Formação Serra Geral, ocorrendo em grande escala e dificultando, com isso, a delimitação com a Formação Botucatu. Associam-se ainda a esta formação, corpos intrusivos, principalmente diques e sills, sendo muitas vezes, difícil a diferenciação com os derrames. Esta situação é encontrada em Ribeirão Preto, onde há controvérsias na diferenciação entre os derrames e as rochas intrusivas.

Estratigraficamente, sobre a Formação Serra Geral encontram-se os sedimentos do Grupo Bauru, mas estes não ocorrem na área de estudo.

Sobreposto à Formação Serra Geral e à Formação Botucatu existem sedimentos cenozóicos arenosos passando a areno-argilosos, com ocorrência predominante nas porções norte e nordeste do município e com espessuras da ordem de 20 metros (Sinelli 1971a).

Ao longo dos terraços das principais drenagens concentram-se sedimentos aluvionares recentes compostos por areias com ou sem cascalheiras basais (Soares et al 1973).

Quanto ao condicionamento tectônico na região de Ribeirão Preto, é identificado por Sinelli (1971b), Soares *et al* (1973) e Sinelli *et al* (1980) um baixo estrutural representado por um arqueamento das camadas, constituindo uma depressão de forma elíptica, com eixo no sentido NE/SW e caimento para SW. Esse arqueamento, segundo Soares *et al* (1973) teria sua origem relacionada às intrusões (forma das intrusões e esforços tectônicos relacionados) e falhamentos associados.

### **4.3. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO**

#### **4.3.1. UNIDADES AQUÍFERAS**

O Aquífero Guarani, principal manancial do município, é composto pelos sedimentos arenosos das formações Pirambóia e Botucatu. No município de Ribeirão Preto, parte desta unidade aquífera é confinada pelos derrames basálticos do Aquífero Serra Geral, especificamente na porção oeste e sul (Figura 2). No nordeste do município o Aquífero Guarani é aflorante. Segundo Sinelli *et al* (1980), o Aquífero Guarani apresenta comportamento típico de aquífero confinado em áreas com espessuras de rochas básicas superiores a 70 metros.



Ainda segundo Sinelli *et al* (1980) a espessura desta unidade aquífera pode chegar a 180 metros na área aflorante e a 220 metros na porção confinada. Sacks (1997) registrou espessura superior a 240 metros em poços particulares em Ribeirão Preto.

Confinando o Aquífero Guarani encontra-se o Aquífero Serra Geral, onde a circulação da água subterrânea está relacionada à: fraturas e falhas, basalto vesicular que ocorre nas porções superiores dos derrames e arenitos intertrappianos. De acordo com Montenegro *et al.* (1988), a espessura média desta unidade aquífera, na região de Ribeirão Preto, é 65 metros. Alguns poços possuem espessuras superiores a 150 metros como os poços 81, 44 e 07 (números do Sistema SIAGuarani). Entretanto, dada a interdigitação com os sedimentos do Aquífero Guarani, esta espessura é difícil de ser determinada com precisão.

#### **4.3.2. PARÂMETROS HIDRÁULICOS**

Em termos de características hidrodinâmicas gerais, o Aquífero Guarani possui, segundo Sinelli *et al.* (1980), uma transmissividade média de 26,5 m<sup>2</sup>/h (0,007 m<sup>2</sup>/s ou 636 m<sup>2</sup>/d). DAEE (1974) estudando a Região Administrativa 6, encontrou valores de transmissividade variando entre 65 e 240 m<sup>2</sup>/d ( $7,5 \times 10^{-4}$  a 0,003 m<sup>2</sup>/s). Entretanto considerou nesses cálculos, principalmente, poços parcialmente penetrantes. A condutividade hidráulica obtida por DAEE (1974) foi de 3,5 m/d ( $4 \times 10^{-5}$  m/s). Um estudo realizado por Sacks (1997) em poços particulares em Ribeirão Preto, encontrou um valor de transmissividade de 299 m<sup>2</sup>/d (0,003 m<sup>2</sup>/s) e condutividade hidráulica de 1,7 m/d ( $2 \times 10^{-5}$  m/s).

Sinelli *et al* (1980) estimou, com base em amostras analisadas em laboratório, valores de porosidade efetiva da ordem de 0,13 a 0,15. O coeficiente de armazenamento varia, segundo DAEE (1974), entre  $10^{-5}$  e  $10^{-3}$ . Teissedre *et al* (1982) cita valores entre  $10^{-6}$  e  $10^{-4}$  de coeficiente de armazenamento e 0,10 de porosidade efetiva.

Os arenitos da Formação Pirambóia caracterizam-se, de forma geral, por teores de argila acima de 20%, com diâmetro médio dos grãos de 0,12 mm enquanto que a Formação Botucatu caracteriza-se por teores de argila inferior a



10% e diâmetro médio dos grãos de 0,18 mm (Rocha 1997).

Esta diferenciação litológica reflete-se na produtividade do aquífero, sendo que DAEE (1974) registra condutividades hidráulicas ligeiramente inferiores quando se considera apenas a Formação Pirambóia, com valores entre 2 e 3 m/d ( $2,3 \times 10^{-5}$  a  $3,5 \times 10^{-5}$  m/s).

O Aquífero Serra Geral apresenta, segundo DAEE (1974), valores de transmissividade variando entre 1 e 95 m<sup>2</sup>/d ( $1,2 \times 10^{-5}$  a  $1 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s), com valor médio de 20 m<sup>2</sup>/d ( $2,3 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s). Montenegro *et al* (1988) encontrou valores de transmissividade entre 0,04 a 1,6 m<sup>2</sup>/h ( $1 \times 10^{-5}$  a  $4,4 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s), com maior ocorrência no intervalo de  $6,9 \times 10^{-5}$  a  $2,1 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s e valor médio de  $1,4 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s. O coeficiente de armazenamento calculado por DAEE (1974) varia entre 0,01 e 0,05.

#### **4.3.3. VULNERABILIDADE NATURAL DO AQUÍFERO**

O município de Ribeirão Preto encontra-se hidrogeologicamente localizado na área de recarga do Aquífero Guarani, onde há uma maior vulnerabilidade natural à poluição e um intenso uso da água subterrânea para o abastecimento público. Segundo CETESB (1997), o município de Ribeirão Preto é totalmente abastecido por água subterrânea, sendo que parte dos poços explora apenas o Aquífero Guarani e outra parte dos poços possui contribuição do Sistema Aquífero Serra Geral. O fato de Ribeirão Preto ser um pólo de desenvolvimento regional em constante crescimento implica em maior demanda de água e também maiores riscos de contaminação dos recursos hídricos.

Segundo o estudo de IG/CETESB/DAEE (1997) a região de Ribeirão Preto é considerada uma das áreas críticas em termos de risco de poluição da água subterrânea em função da alta vulnerabilidade natural dos aquíferos, em especial o Aquífero Guarani. Esta foi também uma das razões da escolha de Ribeirão Preto como área piloto do presente estudo.

## **5. METODOLOGIA**

Para atingir os objetivos do projeto, as atividades realizadas foram agrupadas



em três temas enfocando os principais resultados esperados, os quais são: avaliação do processo de delimitação de áreas de proteção de poços, o cálculo da taxa de recarga e o desenvolvimento de um sistema piloto de informação.

As atividades básicas de levantamento de dados e preparação dos mapas base foram comuns aos três temas.

O levantamento das informações existentes enfocou, de forma geral, as questões de geologia, hidrogeologia, exploração do aquífero, uso e ocupação do solo, cadastros de poços e dados de monitoramento dos recursos hídricos.

Assim, primeiramente foi realizado o levantamento e coleta de dados junto às instituições que possuem informações de interesse ao gerenciamento ambiental do Aquífero Guarani, como dados do meio físico (topográficos, geologia, hidrogeologia), uso e ocupação do solo, uso da água, atividades antrópicas, cadastros de poços e dados de monitoramento de qualidade da água. As principais fontes de informações em Ribeirão Preto foram: as entidades colaboradoras como o Departamento de Água e Esgoto de Ribeirão Preto (DAERP), a Secretaria de Planejamento da Prefeitura e a diretoria regional do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e, em especial, o Prof. Dr. Osmar Sinelli.

Concomitantemente, preparou-se o mapa base do município de Ribeirão Preto contendo hidrografia, topografia, rodovias, área urbana e geologia para execução dos trabalhos.

Em seguida, a sistemática de implementação de perímetros de proteção de captações de água subterrânea utilizada no Estado da Baviera foi estudada para avaliar sua aplicabilidade no cenário encontrado em Ribeirão Preto. Para esta avaliação foram realizadas as seguintes atividades:

- avaliação hidrogeológica com base nos estudos e dados levantados;
- avaliação dos conceitos e os princípios de proteção da água subterrânea aplicados no Estado da Baviera;
- avaliação da metodologia de delimitação e implantação das áreas de proteção de poços no Estado da Baviera;
- definição de poços alvo em Ribeirão Preto para aplicação didática da filosofia utilizada no Estado da Baviera para delimitação das áreas de proteção;



- execução de três exemplos didáticos de delimitação das áreas de proteção dos poços selecionados utilizando a metodologia do Estado da Baviera;
- discussão e tradução do catálogo de restrições aplicadas às áreas de proteção no Estado da Baviera;

Um dos parâmetros necessários para a avaliação das áreas de proteção é a taxa de recarga. Dessa forma, foi realizado um cálculo desse parâmetro, o que permitiu também uma análise expedita da disponibilidade hídrica no município. Para o desenvolvimento deste tema foi realizado:

- levantamento dos estudos existentes e avaliação das metodologias aplicadas e dos valores obtidos de taxa de recarga tanto na área de estudo como em outras áreas do Aquífero Guarani;
- avaliação das metodologias possíveis de serem aplicadas à região considerando o tipo, quantidade e qualidade de dados existentes no momento;
- levantamento de informações adicionais da área de estudo e preparação dos mapas e dados necessários;
- cálculo da taxa de recarga;
- análise isotópica;
- avaliação da disponibilidade hídrica com base nos dados disponíveis no momento.

A abordagem metodológica para o desenvolvimento do sistema piloto de informação foi orientada para as necessidades dos usuários finais, envolvendo discussões técnicas com os profissionais da CETESB, Instituto Florestal e Instituto Geológico. A metodologia de engenharia de software aplicada para o desenvolvimento do sistema piloto foi baseada nas seguintes fases: análise de demandas, conceituação do sistema piloto e implementação.

A análise de demandas produziu a definição das metas do sistema piloto de informações e do processo de engenharia de software. As principais atividades desenvolvidas nesta fase foram:

- definição da funcionalidade do sistema onde foi estabelecido o fluxo de trabalho dos usuários para cada caso de aplicação definido do sistema piloto



- definição do conteúdo de dados e informações do sistema piloto

A modelação dos dados foi realizada primeiramente no nível lógico, em especial para os dados alfanuméricos, com base na metodologia de Modelo Entidade-Relacionamento (MER). Para as informações espaciais foi realizada também uma modelação lógica dos dados necessários ao sistema de informação com base nos casos de aplicação definidos.

Para finalizar a conceituação do sistema piloto, definiu-se a sua arquitetura com base na análise de demandas realizada, no modelo lógico construído e na infra-estrutura e recursos existentes.

A modelagem do sistema levou em conta a necessidade do atendimento de alguns princípios básicos, tais como:

- o sistema deve ser amigável e flexível, formado por módulos específicos, integrados de maneira a permitir o incremento ou exclusão de informações;
- o sistema será alimentado com dados já existentes em outros bancos de dados ou sistemas, integrando-os de forma a tornar o conjunto de dados acessível e disponível em bases cartográficas georeferenciadas, e associados a outras informações espaciais de interesse ao gerenciamento ambiental do Aquífero Guarani;
- o sistema deve possibilitar a manutenção e atualização dos dados através da importação dos mesmos, quando possível de forma automatizada, uma vez que o sistema piloto conterà informações de bancos de dados administrados por outros setores/instituições;
- o sistema deve ser do tipo cliente-servidor com disponibilização dos dados, inicialmente, por rede institucional interna;
- o sistema deve ter condições de incorporar novos conjuntos de informações, gerados por meio de interpretações e análises temáticas específicas, independentes, como por exemplo, a definição de perímetros de proteção de poços.

A implementação do sistema piloto de informação consistiu na construção física dos componentes definidos no modelo conceitual, considerando os padrões de linguagem computacional utilizados nas instituições envolvidas. Dessa forma, foram realizadas as atividades para o desenvolvimento e a construção dos



seguintes componentes:

- banco de dados alfanuméricos,
- sistema gerenciador do banco de dados,
- componente GIS para visualização integrada das informações e manutenção dos mapas temáticos.

Por fim, com o entendimento do comportamento da água subterrânea baseado nos dados avaliados e a visualização integrada das informações existentes, foi elaborada uma proposta de áreas de proteção e de restrições de atividades antrópicas, para estas áreas, de forma a servir de base para futuras discussões sobre a implantação de estratégias de proteção e gerenciamento ambiental do Aqüífero Guarani em Ribeirão Preto.

## **6. RESULTADOS**

### **6.1. AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA BASEADA NOS DADOS EXISTENTES**

Para avaliar a viabilidade de aplicação dos conceitos e procedimentos de proteção da água subterrânea do Estado da Baviera no cenário encontrado na área de estudo, foi necessário primeiramente entender o comportamento do Aqüífero Guarani. Esta avaliação hidrogeológica baseou-se nos estudos já realizados e na interpretação dos dados coletados.

#### **6.1.1. AQÜÍFERO GUARANI EM RIBEIRÃO PRETO**

O Aqüífero Guarani, em Ribeirão Preto, aflora na porção nordeste do município onde possui comportamento livre (Figura 2). Nesta região há uma cobertura cenozóica, de composição arenosa a areno-argilosa, de pequena espessura, que não afeta, regionalmente, o comportamento livre do Aqüífero Guarani. Pela descrição construtiva dos poços cadastrados não foi possível avaliar a espessura destes sedimentos cenozóicos. Entretanto, Sinelli (1971a) indica espessuras da ordem de 20 metros. Um poço localizado sobre os sedimentos cenozóicos mostra uma espessura de solo de 12 metros que pode ser associada aos sedimentos cenozóicos nesta porção nordeste do município (Figura 3).

Na região de Ribeirão Preto o Aqüífero Guarani possui, em subsuperfície,



intercalações de camadas de basalto/diabásio da Formação Serra Geral, como mostra o perfil do poço 76 (Figura 4), o que dificulta a determinação da espessura deste aquífero sedimentar na área de estudo. Sinelli *et al* (1980) indicava espessuras entre 180 m (área aflorante) e a 220 m (porção confinada). Na avaliação dos poços cadastrados verificaram-se espessuras maiores como do poço 86, localizado na porção leste do município, no bairro Parque dos Flamboyans, que atravessou 262 metros de espessura de sedimentos (Figura 3).

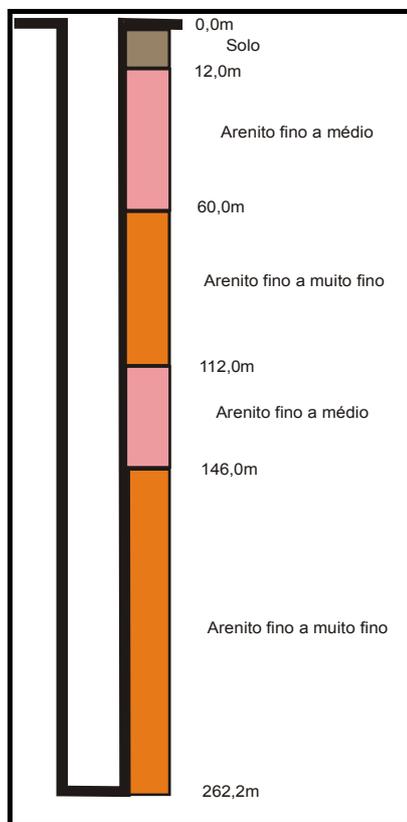


Figura 3 – Poço 86

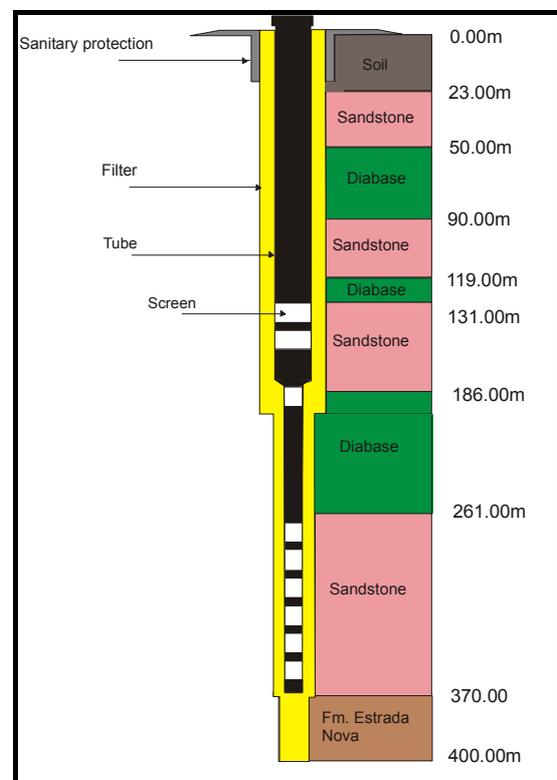


Figura 4 – Poço 76

Na porção oeste e sul do município tem-se o Aquífero Serra Geral, formado pelas rochas básicas. Espessuras superiores a 150 metros foram observadas em alguns poços cadastrados no DAERP como 81 e 07. Segundo Sinelli *et al* (1980) o Aquífero Guarani passa a ter comportamento plenamente confinado a partir de 70 metros de espessura de basalto sobrejacente. Entretanto, o bombeamento intensivo na região urbana do município causa um extenso cone de



rebaixamento, alterando as características de fluxo da água subterrânea na região, como discutido adiante.

Os basaltos aflorantes tendem a se espessar no sentido oeste do município mas, uma análise mais detalhada, com base nos perfis litológicos dos poços cadastrados, mostra irregularidades na distribuição da espessura destas rochas.

Assim, com base nos fotolineamentos identificados em fotografias aéreas (1:25.000 de 1976) e com base nas interpretações, de caráter estrutural, dos trabalhos de Sinelli (1971a e 1971b) e Davino *et al* (1980), inferiu-se um basculamento de blocos, como possível causa das diferenças de espessura de basalto e na altimetria do topo do Aquífero Guarani. Os fotolineamentos interpretados mostram direções predominantemente NE e NW (Figura 5), concordando com as estruturas identificadas por Sinelli (1973).

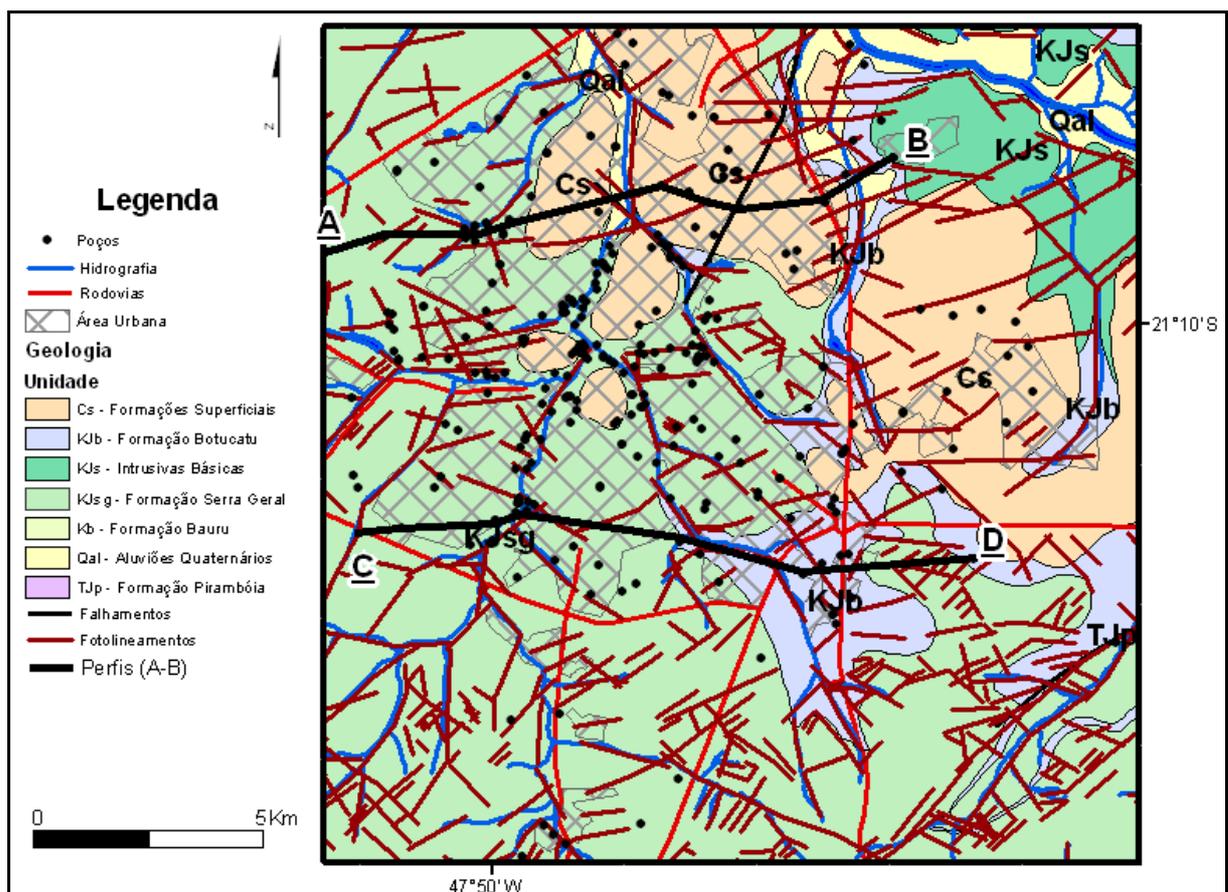


Figura 5 – Fotolineamentos interpretados a partir de fotografias aéreas de Ribeirão Preto

Com base nos dados dos poços cadastrados foram elaboradas duas seções EW



(Figura 6), onde se ilustra como estas estruturas, baseadas nos fotolineamentos interpretados, poderiam ter afetado a geometria dos aquíferos nesta região. A primeira seção corta a porção norte da área urbana e mostra poços com intercalações de rochas básicas cortando o Aquífero Guarani. A descontinuidade destas intrusões é difícil de ser interpretada pois as descrições litológicas nos perfis construtivos dos poços não possuem o mesmo padrão de detalhamento. Na segunda seção, que corta a porção sul da área urbana, observa-se uma espessura de basalto superior a 150 metros. Nestas seções observa-se diferença de cerca de 60 metros na cota da base do basalto, levando à interpretação de basculamento de blocos.

### **6.1.2. FLUXO SUBTERRÂNEO**

Segundo DAEE (1974), apesar da diferenciação litológica entre a Formação Pirambóia e a Formação Botucatu, em termos hidrodinâmicos estas unidades geológicas estão interligadas dentro de um mesmo sistema de fluxo da água subterrânea, não sendo possível, com os dados atuais, realizar uma diferenciação.

Nas áreas de afloramento do Aquífero Guarani os fluxos subterrâneos têm a tendência de escoar para as drenagens, comportamento característico de aquíferos livres nesta região. Na porção confinada, de forma regional, o fluxo subterrâneo segue para o oeste do Estado (Silva, 1983). De acordo com DAEE (1974) o gradiente natural da superfície potenciométrica na região nordeste do Estado de São Paulo é baixo, variando de 0,5% a 3%. A variação sazonal observada por DAEE (1974) em alguns poços, inclusive em Ribeirão Preto, mostrou variação de 1,8 a 3 metros.

Entretanto, em regiões de intensa exploração do Aquífero Guarani, como na área urbana de Ribeirão Preto, observa-se um rebaixamento do nível potenciométrico formando um extenso cone de rebaixamento devido o bombeamento intensivo e concentrado dos poços. Em algumas porções o nível d'água chega a ultrapassar a base do Aquífero Serra Geral, que atua como camada confinante. Este fato pode ser observado comparando-se o nível estático dos poços na época da perfuração e o perfil geológico atravessado, como mostra



a Tabela 1.

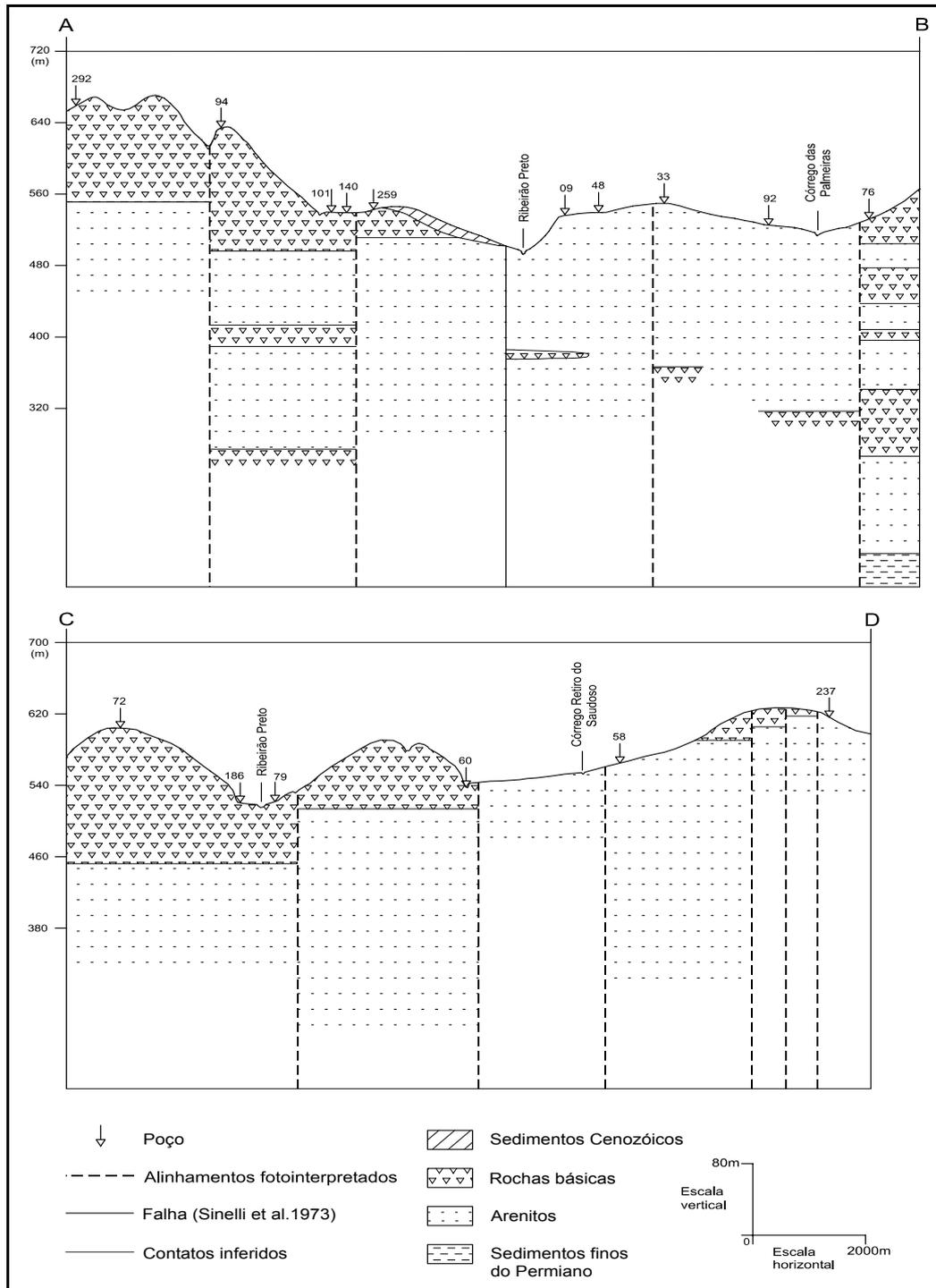


Figura 6 – Seções geológicas EW da região da área urbana de Ribeirão Preto

Em Ribeirão Preto, Sinelli (1984) registrou um rebaixamento da ordem de 15 a



20 metros na região central da área urbana. DAEE (1974) já havia chamado a atenção para este fato. Montenegro (1990) em sua simulação do aquífero, estimou que, considerando um aumento de 5% na demanda anual, o cone de depressão em 1995 apresentaria rebaixamentos da ordem de 60 metros. Os contornos de nível d'água simulados por FIPAI (1996a) corroboram este fato. Monteiro (2003), aplicando técnicas geoestatísticas, também avaliou os níveis de água em Ribeirão Preto observando este extenso cone de rebaixamento na região urbana do município.

Tabela 1 – Profundidade do nível da água nos poços em relação à profundidade da camada confinante

nº poço	Profundidade do nível estático na época da construção do poço (m)	Profundidade da base do basalto de acordo com o perfil geológico do poço (m)
04	61,0	30
20	62,8	51,7
32	107,0	70,0
41	81,0	50,0
54	77,02	74,0
63	66,0	45,7
70	141,0	133,0

Comparando-se o nível estático encontrado na época da perfuração com o nível d'água de alguns poços desativados medido em 2002 por Guido (2003), observa-se que o rebaixamento chega a 60 metros como no poço 116, localizado na porção centro-oeste da área urbana. Dos poços medidos, em três deles o nível d'água encontrado estava acima do valor medido na época da perfuração, como mostra a Tabela 2, sendo que se localizam na porção leste da área da urbana.

Tabela 2 – Comparação do nível d'água medido na época da perfuração e em 2002 por Guido (2003)

nº poço	Profundidade do nível estático na época da construção do poço (m)	Profundidade do nível estático medido em 2002(m)	Profundidade da base do basalto de acordo com o perfil geológico do poço (m)
21	99,0	127,6	92,0
38	33,8	17,5	0
55		22,2	
58	45,0	62,0	0



116	21,0	81,4	74,5
121		71,0	83,0
129		30,8	
136	46,0	84,8	92,0
138	43,0	71,0	69,1
145	23,0	20,2	0
153	45,8	81,3	104,0
156	63,0	58,5	90,0
160	42,0	76,4	
162		76,9	
167		97,3	81,0

Para avaliar a superfície potenciométrica atual, utilizou-se os dados de nível d'água medido por Guido (2003) em alguns poços desativados, associados aos dados de nível estático medido na época da perfuração de poços mais recentes. Assim, como observado por diferentes autores (DAEE, 1974; Sinelli, 1984; Montenegro, 1990; Monteiro, 2003), o mapa elaborado neste estudo (Figura 7) também mostra um extenso cone de rebaixamento na região da área urbana de Ribeirão Preto causado pelo bombeamento dos poços ao longo destes vários anos. Este cone encontra-se na porção confinada do aquífero, acompanhando paralelamente o ribeirão Preto, que corta a região central da cidade. Este fato leva a mudanças no regime de fluxo, de confinado a livre nestas regiões de maior exploração e altera os divisores de água subterrânea. Entretanto, cabe ressaltar a necessidade de maiores estudos e a implantação de uma rede de monitoramento do nível d'água para melhor determinar a superfície potenciométrica e avaliar a evolução deste cone de rebaixamento.

### **6.1.3. EXPLORAÇÃO DO AQUÍFERO**

O município de Ribeirão Preto foi selecionado como área de estudo dada sua localização geológica e a importância do Aquífero Guarani no abastecimento público. Além disso, este município vem apresentando forte crescimento por ser um pólo de desenvolvimento regional.

Segundo os dados dos poços cadastrados no DAEE e em FIPAI (1995), os poços mais antigos, de propriedade do atual Departamento de Águas e Esgotos de Ribeirão Preto (DAERP) e utilizados para abastecimento público, datam de 1930. Estes poços receberam a denominação P1 e P2 no registro do



DAERP (números 1 e 98, respectivamente no SIAGuarani) e possuíam, respectivamente, 80 e 82 metros de profundidade. Ambos com a denominação local de Santa Tereza, encontram-se hoje totalmente lacrados.

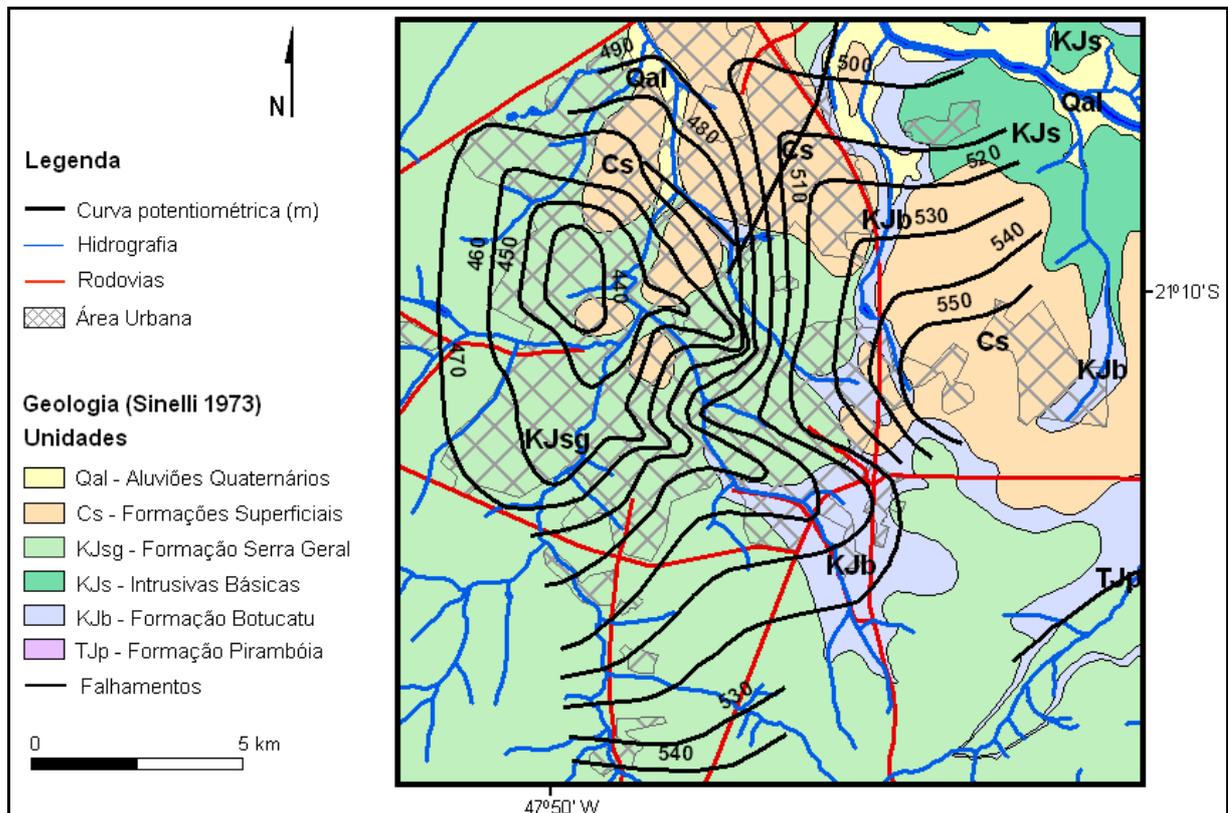


Figura 7 – Mapa potiométrico da região da área urbana de Ribeirão Preto

Entretanto, segundo dados do estudo desenvolvido pelo DAEE (1974), o mais antigo poço registrado no município data de 1920, pertencente ao Mosteiro São Bento, com vazão registrada de 4,8 m<sup>3</sup>/h. Outro poço, mais antigo que os poços do DAERP, data de 1927, e pertencia na época à Companhia de Cerveja Antártica Niger S/A, com 65 metros de profundidade, atravessando os aquíferos Serra Geral e Botucatu com vazão registrada de 40 m<sup>3</sup>/h.

A partir da década de 60, o uso da água subterrânea intensificou-se, como reflete o número de poços perfurados a partir deste período (Tabela 3), o que corrobora a afirmação de DAEE (1974) sobre o aumento do rebaixamento do nível d'água na área urbana. Apesar de grande número de poços não apresentarem informação sobre a data de construção, com base nos dados



coletados nas instituições, nota-se um vertiginoso aumento do número de poços particulares na década de 90 como mostra a Figura 8.

Tabela 3 – Crescimento do número de poços perfurados em Ribeirão Preto de acordo com os dados do cadastro de poços de SIDAS/DAEE e DAERP

Período	Nº de poços	Nº de poços somente do DAERP
1920-1930	4	2
1931-1940	4	2
1941-1950	13	10
1951-1960	10	4
1961-1970	46	27
1971-1980	46	29
1981-1990	43	37
1991-2000	72	36
sem informação	71	36

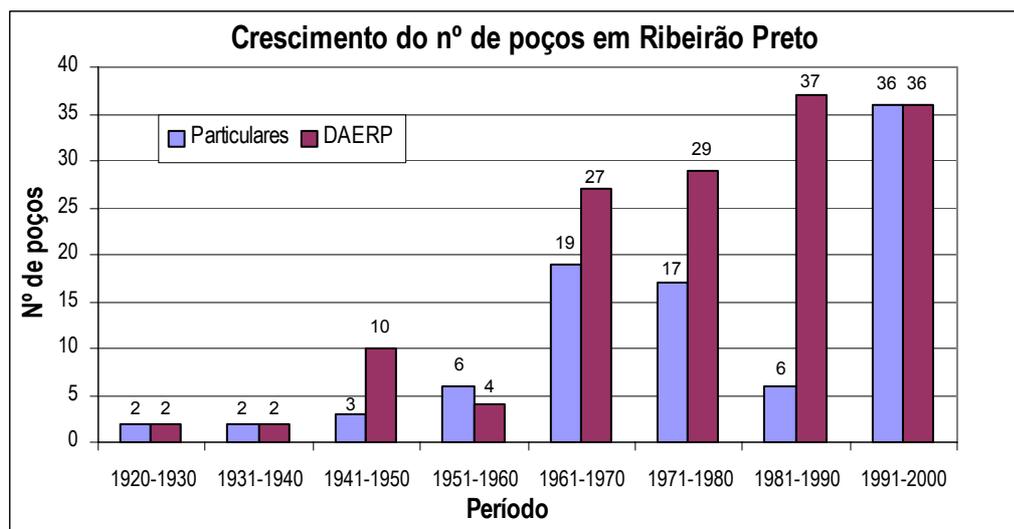


Figura 8 – Crescimento do número de poços em Ribeirão Preto de acordo com os dados obtidos no cadastro SIDAS (DAEE 2001) e no DAERP

A profundidade dos poços também vem crescendo ao longo dos anos como mostra a Figura 9. Acredita-se que este fato deve-se ao melhoramento das tecnologias de perfuração, necessidade de maiores transmissividades para aumento da produtividade dos poços e também pode ser um indicativo do rebaixamento do nível d'água na região induzindo a perfuração de poços cada vez mais profundos.

Atualmente, de acordo com os registros existentes, 95 poços são destinados



ao abastecimento público do município.

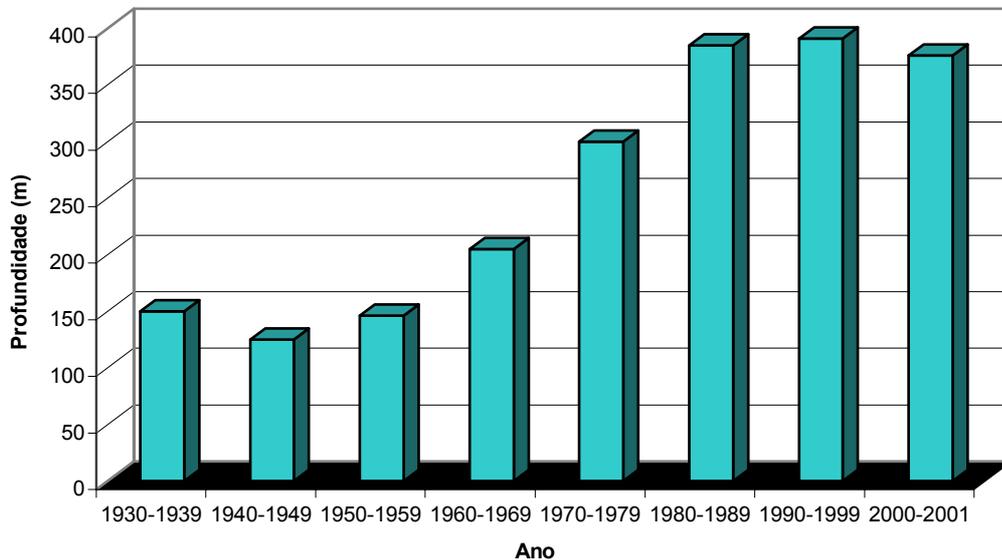


Figura 9 – Aumento da profundidade dos poços ao longo dos anos

O consumo per capita em 1970 era de 428 l/dia/hab segundo DAEE (1974), subindo para 547 l/dia/hab em 1996 de acordo com FIPAI (1996a). A maior parte da população do município encontra-se concentrada na área urbana, como mostra a Figura 10, sendo abastecida pela rede pública. Se considerarmos a mesma taxa de consumo per capita adotada por FIPAI (1996a) e a população existente em 2000, o volume explorado de água para abastecimento público fica em torno de 275.000 m<sup>3</sup>/dia, ou seja, 8,25 milhões de m<sup>3</sup>/mês. Entretanto, considera-se esta taxa de consumo per capita muito alta, sendo mais viável a projeção de um valor até 350 l/dia/hab, incluindo perdas na rede, o que totalizaria um volume explorado de cerca de 176.000 m<sup>3</sup>/dia.

Devido a problemas construtivos e também pelo rebaixamento do nível d'água, muitos poços na região encontram-se desativados e, quando mal conservados, podem ser uma ameaça à proteção da qualidade da água subterrânea uma vez que são um canal direto para o aquífero. Com esta preocupação, os poços desativados também foram inseridos no sistema piloto de informação desenvolvido no projeto.

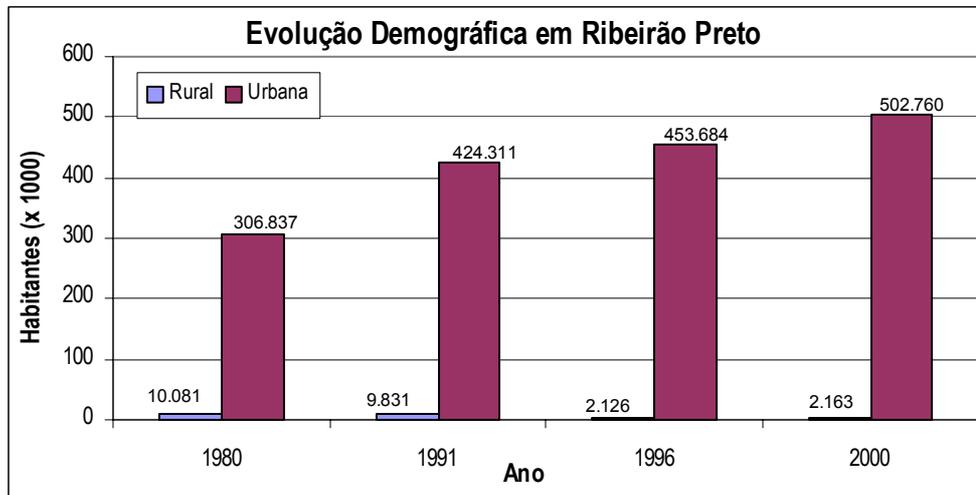


Figura 10 – Evolução demográfica em Ribeirão Preto baseado em dados de SEADE e Censo IBGE obtidos em [www.ribeiraopreto.sp.gov.br](http://www.ribeiraopreto.sp.gov.br)

## **6.2. AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA DE DELIMITAÇÃO DE ÁREAS DE PROTEÇÃO DE POÇOS DO ESTADO DA BAVIERA**

### **6.2.1. CONCEITOS**

As estratégias de proteção da água subterrânea podem ter dois enfoques. O primeiro é a proteção geral de um aquífero importante, identificando áreas mais suscetíveis de forma a promover um controle regional do processo de uso do solo em toda a sua extensão. O exemplo mais concreto é o projeto "Mapeamento de Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo", desenvolvido pelo Instituto Geológico, CETESB e DAEE, publicado em 1997 (IG/CETESB/DAEE 1997), que identificou as áreas mais críticas no Estado de São Paulo as quais merecem políticas específicas de controle da ocupação do solo e exploração da água subterrânea. Uma destas áreas identificadas é a área de recarga do Aquífero Guarani, em especial na região de Ribeirão Preto que vem sofrendo forte processo de desenvolvimento econômico. Sinelli (1974) e Zuquette et al (1993) desenvolveram trabalhos sobre esta temática nesta região.

O segundo enfoque é a proteção pontual, voltada a uma captação de água subterrânea, em especial àquelas destinadas ao abastecimento humano. Sob este ponto de vista, a área mais vulnerável é aquela que representa a área de



recarga desta captação. Toda a água contida nesta área de recarga fluirá até o ponto de captação e é denominada de Zona de Contribuição (ZC) ou Zona de Captura, onde se deve adotar medidas mais rígidas de controle das atividades antrópicas para garantir a proteção da qualidade da água destinada ao abastecimento.

Como, em geral, a Zona de Contribuição abrange grande extensão, são definidas áreas menores, contidas dentro da ZC denominadas de Perímetros ou Áreas de Proteção de Poços e Outras Captações, de forma a viabilizar medidas de proteção mais rígidas quanto mais próximo da captação. . Por exemplo, no Estado da Baviera - Alemanha as áreas de proteção são subdivididas em Zona I, Zona II e Zona IIIa e IIIb, sendo que esta última corresponde à Zona de Contribuição do poço.

Este conceito de perímetro de proteção das captações surgiu primeiramente na Europa, onde diversos países como Espanha, Alemanha, França, Bélgica e Dinamarca, dependem fortemente da água subterrânea para o abastecimento público. Segundo Margat (1989), na década de 80, do volume captado de água subterrânea, mais de 60% era destinado ao consumo humano. Este quadro levou a preocupações em proteger as águas subterrâneas de forma efetiva. Entretanto era necessário otimizar custos e esforços. Dessa forma, surgiu, então, o conceito de perímetro ou área de proteção das captações. A sua eficiência de aplicação levou outros países como EUA e Canadá a adotarem esta mesma estratégia de proteção de forma a garantir a qualidade da água destinada ao abastecimento público.

No Estado de São Paulo já existem mecanismos legais para a implementação destas áreas de proteção como discutido mais adiante.

Para a delimitação da Zona de Contribuição das captações, as características intrínsecas do aquífero devem ser levadas em consideração, pois estas são influenciadas pelas direções e velocidades do fluxo da água subterrânea, mudando, conseqüentemente, o formato da ZC. Outro parâmetro a considerar é a vazão da captação que tem uma relação direta com o tamanho da Zona de Contribuição.

As estratégias baseadas em delimitação de áreas de proteção de poços visam adotar medidas mais rígidas de controle e prevenção da poluição nas porções



mais próximas das captações, de forma a otimizar os esforços e os custos de fiscalização.

Um critério bastante utilizado para a delimitação de zonas de proteção internas à Zona de Contribuição é o tempo de trânsito, que consiste no tempo que uma partícula de água leva para atingir a captação (Figura 11). A área limitada por uma isócrona é denominada de Zona de Transporte (ZT). Sob este ponto de vista, a Zona de Contribuição pode ser considerada uma Zona de Transporte para um tempo de trânsito infinito.

Na Alemanha, por exemplo, a Zona II de proteção da captação é definida por um tempo de trânsito de 50 dias.

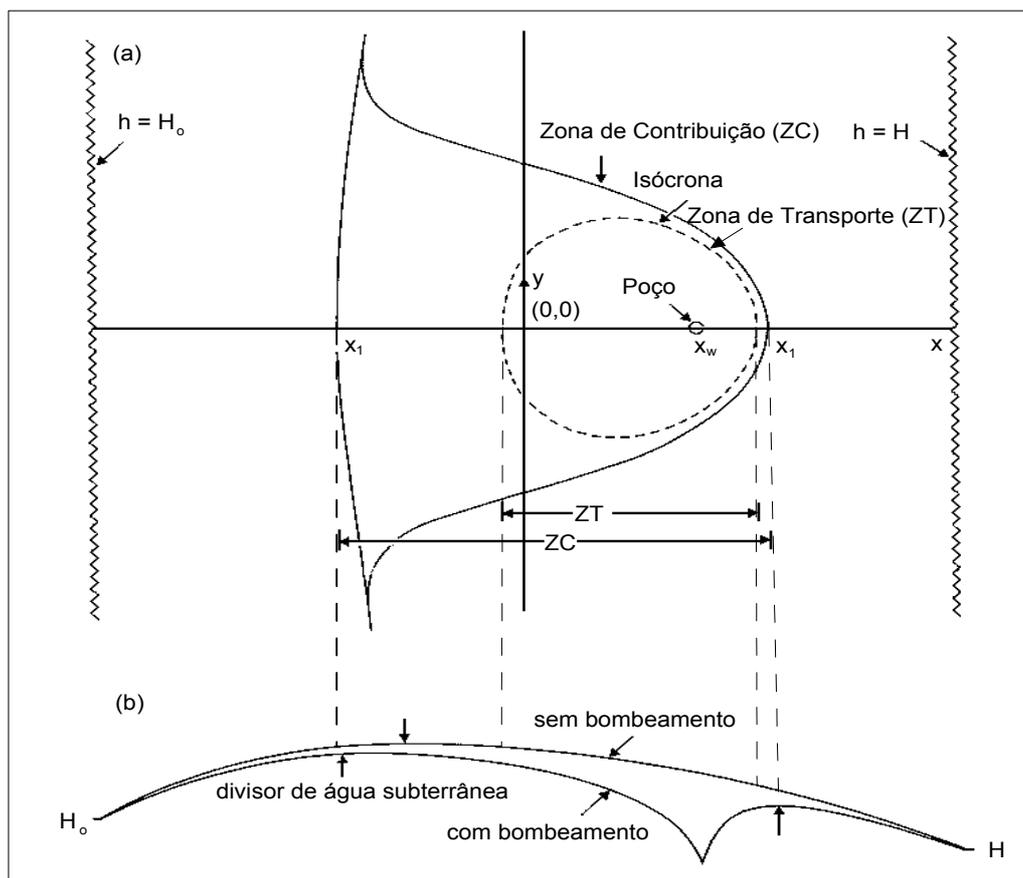


Figura 11 - Traçado da Zona de Contribuição (ZC) e de Transporte (ZT) de uma captação (modificado de Lerner 1992)

O mais simples dos critérios adotados é a distância, que consiste em adotar um raio ao redor da captação para a delimitação da zona de proteção. Este tipo



de critério é de fácil aplicação e costuma ser utilizado para definir o perímetro mais próximo da captação onde as restrições são mais rígidas. Na Alemanha, por exemplo, a Zona I, de maior restrição, utiliza como critério de delimitação, a distância de 10 metros. Este critério pode ser aplicado em associação com a Zona de Contribuição para delimitar áreas menores quando a ZC é muito extensa.

Muitas localidades utilizam estes critérios (distância e tempo de trânsito) de forma combinada para a definição das diferentes categorias de zonas de proteção (Boulding 1995; Schleyer et al. 1992; Adams & Foster 1992).

No Estado de São Paulo, de acordo com o Decreto 32.955/91, que regulamenta a Lei Estadual 6.134/88, deve-se utilizar os critérios de distância (10 metros) e tempo de trânsito (50 dias) para a definição da Área de Proteção de Poços e Outras Captações, como discutido mais adiante.

O mapeamento hidrogeológico é fundamental para determinação dos divisores e das direções de fluxo da água subterrânea e das feições físicas e hidrológicas que atuam como fronteiras de fluxo, pois estes fatores controlam a forma e o tamanho da Zona de Contribuição de uma captação. Em aquíferos fraturados ou cársticos, onde o fluxo da água subterrânea é fortemente afetado pelos condicionantes geológico-estruturais, o mapeamento hidrogeológico é essencial para o entendimento do comportamento da água subterrânea (Iritani et al 1998).

Um conceito também utilizado é a Zona de Influência (ZI), definida como a área onde ocorre um rebaixamento do nível d'água causado pelo bombeamento de um poço, correspondendo ao cone de depressão ou rebaixamento (Figura 12).

Um exemplo de utilização da Zona de Influência como uma das áreas de proteção é a Portaria nº 231, de 31 de julho de 1998, do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), relacionada à captação de água mineral, discutida adiante.

A delimitação das áreas de proteção das captações de água subterrânea pode ser efetuada utilizando diferentes métodos, que variam em complexidade de aplicação e conseqüentemente em custos. Os métodos mais complexos, como a utilização da modelação matemática, fornecem maior confiabilidade no traçado da Zona de Contribuição por permitir considerar as heterogeneidades



encontradas no meio físico, necessitando-se, por outro lado, de uma quantidade maior de informações e um conhecimento técnico mais especializado sobre o assunto, além de implicar em maiores custos.

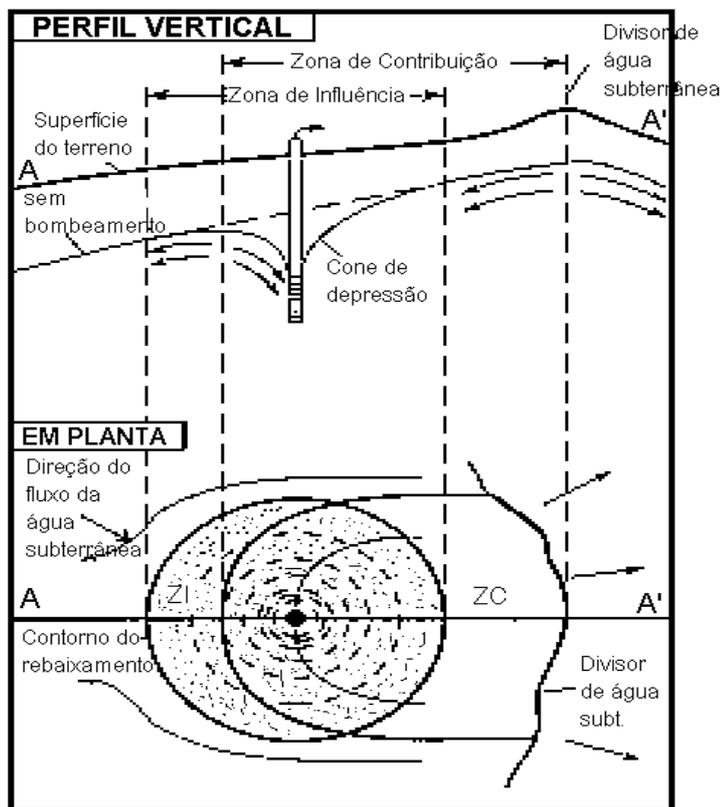


Figura 12 - Relação entre a Zona de Contribuição (ZC) e a Zona de Influência (ZI) em aquíferos com superfície potenciométrica inclinada (Witten et al. 1995)

Os métodos analíticos são mais simples pois baseiam-se na aplicação de equações passíveis de serem resolvidas com auxílio de uma calculadora. Entretanto, são menos precisos no traçado da área de proteção pois não permitem considerar as heterogeneidades hidrogeológicas da área.

Dentre os métodos analíticos destaca-se o método do 'Fluxo Uniforme' dada a sua facilidade de aplicação e porque visa definir a Zona de Contribuição de uma captação, ao contrário dos outros métodos baseados nas equações de Theis e de Thiem, que enfocam a determinação da Zona de Influência. Este método é aplicado no Estado da Baviera e é explicado em detalhe mais adiante.



O mapeamento da vulnerabilidade dos aquíferos pode ser complementar aos demais métodos, auxiliando na delimitação de diferentes zonas de proteção dentro da Zona de Contribuição, e direcionando as medidas preventivas e de controle para as áreas mais vulneráveis.

Existem diferentes metodologias para determinação da vulnerabilidade natural dos aquíferos como, por exemplo, aquela desenvolvida por Foster & Hirata (1991) e aplicada para o Estado de São Paulo (Hirata *et al.* 1997 e Hirata *et al.* 1991). No Estado da Baviera, por exemplo, é utilizada a metodologia de Hölting (German Geological Survey 1994), que considera as características do solo na avaliação da vulnerabilidade natural do aquífero.

A delimitação das áreas de proteção tem incertezas associadas provenientes da própria heterogeneidade do meio físico, da influência de outras captações e das limitações técnicas das metodologias aplicadas.

Com base em Hirata (1994), existem algumas limitações no processo de delimitação das áreas de proteção como:

- falta de conhecimento sobre os parâmetros hidráulicos básicos, principalmente a porosidade efetiva e a taxa de recarga;
- ausência de dados de monitoramento do nível d'água para construção de mapas de fluxo confiáveis e avaliação da variação sazonal do nível potenciométrico;
- influência do bombeamento de outros poços ativos na região estudada.
- os diferentes métodos existentes resultam em diferentes geometrias da área de proteção em função dos dados utilizados;
- as heterogeneidades do aquífero e as fronteiras de fluxo, nem sempre conhecidas, influenciam a geometria da área de proteção;

Entretanto, mesmo frente a estas incertezas, é necessária a adoção de medidas de proteção das captações de água subterrânea para garantir a qualidade da água, principalmente destinada ao abastecimento.

A escolha da metodologia a ser aplicada depende de alguns fatores como a heterogeneidade hidrogeológica, a precisão desejada, a pressão da comunidade afetada, capacitação técnica existente, qualidade das informações e recursos financeiros disponíveis.

Cabe ao órgão gestor definir a necessidade de aplicação de metodologias mais



complexas, que envolvem extenso e longo processo de levantamento de dados, em função do sistema hidrogeológico existente e da suscetibilidade do recurso hídrico a eventuais fontes de contaminação. O processo selecionado para a definição das áreas de proteção também deve ser adequado aos recursos disponíveis no momento. Pode-se adotar critérios mais simples até que informações adicionais sejam levantadas e o corpo técnico adquira capacitação para a aplicação de critérios que envolvam processos mais complexos para a definição das áreas de proteção.

## **6.2.2. PRINCÍPIOS E PROCEDIMENTOS APLICADOS À PROTEÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DA BAVIERA**

### **6.2.2.1. Princípios**

A água subterrânea apresenta, de forma geral, boa qualidade ao consumo humano. Com base neste princípio, segundo a legislação da Alemanha (DVGW 1995), a água subterrânea deve ser utilizada preferencialmente para consumo humano em detrimento de qualquer outro uso. Por esta razão, a maior parte da água de abastecimento público na Alemanha, e em particular no Estado da Baviera, provém dos recursos hídricos subterrâneos.

A necessidade de água para abastecimento público cresce com o aumento da densidade populacional e, conseqüentemente, maiores são os riscos para a qualidade da água subterrânea.

Preocupados em garantir a segurança do abastecimento público, foi criada uma legislação em 1953, revisada em 1961, 1975 e 1995 (DVGW 1995), estabelecendo as áreas de proteção das captações de água para consumo humano, com o objetivo de:

- prevenir a contaminação por substâncias e organismos perigosos à saúde humana;
- prevenir a contaminação por substâncias e organismos que podem afetar a qualidade da água mesmo não sendo perigosos à saúde humana;
- prevenir mudanças na temperatura da água subterrânea.

Assim, as áreas de proteção buscam, como princípio básico, promover a total proteção das captações de água subterrânea utilizadas para o consumo humano



através do controle, restrição e fiscalização das atividades antrópicas e uso do solo nas áreas de contribuição destas captações.

A delimitação das áreas de proteção é uma das etapas iniciais do projeto de instalação de novas captações de água de abastecimento público. Seu planejamento na fase inicial é fundamental para minimizar as dificuldades e os custos de implementação do projeto de captação.

De acordo com a experiência do governo do Estado da Baviera, alguns projetos de captação de água foram inviabilizados pois não era possível promover a total proteção devido às atividades existentes na zona de contribuição dos poços projetados, o que já implicava em risco à qualidade da água, sendo que os custos (financeiros ou sociais) para retirada, desativação ou readaptação destas atividades eram inviáveis.

No Estado da Baviera, o Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW) é o órgão responsável pelo gerenciamento dos recursos hídricos, possuindo programas de monitoramento sistemático da qualidade e da quantidade de água subterrânea explorada de forma a garantir uma exploração sustentável. As áreas de proteção de cada captação de água para consumo humano, assim como as restrições de atividades e uso do solo definidas, devem ser aprovadas e transformadas em lei por este órgão.

A responsabilidade pela proteção das captações de água subterrânea, destinadas ao consumo humano, incluindo a delimitação dos perímetros de proteção, monitoramento da qualidade e quantidade e mesmo o controle das atividades existentes, é da companhia de abastecimento público de água, a qual deve submeter a proposta ao órgão gestor (LfW) para aprovação, elaboração de uma lei regulamentando estas áreas de proteção e acompanhamento do monitoramento.

#### **6.2.2.2. Classificação das áreas de proteção**

De acordo com a legislação alemã (DVGW 1995), as áreas de proteção da água subterrânea devem abranger a Zona de Contribuição da captação, sendo classificadas de forma a refletir os potenciais riscos de contaminação impostos pelas atividades antrópicas, lembrando que estes riscos diminuem na medida



que a distância ao ponto de captação aumenta.

Assim, segundo DVGW (1995), são definidas três zonas de proteção denominadas de: I, II e III, onde são estabelecidas restrições mais rigorosas às atividades e usos do solo para as áreas de proteção mais próximas à captação.

A Zona I objetiva proteger a captação de qualquer poluição no entorno. Esta área de proteção deve ser cercada e possuir uma área mínima de 10 metros por 10 metros no entorno dos poços. Caso a captação seja através de nascentes, esta área de proteção deve ser no mínimo 20 metros por 20 metros. Em casos de aquíferos cársticos, a Zona I deve possuir um raio mínimo de 30 metros.

Fazendo uma correlação com a legislação paulista (Decreto 32.955/91 que regulamenta a Lei Estadual 6.134/88 que será apresentado mais adiante), esta Zona I da legislação alemã corresponde ao Perímetro Imediato de Proteção de Poços e Outras Captações (artigo 24, Decreto 32.955/91). Entretanto, na legislação paulista não há diferenciação entre tipos de captação (poços ou nascentes) ou de aquíferos (sedimentar, cárstico ou fraturado).

A Zona II da legislação alemã é normalmente representada pelo perímetro delimitado pela linha de 50 dias de tempo de trânsito, isto é, a distância que uma partícula de água, em seu movimento de advecção, percorre nos últimos 50 dias antes de atingir a captação. Entretanto, a recomendação é que a extensão da Zona II não deve ser menor que 50 metros no sentido montante da captação. Por outro lado, a Zona II não é necessária para captações que explorem a água de aquíferos profundos, quando a camada sobreposta for menos permeável, menos vulnerável, e tenha espessura suficiente para a proteção bacteriológica. Em aquíferos cársticos, esta zona de proteção deve abranger todas as áreas que podem causar uma contaminação à captação, podendo incluir toda a Zona de Contribuição do poço ou nascente/surgência.

O objetivo desta Zona II é proteger, em particular, contra a contaminação por constituintes microbiológicos patogênicos (como bactérias e patógenos) e outros contaminantes que podem ser perigosos a uma curta distância da captação. Esta zona de proteção, em termos de objetivo, é correlata ao Perímetro de Alerta definido no Decreto 32.955/91 (artigo 25) que regulamenta a Lei 6.134/88 do Estado de São Paulo.

A Zona III objetiva proteger a água subterrânea de contaminações que podem



afetar a qualidade da água mesmo após percorrer grandes distâncias como substâncias perigosas não degradáveis ou radioativas. Esta Zona III deve, em geral, se estender até os limites da Zona de Contribuição da captação, o que pode implicar em áreas bastante extensas, podendo, então, ser subdividida em Zona IIIA e Zona IIIB, dependendo das condições hidrogeológicas analisadas caso a caso. A área mais próxima da captação é a Zona IIIA e, em geral, inclui as áreas naturalmente mais vulneráveis dentro da Zona de Contribuição, sendo as restrições adotadas mais rígidas que na Zona IIIB. O restante da Zona de Contribuição é incluída na Zona IIIB. Em áreas muito vulneráveis ou quando a Zona de Contribuição possui pequena extensão, a Zona III não é subdividida e são adotadas as restrições como se fosse uma Zona IIIA. Em aquíferos sedimentares com velocidade de fluxo da água subterrânea menor que 10 m/dia, o limite entre a Zona IIIA e a Zona IIIB pode ser definido a uma distância de aproximadamente 2 km da captação.

### **6.2.2.3. Delimitação das áreas de proteção no Estado da Baviera**

As áreas de proteção no Estado da Baviera podem ser definidas por metodologias analíticas mais simples, ou mesmo através de aplicações de modelos numéricos.

A escolha do método depende da complexidade da situação hidrogeológica, e o órgão gestor dos recursos hídricos no Estado da Baviera, no caso o Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW), pode solicitar estudos mais aprofundados e a aplicação de métodos mais sofisticados para entendimento do sistema hidrogeológico em questão.

Após a definição da região onde será instalada uma nova captação (poço ou campo de poços), mas antes da delimitação das áreas de proteção, é realizado um monitoramento sistemático do aquífero por período mínimo de um ano para avaliar a variação sazonal do nível d'água e das vazões das nascentes e também da qualidade da água.

A metodologia analítica padrão utilizada no Estado da Baviera para delimitação da Zona de Contribuição da captação baseia-se na equação de fluxo uniforme, que apresenta a vantagem de ser uma metodologia de simples aplicação em



aqüíferos sedimentares.

Este método, aplicável em locais com superfície potenciométrica inclinada, permite definir a distância, na direção  $x$  (direção do fluxo da água subterrânea), a jusante do poço, onde se encontra o ponto nulo ou de estagnação ( $X_u$ ) e também a largura máxima da zona de contribuição a montante da captação ( $B$ ) como ilustra a Figura 13.

Este método considera um aquífero confinado, com fluxo horizontal, além de um meio homogêneo e isotrópico. Entretanto, segundo Todd (1959), esta equação pode ser aplicada para aquíferos livres, substituindo-se a espessura do aquífero ( $b$ ) pela espessura saturada ( $h_0$ ) na determinação da transmissividade, contanto que o rebaixamento seja pequeno em relação à espessura do aquífero.

Esta metodologia foi exercitada passo a passo em poços selecionados de Ribeirão Preto para promover um treinamento sobre a sistemática utilizada no Estado da Baviera, para definição de áreas de proteção de forma a possibilitar à equipe brasileira avaliar a viabilidade de sua utilização, considerando as condições locais.

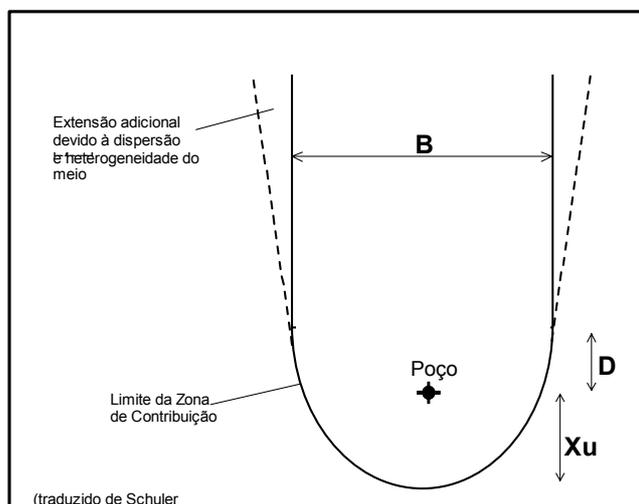


Figura 13 – Determinação da área de captura de um poço seguindo a metodologia do Estado da Baviera (baseado em Schuler 2002)

Assim, para o cálculo da Zona de Contribuição de um poço este método analítico utiliza as seguintes equações:



$$B = Q/(Ti)$$

$$X_u = Q/(2\pi Ti) \approx 0,16 B$$

$$D = ((X_u^2 + (B/2)^2)/2X_u) - X_u \approx 0,70 B$$

Onde:

Q = vazão bombeada pelo poço

T = transmissividade do aquífero

i = gradiente hidráulico natural do aquífero

O gradiente hidráulico é calculado a partir do mapa potenciométrico elaborado para a região estudada, a transmissividade é obtida a partir da interpretação de testes de bombeamento e a vazão de exploração é definida de acordo com a necessidade do usuário e a outorga do órgão gestor.

Uma vez calculados os parâmetros acima, a área de proteção do poço é desenhada em mapa, respeitando a direção do fluxo da água subterrânea, as barreiras hidráulicas e a geologia da região.

Cabe ressaltar que no Estado da Baviera são considerados mapas potenciométricos de diferentes épocas do ano para avaliar a variação sazonal do nível da água subterrânea, adotando-se, sempre, uma visão mais conservadora para garantir uma maior proteção da captação.

Como esta metodologia considera um meio homogêneo, o Estado da Baviera adota uma área de segurança ao redor da Zona de Contribuição calculada para compensar a dispersão lateral e a heterogeneidade do aquífero (Figura 14). Esta área é definida, em geral, pela razão 10m/100m, isto é, a cada 100 metros de distância a montante do poço, o limite da área de proteção deve se estender 10 metros na lateral ou um ângulo  $\theta$  de 5° entre o limite da Zona de Contribuição e da área de proteção. Estes valores podem ser reavaliados de acordo com o meio hidrogeológico e com base na experiência existente.

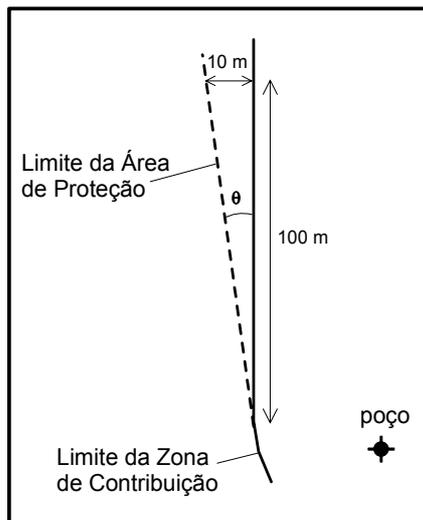


Figura 14 – Limite da área de proteção considerando um fator de segurança para compensar a dispersão lateral e heterogeneidade do aquífero (baseado em Schuler 2002)

De acordo com os padrões aplicados no Estado da Baviera, a delimitação da Zona II é dispensável em aquíferos que possuem uma cobertura superior com espessura suficiente para promover a proteção da captação. A determinação da necessidade ou não da delimitação da Zona II é baseada na vulnerabilidade do aquífero explorado pelo poço, sendo utilizado no Estado da Baviera, o método de Hölting (Hölting *et al* 1995).

Este método considera os seguintes fatores: características da zona não saturada, incluindo o solo e a rocha alterada, taxa de percolação ou recarga e as condições hidrogeológicas do aquífero (confinado, suspenso). A associação destes fatores fornece o grau de proteção efetiva do aquífero, classificada em alta, moderada e baixa. Assim, uma classificação baixa de proteção reflete uma alta vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação.

Em áreas onde a classificação de proteção é alta segundo o método de Hölting, não é necessária, de acordo com os padrões aplicados no Estado da Baviera, a delimitação da Zona II.

A Zona III procura abranger toda a Zona de Contribuição calculada para o poço. Entretanto, quando a extensão da área é grande ou heterogênea, esta pode ser subdividida em Zona IIIA, mais próxima à captação, e Zona IIIB. O limite entre estas zonas é definido com base nas condições hidrogeológicas e de



uso do solo encontradas.

No Estado da Baviera, a companhia de abastecimento público é responsável pelo desenvolvimento do estudo técnico de viabilidade de construção de nova captação, incluindo a definição dos limites da área de proteção. Este estudo é avaliado pelo órgão gestor (LFW) e após aprovação, coordena a implantação legal da área de proteção.

#### **6.2.2.4. Atividades antrópicas permitidas nas áreas de proteção**

Nas áreas de proteção definidas para as captações de água subterrânea é necessário realizar um controle do uso do solo e das atividades que por ventura estejam ou venham a ser instaladas.

Nesse sentido, o Estado da Baviera define as atividades que podem ser permitidas ou proibidas nas diferentes zonas de proteção considerando que, nas maiores distâncias do poço, as restrições devem ser menos rígidas, pois o risco da contaminação atingir a captação é relativamente menor.

Para facilitar esta atividade, o Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW) estabeleceu um catálogo geral de restrições das atividades antrópicas e de uso do solo que devem ser aplicadas às áreas de proteção. Este catálogo contém uma descrição geral das atividades permitidas em cada zona de proteção (Zonas I, II, IIIA e IIIB), que devem ser adaptadas à área da captação avaliada e, após aprovação do LfW, ser transformada em um instrumento legal.

Estas restrições relacionam-se a diferentes ramos de atividades, tanto relacionadas ao manuseio de substâncias perigosas como às atividades rurais. Na Zona I as restrições são extremamente rígidas, não sendo permitida qualquer atividade com exceção daquelas relacionadas à manutenção da captação da água subterrânea. As restrições da Zona II são bastante rígidas e enfocam principalmente a proteção microbiológica. As restrições da Zona III visam a proteção contra contaminantes mais conservativos e são divididas para a Zona IIIA (restrições mais rígidas) e Zona IIIB. Em casos onde não há a necessidade de subdivisão da Zona III, as restrições aplicadas referem-se à Zona IIIA.

Como dito anteriormente, no Estado da Baviera as áreas de proteção são estabelecidas através de instrumentos legais onde são definidos os limites



geográficos das zonas de proteção assim como as restrições específicas para cada caso. Assim, por exemplo, se a região avaliada é uma área exclusivamente rural, não é necessário um detalhamento das restrições relacionadas às atividades exclusivamente urbanas.

O catálogo de restrições de atividades definido no Estado da Baviera foi discutido dentro do projeto com os consultores alemães de forma a servir de base para uma futura discussão no Estado de São Paulo sobre as restrições a serem adotadas nas zonas de proteção das captações de água subterrânea considerando as características sociais, econômicas e do meio físico do cenário paulista.

Em função de parte dos aquíferos explorados no Estado da Baviera serem livres e rasos, as restrições impostas nas áreas de proteção são bastante rígidas. Entretanto, apesar de rígidas, estas restrições são respeitadas pela comunidade devido à forte conscientização dos usuários sobre a importância da proteção e preservação dos recursos hídricos subterrâneos e também, devido à forte estrutura do órgão gestor. Considerando o cenário sócio-econômico e institucional do cenário paulista, estas restrições não seriam exequíveis em um primeiro momento. Além disso, há algumas restrições nas diretrizes do Estado da Baviera que não são pertinentes ao nosso cenário como a restrição de algumas práticas agrícolas durante o período de inverno com neve.

O catálogo de restrições de atividades aplicado nas zonas de proteção do Estado da Baviera foi traduzido para o português e encontra-se no [Anexo I](#).

### **6.2.3. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DO ESTADO DA BAVIERA EM RIBEIRÃO PRETO**

Para avaliar a viabilidade de delimitação de perímetros de proteção dos poços de abastecimento público de Ribeirão Preto e de aplicação da metodologia do Estado da Baviera ao cenário paulista, foram definidas as áreas de proteção para três poços-alvo, selecionados de acordo com suas características hidrogeológicas, seguindo, didaticamente, o procedimento padrão utilizado no Estado da Baviera.

A metodologia empregada, conforme já descrito, baseou-se na equação de



fluxo uniforme e na metodologia de Hölting para determinação da vulnerabilidade da captação.

Estes exemplos de delimitação das áreas de proteção dos três poços-alvo foram conduzidos conjuntamente com o Dr. Günter Schuler, consultor especializado nesta questão.

Diferentemente do que ocorre no Estado da Baviera, os poços tubulares de abastecimento público localizados em Ribeirão Preto, assim como na maioria dos municípios paulistas, estão inseridos na área urbana, onde já existem diversas fontes potenciais de contaminação no seu entorno, sendo que muitas delas já estavam instaladas anteriormente à construção dos poços, de forma que a filosofia de proteção das captações destinadas ao abastecimento, tal como executado na Baviera somente poderá ser aplicada integralmente se os novos poços a serem construídos forem instalados em áreas originalmente protegidas.

Dessa forma, para avaliar a possibilidade de adaptação da metodologia Alemã às condições da área piloto, procurou-se selecionar poços localizados em áreas mais afastadas, onde a ocupação urbana ainda não é adensada. Além disso, esta seleção buscou identificar poços em situações geológicas distintas, localizados na porção livre ou confinada do Aquífero Guarani.

Os poços selecionados para servirem de exemplos de delimitação de perímetros de proteção foram o 70, 76 e 86 (número dos poços no SIAGuarani).

O poço 70 encontra-se localizado na porção sul da área urbana, onde o Aquífero Guarani encontra-se confinado pela cobertura de basalto do Aquífero Serra Geral.

O poço 76 localiza-se na borda nordeste da área urbana, onde o Aquífero Guarani é semi confinado, possuindo intercalações de intrusões de diabásio.

O poço 86 localiza-se a leste da área urbana onde o Aquífero Guarani é totalmente livre, recoberto por uma camada de 12 metros de solo que representa os sedimentos cenozóicos que recobrem parte da área de estudo.

Um parâmetro fundamental para a determinação da Zona de Contribuição do poço é a transmissividade que foi obtida a partir da interpretação dos dados dos testes de bombeamento. O gradiente hidráulico foi obtido a partir do mapa potenciométrico elaborado.

Este mapa potenciométrico permitiu também definir as direções de fluxo da



água subterrânea, que definem o formato da Zona de Contribuição dos poços.

Assim, aplicando-se a metodologia do Estado da Baviera, desenhou-se a Zona de Contribuição de cada poço, definindo-se as áreas de proteção com base na legislação alemã (Zona I, II, IIIA e IIIB), como mostra o Figura 15.

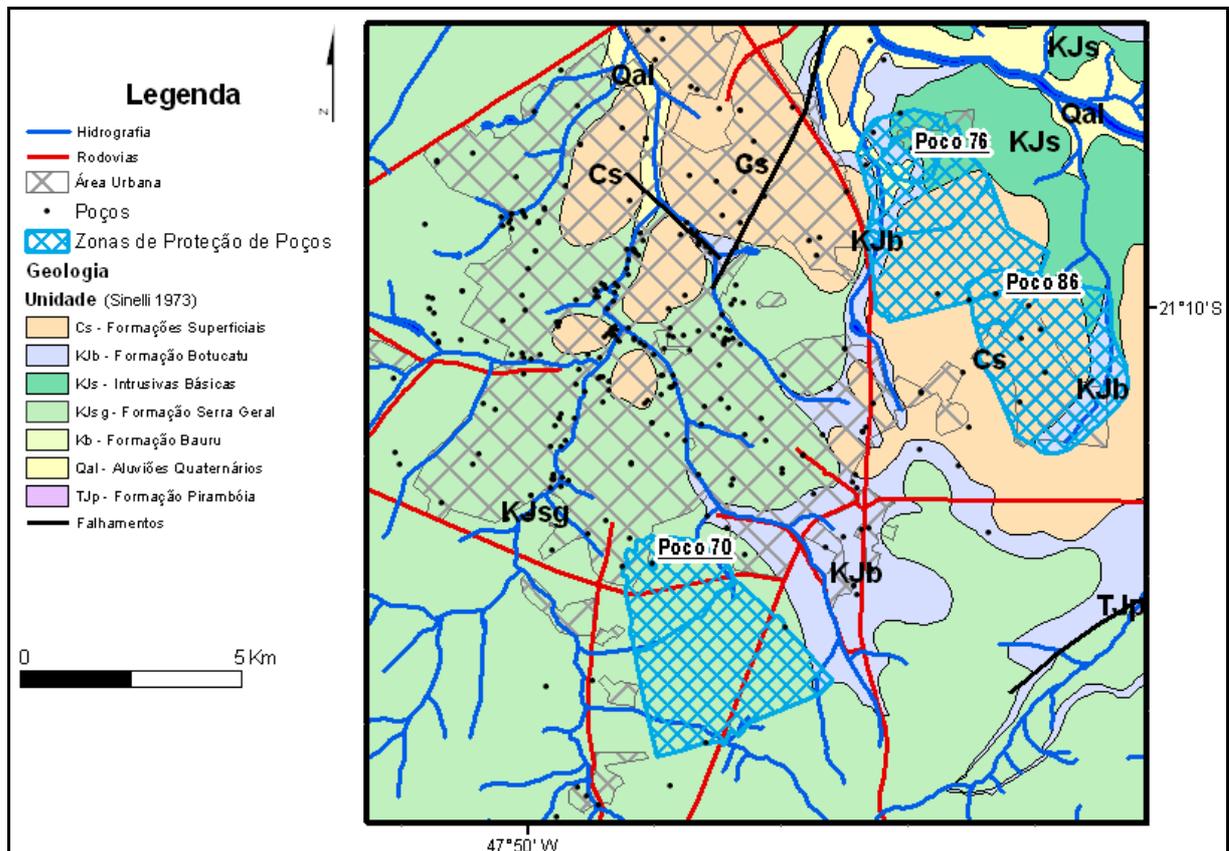


Figura 15 – Exemplo de delimitação de áreas de proteção de poços em Ribeirão Preto

### **6.3. PROPOSIÇÃO DE ESTRATÉGIA DE PROTEÇÃO DO AQUÍFERO GUARANI EM RIBEIRÃO PRETO**

#### **6.3.1. MECANISMOS LEGAIS**

No âmbito das atribuições Federais, podem ser citadas a Lei nº 9433 (08.01.1997) que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e as Resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos CNRH nº 15 (11.01.2001) e nº 22 (24.05.2005), que estabelecem que os planos de recursos hídricos devem propor a criação de áreas de proteção dos recursos hídricos.



No Estado de São Paulo, o estabelecimento de áreas de proteção das águas subterrâneas é definido no Decreto nº 32.955 (07/02/1991), que regulamenta a Lei nº 6.134 (02/06/1988), a qual dispõe sobre a "preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo".

Segundo este Decreto, "sempre que, no interesse da conservação, proteção e manutenção do equilíbrio natural das águas subterrâneas, dos serviços de abastecimento de água, ou por motivos geotécnicos ou geológicos, se fizer necessário restringir a captação e o uso dessas águas, o Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE e a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB proporão ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos a delimitação de áreas destinadas ao seu controle". Estas áreas de proteção devem ser estabelecidas com base em estudos hidrogeológicos e a extração de água subterrânea pode estar condicionada à recarga do aquífero e classificam-se em:

- Área de Proteção Máxima: compreendendo, no todo ou em parte, zonas de recarga de aquíferos altamente vulneráveis à poluição e que se constituam em depósitos de águas essenciais para abastecimento público;
- Área de Restrição e Controle: caracterizada pela necessidade de disciplina das extrações, pelo controle máximo das fontes poluidoras já implantadas e por restrições a novas atividades potencialmente poluidoras, que pode ser correlacionada à Zona III da legislação Alemã; e
- Área de Proteção de Poços e outras Captações: incluindo a distância mínima entre poços e outras captações e o respectivo perímetro de proteção.

Inclui-se nesta, o Perímetro Imediato de Proteção Sanitária, que abrange um raio de dez metros a partir da captação e o Perímetro de Alerta contra poluição por poluente não conservativo, que toma por base um tempo de trânsito de 50 dias no sentido montante de fluxo a partir da captação (artigo 24 do Decreto 32.955/91). Estes perímetros de proteção das captações correspondem, respectivamente, à Zona I e à Zona II utilizadas no Estado da Baviera (DVGW 1995).

Um guia técnico produzido por Foster *et al* (2002) para o Banco Mundial também considera que a proteção de uma captação de água subterrânea passa



pelo controle das atividades existentes na sua zona de contribuição, ressaltando sua divisão em três principais zonas de proteção, a saber:

- Zona Operacional do Poço, que corresponde a um raio de pelo menos 20 metros ao redor da captação;
- Área de Proteção Microbiológica, que corresponde a uma isócrona de 50 dias de tempo de trânsito da água a montante da captação, sendo que para aquíferos fraturados e confinados o critério é um raio de 50 metros ao redor da captação; e
- Área Total de Captura da Captação, que corresponde à zona de contribuição da captação ou, por vezes, considerando um tempo de trânsito de 10 anos.

Ainda, Foster *et al* (2002) sugerem a possibilidade de subdividir a Área Total de Captura considerando a isócrona de 500 dias de tempo de trânsito. Este conceito vem ao encontro com os critérios aplicados no Estado da Baviera, que subdivide a zona de contribuição em Zona IIIA e IIIB.

Para a atividade de exploração das águas minerais também é necessária a delimitação de perímetros de proteção ao redor da captação, como definido na Portaria 231 (de 31/07/1998) do Departamento Nacional de Produção Mineral. Esta portaria define três zonas de proteção, a saber:

- Zona de influência, que está associada ao perímetro imediato da captação onde são permitidas apenas atividades inerentes ao poço ou fonte e, tem por finalidade, promover a sua proteção microbiológica;
- Zona de Transporte, definida entre a área de recarga e o ponto da captação, objetivando a proteção contra contaminantes mais persistentes; e
- Zona de contribuição, que abrange a área de recarga de uma captação e também objetiva a proteção contra contaminantes mais persistentes.

A comparação das zonas de proteção propostas nas diferentes legislações e publicações mostra similaridades quanto a sua finalidade de proteção da captação, apesar dos critérios, às vezes, serem ligeiramente diferentes. Todas prevêm, de forma geral, uma zona de proteção microbiológica, definida com base no tempo de trânsito da água, e outra contra contaminantes não degradáveis, que engloba toda ou parte da zona de contribuição da captação.



Apenas no Decreto Estadual 32.955/91, não está clara a correlação entre a zona de contribuição da captação e as categorias de áreas de proteção definidas. Entretanto, propõe-se utilizar a categoria de Áreas de Restrição e Controle para garantir a proteção da zona de contribuição pois, segundo este decreto, esta área pode ser estabelecida quando houver necessidade de disciplinamento das extrações, de controle máximo das fontes poluidoras já implantadas e de restrições a novas atividades potencialmente poluidoras.

Assim, com base na análise realizada, propõe-se que a área de proteção de uma captação de água subterrânea compreenda a sua zona de contribuição, ou grande parte dela e seja subdividida em zonas internas de proteção. Esta proposta obedece ao disposto no Decreto Estadual 32.955/91 e acrescenta novos critérios de forma a promover uma proteção mais efetiva da qualidade da água subterrânea captada para abastecimento. As zonas de proteção propostas são descritas abaixo.

O Perímetro Imediato de Proteção Sanitária (PIPS), já definido no Decreto Estadual 32.955/91, é delimitado por uma distância de 10 metros ao redor da captação e tem objetivo de manter a integridade da captação.

O Perímetro de Alerta (PA) é também definido na legislação paulista com uma distância equivalente ao tempo de transito de 50 dias visando promover a proteção microbiológica. Propõe-se neste trabalho que este critério seja aplicado para aquíferos sedimentares livres, acrescentando-se que, para aquíferos confinados ou fraturados, esta zona compreenda um raio de 50 metros ao redor da captação.

A Zona Proximal de Restrição e Controle (ZPRC) tem o objetivo de promover a proteção contra contaminantes pouco degradáveis e, em caso de ocorrência de contaminação, possa haver tempo suficiente para a implantação de medidas de remediação. O critério proposto é um tempo de trânsito mínimo de 365 dias (1 ano) ou uma distância máxima de 1 km a montante do poço. O limite desta zona deve considerar também as características hidrogeológicas particulares da região como, por exemplo, englobar as áreas de maior vulnerabilidade.

A Zona Distal de Restrição e Controle (ZDRC) tem o objetivo de proteger toda a área de recarga da captação, isto é, sua zona de contribuição. Entretanto, algumas vezes a área pode compreender grandes extensões, com tempos de



trânsito da água muito longos. Assim, propõe-se que esta zona compreenda uma área delimitada pela isócrona de no máximo 10 anos de tempo de trânsito. A Tabela 4 mostra as zonas de proteção propostas neste estudo, comparando-as com as legislações e publicações existentes.

Tabela 4 – Comparação entre as zonas de proteção propostas neste estudo e existentes nas legislações brasileira e alemã e em Foster et al (2002)

	Zonas de proteção			
	Perímetro Imediato de Proteção Sanitária (PIPS)	Perímetro de Alerta (PA)	Zona Proximal de Restrição e Controle (ZPRC)	Zona Distal de Restrição e Controle (ZDRC)
Proposta do projeto	Raio de 10 m	- tempo de trânsito de 50 dias para aquífero sedimentar livre - 50 m de raio ao redor do poço para aquífero fraturado ou confinado	Mínimo de 365 dias e máximo de 1 km	Zona de Captura Total ou 10 anos de tempo de trânsito (o que for menor)
Estado da Baviera (DVGW 1995)*	Zona I	Zona II	Zona III A	Zona IIIB
Decreto Estadual nº 32.955 de 07/02/91	Perímetro imediato	Perímetro de Alerta	Área de Restrição e Controle	Área de Proteção Máxima
Portaria Federal DNPM nº 231 de 31/07/98	Zona de Influência		Zona de Transporte	Zona de Contribuição
Foster et al (2002)	Zona Operacional	Zona de Proteção Microbiológica	Zona de 500 dias	Zona de Captura Total (TOT 10 anos)

### 6.3.2. PROPOSTA DE RESTRIÇÕES A SEREM APLICADAS NAS ZONAS DE PROTEÇÃO

Para efetivar a proteção das águas subterrâneas, em cada zona de proteção devem ser definidas restrições às atividades antrópicas e medidas de controle das fontes potenciais de poluição. No Decreto Estadual 32.955/91 são definidas algumas restrições específicas assim como diretrizes para o controle das atividades antrópicas.

De acordo com o artigo 21 do Decreto citado acima, na Área de Proteção Máxima, não são permitidos:

- "a implantação de empreendimentos de grande impacto ambiental ou de extrema periculosidade como indústrias de alto risco ambiental, pólos petroquímicos, carboquímicos e cloroquímicos, usinas nucleares e outros;



- atividades agrícolas que utilizem produtos tóxicos de grande mobilidade que impliquem em risco de contaminação da água subterrânea;
- parcelamento do solo urbano sem sistema adequado de tratamento de efluente ou de disposição de resíduos sólidos."

Na Área de Proteção Máxima e também na Área de Restrição e Controle, definidas neste decreto, em casos de escassez de água subterrânea ou de prejuízo às captações, o artigo 22 permite que o DAEE e a CETESB possam:

- "proibir novas captações até que o problema seja superado;
- restringir ou regular o volume extraído e o regime de operação das captações;
- controlar as fontes de poluição existentes, mediante programa específico de monitoramento;
- restringir a instalação de novas atividades com potencial poluidor."

Na Área de Proteção de Poços e Outras Captações, definida neste decreto, as restrições são mais rígidas para o Perímetro Imediato de Proteção Sanitária (como registrado no artigo 24), onde seu limite deve ser cercado e resguardado da entrada ou penetração de qualquer poluente. Segundo o artigo 25 deste decreto, no Perímetro de Alerta deve haver a disciplina das extrações, o controle das fontes poluidoras existentes e restrições a novas atividades potencialmente poluidoras.

Com base na avaliação da legislação paulista e avaliando também a experiência do Estado da Baviera no gerenciamento e proteção das águas subterrâneas, foi elaborada uma proposta de restrições de atividades e uso do solo a serem aplicadas nas zonas de proteção. Estas restrições propostas enfocam o controle, ou mesmo a proibição a novas instalações das principais atividades consideradas potencialmente contaminadoras, sendo que as medidas são mais rígidas nas zonas mais próximas à captação.

### **6.3.3. PROPOSTA DE ÁREAS DE PROTEÇÃO EM RIBEIRÃO PRETO**

A avaliação das informações obtidas, associada à troca de experiências durante esta cooperação técnica, permitiu a elaboração de uma proposta de delimitação de áreas de proteção em Ribeirão Preto, com o objetivo de servir de



base para uma discussão mais ampla de implantação de estratégias de proteção da água subterrânea no município.

Dessa forma, propõe-se a instalação de áreas de proteção enfocando três aspectos:

- Proteção da área de recarga do Aquífero Guarani;
- Proteção das captações destinadas ao abastecimento público;
- Prevenção dos riscos de contaminação do Aquífero Guarani na área urbana.

As áreas de proteção definidas neste estudo, bem como as restrições de uso e ocupação do solo apresentadas no [Anexo II](#) constituem-se de uma proposta que visa subsidiar a implantação de uma estratégia de proteção ambiental do Aquífero Guarani em Ribeirão Preto, devendo ser amplamente discutidas com os órgãos gestores dos recursos hídricos, de planejamento e com a comunidade.

#### **6.3.3.1. Área de proteção máxima do Aquífero Guarani em Ribeirão Preto**

A área de afloramento do Aquífero Guarani, situada na porção nordeste do município, tem papel fundamental na recarga deste recurso, devendo haver um controle do uso do solo para garantir a manutenção da qualidade da água subterrânea. Dessa forma, propõe-se a instalação de uma área de proteção, utilizando-se a categoria de Área de Proteção Máxima, definida no Decreto Estadual 32.955/91.

Esta área proposta abrange a área de afloramento do Aquífero Guarani somada a uma faixa externa de 1 km a contar do contato geológico (Figura 16). Esta faixa adicional é estabelecida na Deliberação CRH nº 18, de 08/04/1998, que instituiu a área de proteção do Aquífero Guarani nas Bacias Hidrográficas dos rios Pardo e Mogi-Guaçu. Esta proposta de área de proteção engloba também os sedimentos cenozóicos, com ocorrência na porção norte do município pois, de acordo com as seções geológicas elaboradas, estes sedimentos apresentam pequena espessura e recobrem diretamente o Aquífero Guarani. Algumas porções onde os sedimentos cenozóicos recobrem o basalto não foram incluídas nesta área de proteção proposta.



Para o controle das atividades e da ocupação do solo nesta Área de Proteção Máxima do Aquífero Guarani, sugere-se a aplicação das restrições propostas para a Zona Distal de Restrição e Controle ([ANEXO II](#)).

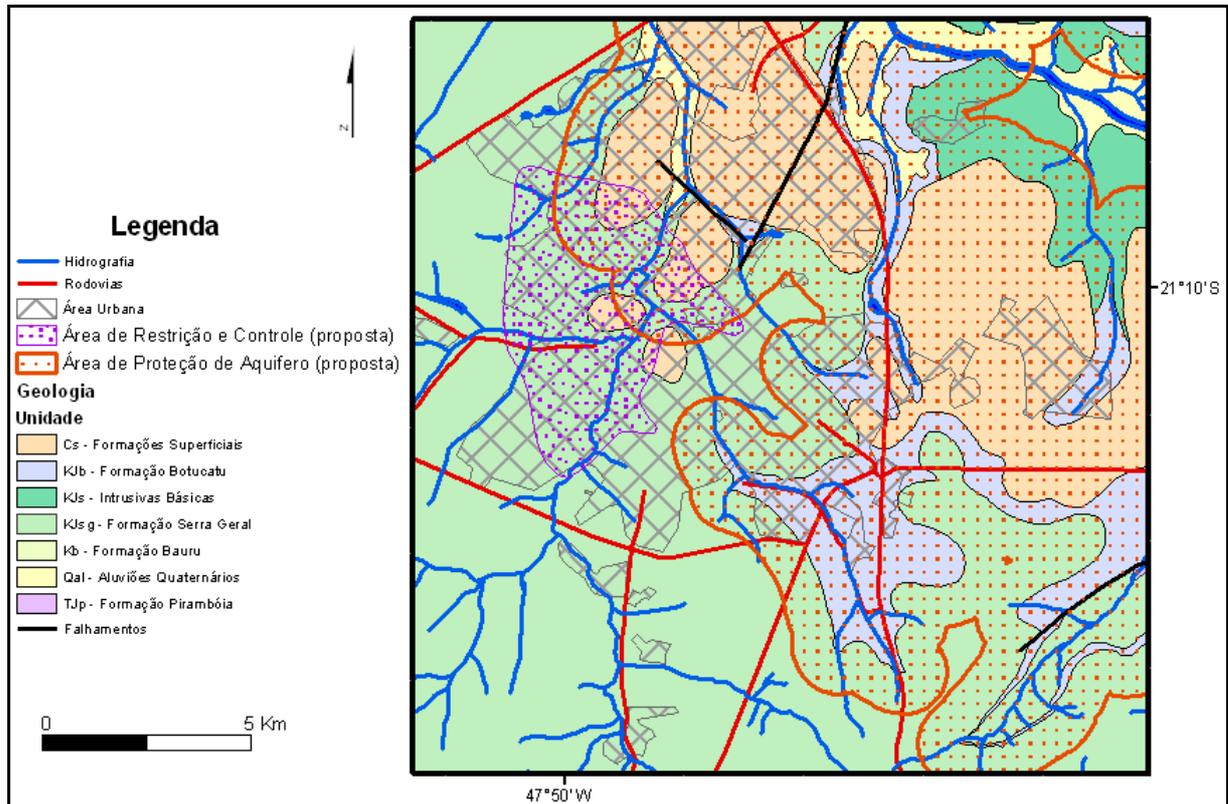


Figura 16 – Proposta de áreas de proteção para o município de Ribeirão Preto

### **6.3.3.2. Área de proteção de poços destinados ao abastecimento público**

Para a proteção das captações de água subterrânea destinadas ao abastecimento público sugere-se a delimitação de áreas de proteção individuais para os poços ou mesmo áreas de proteção coletivas incluindo um grupo de poços, subdivididas em zonas internas de proteção, como proposto anteriormente neste estudo.

As áreas de proteção das captações devem ser delimitadas primeiramente para os poços localizados sobre a área de afloramento do Aquífero Guarani, que apresenta maior vulnerabilidade à contaminação. Como foi sugerida a implantação da Área de Proteção Máxima nesta região, com aplicação das



restrições definidas para a Zona Distal de Restrição e Controle, para estes poços seria necessário apenas a delimitação das seguintes zonas: PIPS, PA e ZPRC, com aplicação das respectivas restrições.

Para os poços que exploram o Aquífero Guarani confinado, sugere-se iniciar a implantação, primeiramente das zonas internas de proteção (PIPS e PA) para todos os poços e posteriormente, pode-se estender para o restante da zona de contribuição (ZPRC e ZDRC).

Cabe ressaltar que a implantação do Perímetro Imediato de Proteção Sanitária (PIPS) para os poços destinados ao abastecimento público de Ribeirão Preto é uma tarefa facilitada, pois a maioria deles já se encontra em área cercada e protegida.

A delimitação das áreas de proteção das captações pode ser efetuada com base em diversas metodologias disponíveis. A metodologia aplicada como um exemplo em Ribeirão Preto (Figura 15) mostrou-se fácil de ser utilizada, mas com a limitação de não considerar as possíveis heterogeneidades do aquífero. Entretanto, considerando as informações atualmente disponíveis e a facilidade de aplicação, esta metodologia pode ser considerada como uma alternativa imediata para a delimitação das áreas de proteção e na medida em que o conhecimento sobre o comportamento do aquífero for melhor entendido, metodologias mais sofisticadas poderão ser aplicadas, considerando inclusive a interferência entre os poços e a interação com o fluxo do Aquífero Serra Geral.

### **6.3.3.3. Área de restrição e controle**

Uma terceira área de proteção proposta abrange a área delimitada pela curva potenciométrica de 460 metros, onde se concentra o cone de rebaixamento causado pelo bombeamento dos poços na área confinada do aquífero (Figura 16).

Este rebaixamento do nível d'água aumenta a vulnerabilidade dos poços à contaminação na medida que aumenta a velocidade e causa inversões na direção de fluxo da água subterrânea e, em alguns casos, causa a mudança de comportamento do aquífero de confinado para livre, mostrando a necessidade de gestão integrada da quantidade e qualidade do recurso hídrico subterrâneo.



Assim, sugere-se que esta área pode ser enquadrada na categoria de Área de Restrição e Controle definida no Decreto Estadual 32.955/91 e ser uma das áreas a ser discutida na proposta de deliberação do CRH (no prelo). Desta forma sugere-se que essa área seja mais bem estudada no sentido de ser avaliada a restrição a perfuração de novos poços, permitindo-se apenas a manutenção daqueles já existentes, lembrando sempre que a prioridade deverá ser para os poços destinados ao abastecimento público.

#### **6.4. AVALIAÇÃO DA TAXA DE RECARGA**

Para a determinação da taxa de recarga realizou-se um levantamento dos estudos existentes sobre o Aquífero Guarani, principalmente no Estado de São Paulo, mas também em outros estados. Estes estudos foram avaliados e classificados pelo Dr. Christoph Kulls, consultor especializado no assunto, de acordo com o tipo de metodologia utilizada.

Grande parte dos estudos utiliza metodologias baseadas nos parâmetros dos aquíferos (como aplicação da lei de Darcy e modelação matemática), no balanço hídrico considerando a percolação da água através do solo, e na análise do escoamento básico. Outros poucos trabalhos enfocam a análise isotópica da água.

Para avaliar o método de cálculo de taxa de recarga, primeiramente foi idealizado um modelo hidrogeológico conceitual da região de estudo de forma a identificar os principais processos de fluxo da água subterrânea que ocorrem na área. Assim, este modelo conceitual considerou os seguintes processos de recarga do Aquífero Guarani na área de estudo (Figura 17):

- Recarga direta na área de afloramento do Aquífero Guarani ( $R_{Db}$ );
- Recarga indireta através da Formação Serra Geral ( $R_{Dsg}$ );
- Recarga ascendente advinda da base do Aquífero Guarani ( $R_{UL}$ );
- Descarga por escoamento básico ( $Q_{Bf}$ );
- Descarga por circulação profunda em sentido ao interior da bacia ( $Q_{out}$ );
- Descarga por bombeamento dos poços (P).

A recarga ascendente das formações adjacentes ao Aquífero Guarani foi considerada desprezível na área estudada.

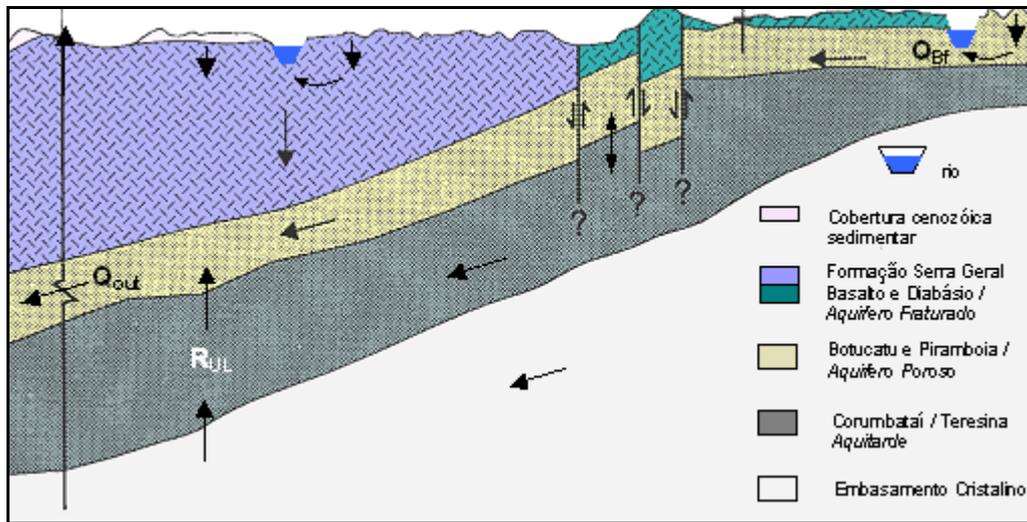


Figura 17 – Processos de fluxo da água subterrânea considerados no modelo hidrogeológico conceitual idealizado para a área de estudo (Kulls 2003)

Para a seleção do método aplicado neste estudo avaliaram-se alguns aspectos como o objetivo do projeto, disponibilidade de dados, escala da área estudada e recursos disponíveis.

Este projeto tinha como foco trabalhar com base nos dados já existentes, não incluindo atividades experimentais ou de monitoramento, sendo que a disponibilidade de recursos financeiros e tempo para desenvolvimento do projeto não contemplava um estudo detalhado sobre o assunto. Assim, a escolha da metodologia aplicada foi baseada na avaliação da quantidade e tipo de informações disponíveis. Além disso, a metodologia deveria ser adequada à escala de trabalho, que enfocou o município de Ribeirão Preto como área de estudo.

Dessa forma, o levantamento de informações existentes sobre a área de estudo e a comparação com os tipos de dados necessários para cada método de cálculo de taxa de recarga levaram à conclusão que, com os dados hidrometeorológicos e de subsuperfície disponíveis, poderia ser aplicada uma metodologia voltada ao processo de precipitação-infiltração-recarga. Existem diversos modelos voltados ao processo de transferência de água do solo e atmosfera, denominados de SWAT (soil water atmosphere transfer), selecionando-se o modelo REGIS, desenvolvido pelo consultor do projeto, Dr.



Christoph Kulls, para aplicação na área de Ribeirão Preto.

Este modelo calcula as perdas por interceptação, o escoamento superficial, o interfluxo, o armazenamento e a taxa de recarga com base em dados hidrometeorológicos diários e parâmetros do solo e do aquífero (Kulls 2003). Foram utilizados dados hidrometeorológicos do período de 1997 a 1999.

Alguns parâmetros foram estimados, como por exemplo, a capacidade de campo foi baseada nas características dos tipos de solo existentes e a profundidade das raízes foi baseada no mapa de cobertura vegetal.

As informações obtidas ou estimadas foram espacializadas em mapa e simuladas no programa REGIS, obtendo-se valores de recarga chegando até 250 mm/ano. O valor médio obtido para a área, considerando valor médio de espessura de solo, foi de 132 mm/ano. Os maiores valores de recarga, superiores a 200 mm/ano, são encontrados na área de afloramento do Aquífero Guarani e onde ele é recoberto pelos sedimentos cenozóicos inconsolidados. Estes valores vão de encontro com dados obtidos por Pompeo (1990), que encontrou valores entre 133 e 243 mm/ano na bacia do rio do Onça, também no afloramento do Aquífero Guarani.

Nas áreas recobertas pelo Aquífero Serra Geral, os valores encontrados são menores devido a menor condutividade hidráulica do solo e variam entre 50 e 100 mm/ano. Na área urbana a recarga deveria ser diferenciada pelas perdas da rede de distribuição. Entretanto, devido à falta de informações, os cálculos nesta parte da área ficaram prejudicados sendo necessário um detalhamento futuro.

A Figura 18 ilustra os valores mensais de recarga calculados para o ano de 1997, obtidos a partir da aplicação do programa REGIS, deixando evidente uma maior recarga generalizada no mês de janeiro. Na área de afloramento do Aquífero Guarani a recarga ocorreu desde o mês de novembro até março. Na região da Formação Serra Geral a recarga, com menor intensidade, ocorreu entre novembro e fevereiro. Nos meses mais secos, pequenos eventos de recarga podem ser observados principalmente na área de afloramento do Aquífero Guarani.

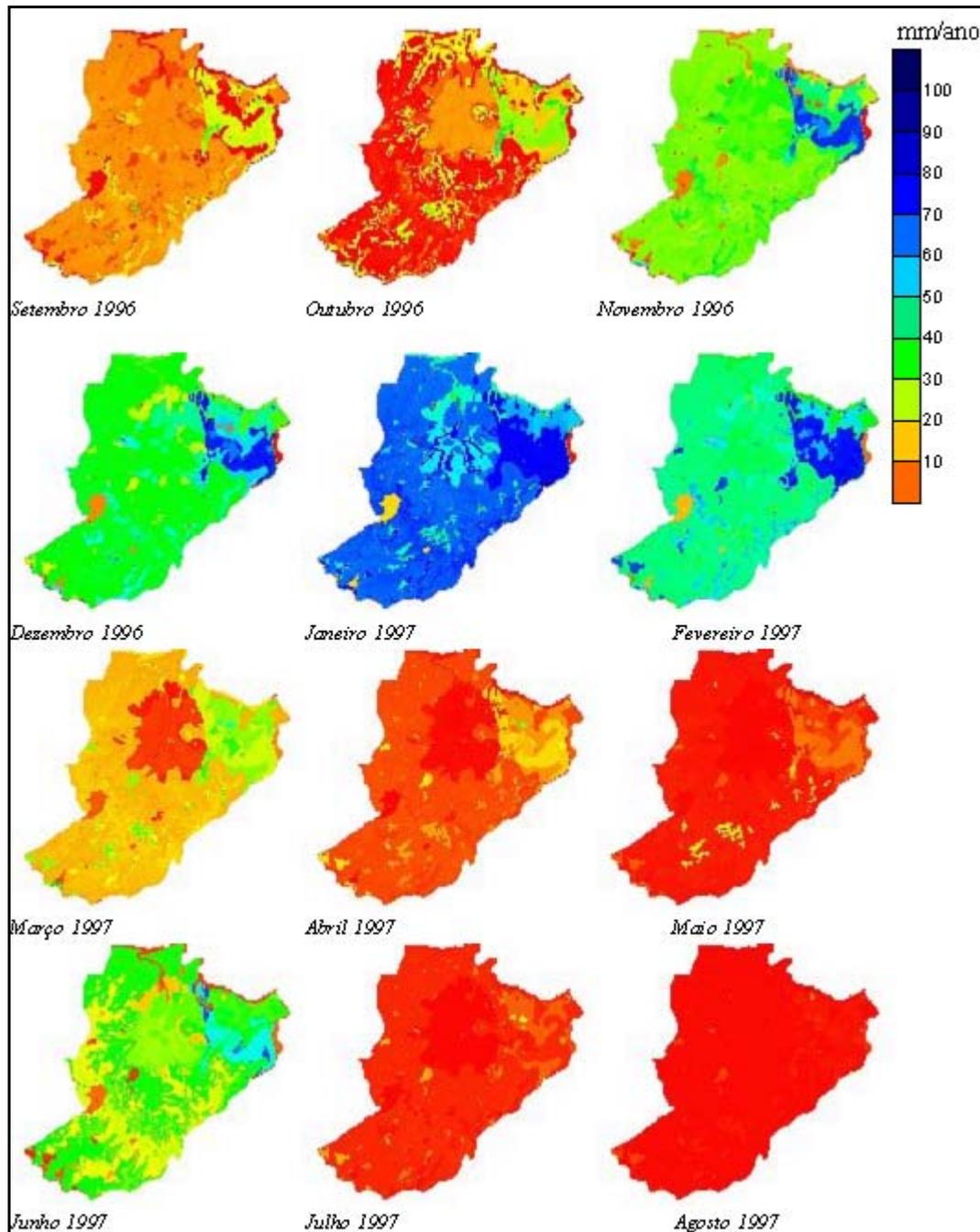


Figura 18 – Mapas mensais de distribuição da taxa de recarga para o período de setembro/1996 a agosto/1997 obtidos através da aplicação do programa REGIS (Kulls 2003)

Este período de ocorrência de recarga foi corroborado pelos resultados obtidos na interpretação das análises isotópicas da água pois as amostras de água subterrânea tem correspondência com as precipitações entre janeiro e março,



quando a água da chuva é mais leve devido às altas temperaturas. Além disso, os resultados de  $^{18}\text{O}$  e  $^2\text{H}$  das amostras de água subterrânea não mostram desvios em relação à linha meteórica local indicando que não sofre evaporação durante o processo de recarga do aquífero. As amostras foram comparadas com os dados do Rio de Janeiro obtidos no banco de dados da Agência Internacional de Energia Atômica.

São necessários maiores estudos e com maior detalhamento para a avaliação das taxas de recarga na área de estudo, inclusive com aplicação de diferentes metodologias para corroborar os valores calculados.

A falta de dados de monitoramento dificulta os cálculos de recarga na região.

## **6.5. SISTEMA PILOTO DE INFORMAÇÃO**

O desenvolvimento do sistema piloto de informação partiu da necessidade de reunir, em um mesmo sistema computacional (Figura 19), os dados produzidos e/ou coletados por diferentes instituições pertencentes à Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA) e ligadas à proteção dos recursos hídricos subterrâneos no Estado. Portanto, a finalidade deste sistema piloto de informação, denominado SIAGuarani, é facilitar e agilizar a recuperação das informações relativas à proteção ambiental dos recursos hídricos subterrâneos, bem como permitir o armazenamento de dados e mapas produzidos.

Este sistema foi construído em caráter piloto, no município de Ribeirão Preto, e poderá servir de base para expansão para toda a área aflorante do Aquífero Guarani, e posteriormente para outros aquíferos do Estado.

O SIAGuarani foi construído numa configuração tipo cliente-servidor, sendo disponibilizado, após a finalização dos testes, inicialmente para as instituições ligadas à Secretaria do Meio Ambiente por meio da rede interna de comunicação. Os principais usuários deste sistema são os setores de controle da poluição, monitoramento da qualidade da água subterrânea e de pesquisa das instituições ligadas à SMA/SP.

Demais usuários, terão acesso aos dados do sistema através de aplicativo, baseado em software livre, a serem obtidos junto ao administrador do sistema.

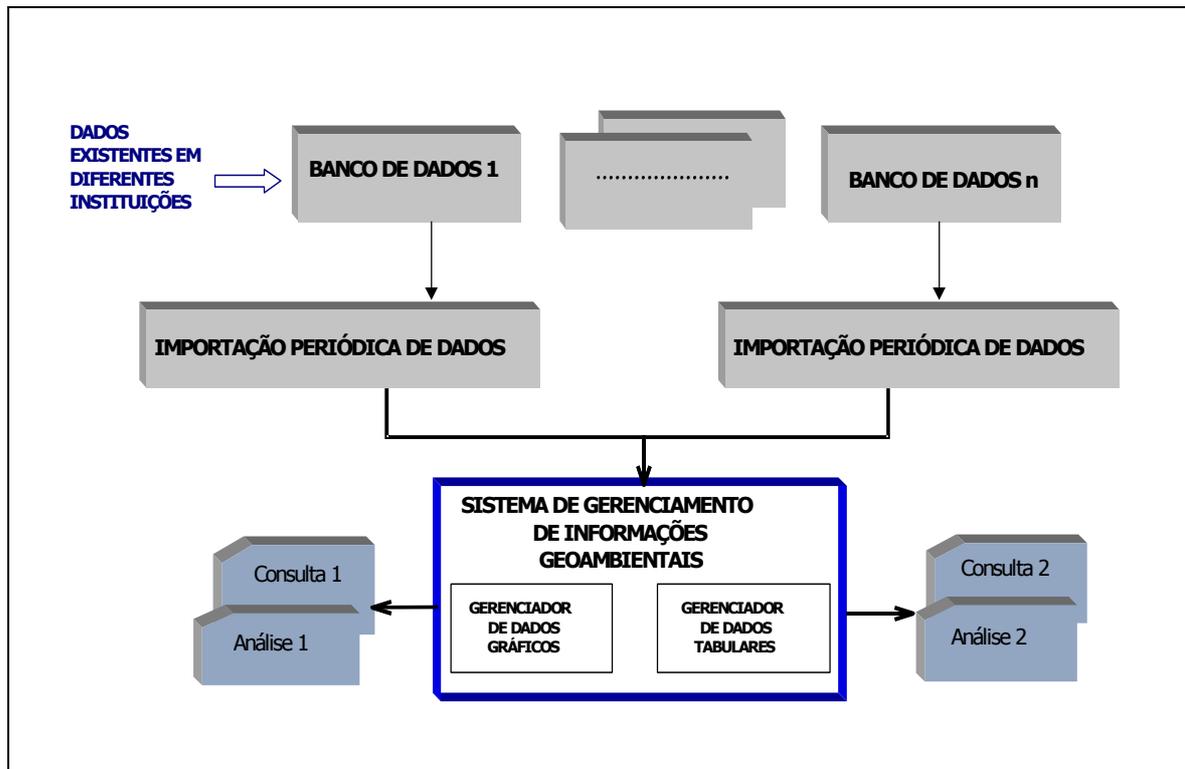


Figura 19 - Conceito do Sistema de Informação

A funcionalidade do sistema, assim como a definição dos dados armazenados, foi baseada nas situações esperadas de utilização do SIAGuarani. Os principais casos de aplicação elencados foram: implantação de áreas de proteção de poços, monitoramento da qualidade da água subterrânea e licenciamento/inspeção de empreendimentos.

O modelo de dados do sistema piloto foi definido primeiramente no nível lógico, identificando-se o tipo e a correlação das informações. A Figura 20 ilustra esquematicamente o tipo de informação contida no sistema piloto.

Os mapas que integram o sistema formam dois conjuntos: o primeiro representa as feições cartográficas básicas, como hidrografia, malha viária, divisão política, etc. e o segundo representa as informações temáticas, como tipo de solo, geologia, uso e ocupação do solo, etc. Os mapas foram classificados também com base na escala de origem, em locais e regionais. Muitos dos mapas obtidos foram tratados (digitalização, uniformização do sistema de projeção, editoração) antes de serem inseridos no SIAGuarani.

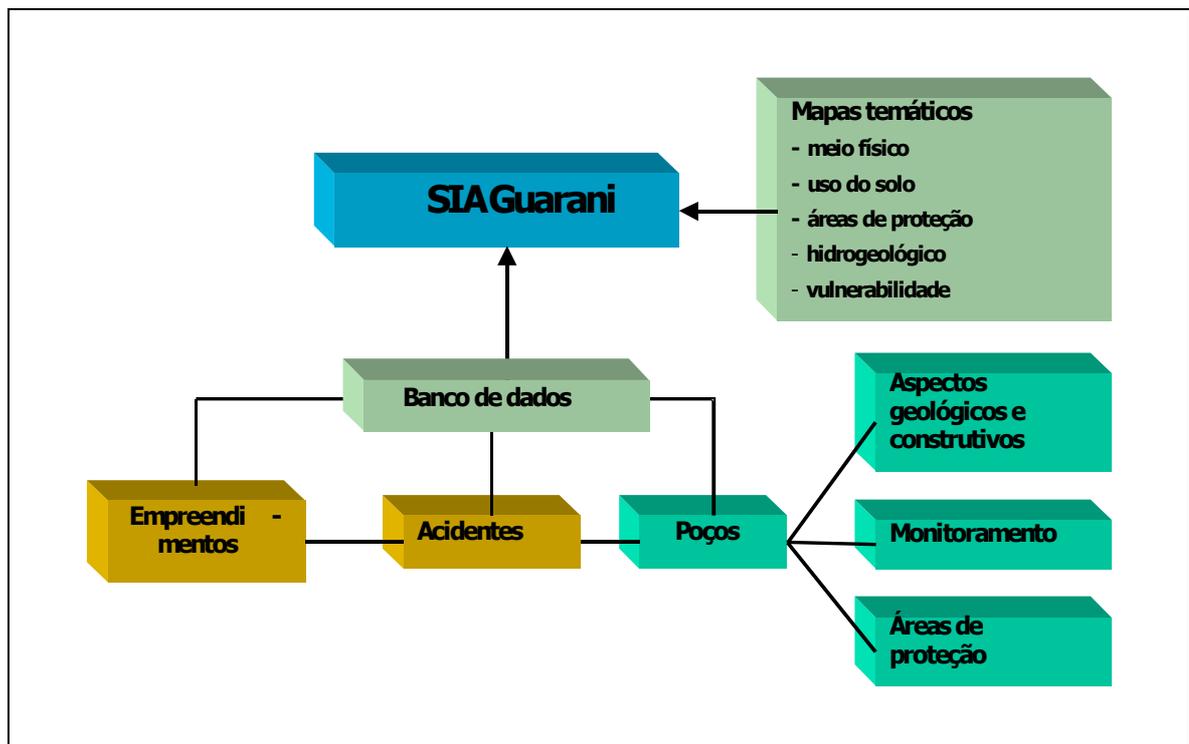


Figura 20 – Arquitetura geral das informações do Sistema Piloto de Informação desenvolvido (SIAGuarani)

A modelagem dos dados alfanuméricos foi bastante detalhada, definindo-se as entidades básicas e seus atributos, assim como, os padrões e formatos dos dados e relacionamentos das entidades, sendo representado pelo Modelo Entidade-Relacionamento (MER), nas Figuras 21 e 22.

As fontes básicas de dados identificadas nesta área de estudo foram: CETESB no tocante às informações sobre os empreendimentos na região e dados sobre qualidade das águas subterrâneas; DAERP e DAEE com as informações sobre os poços. As principais dificuldades encontradas na sistematização dos dados alfanuméricos foram a existência de dados duplicados, erros de digitação, informações incompletas e falta de localização geográfica.



# "SISTEMA DE INFORMAÇÃO PARA O GERENCIAMENTO AMBIENTAL DO RECURSO HÍDRICO SUBTERRÂNEO NO AFLORAMENTO DO AQUIFERO GUARANI NO ESTADO DE SÃO PAULO"

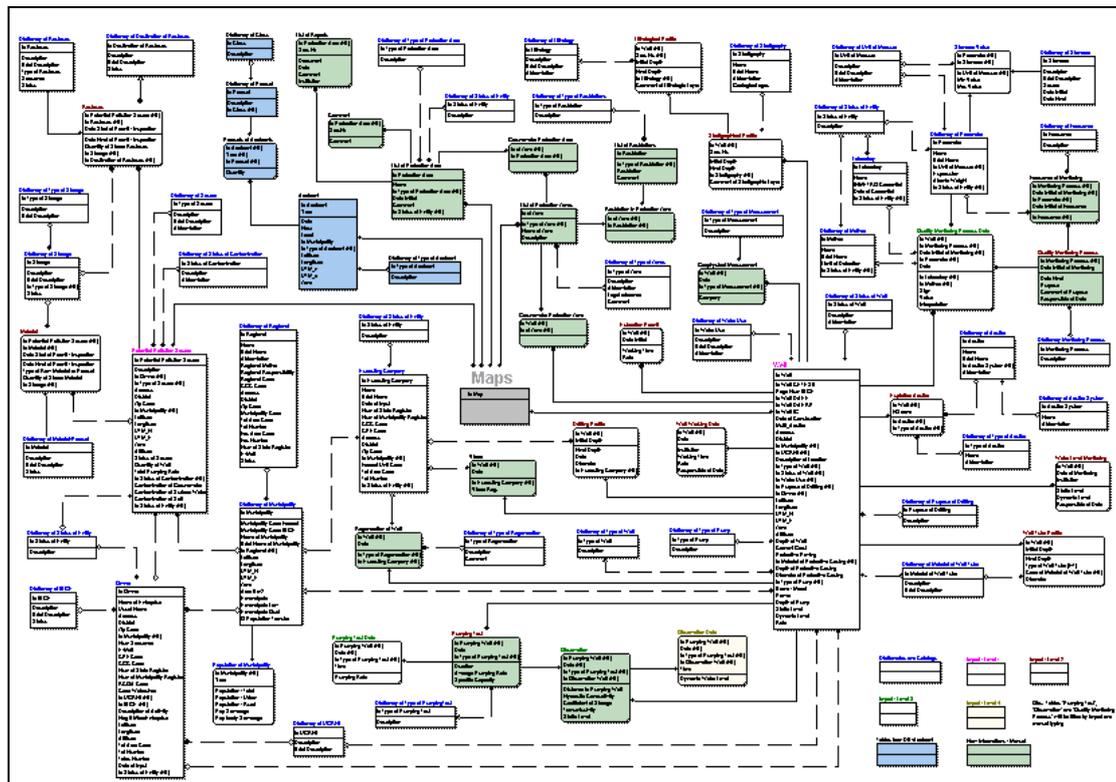


Figura 21 – Esquema do Modelo Entidade – Relacionamento (MER) do sistema piloto

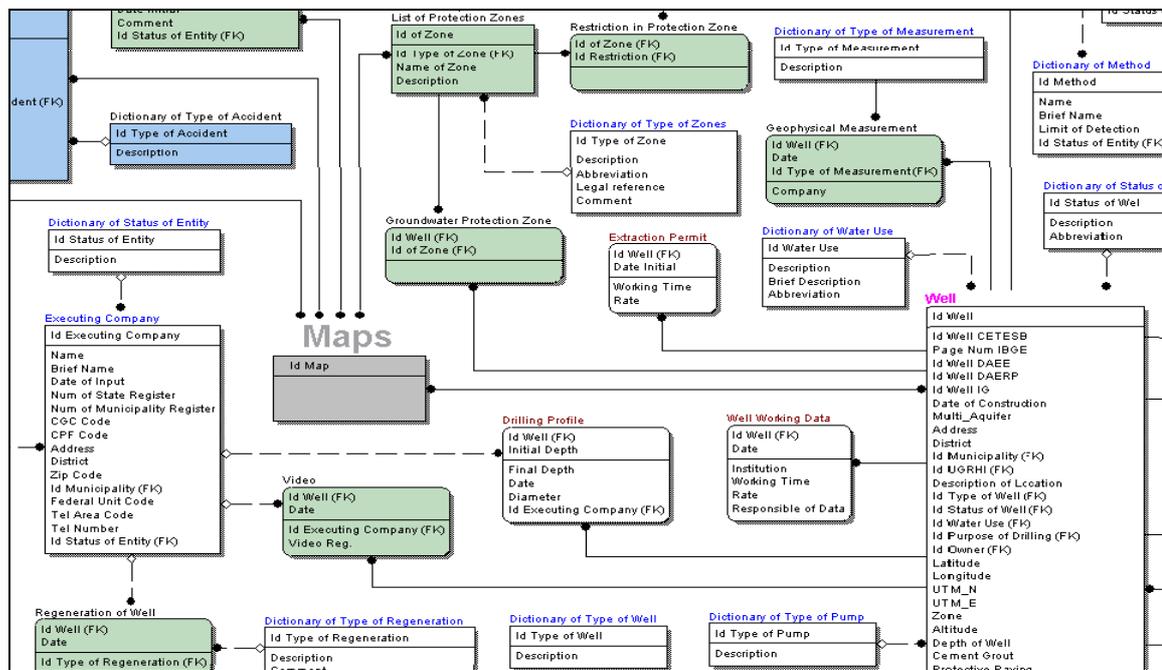


Figura 22 – Detalhe do Modelo Entidade – Relacionamento (MER) do sistema piloto



A topologia do sistema piloto foi baseada na avaliação dos tipos de usuários, da infra-estrutura existente e dos recursos financeiros disponíveis.

Os usuários do SIAGuarani, neste primeiro momento, foram classificados em:

- usuários administradores, são aqueles pertencentes aos órgãos da SMA que, responsáveis pela manutenção, análises e estudos, geram novos dados alfanuméricos e espaciais que serão inseridos no sistema;
- usuários internos, são aqueles pertencentes aos órgãos da SMA que terão acesso a consulta dos dados para uso em suas atividades voltadas à gestão ambiental.

Os usuários externos, aqueles que não pertencem aos órgãos da SMA, terão acesso aos dados para consulta, através de aplicativo baseado em software livre gravados em CD-ROM.

A arquitetura básica do SIAGuarani possui dois componentes:

- o Sistema de Gerenciamento do Banco de Dados, que permite a consulta, importação, inclusão e manutenção dos dados alfanuméricos tabulares; e
- o componente Sistema de Informação Geográfica (GIS), que permite a visualização espacial dos dados alfanuméricos associados às informações gráficas (mapas).

Para a implementação do sistema piloto, obedeceu-se os padrões e plataformas adotados pela área de informática da CETESB, onde o SIAGuarani ficará hospedado. Dessa forma, adotou-se o MS-SQL para implantação do banco de dados e a linguagem Visual Basic para o desenvolvimento do sistema gerenciador do banco de dados. Para o componente GIS foram analisadas diversas alternativas de softwares, optando-se por utilizar os programas da plataforma ESRI de forma a seguir uma diretriz institucional que vem adotando este software para os diversos estudos e sistemas em desenvolvimento, o que facilitaria possíveis correlacionamentos futuros.

Este sistema piloto utiliza como base, a importação de dados existentes nos diferentes setores e instituições. Dessa forma, a inclusão de dados alfanuméricos será realizada através da importação de arquivos de dados; análise de consistência e inclusão manual no sistema piloto.

Para o controle de qualidade dos dados alfanuméricos, o sistema gerenciador



do banco de dados possui também um processo de verificação de consistência das informações inseridas no sistema, enfocando principalmente o controle do formato, conteúdo e duplicidade dos dados.

Para a visualização espacial das informações, o SIAGuarani foi formatado para ser utilizado em dois aplicativos:

- um destinado aos usuários administradores, ou seja, aqueles encarregados de elaborar análises espaciais e temáticas, é o software ArcGis, versão 8.x;
- outro, para os demais usuários, para visualização e consulta, é o software ArcExplorer, de livre utilização (freeware), capaz de visualizar conjuntos de mapas preparados e organizados como projetos.

Os projetos e demais visualizações foram desenvolvidos para atender as necessidades dos usuários, uma vez que permitem consultas específicas em cada um dos casos de aplicação identificados do sistema piloto de informação.

A importação e inclusão dos mapas serão realizadas manualmente e a análise de consistência das informações cartográficas inclui três níveis:

- existência no sistema piloto: os mapas são verificados quanto a sua existência no sistema piloto e a última data de atualização para evitar duplicidade;
- sistema de projeção cartográfica: os mapas a serem inseridos no sistema piloto são checados e ajustados quanto à projeção cartográfica conforme o padrão do sistema piloto;
- verificação dos elementos gráficos: os elementos gráficos são checados para verificar eventuais problemas de edição durante a importação e transformação do mapa para o formato compatível com o ArcGis.

Os mapas inseridos no SIAGuarani possuem a seguinte padronização de projeção cartográfica:

- mapas em escala local estão consolidados em sistema de projeção UTM, datum SAD69, zona 23;
- mapas em escala regional estão consolidados no sistema de projeção Latitude/Longitude, SAD69.

As consultas aos dados do SIAGuarani podem ser efetuadas através do componente GIS, que possibilita o acesso a algumas informações alfanuméricas



básicas associadas a representações espaciais. As consultas mais avançadas das informações alfanuméricas podem ser realizadas através do módulo de consulta do componente sistema de gerenciamento de dados.

O [Anexo III](#) ilustra algumas visualizações do SIAGuarani, tanto do componente GIS como do sistema gerenciador do banco de dados, exemplificando algumas das possíveis consultas às informações existentes.

Nesta publicação encontra-se também um [demonstrativo](#) do componente GIS do sistema piloto de informação disponibilizado através do programa ArcExplorer.

## 7. CONCLUSÕES

O **sistema piloto de informação**, denominado SIAGuarani, é um dos resultados obtidos neste projeto e permitirá auxiliar as atividades de controle ambiental e gestão local, voltadas à proteção da água subterrânea em Ribeirão Preto.

As consultas aos dados do SIAGuarani podem ser efetuadas através do componente **GIS**, que possibilita o acesso a algumas informações alfanuméricas básicas associadas às suas representações espaciais. As consultas mais avançadas das informações alfanuméricas podem ser realizadas através do módulo de consulta ao componente **sistema de gerenciamento de dados**. O componente foi desenvolvido para utilizar duas ferramentas distintas, conforme a necessidade do usuário. A ferramenta mais simples, baseada no software ArcExplorer, foi desenvolvida para atender o trabalho diário de controle ambiental, onde é necessário um instrumento rápido de consulta. Esta ferramenta permitirá apenas a visualização e análises simplificadas dos dados. Para consultas e análises mais complexas foi desenvolvida uma ferramenta para uso no software ArcGis.

Por se tratar de um sistema piloto e abranger apenas o município de Ribeirão Preto, o SIAGuarani foi desenvolvido com limitações técnicas que poderão ser minimizadas à medida que a utilização deste sistema seja consolidada e expandida para outras áreas do Estado. A principal limitação encontrada durante o desenvolvimento do sistema piloto foi a não uniformidade das informações e



muitas vezes, a inexistência de rotinas de verificação da integridade de informações nos bancos de dados de origem, o que obrigou a implantação de rotinas de verificação de consistência dentro do SIAGuarani. Entretanto, os trabalhos realizados para o desenvolvimento deste sistema piloto mostraram a viabilidade técnica de se reunir as informações necessárias (dados alfanuméricos e espaciais) ao gerenciamento ambiental do Aquífero Guarani em uma plataforma que atenda as necessidades dos usuários.

A avaliação das informações organizadas para o sistema piloto de informação e a experiência obtida neste estudo permitiram conhecer as características hidrogeológicas do município de Ribeirão Preto, possibilitando a definição de algumas propostas que podem servir de base para subsidiar futuras discussões na Câmara Técnica de Águas Subterrâneas do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH) para a implantação de diretrizes de proteção da água subterrânea no município de Ribeirão Preto.

Uma das ferramentas propostas para proteção do aquífero, definida com base na legislação existente, é a delimitação de áreas de proteção para os poços tubulares de abastecimento, com o estabelecimento nestas áreas de restrições e controle de uso e ocupação do solo e controle das atividades com potencial de contaminação das águas subterrâneas.

Propõe-se neste estudo que a área de proteção do poço seja subdividida em quatro zonas, com aplicação de restrições mais rígidas nas zonas mais próximas da captação. As zonas de proteção propostas são: Perímetro Imediato de Proteção Sanitária (PIPS), Perímetro de Alerta (PA), Zona Proximal de Restrição e Controle (ZPRC) e Zona Distal de Restrição e Controle (ZDRC).

As duas primeiras zonas são definidas no Decreto Estadual 32.955/91 sendo que neste estudo foi proposto um detalhamento dos critérios de delimitação do Perímetro de Alerta de acordo com o tipo de aquífero explorado. As demais zonas são propostas neste estudo para proteger a captação de eventual contaminação por substâncias mais persistentes.

Foi também elaborada uma proposta sobre as possíveis restrições e controle de uso e ocupação do solo a serem aplicadas em cada uma destas zonas visando subsidiar as discussões futuras para implementação desta ferramenta.

A delimitação de três exemplos de áreas de proteção de poços utilizando os



princípios adotados pelo Estado da Baviera mostrou que podem ser aplicadas metodologias analíticas simplificadas para minimizar os riscos de contaminação das águas subterrâneas nas áreas de proteção de poços, desde que haja informações suficientes para o entendimento do comportamento hidráulico do aquífero.

Entretanto, os critérios do Estado da Baviera de restrição e controle de uso e ocupação do solo para proteção da água subterrânea não podem ser integralmente adotados no Estado de São Paulo. Na nossa situação, visando diminuir os custos de adução os poços tubulares de abastecimento são perfurados em áreas urbanas com fontes potenciais de contaminação, já instaladas.

No Estado da Baviera a exploração da água subterrânea para abastecimento público é feita por captações localizadas em áreas passíveis de serem protegidas, mesmo estando a longas distâncias do centro consumidor, com altos custos de adução.

A avaliação dos dados existentes permitiu traçar o cenário hidrogeológico em Ribeirão Preto e, com base nesta interpretação, delimitou-se duas regiões aqui sugeridas para implantação de áreas de proteção do Aquífero Guarani.

A primeira abrange a área de afloramento do Aquífero Guarani e as suas áreas limítrofes com no mínimo 1 km de largura, que correspondem às áreas onde ocorrem as maiores taxas de recarga. Esta proposta atende as diretrizes estabelecidas no Decreto Estadual nº 32.955/91 e na Deliberação CRH nº 18, de 08/04/1998 sobre áreas de proteção.

As taxas de recarga podem ser superiores a 200 mm/ano nesta porção do município e se concentram nos meses mais chuvosos (Dezembro a Fevereiro), o que justifica a implantação de medidas de proteção nesta área, sugerindo-se a aplicação das mesmas restrições propostas para a "Zona Distal de Restrição e Controle".

A segunda área de proteção proposta atende ao disposto no Decreto Estadual 32.955/91 estabelecendo uma Área de Restrição e Controle na qual deverão ser adotadas medidas restritivas para garantir as características quantitativas e qualitativas da água subterrânea. Esta área proposta abrange parte da área urbana do município e é delimitada pela isolinha de 460 metros definida no mapa



potenciométrico elaborado.

Esta segunda área foi proposta para conter o cone de rebaixamento formado pelo bombeamento dos poços, pois a mudança das relações de fluxo vertical com o Aquífero Serra Geral pode aumentar a vulnerabilidade do Aquífero Guarani, além de aumentar as velocidades de fluxo da água subterrânea. Desta forma, são necessários estudos de maior detalhe para calcular a disponibilidade hídrica do aquífero e estabelecer a capacidade de exploração através dos poços. Sugere-se, portanto, que nessa área sejam implementadas, preventivamente, restrições a novas perfurações até que novos estudos permitam uma melhor delimitação da área.

No entendimento dos autores, os municípios paulistas devem começar a planejar campos de poços em áreas externas ao perímetro urbano, que tenham condições de garantir a qualidade e a quantidade do abastecimento público atual e futuro, tomando medidas para sua proteção, com base em critérios tecnicamente consistentes.

Este projeto, além de estruturar um sistema de informações com sistematização e organização de dados de diversas instituições, apresenta propostas para a proteção da água subterrânea, que podem ser a base para uma discussão mais ampla sobre a implantação de estratégias para a proteção e o gerenciamento ambiental do Aquífero Guarani no município de Ribeirão Preto, e que também possam ser aplicadas a outras regiões do Estado que exploram o recurso hídrico subterrâneo.

O sistema piloto de informação, denominado de SIAGuarani, é um dos resultados obtidos neste projeto e permitirá auxiliar às atividades de controle ambiental e gestão local, voltadas à proteção da água subterrânea em Ribeirão Preto.

As consultas aos dados do SIAGuarani podem ser efetuadas através do componente GIS, que possibilita o acesso a algumas informações alfanuméricas básicas associadas às representações espaciais. As consultas mais avançadas das informações alfanuméricas podem ser realizadas através do módulo de consulta ao componente sistema de gerenciamento de dados. O componente foi desenvolvido para utilizar duas ferramentas distintas, conforme a necessidade do usuário. A ferramenta mais simples, baseada no software ArcExplorer, foi



desenvolvida para atender o trabalho diário de controle ambiental, onde é necessário um instrumento rápido de consulta. Esta ferramenta permitirá apenas a visualização e análises simplificadas dos dados. Para consultas e análises mais complexas foi desenvolvida uma ferramenta para uso no software ArcGis

Por se tratar de um sistema piloto e abranger apenas o município de Ribeirão Preto, o SIAGuarani foi desenvolvido com limitações técnicas que poderão ser melhoradas na medida que a utilização deste sistema seja consolidada expandida para outras áreas. A principal limitação encontrada durante o desenvolvimento do sistema piloto foi a não uniformidade das informações e muitas vezes, a inexistência de rotinas de verificação da integridade de informações nos bancos de dados de origem, o que obrigou a implantação de rotinas de verificação de consistência dentro do SIAGuarani. Entretanto, os trabalhos realizados para o desenvolvimento deste sistema piloto mostraram a viabilidade técnica de se reunir as informações necessárias (dados alfanuméricos e espaciais) ao gerenciamento ambiental do Aquífero Guarani em uma plataforma que atenda as necessidades dos usuários.

A avaliação das informações organizadas para o sistema piloto de informação e a experiência obtida neste estudo permitiram conhecer as características hidrogeológicas do município de Ribeirão Preto, possibilitando a definição de algumas propostas que podem servir de base para subsidiar futuras discussões da na Câmara Técnica de Águas Subterrâneas do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH) para a implantação de diretrizes de proteção da água subterrânea no município de Ribeirão Preto.

Uma das ferramentas propostas, definida com base na legislação existente, é a delimitação de áreas de proteção para os poços de abastecimento, com o estabelecimento de restrições e controle das atividades e dos tipos de uso do solo com potencial de contaminação do aquífero e controle das atividades nestas áreas. Propõe-se neste estudo que a área de proteção do poço seja subdividida em quatro zonas, com aplicação de restrições mais rígidas nas zonas mais próximas da captação. As zonas de proteção propostas são: Perímetro Imediato de Proteção Sanitária (PIPS), Perímetro de Alerta (PA), Zona Proximal de Restrição e Controle (ZPRC) e Zona Distal de Restrição e Controle (ZDRC). As duas primeiras zonas são definidas no Decreto Estadual 32.955/91 sendo que



neste estudo propõe-se um detalhamento dos critérios de delimitação do Perímetro de Alerta de acordo com o tipo de aquífero explorado. As demais zonas são propostas neste estudo para proteger a captação de eventual contaminação por substâncias mais persistentes. Uma proposta de restrições de atividades a serem aplicadas a estas zonas foi elaborada neste estudo para auxiliar as discussões futuras.

A delimitação de três exemplos de áreas de proteção de poços utilizando os princípios adotados pelo Estado da Baviera mostrou que podem ser aplicadas metodologias analíticas simplificadas para garantir a confiabilidade da área de contribuição delimitada para a captação, desde que haja informações suficientes para o entendimento do comportamento hidráulico do aquífero. Entretanto, os princípios de exploração da água subterrânea adotados no Estado da Baviera não podem ser integralmente adotados, pois no cenário atual do Estado de São Paulo, muitos poços encontram-se perfurados dentro, ou muito próximos, às áreas urbanas para diminuir os custos de adução. Já no Estado da Baviera a exploração da água subterrânea é prioritariamente para o abastecimento público, sendo que as captações são, sempre que possível, localizadas em áreas passíveis de serem protegidas, mesmo estando a longas distâncias com altos custos de adução devidos à longa distância do centro consumidor, pois a prioridade é a proteção e a manutenção da qualidade da água. Desta forma, no Estado de São Paulo, encontra-se hoje um cenário muito distinto da realidade da Baviera, sendo que a implantação de áreas de proteção deve considerar as atividades já implantadas.

A avaliação dos dados existentes permitiu traçar o cenário hidrogeológico em Ribeirão Preto e, com base nesta interpretação, delimitou-se duas regiões aqui sugeridas para implantação de áreas de proteção do Aquífero Guarani.

A primeira abrange a área de afloramento do Aquífero Guarani com uma faixa externa adicional de 1 km. Esta proposta vem de encontro com as diretrizes estabelecidas no Decreto Estadual nº 32.955/91 e na Deliberação CRH nº 18, de 08/04/1998 sobre áreas de proteção. Esta região foi definida como proposta de área de proteção, pois segundo a avaliação realizada neste estudo, as maiores taxas de recarga ocorrem na área aflorante do Aquífero Guarani e nas áreas recobertas pelos sedimentos cenozóicos inconsolidados. As taxas de recarga



podem ser superiores a 200 mm/ano nesta porção do município e se concentram nos meses mais chuvosos (Dezembro a Fevereiro), o que justifica a implantação de medidas de proteção nesta área, sugerindo-se a aplicação das mesmas restrições propostas para a "Zona Distal de Restrição e Controle".

A segunda proposta de área de proteção atende ao disposto no Decreto Estadual 32.955/91 estabelecendo uma Área de Restrição e Controle na qual deverão ser adotadas medidas restritivas para garantir as características quantitativas e qualitativas da água subterrânea. Esta área proposta abrange parte da área urbana do município e é delimitada pela isolinha de 460 metros definida no mapa potenciométrico elaborado.

Esta segunda área foi proposta para conter o do cone de rebaixamento formado pelo bombeamento dos poços, pois a mudança das relações de fluxo vertical com o Aquífero Serra Geral pode aumentar a vulnerabilidade do Aquífero Guarani, além de aumentar as velocidades de fluxo da água subterrânea. Desta forma, são necessários estudos de maior detalhe para calcular a disponibilidade hídrica do aquífero para dimensionar a capacidade de exploração através dos poços. Sugere-se, portanto, que nessa área sejam implementadas, preventivamente, restrições a novas perfurações até novos estudos, de maior detalhe que permitam uma melhor delimitação da área.

No entendimento dos autores, os municípios paulistas devem começar a planejar campos de poços em áreas externas ao perímetro urbano, que tenham condições de garantir a qualidade e a quantidade do abastecimento público atual e futuro, tomando medidas para sua proteção, com base em critérios tecnicamente consistentes.

Os resultados deste projeto além de estruturar um sistema de informações sistematizando e organizando dados de diversas instituições tiveram o mérito de estabelecer proposta de princípios e conceitos, especialmente as propostas para a proteção da água subterrânea, que podem ser a base para uma discussão mais ampla sobre a implantação de estratégias para a proteção e o gerenciamento ambiental do Aquífero Guarani, não somente em Ribeirão Preto, mas também em outras regiões do Estado que exploram águas subterrâneas.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, B. & FOSTER, S. S. D. 1992. Land-surface zoning for groundwater protection. *Journal of Inst. of Water and Environ. Management*, 6 (3): 312 - 320.
- ARAÚJO, L. M.; FRANÇA, A. B.; POTTER, P. E. 1999. Hidrogeology of the Mercosul aquifer system in the Paraná and Chaco-Paraná Basins, South America and comparison with the Navajo - Nugget aquifer system, USA. *Hydrogeology Journal*, v. 7, n. 3, p. 317-336.
- BOULDING, J. R. 1995. *Practical handbook of soil, vadose zone and ground water contamination: assessment, prevention and remediation*. Lewis Publishers, Flórida, EUA. 968 p.
- CASARINI, D. C. P. & OKANO, O. 1999. Gerenciamento da qualidade: controle e monitoramento. In: Seminário Gestão do Aquífero Guarani, Ribeirão Preto. *Resumos*, São Paulo: SMA. 1 p.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. 1997 *Uso das águas subterrâneas para abastecimento público no Estado de São Paulo*. CETESB, São Paulo. 48 p.
- CETESB (2001): *Relatórios de Qualidade Ambiental 2000*. Secretaria do Meio Ambiente, SP, (CD-ROM).
- CONTIN NETO, D. 1987. Balanço hídrico em bacia hidrográfica situada em região de recarga do aquífero Botucatu.- (*Tese de Doutorado*) Escola de Engenharia de São Carlos, USP.
- DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo. 2001. *SIDAS - Sistema de Águas Subterrâneas. Dados até 2001*. CD-ROM fornecido por DAEE.
- DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1977. *Estudo de águas subterrâneas. Região Administrativa 3 - São José dos Campos*. DAEE, São Paulo, 5 v.
- DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica 1974. *Estudo de águas subterrâneas - Região Administrativa 6.- Ribeirão Preto*. DAEE, São Paulo, 1974, 2 v.
- DAVINO, A., SINELLI, O. & SOUZA, A. 1980. Gravimetria, sondagem elétrica e perfilagens geofísicas - Pesquisa de água subterrânea em Ribeirão Preto, S. P. *Anais XXXI Cong. Bras. Geol.*, Santa Catarina, V.2: 904 - 914.
- DAVINO, A., SINELLI, O., SOUZA, A. & TEIXEIRA, J. 1982. Diabásios na região nordeste da Bacia do Paraná. *Anais XXXII Cong. Bras. Geol.*, Salvador, V.4: 1736 - 1744.
- DELIN, G. N. & ALMENDINGER, J. E. 1993. Delineation of recharge areas for selected wells in the St. Peter-Prairie du Chien-Jordan aquifer, Rochester, Minnesota. U. S. Geological Survey, *Water Supply Paper* 2397. 39 p.
- DNPM Departamento Nacional de Produção Mineral 1998. *Portaria nº 231, de 31 de julho de 1998*. Diário Oficial da União de 07/08/98, 4 p.



- DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches. 1995. *Code of Practice for Drinking Water Protective Areas. Part 1: Protective Areas for Groundwater*. DVGW – Arbeitsblatt W101, Bonn (translation to English).
- FILI, M., DA ROSA FILHO, E.F., AUGÉ, M., MONTANO XAVIER, J. & TUJCHNEIDER, O. 1998. El Acuífero Guarani. Un Recurso compartido por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay (America del Sur). *Bolétin Geológico y Minero*, Vol. 109-4: 389 – 394.
- FIPAI 1995. Relatório técnico do projeto de gestão de qualidade de águas subterrâneas. Resultados.- Volume I.- DAERP Departamento de água e esgotos de Ribeirão Preto, *Relatório Técnico*, São Carlos.
- FIPAI 1996a. Relatório técnico do projeto de gestão de quantidade de águas subterrâneas. Resultados.- DAERP Departamento de água e esgotos de Ribeirão Preto, *Relatório Técnico*, São Carlos 16 de Junho de 1996.
- FIPAI 1996b. Diagnóstico da recarga e das reservas de água subterrânea no município de Ribeirão Preto. *Relatório Técnico*, São Carlos 04 de Julho de 1996.
- FOSTER, S. S. D. & HIRATA, R. 1991. *Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Una metodología basada en datos existentes*. CEPIS/OPAS, Lima, Peru. 2ª ed (revisada). 81 p.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. 2002. *Groundwater quality protection. A guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies*. Groundwater Management Advisory Team (GW-MATE), The World Bank, Washington, 103 p.
- GERMAN GEOLOGICAL SURVEYS, STATE GOVERNMENT COMMITTEE ON PEDOLOGICAL RESEARCH, FEDERAL INSTITUTE FOR GEOSCIENCES AND NATURAL RESOURCES 1993. *Concept for the Determination of the Groundwater Pollution Vulnerability*. Translated by Feder. Inst. f. Geosciences and Nat. Resources, Hannover, July 1994.
- GUALDI, O. J. 1999. Caracterização do Sistema Aquífero Guarani. In: Seminário Gestão do Aquífero Guarani, Ribeirão Preto. *Resumos*, São Paulo: SMA. 2 p.
- GUIDO, M. 2004. Grundwasserbewirtschaftung mittels eines dreidimensionalen numerischen Grundwassermodells im Raum Ribeirão Preto. *Diplomarbeit im Fachgebiet Hydrogeologie*, Technische Universität Berlin ([www.hydrogeologie.tu-berlin.de](http://www.hydrogeologie.tu-berlin.de))
- HIRATA, R.; BASTOS, C. R.; ROCHA, G.; IRITANI, M. A.; GOMES, D. 1991. Groundwater pollution risk vulnerability map of the Sao Paulo State - Brazil. *Wat. Sci. Tecn.*, 24: 236 - 246.
- HIRATA, R. C. A. 1994. Fundamentos e estratégias de proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas: estudo de casos no Estado de São Paulo. *Tese de doutorado em hidrogeologia*. Instituto de Geociências/Universidade de São Paulo. 195 p.
- HÖLTING, B., HAERTLÉ, TH., HOHBERGER, K.-H., NACHTIGALL, K.H., VILLINGER, E., WEINZIERL, W. & WROBEL, J.-P. 1995. Konzept zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. *Geol. Jb.*, C 63, 5 – 24, Hannover.



- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS 1981. *Mapa geológico do Estado de São Paulo (1:500.000)*.- São Paul. PT, 2 V.
- IGG - INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO 1974. *Mapa geológico do Estado de São Paulo 1:1.000.000*. Secretaria de Estado dos Negócios da Agricultura Cordenadoria da Pesquisa de Recursos Naturais (SP).
- INSTITUTO GEOLÓGICO/COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL/ DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (IG/CETESB/DAEE). 1997. *Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo*. IG, CETESB, DAEE. São Paulo, 2 volumes.
- IG - INSTITUTO GEOLÓGICO. 1990. *Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do município de Sorocaba (SP)*. Programa Cartas Geológicas e Geotécnicas para o Planejamento Ambiental na Região entre Sorocaba e Campinas. IG, São Paulo. 2 v.
- IG - INSTITUTO GEOLÓGICO. 1991. *Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do município de Itu (SP)*. Programa Cartas Geológicas e Geotécnicas para o Planejamento Ambiental na Região entre Sorocaba e Campinas. IG, São Paulo. 3 v.
- IG - INSTITUTO GEOLÓGICO. 1993. *Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do município de Campinas (SP)*. Programa Cartas Geológicas e Geotécnicas para o Planejamento Ambiental na Região entre Sorocaba e Campinas. IG, São Paulo. 3 v.
- IG - INSTITUTO GEOLÓGICO. 1995. *Subsídios para o planejamento regional e urbano domeio físico na porção média da bacia do rio Piracicaba, SP*. IG, São Paulo. 4 v.
- IRITANI, M. A. 1998. Modelação matemática tridimensional para a proteção das captações de água subterrânea. Tese de doutorado em hidrogeologia. Instituto de Geociências/Universidade de São Paulo. 200 p.
- IRITANI, M. A.; HASSUDA, S.; ODA, G. H.; FERREIRA, L. M. R.; TEIXEIRA, A. L.; NEGRI, F. A.; AZEVEDO S<sup>o</sup>., J. M.; GARDA, G. M. 1998. Delimitação da área de recarga de fontes em aquífero fraturado. In: Cong. Bras. Águas Subterrâneas, 10, São Paulo. *Anais...* ABAS, São Paulo.
- LERNER, D. N. 1992. Well catchments and time-of-travel zones in aquifers with recharge. *Water Resources Research*, 28 (10): 2621 - 2628.
- McDONALD, M. G. & HARBAUGH, A. W. 1988. *A modular three dimensional finite-difference ground-water flow model*. Techniques of Water-Resources Investigations of U. S. Geological Survey, 06-A1, USGS, Washington, EUA. 576 p.
- MARGAT, J. 1989. Défense et illustration des eaux souterraines en Europe. *Hydrogéologie* (2):75-91.
- MONTEIRO, R. C. 2003. Estimativa espaço-temporal da superfície potenciométrica do Sistema Aquífero Guarani na cidade de Ribeirão Preto (SP), Brasil. *Tese de Doutorado*. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, 212 p.



- MONTENEGRO, A. 1990. Modelação matemática do manancial subterrâneo de Ribeirão Preto, SP. *Dissertação de Mestrado*. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Paulo.
- MONTENEGRO, A. A., RIGHETTO, A.M. & SINELLI, O. 1988. Modelação do manancial subterrâneo de Ribeirão Preto. *Anais 5º Cong. Bras. Ag. Subt*, ABAS, São Paulo: 32 - 41.
- OLIVEIRA, J.B. & PRADO, H. 1987. Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de Ribeirão Preto. II. Memorial Descritivo. *Bol. Cient. Inst. Agron.*, Campinas, SP, n. 7.
- REBOUÇAS, A.C. 1998. Desenvolvimento das águas subterrâneas no Brasil. Cong. Bras. Águas Subterrâneas, 10, São Paulo. *Anais...* ABAS, São Paulo. (CD-ROM).
- ROCHA, G.A. 1997. O grande manancial do Cone Sul. *Revista do Instituto de Estudos Avançados*, v. 11, n. 30, p. 191-212.
- SÃO PAULO. CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. 1990. *Plano estadual de recursos hídricos. Primeiro plano do Estado de São Paulo - 1990*. São Paulo, DAEE, 137 p.
- SCHEFFER, P. & SCHACHTSCHABEL, P. 1984. *Lehrbuch der Bodenkunde*, 11. Aufl.- 442 S. (Stuttgart, Enke).
- SCHLEYER, R.; MILDE, G.; MILDE, K. 1992. Wellhead protection zones in Germany: delineation, research and management. *Journal of Institution of Water and Environmental Management*, 6 (3): 303 - 311.
- SCHULER, G. 2002. Information System of Groundwater Resources Environmental Management in the Outcrop of the Guarani Aquifer in the São Paulo State, Brazil. Final Report of the Project Part Drinking Water Protection Areas. *Report*, LfW, Baviera, 33 p.
- SILVA, R.B.G. 1983. Estudo Hidroquímico e Isotópico das Águas Subterrâneas do aquífero Botucatu no Estado de São Paulo. (*Tese de Doutorado*), Instituto de Geociências., USP, São Paulo.
- SINELLI, O. 1971a. Água subterrânea no município de Ribeirão Preto. *Anais XXV Cong. Bras. Geol.*, São Paulo, Vol. 2: 17 - 34.
- SINELLI, O. 1971b. Considerações gerais sobre a tectônica no município de Ribeirão Preto. *Anais XXV Cong. Bras. Geol.*, São Paulo, Vol. 2: 145 - 151.
- SINELLI, O. (coord.) 1973. *Mapa geológico do nordeste do Estado de São Paulo. Escala 1:50.000 - Folhas de Serrana, Ribeirão Preto, Cravinhos e Bonfim Paulista*. Convênio CNEC/FFCL- Ribeirão Preto-USP.
- SINELLI, O. 1974. Vulnerabilidade dos aquíferos subterrâneos na região NNE do Estado de São Paulo. *Anais XXVIII Cong. Bras. Geol.*: 89 - 98.
- SINELLI, O. 1984. Análise do nível piezométrico nos últimos 50 anos no município de Ribeirão Preto, SP. *Anais 3º. Cong. Bras. Ag. Subt.*, ABAS, Fortaleza: 450 - 464.
- SINELLI, O. & WERNICK, E. 1970. Análise estrutural geomorfológica. *Notícias Geomorfol.* Campinas S.P., 10 (20): 39 - 54.



- SINELLI, O. & GALLO, G. 1980. Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas na região de Ribeirão Preto, S.P. *Revista Bras. Geociências*, Vol. 10: 129 – 140.
- SINELLI, O., DAVINO, A., SOUZA, A., GONÇALVES, N.M.M. & TEIXEIRA, J. 1980. Hidrogeologia da Região de Ribeirão Preto (S.P.). *Anais 1º Cong. Bras. Aguas Subterr.*, ABAS, Recife: 319 – 335.
- SINELLI, O., AVELAR, W., LOPES, J. & ROZELLI, M. 1988. Impacto ambiental nas águas subterrâneas da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (SP)-Lixões e pesticidas. *Anais 5º Cong. Bras. Aguas Subterr.*, São Paulo: 247 – 255.
- SOARES, P.C., SINELLI, O., PENALVA, F., WERNICK, E., SOUZA, A. & CASTRO, P.R.M. 1973. Geologia do Nordeste do Estado de São Paulo. *Anais XXVII Cong. Bras. Geol.*, 1:209 – 236.
- TEISSEDRE, J. M.; SANCHES, J. L.; LOPES, M. F. C. 1982. Geometria e condições de exploração do Aquífero Botucatu no Estado de São Paulo. *Anais 2º Cong. Bras. Águas Subterrâneas*, Salvador: 53 – 63.
- TODD, D. K. 1959. *Ground water hydrology*. John Wiley & Sons, Inc., Nova York, EUA. 336 p.
- USEPA - U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1987. *Guidelines for delineation of wellhead protection areas*. USEPA, Office of Water, Washington, EUA, EPA-440/5-93-001. 204 p.
- USEPA - U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1991. *Delineation of wellhead protection areas in fractured rocks*. USEPA, Office of Water, Washington, EUA, EPA 570/9-91-009. 144 p.
- USEPA - U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1994. *Ground water and wellhead protection. Handbook*. USEPA, Office of Research and Development, Washington, EUA, EPA/625/R-94/001. 269 p.
- WITTEN, J.; HORSLEY, S.; SANJAY, J.; FLANAGAN, E. K. 1995. *A guide to wellhead protection*. EPA/APA, EUA, 103 p.
- ZUQUETTE, L.V., PEJON, O.J., SINELLI, O. & GANDOLFI, N. 1993. Carta do Potencial de Risco à contaminação das Águas Subterrâneas e do Potencial Agrícola, Região de Ribeirão Preto, SP, Brasil. *Geociências*, São Paulo, 12 (2): 531 – 540.
- ZUQUETTE, L.V., PEJON, O.J., SINELLI, O. & GANDOLFI, N. 1995. Carta de Zoneamento Geotécnico Específico para Disposição de Resíduos da Região de Ribeirão Preto – SP. *Anais III Símpos. Sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos, Regeo'95, Ouro Preto/MG, Vol. II* : 535 – 548.