

Marcelo Eduardo Cavicchia

**DESENVOLVIMENTO DE MODELO NUMÉRICO PARA
GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS
SUBTERRÂNEOS NA ÁREA DO PROJETO PILOTO DE
RIBEIRÃO PRETO**

**Dissertação apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade
de São Paulo, como parte dos requisitos
para obtenção do Título de Mestre em
Engenharia Civil (Hidráulica e
Saneamento)**

Orientador: Prof. Doutor Edson Cezar Wendland

**São Carlos
(2007)**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Dedico este trabalho aos meus pais Luiz Roberto Cavicchia e Neide Ayub Cavicchia, e aos meus avós (em memória) Olga Cavicchia, Caetano Cavicchia, Youssef Ayub e Talge Maluf Ayub, exemplos de força, sabedoria e generosidade, pessoas a quem devo tudo.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Edson Wendland, pela grande colaboração, apoio e presteza na orientação deste trabalho, e pela amizade constituída.

Ao CNPq e à FAPESP, pelo apoio financeiro.

Aos funcionários do SHS, em especial a Sá, Pavi, Rose, Fernanda e Flávia pelo ótimo apoio técnico.

À Diretoria do comitê da Bacia CBH – PARDO, pela colaboração no acesso e levantamento de dados.

Ao Geólogo Heraldo Campos que, no papel de Facilitador Local do Projeto Piloto de Ribeirão Preto, foi de inestimável ajuda na obtenção de dados e apoio técnico.

Aos pesquisadores do IG, pelo apoio técnico e ótima recepção nessa instituição, em especial a Mara Iritani.

Aos colegas de LHC, em especial a Jorge, Quaresma, Rogério (Kid), Carlos, Anderson, Mariano, Luis, Fábio, Francisco, Patrick e Vinícius e Luiz Henrique, pela profunda troca de conhecimento, ajuda no desenvolvimento do projeto e, principalmente, pela ótima amizade.

Aos meus companheiros e amigos de república, irmãos que eu não tive, pela amizade, apoio técnico e psicológico, ótima convivência e intenso companheirismo: Serginho, Hugo, Tiago, Rapha, Léo (também pela ajuda tecnológica) e Guilherme (também pela ajuda no processamento de dados).

Aos meus familiares e amigos, que me apoiaram, incentivaram, emprestaram forças, ou simplesmente foram compreensíveis quando eu não pude estar presente:

Luiz, Neide, Chris, Neusa, Talginha, Filó e Walter, Malaque e Anízio, Airton, Fê, Má, Tony, Dé e Val, Marcos (branco), Maurício (bocão), Carlos (piá), João (Jones) e Bruno (UZT).

RESUMO

Cavicchia, Marcelo Eduardo (2007). *Desenvolvimento de modelo numérico para gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos na área do Projeto Piloto de Ribeirão Preto*. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

Este projeto apresenta a construção de um modelo numérico do Sistema Aquífero Guarani pelo Método de Elementos Finitos para auxiliar o gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos na área do Projeto Piloto de Ribeirão Preto, localizada na região nordeste do Estado de São Paulo. Dados topográficos, hidrológicos e hidrogeológicos da região de interesse foram obtidos principalmente de mapas (impressos e digitais) e poços cadastrados junto a órgãos governamentais, em cooperação com o Grupo Coordenador do Projeto Piloto de Ribeirão Preto. Os dados levantados foram armazenados, processados e analisados utilizando ferramenta SIG, seguida da geração de mapas interpolados com características hidrogeológicas. Esses dados foram transferidos para o *software* de simulação SPA, onde se deu a construção da malha de elementos finitos e a atribuição dos parâmetros e condições de contorno ao modelo. Em seguida, foi feita uma análise de sensibilidade do modelo, e testadas algumas configurações de parâmetros hidrogeológicos e de taxas de recarga. O modelo apresentou bons resultados e desempenho, e, como parte de uma constante evolução, são propostas visitas de campo para verificação de dados para o seguimento desse projeto.

Palavras-chave: Aquífero Guarani; modelo numérico, Projeto Piloto de Ribeirão Preto

ABSTRACT

Cavicchia, Marcelo Eduardo (2007). *Numerical model for ground water management in the Ribeirão Preto Pilot Project area*. Master's Degree Dissertation – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

This work presents a numerical model for the Guarani Aquifer System management in the Ribeirão Preto Pilot Project area, located in the Northeast of São Paulo State. Topographical, hydrological and hydrogeological data of the region were obtained from printed and digital maps and well database recorded in governmental departments, in cooperation with the Ribeirão Preto Coordinating Group of the Pilot Project. The collected data were stored, processed and analyzed making use of GIS tool, followed by the generation of interpolated maps with hydrogeological parameters. These data were transferred to the SPA simulation software, which is based on the Finite Element Method. After mesh construction, and attribution of parameters and boundary conditions, a sensitivity analysis of the model was performed. Different hydrogeological parameter configurations were tested. The model proved to represent the established conceptual model adequately. However base flow data and field visits are necessary, in order to improve the model representativity.

Key words: Guarani Aquifer; Numerical Models; Ribeirão Preto Pilot Project.

Sumário

RESUMO	5
ABSTRACT	6
1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 SISTEMA AQÜÍFERO GUARANI	18
3.1.1 VISÃO GERAL	18
3.1.2 GEOLOGIA	22
3.1.3 ESTRUTURAS DE COMPARTIMENTAÇÃO	24
3.1.4 HIDROGEOLOGIA	25
3.1.5 CLIMA	26
3.1.6 DISPONIBILIDADE HÍDRICA	26
3.1.7 ÁREAS DE SUPEREXPLORAÇÃO	27
3.2 MODELAGEM	28
3.2.1 FÍSICO	29
3.2.2 MATEMÁTICO	29
3.3 INCERTEZA NOS MODELOS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	31
3.4 SOFTWARES DE SIMULAÇÃO	32
4 METODOLOGIA	34
4.1 ÁREA DE ESTUDO	34
4.1.1 PROJETO PILOTO DE RIBEIRÃO PRETO	34
4.1.2 LIMITES DA ÁREA DE ESTUDO	37
4.1.3 GEOLOGIA	38
4.1.4 HIDROGEOLOGIA	43
4.1.5 CAMADAS CONFINANTES E SEMICONFINANTES	46
4.1.6 PARÂMETROS HIDROGEOLÓGICOS	48
4.1.7 FLUXO SUBTERRÂNEO	50
4.1.8 SITUAÇÃO EM RIBEIRÃO PRETO	51
4.2 MODELO CONCEITUAL	55
4.2.1 UNIDADE HIDROESTRATIGRÁFICA	55
4.2.2 RECARGA	56
4.2.3 FLUXO	56
4.3 OBTENÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS EM SIG	57
4.3.1 OBTENÇÃO DE DADOS	58
4.3.1.1 Dados topográficos e superficiais da região	58
4.3.1.2 Dados geológicos subterrâneos	59
4.3.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS EM SIG	61
4.3.2.1 Geologia	61
4.3.2.2 Área de afloramento	67
4.3.2.3 Altimetria	68
4.3.2.4 Hidrografia	70
4.3.2.5 Potenciometria	72
4.3.2.6 Poços em operação	74
4.3.2.7 Perfis hidrogeológicos	75
4.4 MODELO NUMÉRICO	79

4.4.1	FUNCIONAMENTO DO SPA	79
4.4.2	TIPOS DE DADOS	81
4.4.2.1	Estruturas	82
4.4.2.2	Contornos	83
4.4.3	MALHA DE ELEMENTOS FINITOS	85
4.4.4	PARÂMETROS HIDROGEOLÓGICOS	88
4.4.5	TAXA DE RECARGA E CONDIÇÕES DE CONTORNO	89
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	92
5.1	AJUSTE DO MODELO NUMÉRICO	92
5.1.1	RIO PARDO E RIBEIRÃO DO TAMANDUÁ	93
5.1.2	RIOS NO AFLORAMENTO E DESCARGA REGIONAL LATERAL	94
5.1.3	POÇOS EM RIBEIRÃO PRETO	97
5.1.4	RIBEIRÃO DO ONÇA E TRECHOS DE RIOS EM RIBEIRÃO PRETO	99
5.2	RESULTADOS	103
6	CONCLUSÃO	112

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma da metodologia adotada neste estudo	17
Figura 2: Mapa esquemático do Aquífero Guarani (SG-SAG, 2006).....	19
Figura 3: Áreas do SAG favoráveis à ocorrência de águas termais acima de 38°C (mancha azul). A mancha na região central do mapa delimita área com temperatura superior a 60°C. Mapa base adaptado de FORLIN E ROSA FILHO (2001) <i>apud</i> CHANG, 2001.	21
Figura 4: Visão esquemática da geologia do SAG.....	23
Figura 5: Estratigrafia e sistema de fluxo entre seções geológicas do Sistema Aquífero Guarani na região de Ribeirão Preto (SMA, 2004).....	24
Figura 6: Marco estrutural da Bacia do Paraná com as três direções principais: NW, NE e EW de elementos tectônicos lineares (modificado ZALÁN <i>ET AL.</i> , 1990).....	25
Figura 7: Área do Projeto Piloto de Ribeirão Preto (SMA/São Paulo & StMUGV/Baviera, 2004).....	35
Figura 8: Articulação das folhas 1:50.000 na área da UGRHI – 4.....	36
Figura 9: Nível de criticidade das sub-bacias da UGRHI 4 – Pardo	37
Figura 10: Nova área de estudo	38
Figura 11: Geologia de superfície da área de estudo (IPT, 2000)	40
Figura 12: Geologia e corte da região de estudo.....	40
Figura 13: Modelo hidrogeológico (KULLS, 2003 <i>apud</i> SMA/São Paulo & StMUGV/Baviera, 2004).....	45
Figura 14: Esquema dos principais meios de circulação nos derrames basálticos de Ribeirão Preto (FERNANDES <i>ET AL.</i> , 2006).....	48
Figura 15: Evolução do nível piezométrico no município de Ribeirão Preto (GUIDO, 2004)	53
Figura 16: Área de restrição e controle temporário no município de Ribeirão Preto (SMA/São Paulo & StMUGV/Baviera, 2004)	54
Figura 17: Poços contendo informações sobre topo do Aquífero Guarani (m.s.n.m)	62

Figura 18: Superfície do topo do Aquífero Guarani (m.s.n.m.)	63
Figura 19: Topo do Aquífero Guarani no SPA (m.s.n.m)	64
Figura 20: Isópacas dos sedimentos do Aquífero Guarani (DAEE/IG/IPT/CPRM, 2005)	65
Figura 21: Pontos com dados de base da Formação Botucatu (m.s.n.m)	66
Figura 22: Base do Aquífero Guarani (m.s.n.m) no SPA	67
Figura 23: Área de afloramento do SAG	68
Figura 24: Topografia e hidrografia da região de estudo (m.s.n.m.)...	69
Figura 25: Altimetria no SPA (m.s.n.m)	70
Figura 26: Hidrografia da área de estudo	71
Figura 27: Pontos de carga hidráulica conhecida (m.s.n.m)	72
Figura 28: Potenciometria – poços até a década de 50 (m.s.n.m)	73
Figura 29: Isopotenciais do SAG, traçadas manualmente – década de 50 (m.s.n.m).....	74
Figura 30: Municípios e distribuição dos poços em operação na área de estudo	75
Figura 31: Seções Hidrogeológicas	76
Figura 32: Perfil hidrogeológico do corte A-B	77
Figura 33: Perfil hidrogeológico do corte C-D	77
Figura 34: Perfil hidrogeológico do corte A-B	78
Figura 35: Fluxograma de dados através dos módulos do SPA	80
Figura 36: Contornos internos e externo.....	84
Figura 37: Detalhe dos contornos na área urbana de Ribeirão Preto ..	85
Figura 38: Malha de Elementos Finitos	87
Figura 39: Detalhe da malha e contornos na área urbana de Ribeirão Preto	88
Figura 40: Cargas hidráulicas do Rio Pardo e do Ribeirão do Tamandúá (m.s.n.m).....	93
Figura 41: Diferença entre cota do terreno e nível potenciométrico do SAG (m) – configuração 1.....	94

Figura 42: Carga hidráulica dos rios da região aflorante (m.s.n.m) e descarga regional lateral.....	95
Figura 43: Diferença entre cota do terreno e nível potenciométrico SAG (m) – configuração 2.....	96
Figura 44: Carga hidráulica dos rios da região aflorante (m.s.n.m), descarga regional lateral e poços (m ³ /ano) em Ribeirão Preto até a década de 50	98
Figura 45: Diferença entre cota do terreno e nível potenciométrico do SAG (m) – configuração 3	99
Figura 46: Carga hidráulica dos rios (m.s.n.m), descarga regional lateral e vazão em poços (m ³ /ano) em Ribeirão Preto	100
Figura 47: Diferença entre cota do terreno e nível potenciométrico do SAG (m) – configuração 4	101
Figura 48: Diferença entre cota do terreno e nível potenciométrico do SAG (m) para a região de Ribeirão Preto– configuração 4	102
Figura 49: Reações nos rios	104
Figura 50: Isolinhas de potencimetria do SAG (m.s.n.m).	105
Figura 51: Superfície potenciométrica (m.s.n.m.).	106
Figura 52: Superfície potenciométrica para valores de 425 mm/a de recarga direta e 20 mm/a para recarga indireta (m.s.n.m.). .	107
Figura 53: Esquema de fluxo em zonas de transição entre a Formação Serra Geral e a Formação Botucatu (corte longitudinal no leito do rio)	108
Figura 54: Afloramento do Aquífero Guarani e cursos d’água	109
Figura 55: Isolinhas para recarga indireta do SAG de 0,1 mm/a.	111
Figura 56: Separação em <i>layers</i>	123
Figura 57: Adicionando dados do AutoCAD.....	124
Figura 58: Separação das estruturas	125
Figura 59: Exportação de dados vetoriais para <i>shapefiles</i>	126
Figura 60: Estruturas passadas do AutoCAD para o ArcMap.....	127
Figura 61: Informações para interpolação.....	128
Figura 62: Janela <i>Reclassify</i>	129

Figura 63: Raster para Pontos	130
Figura 64: Janela para extração de valores do <i>raster</i> para a <i>shapefile</i> pontos	131
Figura 65: Janela para adição de campos	132
Figura 66: Cálculo das coordenadas X e <i>Help</i>	133
Figura 67: Cálculo das coordenadas Y	134
Figura 68: Inserção dos valores para cada ponto.....	135
Figura 69: Formato final da tabela de atributos.....	136

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo das características geométricas e hidráulicas dos aquíferos presentes na UGRHI 4 (adaptado de IPT, 2000).....	49
Tabela 2: Valores de parâmetros hidrodinâmicos do SAG	50
Tabela 3: Dados utilizados no modelo numérico	82
Tabela 4: Poços em funcionamento em Ribeirão Preto até a década de 50 (adaptado de SIAGAS, 2006)	97

LISTA DE SIGLAS

ASG – Aquífero Serra Geral

CMA – Construtor de Modelos de Aquíferos (módulo do SPA)

DEM – Digital Elevation Model

FAS – Fluxo de Águas Subterrâneas (módulo do SPA)

GIA – Gerador de Imagens de Aquíferos (módulo do SPA)

PSAG – Projeto Sistema Aquífero Guarani

SAG – Sistema Aquífero Guarani

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SPA – Simulação de Processos em Aquíferos (pacote computacional)

TP – Transporte de Poluentes (módulo do SPA)

VMA – Verificador de Modelos de Aquíferos (módulo do SPA)

VPA – Visualizador de Processos em Aquíferos (módulo do SPA)

1 INTRODUÇÃO

A partir da década de 50, tem sido atribuído aos reservatórios hídricos subterrâneos, em todo o mundo, um papel de destaque, por serem, cada vez mais, um meio de acelerar o desenvolvimento econômico e social, devido, principalmente, ao mau uso e à deposição de poluentes nos corpos d'água superficiais, bem como à sua inexistência em regiões mais secas.

Nesse contexto, o Sistema Aquífero Guarani (SAG) assume importância indiscutível, tendo em vista sua extensão e abrangência, e representatividade para as economias adjacentes. Esse aquífero possui aproximadamente 1,2 milhões km², estendendo-se por quatro Países: Argentina (18,9%), Brasil (70,8%), Paraguai (6,0%) e Uruguai (4,9%). Cerca de 30 milhões de pessoas residem na região de abrangência do SAG (dessas, cerca de 4 milhões em áreas de afloramento). No Brasil, o aquífero abrange partes das regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste, incluindo estados com grande importância econômica. Pode-se avaliar, então, sua importância e, conseqüentemente, a necessidade de se conhecer seu funcionamento e seu comportamento, proporcionando o desenvolvimento de uma política de proteção ambiental e de gestão de águas subterrâneas.

Com este intuito, áreas críticas nos países abrangidos pelo aquífero foram escolhidas para serem estudadas mais detalhadamente (SG-SAG, 2007). Uma dessas áreas prioritárias de estudo tem seu centro localizado na cidade de Ribeirão Preto, sendo definida como Projeto Piloto de Ribeirão Preto (CALCAGNO, 2001). Esta área foi escolhida em função de sua importância e representatividade regional, por apresentar sinais de superexploração (GILBOA *ET AL.*, 1976; CHANG, 2001) e pela quantidade de estudos já desenvolvidos na região.

Visando contribuir com o incremento do conhecimento do comportamento hidráulico do aquífero na região, este projeto propõe a construção de um modelo numérico baseado no Método dos Elementos

Finitos. O objetivo principal do modelo é servir como ferramenta de análise e gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos na área desse Projeto Piloto, como forma de assegurar a quantidade e a qualidade de seu manancial para as futuras gerações.

Para o desenvolvimento deste projeto, primeiramente foi feito um estudo global das características do Aquífero Guarani, acompanhado de uma revisão dos trabalhos sobre a região de estudo ou que pudessem contribuir com o projeto como um todo. Em seguida foram compilados e organizados em ferramenta SIG dados sobre a fisiografia, hidrografia, poços de captação de água, hidrologia e hidrogeologia e geometria subterrânea da região de estudo.

A partir da análise desses dados foi proposto um modelo conceitual de funcionamento do aquífero, com a definição de seus parâmetros hidrogeológicos iniciais. O modelo conceitual e os parâmetros hidrogeológicos foram ajustados conforme os primeiros resultados do modelo numérico.

Para a construção do modelo numérico foi utilizado o *software* SPA – Simulação de Processos em Aquíferos (WENDLAND, 2003), desenvolvido no Laboratório de Hidráulica Computacional (LHC) do Departamento de Hidráulica e Saneamento (SHS) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP).

Cabe ressaltar que um modelo numérico é uma ferramenta de contínua evolução, devendo ser incrementado conforme aumenta o grau de conhecimento do homem sobre a região de estudo.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste projeto é a construção de um modelo numérico do Sistema Aquífero Guarani na região do município de Ribeirão Preto que auxilie na criação de uma política de preservação e no gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos dessa área.

Para isso, foram definidos os seguintes objetivos específicos para o projeto:

- Revisão bibliográfica sobre o SAG e a área de estudo;
- Coleta e avaliação dos dados hidrogeológicos disponíveis;
- Definição de um modelo conceitual;
- Definição de parâmetros hidrogeológicos;
- Sistematização de dados em SIG;
- Disponibilização dos dados para o pacote SPA.
- Ajuste e aperfeiçoamento do modelo numérico de acordo com o seguinte fluxograma:

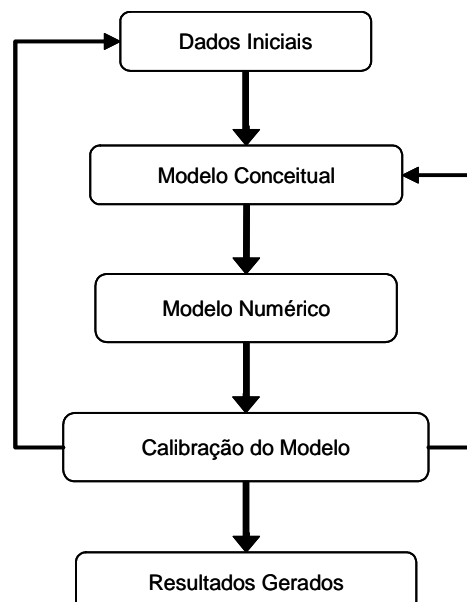


Figura 1: Fluxograma da metodologia adotada neste estudo

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SISTEMA AQÜÍFERO GUARANI

3.1.1 VISÃO GERAL

O Sistema Aqüífero Guarani é um recurso hídrico subterrâneo transfronteiriço localizado no centro-sul da América do Sul, entre os paralelos 12° e 35° de latitude Sul e 47° e 65° de longitude Oeste, abrangendo partes da Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai. Dada sua extensão e capacidade de armazenamento de água, constitui um dos recursos minerais mais importantes da região, e um dos maiores reservatórios subterrâneos de água do mundo (**Figura 2**).

Estendendo-se desde a Bacia Sedimentar do Paraná (Brasil, Paraguai e Uruguai) até a Bacia do Chaco Paraná (Argentina), tem uma área de cerca de 1,2 milhão de km², sendo 840 mil km² no Brasil, 225,5 mil km² na Argentina, 71,7 mil km² no Paraguai e 58,5 mil km² no Uruguai (ARAÚJO *ET AL.*, 1999).

No Brasil, localiza-se em áreas de grande importância sócio-econômica, como a região de Ribeirão Preto, onde exerce função estratégica e é indispensável para suprir sua demanda de água doce; segundo BORGHETTI *ET. AL.* (2001), uma população de cerca de 24,9 milhões de habitantes direta ou indiretamente faz uso de águas do SAG no Brasil.

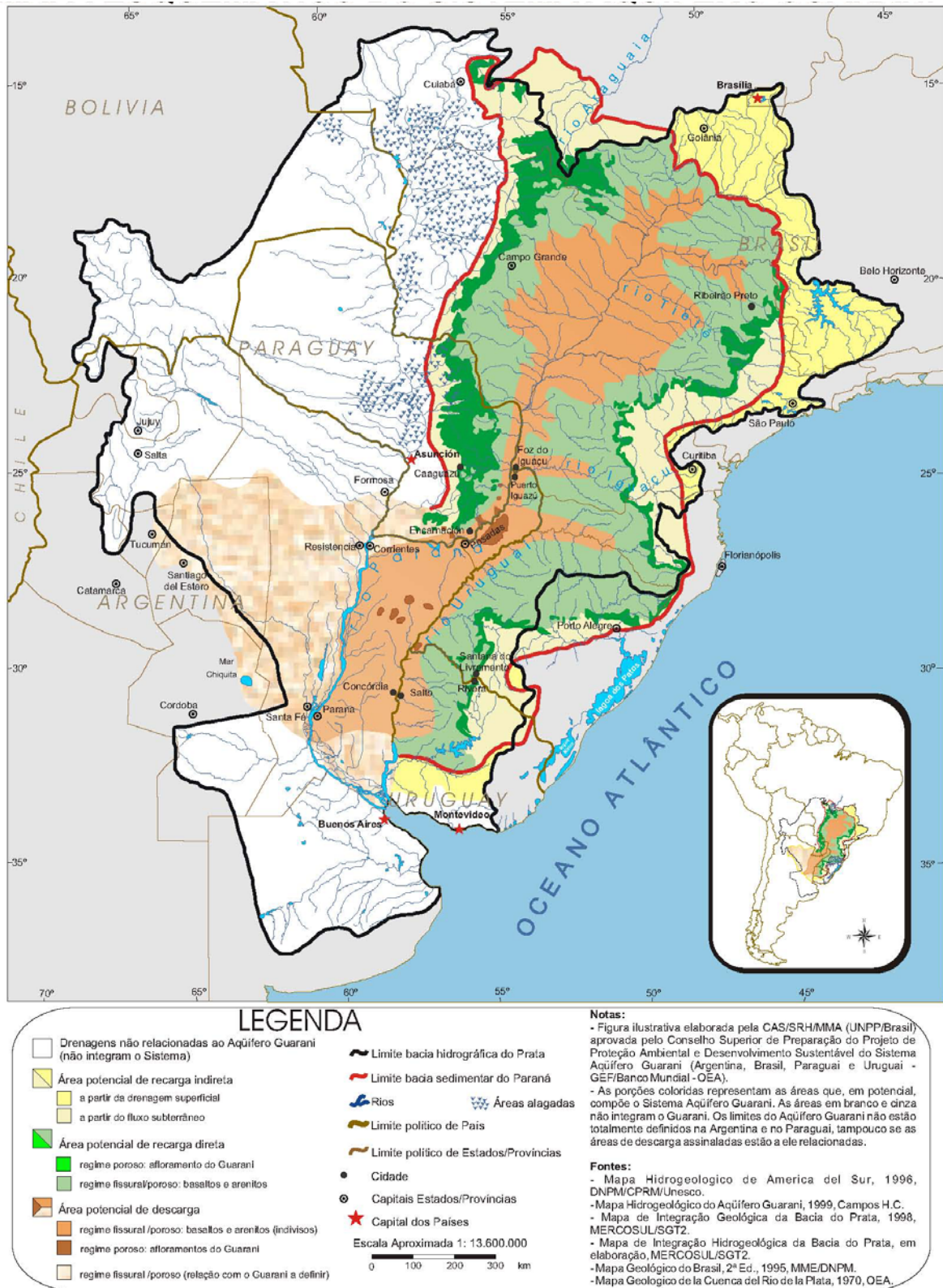


Figura 2: Mapa esquemático do Aquífero Guarani (SG-SAG, 2006)

Segundo CHANG (2001), o estado de São Paulo responde por mais da metade dos poços existentes no país, seguido por Rio Grande do Sul

(20%), Mato Grosso do Sul (12%), Paraná (10%) e por Santa Catarina, Minas Gerais, Mato Grosso e Goiás, todos com participação inferior a 2%. Em termos volumétricos, São Paulo extrai quase 2/3 da produção atual. Mato Grosso do Sul explora o equivalente a 12%, seguido por Rio Grande do Sul (6%) e Paraná (5%). Os outros quatro estados exploram menos que 2% cada um.

A distribuição dos poços pelo tipo de uso revela que aproximadamente três quartos (77%) destinam-se à captação de água para consumo urbano; os outros 23% estão divididos igualmente entre os usos rural e industrial. Já em termos volumétricos, a participação do uso urbano salta para 87%, deixando 9% para o uso industrial e 4% para o uso rural.

O SAG, segundo CHANG (2001), apresenta gradientes geotérmicos variando entre 10 e 40°C/km, reportados para a Bacia do Paraná, e ressalta que regiões de altos gradientes sejam fontes potenciais de energia geotérmica. Uma estimativa da área do SAG com potencial de produção de águas termais com temperaturas superiores a 38 °C, fornece um valor de 380.000 km², equivalente a cerca de 45% da área de sua ocorrência no Brasil, ou 30% da extensão total do SAG. Para a produção de águas com temperaturas mais elevadas, superiores a 60 °C, a área potencial de ocorrência restringe-se a pouco mais de 30.000 km², isto é, em torno de 4% e 3% da extensão do SAG no Brasil e no Mercosul, respectivamente. Entre as diversas aplicações da energia geotérmica destacam-se: secagem e armazenamento de grãos, secagem de madeiras, evisceração e limpeza de aves e desenvolvimento de centros de lazer e hidroterápicos. A sua utilização na geração de metano, a partir de resíduos orgânicos líquidos e sólidos, o torna uma fonte potencial de geração de energia limpa – uma solução que visa não somente lucros, mas principalmente a redução de danos ambientais, inerentes à atividade de criação animal em larga escala.

As áreas do SAG com potencial geotermal podem ser visualizadas na **Figura 3**.

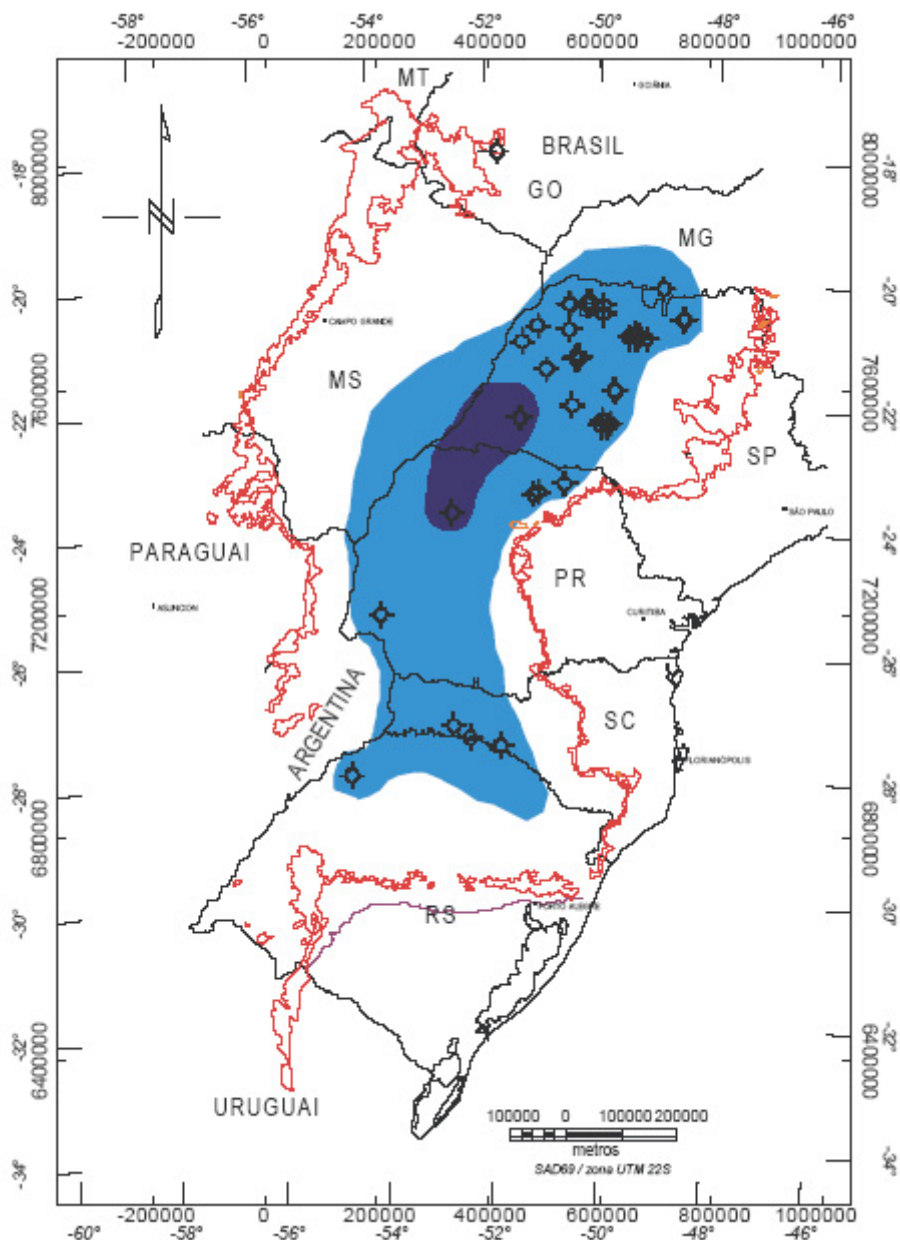


Figura 3: Áreas do SAG favoráveis à ocorrência de águas termais acima de 38°C (mancha azul). A mancha na região central do mapa delimita área com temperatura superior a 60°C. Mapa base adaptado de FORLIN E ROSA FILHO (2001) *apud* CHANG, 2001.

Quando o assunto é contaminação, pode-se dizer que, no caso do Aquífero Guarani, há uma preocupação por parte das autoridades e por entidades não governamentais devido à coincidência de áreas de afloramento com importantes áreas agrícolas e urbanas. Nas regiões agrícolas, o uso intenso de herbicidas e inseticidas no combate a pragas e doenças das plantações, somado ao uso de adubos químicos, poderá acarretar o aumento de nitratos na água (FRANTZ, 2005).

O SAG, praticamente desconhecido até o início da década de 70, sofre hoje sérios problemas de superexploração localizada, com mais de 2000 poços em suas bordas, atingindo profundidades de 300 a 1000 m, e centenas de outros poços em áreas mais centrais, com profundidades que alcançam 1500 m (MONTEIRO, 2003).

3.1.2 GEOLOGIA

O Sistema Aquífero Guarani é formado por um conjunto de rochas sedimentares predominantemente siliciclásticas e de origem continental, que incluem o final da seqüência permotriástica e a totalidade dos depósitos Mesozóicos confinados pelos derrames basálticos do Cretáceo Inferior.

Em sua grande maioria, trata-se de litologias arenosas depositadas por sistemas aluviais, fluviais e lacustres, sob condições de altas temperaturas e um regime variável de umidade (com predomínio de condições de aridez a semiaridez), com recorrentes episódios eólicos associados, alguns deles de importante potência (centenas de metros) e aos quais se relacionam as melhores características petrofísicas do aquífero. Assim, é comum a presença, ainda que em forma subordinada, de estratos e lentes pelíticos e conglomeráticos intercalados às significativas sucessões arenosas Mesozóicas. Estas litologias e seus atributos espaciais (forma, extensão etc.) têm uma incidência particular e significativa nas características hidrodinâmicas de fluxo em escala local.

No Brasil, o Aquífero Guarani é composto por arenitos que compreendem as Formações Pirambóia (Triássico) e Botucatu (Jurássico) (**Figura 4**).

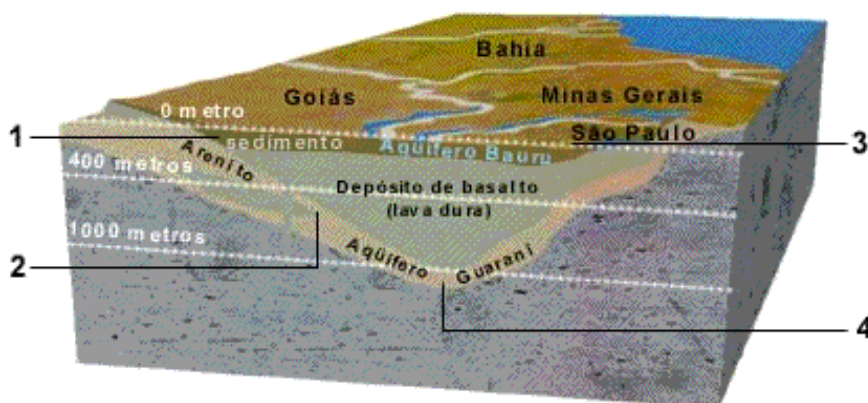


Figura 4: Visão esquemática da geologia do SAG

Os arenitos do período Jurássico, de origem eólica e maior produtividade hidráulica, constituem-se nos melhores reservatórios subterrâneos, enquanto os do Triássico, de origem flúvio-lacustre/eólica, possuem elevado nível de argila, comprometendo sua eficiência hidráulica.

O Aquífero Guarani tem uma espessura média de 250 metros, variando de poucos metros (nas bordas da bacia) a aproximadamente 800 m (em sua parte central). Sua profundidade em relação ao nível do solo varia de zero (regiões de afloramento) até 1000 m (na Argentina).

A estrutura subjacente ao Aquífero compreende uma formação de baixa permeabilidade e caracteriza-se como um aquífero (Grupo Passa Dois). Sobrejacentes ao Aquífero estão sucessivas camadas de derrame basáltico, provenientes de atividade vulcânica do período Cretáceo (Formação Serra Geral), formando rochas consolidadas e descontínuas, caracterizadas em parte como aquífero e em parte como aquífero. Em alguns pontos, a Formação Serra Geral é ainda recoberta por arenitos do período Cretáceo caracterizados como um aquífero (Grupo Bauru). A **Figura 5** mostra uma seção geológica típica do conjunto desta estratificação geológica.

A Formação Serra Geral tem como principais condicionantes estruturais soerguimentos com formação de arcos e sistemas de falhas. Juntamente com as demais formações de rochas porosas que a revestem,

atinge espessuras superiores a 1400 m na Argentina e 2200 m no Brasil (ARAÚJO ET AL., 1999).

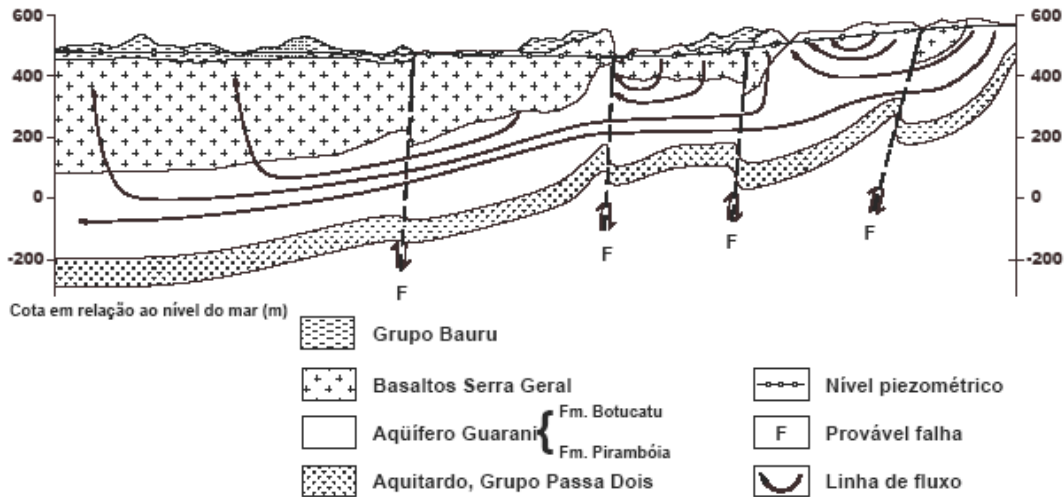


Figura 5: Estratigrafia e sistema de fluxo entre seções geológicas do Sistema Aquífero Guarani na região de Ribeirão Preto (SMA, 2004)

3.1.3 ESTRUTURAS DE COMPARTIMENTAÇÃO

A Bacia do Paraná é delimitada, ao Norte, pelo Arco de Goiânia e Alto Paranaíba, que é uma deformação estrutural importante com forte tendência aeromagnética NW, associado a várias intrusões alcalinas, kimberlitos e diques de diabásio (**Figura 6**). Outros dois arcos de direção Noroeste, denominados Arco de Ponta Grossa e Rio Grande, influenciam em sua configuração e geram duas entradas semi-elípticas na margem leste da Bacia. Ambos constituem locais preferenciais para a localização de diques de diabásio e intrusões ígneas alcalinas. A direção NW, que evidencia um forte paralelismo dos eixos desses arcos, é uma das direções estruturais mais importantes da bacia, evidenciando um controle tectônico das zonas de debilidade de seu embasamento (ZALÁN ET AL., 1990).

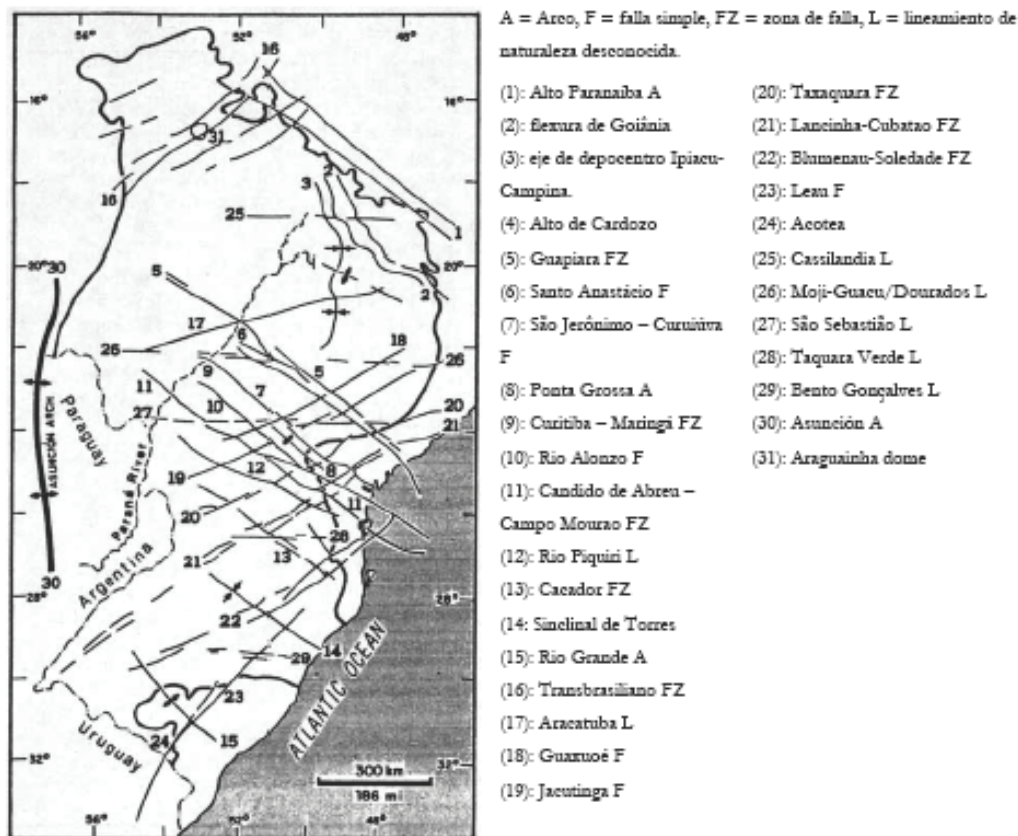


Figura 6: Marco estrutural da Bacia do Paraná com as três direções principais: NW, NE e EW de elementos tectônicos lineares (modificado ZALÁN ET AL., 1990)

3.1.4 HIDROGEOLOGIA

O Aquífero Guarani é composto por uma unidade compartimentada de arenitos com valores elevados de condutividade hidráulica, que, em sua maioria, diminui com a profundidade devido ao aumento da parte argilosa.

Sua recarga é provavelmente devida a dois mecanismos principais: infiltração direta através de sua zona de afloramento nos estados brasileiros (São Paulo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Paraná e Santa Catarina), leste do Paraguai e norte do Uruguai e, indiretamente, através das formações sobrepostas que incluem o sistema de fraturas da Formação Serra Geral.

De fato, a zona aquífera de basaltos nada mais é do que o prolongamento do aquífero sedimentar subjacente, no caso as

formações do Grupo Bauru. Este fato tem grande interesse prático porque, onde a capa sedimentar é pouco espessa ou descontínua, não oferecendo condições de captação, forma-se um meio aquífero de transferência da água para o aquífero fraturado.

Localmente, onde as espessuras do basalto se tornam pequenas ou as fraturas atinjam o topo desse sistema aquífero, desde que os níveis potenciométricos do basalto sejam superiores àqueles do Aquífero Guarani confinado, é possível a infiltração vertical descendente. Inversamente, onde os níveis potenciométricos do Aquífero Guarani são maiores que os do sistema aquífero subjacente, verificam-se fluxos ascendentes.

3.1.5 CLIMA

Dada sua extensão, uma grande variedade de características climáticas pode ser observada nas bacias que abrangem o Aquífero. O clima da região varia de subtropical, em sua região norte, a temperado e quase semi-árido em sua parte mais ao sul. As temperaturas médias variam de 11° a 19°C e as precipitações anuais variam de 1000 a 1800 mm, respectivamente nas regiões SW e NE (DNM, 1992).

Em território brasileiro, o SAG abrange duas zonas climáticas: Tropical Brasil Central e Temperado. Nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais e São Paulo predomina o clima Tropical Brasil Central Quente e Úmido a Mesotérmico Brando e Superúmido, com precipitação média anual entre 1200 e 1800 mm. Nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul predomina o clima Temperado Mesotérmico Superúmido, com precipitação média anual entre 1200 e 2000 mm.

3.1.6 DISPONIBILIDADE HÍDRICA

FILI *ET AL.* (1998) estimam a reserva de água doce do aquífero como suficiente para abastecer uma população de 5,5 bilhões de

peessoas, a uma taxa de 100 litros/dia por habitante, por 200 anos. Atualmente, a quase totalidade da água explotada é para abastecimento público, por meio de poços de profundidade variando de algumas centenas a mais de 1000 m.

FILI *ET AL.* (1998) estimam que as reservas de água armazenada alcancem 37000 km³, sendo 60 km³/ano ativa e 40 km³/ano explotável, com uma recarga natural de 160 km³/ano.

ROCHA (1997) apresenta uma avaliação para a área do aquífero, encontrando valores de 37000 km³ para a reserva permanente e 160 km³/ano para reserva ativa.

Os parâmetros utilizados foram pluviometria média de 1500 mm/ano, espessura média de 250 m, porosidade efetiva de 15% e coeficiente de armazenamento de 10⁻⁴. A área de recarga do aquífero foi considerada de 150000 km² e a área confinada, 1 milhão de km².

REBOUÇAS (1976 e 1994) *apud* IPT (2000) calculou as reservas permanentes do SAG em aproximadamente 48000 km³, com recarga anual estimada em 166 km³/a.

BORGHETTI *ET. AL.* (2001), considerando uma espessura média de 228 m, uma área de 1194 milhões km² e porosidade efetiva média de 17%, encontrou um valor de cerca de 4600 km³ para a reserva permanente de água no SAG.

3.1.7 ÁREAS DE SUPEREXPLORAÇÃO

Segundo CHANG (2001), existem, pelo menos, duas regiões com fortes evidências de superexplotação do SAG – Ribeirão Preto e Bauru. Nestes dois municípios, em função de grandes rebaixamentos observados no nível de água (estático e dinâmico), que resultaram na desativação de inúmeros poços, foram, recentemente, contratados estudos de avaliação hidrogeológica.

Na região de Ribeirão Preto a situação é mais crítica, pois a extração anual de águas do SAG (95.700.000 m³) do município, segundo estudo realizado pela FIPAI (1996), é 13 vezes superior à recarga direta

da chuva (7.168.127 m³). Para esse município, SINELLI (1984) registrou um rebaixamento da ordem de 15 a 20 metros na região central da área urbana; 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 e MONTEIRO (2003), aplicando técnicas geoestatísticas, também observou este extenso cone de rebaixamento na região urbana. O município já sente os efeitos de superexploração, como rebaixamento e queda de vazão, que são principalmente ocasionados pela interferência de poços circunvizinhos, cujas distâncias físicas são cada vez mais reduzidas.

Já o município de Bauru, situado no centro do estado de São Paulo, apresenta um contexto hidrogeológico bem distinto do de Ribeirão Preto. Na região, ocorre uma área expressiva onde o basalto e parte da Formação Botucatu foram erodidos, como consequência de um evento tectônico pré-deposição Bauru, que colocou os sedimentos cretácicos sobre o SAG.

Diferentemente da situação de Ribeirão Preto, a recarga do aquífero no município de Bauru encontra-se distante, exceto na região erodida. O grande rebaixamento de mais de 30 m, observado em menos de 30 anos de exploração, tem sido responsável pela desativação de inúmeros poços e pela queda da vazão de produção. O rápido rebaixamento observado em alguns poços sugere que o SAG, na região de Bauru, em função da perturbação tectônica sofrida, deve estar compartimentado. Esta situação estrutural merece um exame mais preciso, visto que outras regiões do SAG podem apresentar contexto geológico similar.

3.2 MODELAGEM

O lançamento de novas tecnologias de informática propiciou um incremento no uso de ferramentas de modelação de aquíferos, e grande

parte das pesquisas relacionadas à área de hidrogeologia caminha neste sentido.

Mesmo assim, certas limitações são inerentes ao processo de modelação e precisam ser entendidas e estudadas para se conseguir um uso pleno e uma interpretação correta do modelo.

Algumas destas limitações são de conhecimento geral como, por exemplo: os modelos são baseados em hipóteses que tentam ser o mais fiel possível ao sistema real; que certos parâmetros do modelo são uma aproximação do que ocorre na realidade e dificilmente podem ser determinados com certeza absoluta; as equações que representam os processos podem ser ou não adequadas a um determinado modelo (KRESIC, 2003).

Há dois tipos principais de modelação, a saber: físico (real) e matemático (abstrato), que serão brevemente discutidos a seguir (KRESIC, 2003).

3.2.1 FÍSICO

Pode ser entendido como uma miniatura do real, representando fielmente o que se deseja estudar. Neste sentido podemos citar como exemplo os modelos de carros e aviões submetidos aos túneis de vento e as miniaturas de viadutos submetidas a certas cargas.

A modelação física de aquíferos é empregada geralmente para fins educacionais e demonstrações, já que não é viável se construir um modelo que seja fiel ao real e sujeitá-lo às mesmas condições e processos aos quais o aquífero natural está submetido.

3.2.2 MATEMÁTICO

Utiliza-se de equações matemáticas para representar condições e processos nos aquíferos. Dependendo do tipo de equação envolvida, pode ser:

- I. *Modelos empíricos*: provém de dados de experimentos que se ajustaram a determinada função matemática. Apesar de geralmente serem limitados a condições específicas, podem se tornar parte importante de um processo de modelação mais complexo.
- II. *Modelo probabilístico*: baseado nos conceitos de probabilidade e estatística, como distribuição normal, por exemplo. A principal restrição no uso deste tipo de modelo é que ele não é capaz de responder a algumas das perguntas dos usuários.
- III. *Modelo determinístico*: assume que os processos e comportamentos do sistema são regidos por leis da Física. A maioria dos problemas usuais em hidrogeologia é resolvida com modelos determinísticos. Há basicamente dois grupos deste tipo de modelo, analíticos e numéricos, dependendo do tipo de equações matemáticas envolvidas, que serão descritos a seguir:
- *Modelos analíticos*: basicamente resolvem uma equação de fluxo de águas subterrâneas por vez, e o resultado pode ser aplicado a um ponto específico, ou a uma linha de pontos no aquífero estudado. O resultado é válido para uma distância radial limitada, e qualquer ponto fora desse limite requer uma nova resolução das mesmas equações. Se o aquífero for muito heterogêneo, o limite de aplicabilidade dos resultados é muito baixo, e a situação fica deveras complicada.
 - *Modelos numéricos*: descrevem o aquífero de interesse como um todo, fornecendo resultados para quantos forem os pontos especificados pelo usuário. A área de estudo é dividida em pequenas áreas (elementos, ou células), e uma equação básica de fluxo em águas subterrâneas é resolvida para cada uma delas, geralmente considerando seu balanço hídrico. A solução, neste caso, é dada por uma distribuição de cargas hidráulicas em pontos que representem a célula, geralmente em seu centro ou na

intersecção entre elas. A equação diferencial de fluxo para cada célula é aproximada por uma equação algébrica, e o sistema é representado então por n equações com n variáveis, sendo n o número de elementos. Este sistema é solucionado numericamente (daí o nome do método), através de processos iterativos, dentre os quais podemos destacar o método de diferenças finitas e o de elementos finitos.

3.3 INCERTEZA NOS MODELOS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

O estudo da hidrologia subterrânea impõe algumas dificuldades adicionais em relação ao de hidrologia de superfície por motivos intrínsecos ao meio. Estes motivos estão todos relacionados às condições naturais que estabelecem especificidades ao entendimento do comportamento do fluxo subterrâneo e sua interação com o meio.

Considerando-se, comumente, grandes extensões como objeto de estudo, a variabilidade espacial do meio e o elevado custo de medições, o estudo sobre mananciais subterrâneos prioriza a hidrologia, em contraposição à hidráulica do sistema. Por essas razões está sujeito, principalmente, a determinações indiretas de seus parâmetros, variáveis e condições de contorno. Assim, a hidrologia subterrânea, ou hidrogeologia, caracteriza-se por englobar um vasto e fértil campo propício à aplicação de variados modelos e simulações. A grande variabilidade natural dos parâmetros hidráulicos, somada às diversas formações que permeiam o fluxo subterrâneo, e às tensões hidrológicas, permite aos pesquisadores numerosas considerações para simplificar a realidade da natureza e, assim, tornar viável seu estudo. Essas simplificações compõem a base do modelo conceitual adotado, e implementado pelo modelo matemático, para simular os mais variados processos e cenários no aquífero. A implementação desses modelos, entretanto, requer dados que, juntamente com os modelos conceitual e matemático, são cercados de incertezas. Assim, o sucesso atribuído à execução desses modelos tem, como um de seus parâmetros principais, a

análise e entendimento das incertezas envolvidas em seus dados, simplificações e previsões. Esses fatores concedem à modelagem e simulação computacional de recursos hídricos subterrâneos um caráter iterativo.

Algumas fontes prováveis de incerteza serão citadas a seguir (RABELO, 2005):

- Dados de estudos anteriores;
- Valores de cargas hidráulicas;
- Direções de fluxo;
- Parâmetros hidráulicos;
- Definição do modelo conceitual (simplificações);
- Desenvolvimento do modelo numérico;
- Erros de modelagem (condições de contorno, condições iniciais);
- Erros de discretização geométrica e temporal;
- Erros na solução numérica;
- Incerteza na aplicação de elementos de modelagem;

3.4 SOFTWARES DE SIMULAÇÃO

A expansão das atividades de simulação de águas subterrâneas pode ser confirmada pelo grande número de programas destinados a essa atividade em utilização no mercado. Há versões para todos os gostos e necessidades, utilizando-se dos mais variados métodos de modelação e de cálculo. Apesar da grande proliferação destes programas, o Brasil não conta com um programa próprio e de baixo custo para utilização em instituições de ensino, ou seja, depende de versões estrangeiras de alto custo (tanto pela licença de uso do programa, quanto pela aquisição do sistema operacional) e que, em alguns casos, não são totalmente adaptados às especificidades da atividade que se quer exercer.

As vantagens do SPA podem ser concentradas justamente nesses dois pontos, já que é uma versão nacional de um software para Linux;

seu custo é baixo e suas características são adaptadas às condições brasileiras. Este projeto também incentiva a utilização do sistema operacional Linux em outros laboratórios de pesquisa, diminuindo assim grande parte dos custos da infra-estrutura necessária para equipá-lo.

Dentre as versões comerciais, podem ser citadas VISUAL MODFLOW, MODPATH, FEFlow, MicroFEM, GMS, MT3DMS, RT3D e FEMWATER como as mais utilizadas.

4 METODOLOGIA

4.1 **ÁREA DE ESTUDO**

4.1.1 PROJETO PILOTO DE RIBEIRÃO PRETO

O estudo foi desenvolvido na área selecionada para o Projeto Piloto (**Figura 7**), sendo que fazem parte da área do Projeto Piloto os municípios de Ribeirão Preto, Serrana, Altinópolis, Cravinhos, Sertãozinho e Jardinópolis, totalizando uma superfície de cerca de 2.700 km², e uma população de cerca de 720.000 habitantes.

O Projeto Piloto tem seu centro no município de Ribeirão Preto, localizado a cerca de 320 km da capital, parte nordeste do Estado de São Paulo. Esse município tem uma área de 651 km² e uma população de 513.260 habitantes.

O município de Ribeirão Preto está localizado na área de afloramento 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 recebe 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.

Também fazem parte da área do Projeto Piloto os municípios de Serrana, Altinópolis, Cravinhos, Sertãozinho e Jardinópolis, totalizando uma superfície de cerca de 2.700 km², e uma população de cerca de 720.000 habitantes.

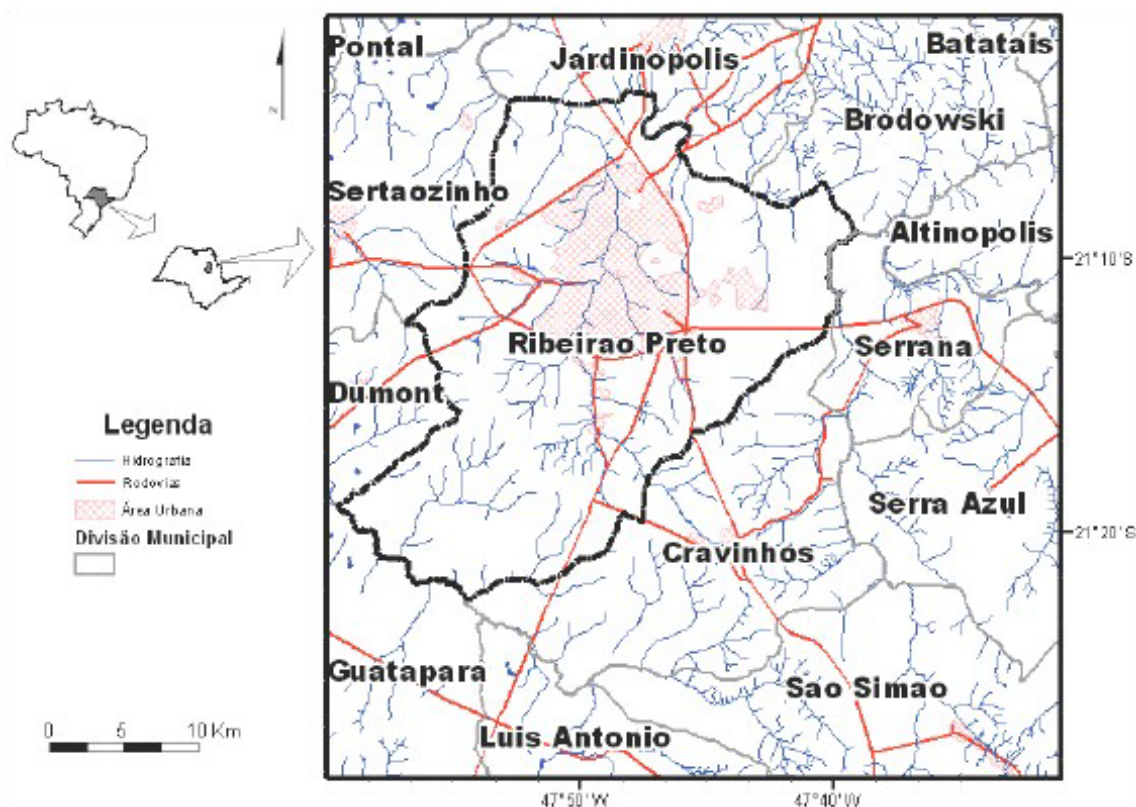


Figura 7: Área do Projeto Piloto de Ribeirão Preto (SMA/São Paulo & StMUGV/Baviera, 2004)

A área definida para o Projeto Piloto está compreendida entre as coordenadas 21° e $21^{\circ}30'$ de latitude Sul, e $47^{\circ}30'$ e 48° de longitude Oeste, pertencente à Bacia Hidrográfica do Pardo e compreendendo as folhas topográficas de Ribeirão Preto, Serrana, Bonfim Paulista e Cravinhos (**Figura 8**). A área de estudo é classificada atualmente no Estado de São Paulo como pertencente à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 4 (UGRHI 4 - Pardo), sub-bacia do Ribeirão da Prata/Ribeirão Tamanduá (número 2 na **Figura 9**). Segundo o estudo de IG/CETESB/DAEE (1997), a região 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.

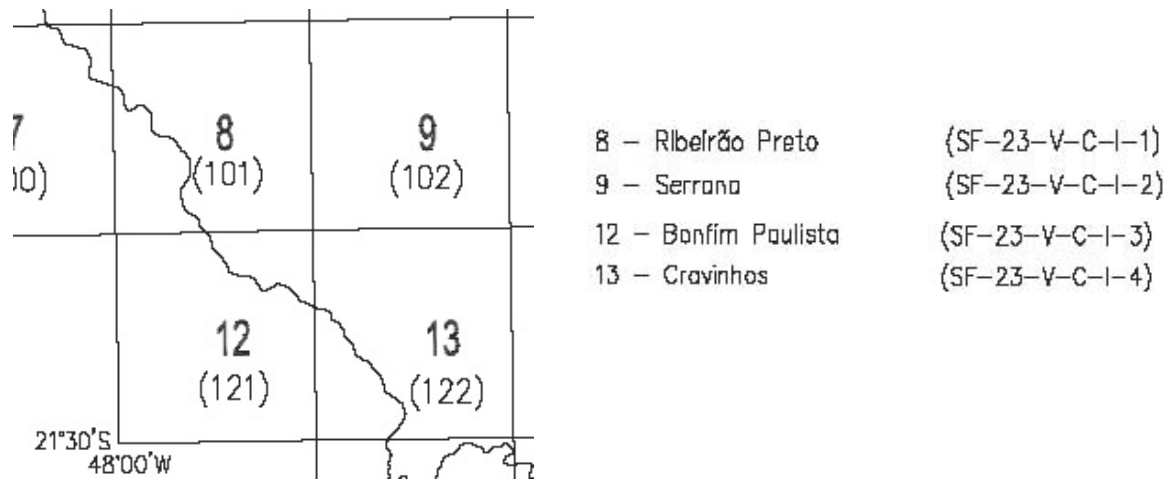


Figura 8: Articulação das folhas 1:50.000 na área da UGRHI - 4

Dos 137 km² de afloramentos do Aquífero Guarani no município de Ribeirão Preto, aproximadamente 40% encontram-se urbanizados. A parte confinada encontra-se coberta principalmente pelos basaltos da Formação Serra Geral.

Nesta região destacam-se duas unidades aquíferas:

- Aquífero Guarani, composto pelos arenitos das Formações Botucatu e Pirambóia.

- Aquífero Serra Geral, representado pelos basaltos da Formação Serra Geral e de circulação predominantemente característica de meio fraturado.

Considerando-se que as duas unidades aquíferas encontram-se em conexão hidráulica através de seus contatos, a intensidade e o sentido do fluxo de recarga das águas subterrâneas variam em função do nível de fraturamento dos basaltos da Formação Serra Geral e da relação entre as cargas hidráulicas dos dois aquíferos.

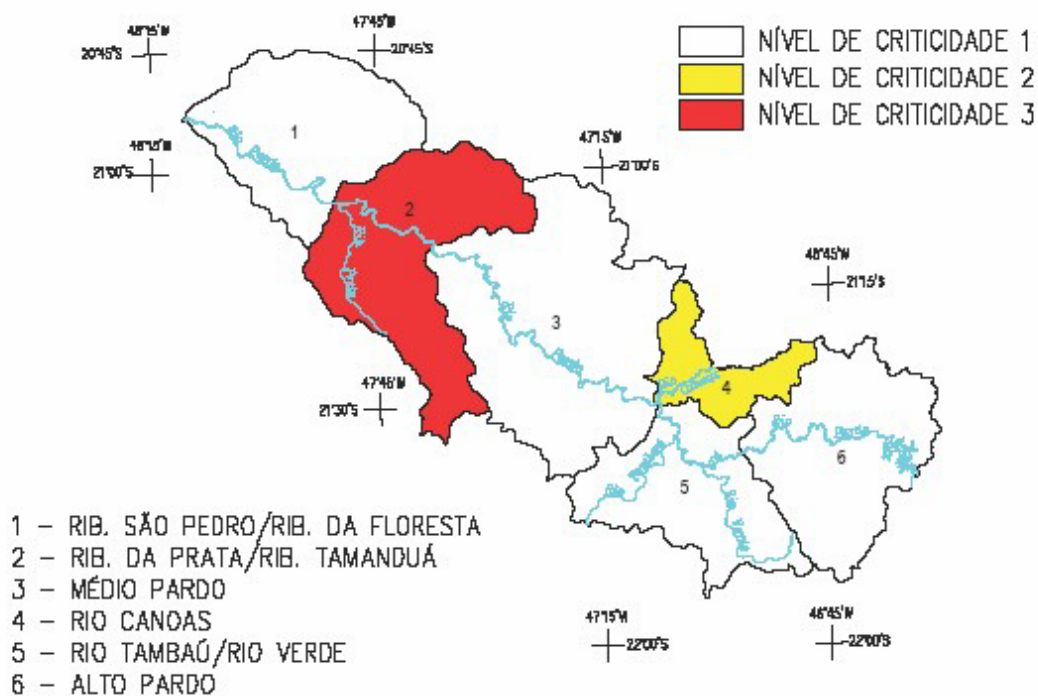


Figura 9: Nível de criticidade das sub-bacias da UGRHI 4 – Pardo (IPT, 2000)

4.1.2 LIMITES DA ÁREA DE ESTUDO

Inicialmente, pretendia-se desenvolver este estudo em toda a área do Projeto Piloto. No decorrer do projeto, entretanto, verificou-se que a indisponibilidade de dados em regiões mais afastadas de Ribeirão Preto inviabilizava esse objetivo. Além disso, a área do Projeto Piloto de Ribeirão Preto foi definida levando-se em conta aspectos cartográficos, sem avaliação hidrológica.

Por isso, foi estabelecida uma nova área de estudo levando-se em conta os aspectos hidrogeológicos da região, bem como a disponibilidade de dados. A nova área está ilustrada na **Figura 10**.

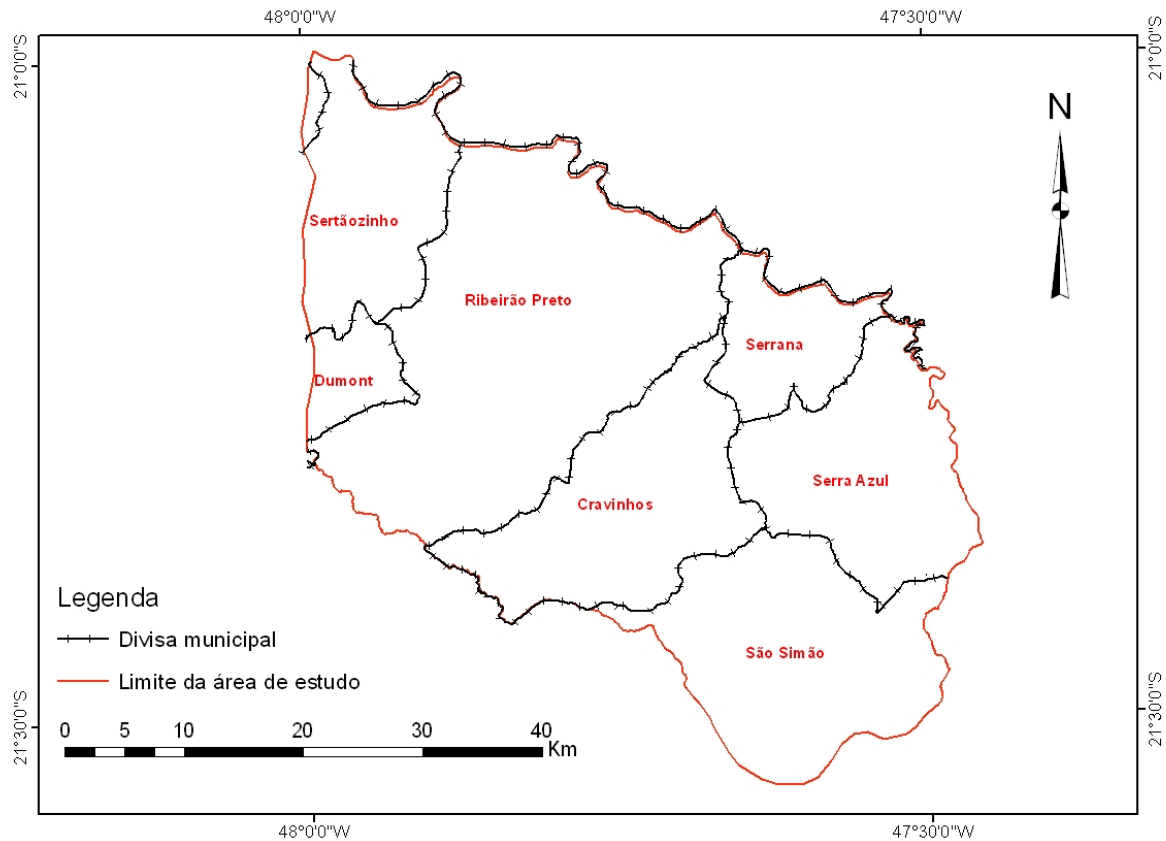


Figura 10: Nova área de estudo

Essa região de estudo abrange uma área de 2.000 km², com 245 km de perímetro, e foi delimitada levando-se em conta os recursos hídricos da região. Os principais limites são: Rio Pardo ao Norte; Ribeirão da Onça e Ribeirão do Pântano ao Sul; Rio Pardo e Ribeirão da Prata a Leste; Córrego do Tamboril e divisor de águas superficiais a Oeste.

Na nova área de estudo estão contidos parcial ou integralmente os municípios de Cravinhos, Dumont, Ribeirão Preto, São Simão, Serra Azul, Serrana e Sertãozinho.

4.1.3 GEOLOGIA

A área de estudo localiza-se na região N-NE da Bacia Sedimentar do Paraná, caracterizada como uma bacia

intracratônica. Nela, afloram três formações geológicas do grupo São Bento e depósitos cenozóicos.

A parte leste da área urbanizada de Ribeirão Preto está localizada na área de afloramento do Aquífero Guarani. O aquífero consiste de bancos de arenito de granulação fina a média da Formação Pirambóia (Triássico – Jurássico) e da Formação Botucatu (Jurássico – Cretáceo Inferior), de acordo com o mapa geológico de SINELLI (1970). Os arenitos eólicos e flúvio-lacustres de ambas as formações mostram uma espessura total de até 200 a 300 metros e são localmente cobertos por sedimentos arenosos a siltosos de idade Cenozóica com uma espessura de até 30 metros. Os arenitos são parcialmente interdigitados com intrusões de diabásio do Mesozóico. Na parte oeste da área urbanizada, o arenito Botucatu é coberto pelos basaltos da Formação Serra Geral (Jurássico – Cretáceo Inferior), alcançando uma espessura de mais de 100 metros.

Os arenitos da Formação Botucatu, que representam a parte superior do Aquífero Guarani, apresentam um conteúdo de silte e argila menor que os arenitos da Formação Pirambóia.

A área de afloramento das Formações Botucatu e Pirambóia na região de estudo é de cerca de 540 km², representando, aproximadamente, 27,5% de toda a área e está localizada exclusivamente a Leste.

Na **Figura 11** é mostrada a geologia superficial da área de estudo. Esses dados foram obtidos de arquivos digitais resultantes do estudo feito por IPT (2000).

Na **Figura 12** é mostrada a geologia da região de Ribeirão Preto com o corte Ribeirão Preto – Sertãozinho.

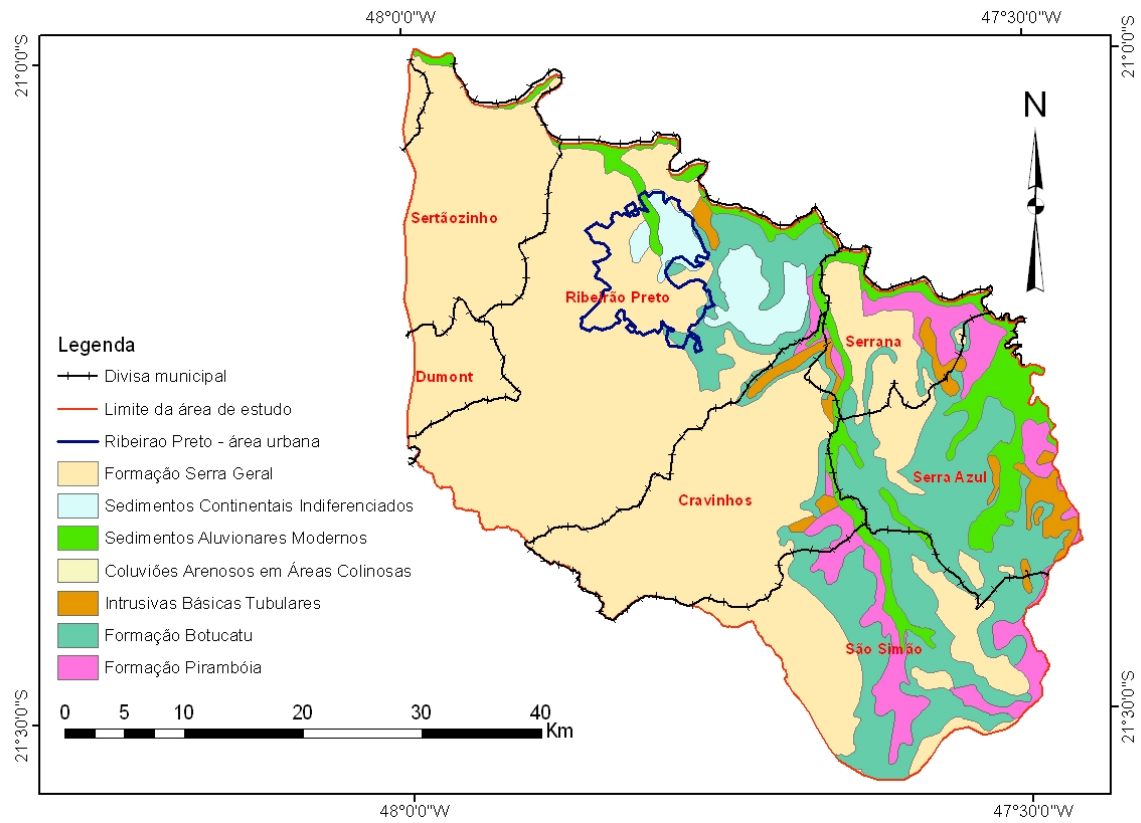


Figura 11: Geologia de superfície da área de estudo (IPT, 2000)

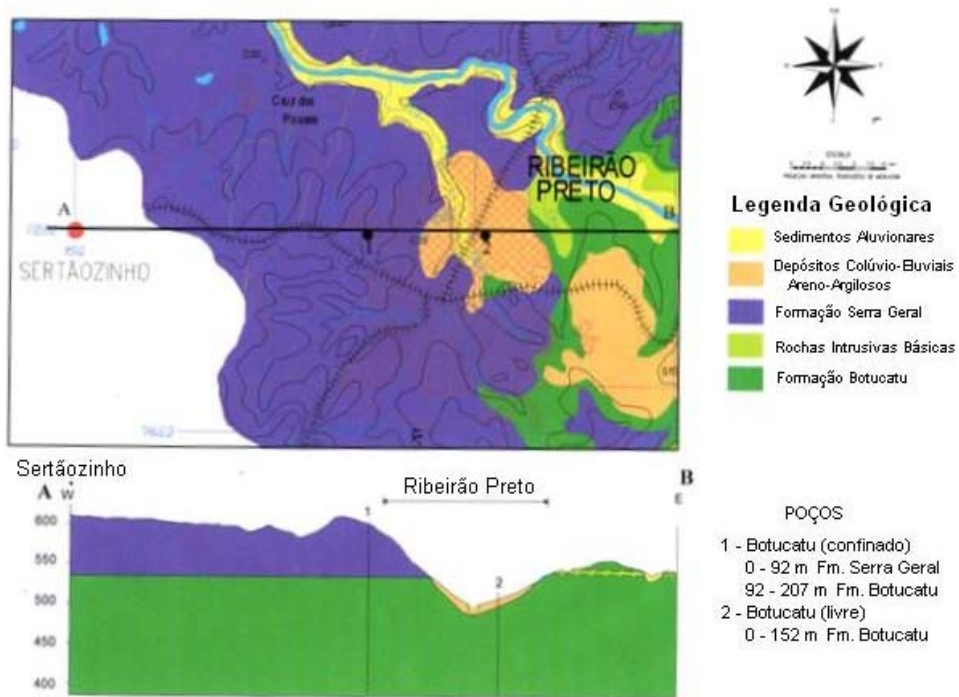


Figura 12: Geologia e corte da região de estudo

As três formações principais presentes na área de estudo são detalhadas a seguir, da base para o topo:

- Formação Pirambóia

Esta formação aflora no extremo Leste da área do município de Ribeirão Preto. É constituída por arenito avermelhado, com granulometria muito fina a média, e grãos hialinos (FIPAI, 1996). Às vezes apresenta-se síltico-argiloso na base, e grosseiro a conglomerático no topo da formação. Há predominância da estratificação plano-paralela, caracterizada pela alternância de lâminas síltico-argilosas e arenosas. As estratificações cruzadas, segundo FIPAI (1996), são do tipo tangencial de médio a grande porte; já CAETANO-CHANG e WU (1992) classificam-nas como de pequeno a grande porte, tabulares ou acanaladas, tangenciais na base, e plano-paralelas, intercalando lamitos e argilitos arenosos que representariam uma alternância cíclica de fáceis de canal fluvial e de transbordamento.

Estratigraficamente, a formação repousa sobre os depósitos da Formação Corumbataí por contato de discordância erosiva, e no topo há contato com os arenitos da Formação Botucatu por mudança litológica gradual, ou, localmente, por discordância erosiva (FIPAI, 1996). Sua idade é estimada como Mesozóica (Jurássico Superior – Triássico Superior).

- Formação Botucatu

A Formação Botucatu é caracterizada por arenitos avermelhados, finos a médios, que contém grãos foscos com boa seleção de alta esfericidade. Arenitos médios a conglomeráticos ocorrem sob a forma de lentes na porção inferior dos depósitos. De

forma restrita, também, podem ocorrer leitos de argilito e siltito arenoso, com estratificação plano paralela (FIPAI, 1996).

Do ponto de vista estratigráfico, essa formação está sobre os depósitos da Formação Pirambóia por um contato concordante gradual ou, localmente, brusco. No topo, o contato com os derrames basálticos da Formação Serra Geral se dá por discordância ou interdigitação (FIPAI, 1996). A idade mais provável é do Jurássico Médio – Superior a Cretáceo Inferior.

Os arenitos da Formação Botucatu apresentam um conteúdo de silte e argila menor que os arenitos da Formação Pirambóia e compõe o principal sistema aquífero do Aquífero Guarani (ROCHA, 1997).

- Formação Serra Geral

Segundo FIPAI (1996), a Formação Serra Geral é representada por derrames de basalto toleíticos, às vezes com arenitos intertrapianos semelhantes aos da Formação Botucatu; e intrusivas básicas associadas tais como diques e *sills*. Os basaltos apresentam cor cinza escuro a negro, textura afanítica e estrutura maciça. A composição mineralógica é constituída essencialmente por labradorita zonada e clinopiroxênios. Minerais acessórios são apresentados por titânio – magnetita, apatita, quartzo e, raramente, olivina (IPT, 1981). Material vítreo ocorre nas bordas dos derrames. Os diques e *sills* não apresentam espessuras definidas. Está em contato com os arenitos da Formação Botucatu por interdigitação ou discordância.

A idade mais aceita para o vulcanismo é entre Jurássico Superior e Cretáceo Inferior.

A existência de arenitos eólicos intertrapianos indica um ambiente ainda desértico, quando do extravasamento da lava através de geoclaves e fraturas menores.

4.1.4 HIDROGEOLOGIA

Segundo FIPAI (1996), as águas subterrâneas ocorrem em três níveis principais, associadas a três tipos de ambientes, a saber:

- Aquífero Aluviões – Coluviões:

Este tipo de aquífero ocorre nos sedimentos existentes ao longo dos cursos d'água dos córregos e do Rio Pardo e, como aquífero suspenso, nos coluviões. O aquífero se caracteriza por ser um meio poroso não confinado e estar em conexão hidráulica com a drenagem local. A litologia é composta por sedimentos não consolidados de areia fina em forma de lentes alternadas com areias siltsosas a argilosas e siltes arenosos. Ensaios de permeabilidade indicam valores de $6,0 \times 10^{-7}$ a $1,9 \times 10^{-4}$ m/s para condutividade horizontal e $1,4 \times 10^{-7}$ a $1,2 \times 10^{-5}$ m/s para a condutividade vertical. A localização do Aquífero Aluvião é sobrejacente ao Aquífero Guarani na zona Leste, estando em comunicação hidráulica com este aquífero maior.

- Aquífero em Magmatitos Fraturados (Serra Geral):

As fraturas da rocha magmática básica possuem a capacidade de reservar e transmitir águas subterrâneas. Fraturas com pequenas aberturas são capazes de ter uma condutividade hidráulica da ordem de 10^{-5} m/s.

De acordo com MONTENEGRO *ET AL.* (1988), a espessura média desta unidade aquífera, na região de Ribeirão Preto, é 65 m.

As características da rocha básica quanto à sua estrutura, nível e padrão de fraturamentos fornecem uma grande variedade de

números relacionados a parâmetros hidráulicos. SINELLI e WERNICK (1970) definiram a direção 50N-60E e o sentido NE-SW para o escoamento subterrâneo nas fraturas. A ocorrência deste aquífero está restrita às zonas Oeste, Central e Sul da área de estudo.

- Aquífero Guarani (Botucatu/Pirambóia):

As águas subterrâneas reservadas nos poros do Aquífero Guarani são de boa qualidade, e são utilizadas no abastecimento de toda a cidade de Ribeirão Preto e, complementarmente, no dos demais municípios. Este aquífero é constituído pelo pacote saturado de arenitos das Formações Botucatu e Pirambóia. Do topo para base do aquífero, nota-se a sucessão de arenitos finos a médios com grãos foscos e arredondados, selecionados a moderadamente selecionados, por arenitos siltosos a argilosos com grãos hialinos, sub angulosos e mal selecionados.

Na distribuição espacial distinguem-se as áreas da zona Leste e zona Nordeste da região com afloramentos das Formações Botucatu-Pirambóia, e as áreas da zona central, Sul, Oeste, Norte e Noroeste com afloramentos de magmatitos básicos (basaltos). As camadas do aquífero mergulham no sentido EW (eixo do Rio Paraná).

Na **Figura 13** é apresentado o modelo hidrogeológico para a região de estudo, com o esquema de fluxo subterrâneo entre os diferentes aquíferos.

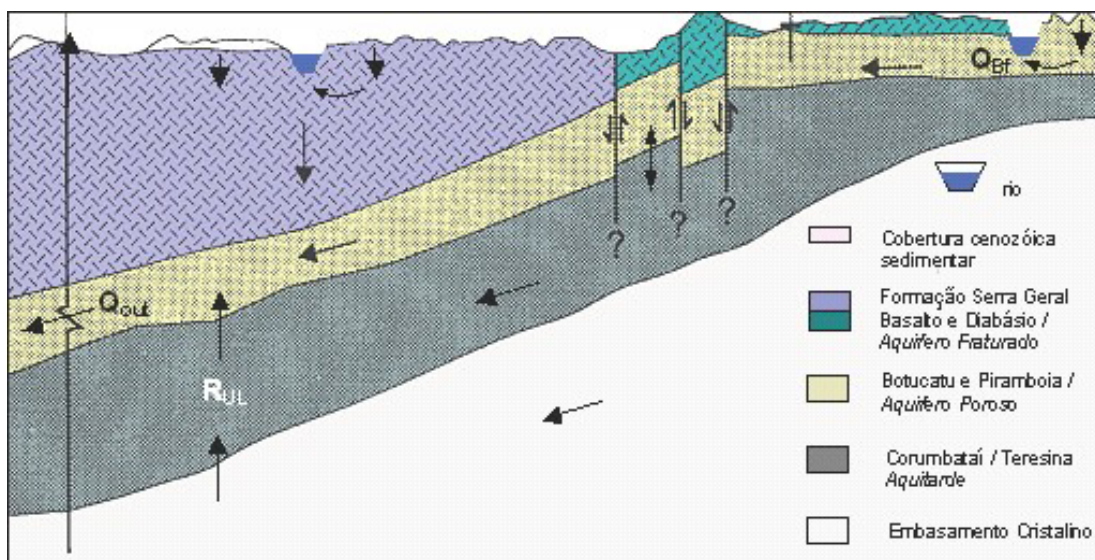


Figura 13: Modelo hidrogeológico (KULLS, 2003 *apud* SMA/São Paulo & StMUGV/Baviera, 2004)

Falhas, juntas e fraturas dos arenitos e basaltos estão dispostas principalmente nas direções nordeste e noroeste. Por isso, os caminhos preferenciais de fluxo das águas subterrâneas são presumidos nestas direções. Fraturas horizontais também parecem ter um papel importante no fluxo de água. Há um divisor de águas subterrâneas proeminente na parte leste da área urbanizada e uma depressão na parte oeste, causada pela exploração durante algumas décadas (a recente diminuição do nível estático foi estimada em 1,2 m/a). Este divisor e esta depressão são feições dominantes, influenciando principalmente o padrão de fluxo do aquífero (SMA/São Paulo & StMUGV/Baviera, 2004).

Na área de afloramento a leste, o Aquífero Guarani é livre, enquanto que na área a oeste ele é, na maior parte, semiconfinado ou confinado devido à sobreposição dos basaltos da Formação Serra Geral. Nos vales do Córrego Ribeirão Preto e em outros rios, a espessura da cobertura das águas subterrâneas do SAG é geralmente menor que 50 metros. Nas áreas adjacentes, ela atinge mais de 100 metros (SMA/São Paulo & StMUGV/Baviera, 2004).

4.1.5 CAMADAS CONFINANTES E SEMICONFINANTES

O aquífero da base do Aquífero Guarani é constituído por diferentes litótipos, correspondentes à base da Formação Pirambóia e à Formação Corumbataí (de idade Paleozóica). São representadas, do topo para base, por arenitos argilosos, siltitos arenosos, argilitos folhelhos, bancos de calcário e eventuais intercalações de lentes arenosas de diferentes níveis (PIUCI E DINIZ, 1985 *apud* RABELO, 2005). Esse aquífero funciona hidraulicamente como camada semiconfinante da base do Aquífero Guarani, e, dependendo das cargas hidráulicas entre este e o Guarani, pode haver entrada ou saída de água por drenança. Pela inexistência de valores calculados de condutividade vertical, e pela característica das rochas, que indicam ser essa condutividade muito baixa, esta camada é comumente considerada como limite impermeável da base do Aquífero Guarani (DAEE, 1974).

Pelas características gerais dos derrames basálticos, que incluem intercalações de arenitos, diaclasamentos verticais e horizontais, e por grandes linhas de descontinuidade transversais, o confinamento do topo do Aquífero Guarani é caracterizado por uma camada semiconfinante (RABELO, 2005). Esta camada é definida pelo contorno estrutural da base da Formação Serra Geral, que se comporta como uma unidade aquífera constituída por camadas com porosidade predominantemente secundária (por fraturamento), apresentando-se litologicamente homogênea e hidraulicamente anisotrópica, com circulação em meio fraturado; é um aquífero em condições livres, funcionando como reservatório.

FERNANDES *ET AL.* (2006), estudando o modelo de circulação de água no Aquífero Serra Geral, identificaram 4 derrames de basalto na região de Ribeirão Preto e Bonfim Paulista.

A análise da estratigrafia e estruturas tectônicas desses derrames, em conjunto com a análise de dados de poços da região, tornou possível aos pesquisadores inferir que as fraturas horizontais e pelo menos parte das fraturas verticais, de origem tectônica, estão interconectadas e que o nível potenciométrico do Sistema Aquífero Guarani (SAG) está acima do contato com o Aquífero Serra Geral (ASG), mas abaixo do nível d'água dos basaltos, pelo menos nas regiões próximas aos afloramentos do SAG. Isto indicaria um fluxo com componente vertical e descendente para as águas do SAG nessas regiões (**Figura 14**).

Esses autores, quanto ao contato entre os basaltos da Formação Serra Geral e os arenitos da Formação Botucatu, adotam a proposta de MALDANER *ET AL.* (2005) *apud* FERNANDES (2006) de que ele é contínuo e com ondulações cujo comprimento de onda é de cerca de 2 km e a amplitude varia de 50 a 100 m (**Figura 14**). Segundo os autores, essas ondulações devem corresponder ao paleorelevo de dunas da época da deposição dos arenitos da Formação Botucatu. Essa teoria vai contra o adotado usualmente, de que essas variações relativamente abruptas das cotas do contato entre as duas formações seriam devido a deslocamentos verticais e tectônicos.

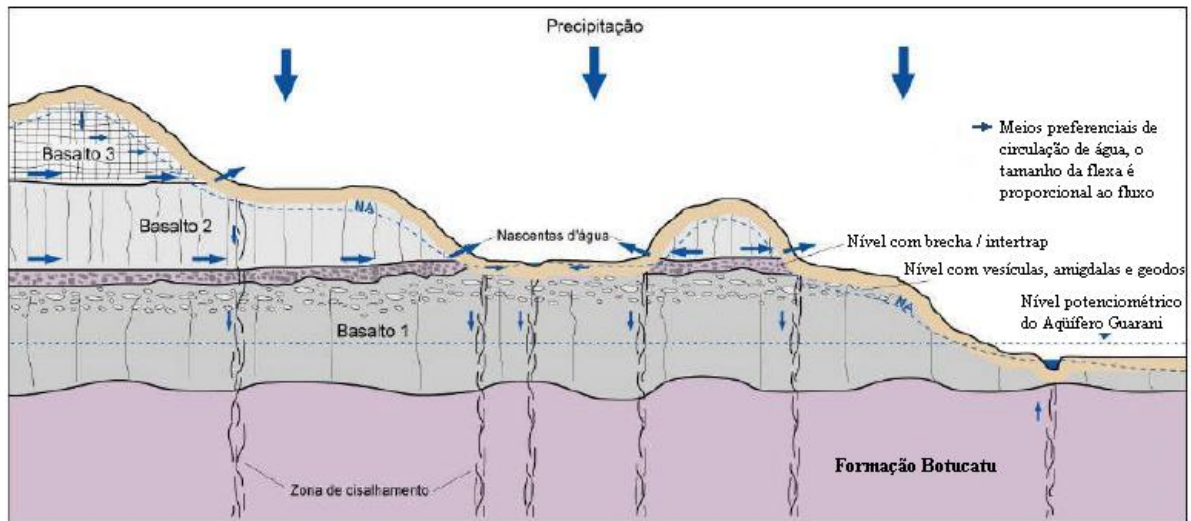


Figura 14: Esquema dos principais meios de circulação nos derrames basálticos de Ribeirão Preto (FERNANDES *ET AL.*, 2006)

4.1.6 PARÂMETROS HIDROGEOLÓGICOS

Uma das principais finalidades no estudo de um aquífero é a determinação dos valores de seus parâmetros hidrodinâmicos, bem como os dos aquíferos circunvizinhos. Os principais parâmetros de um aquífero são a condutividade hidráulica (K), a transmissividade (T) e o coeficiente de armazenamento (S) e a espessura (E).

O IPT (2000), estudando a UGRHI 4 – PARDO, chegou aos valores apresentados na **Tabela 1** para as formações geológicas nela existentes.

Tabela 1: Resumo das características geométricas e hidráulicas dos aquíferos presentes na UGRHI 4 (adaptado de IPT, 2000)

AQÜÍFERO	GEOMETRIA		HIDROGEOLOGIA	
	Área aflorante na UGRHI (%)	Espessura média (m)	Transmissividade (m ² /d)	Porosidade efetiva (%)
Cenozóico	6	30	-	-
Serra Geral	24	150	1 a 95	1 a 5
Guarani livre	23	250	40 a 500	25
Guarani confinado	0	350 a 400	150 a 400	16 a 24
Passa Dois	4	120	< 10	-
Tubarão	11	1000	0,3 a 200	5
Cristalino	32	200	0,1 a 200	-

Devido às suas dimensões, o SAG apresenta uma grande variação nos valores de seus parâmetros hidrodinâmicos. Na **Tabela 2** é representado um resumo dos valores encontrados ou adotados por alguns autores que estudaram as características hidrodinâmicas do SAG.

Tabela 2: Valores de parâmetros hidrodinâmicos do SAG

AUTOR/FONTE	CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS DO SAG			
	Transmissividade (m ² /d)	Condutividade (m/s)	Coeficiente de armazenamento	
			Livre (porosidade efetiva)	Confinado
DAEE (1974)	200 - 540	$4,0 \cdot 10^{-5}$	0,25	$1,0 \cdot 10^{-5}$ - $1,0 \cdot 10^{-3}$
MONTENEGRO (1990)	280 - 1000 (Sinelli <i>et. al.</i> , 1980)	$4,0 \cdot 10^{-5}$ (DAEE, 1974)	0,1	$1,0 \cdot 10^{-6}$ - $1,0 \cdot 10^{-4}$
IPT (2000)	40 - 500	$3,5 \cdot 10^{-6}$ - $4,5 \cdot 10^{-5}$ (DAEE, 1984)	0,25	$1,0 \cdot 10^{-5}$ - $1,0 \cdot 10^{-3}$ (DAEE, 1974)
GUIDO (2004) ⁽¹⁾	170 - 220	$1,0 \cdot 10^{-5}$ - $4,0 \cdot 10^{-5}$	0,1 a 0,2	$1,0 \cdot 10^{-4}$ - $5,0 \cdot 10^{-4}$
BORGHETTI ET AL. (2004)	150 - 800	$3,5 \cdot 10^{-5}$	0,15 a 0,20	$1,0 \cdot 10^{-6}$ - $1,0 \cdot 10^{-4}$
DAEE/IG/IPT/CPRM (2005)	260	$3,5 \cdot 10^{-5}$	0,17	$1,0 \cdot 10^{-3}$ (DAEE, 1974)
RABELO (2005) ⁽²⁾	9 - 1200	$2,8 \cdot 10^{-5}$	0,15 a 0,25 (DAEE, 1974)	$1,0 \cdot 10^{-5}$ - $1,0 \cdot 10^{-3}$ (DAEE, 1974)

⁽¹⁾ Estudando o município de Ribeirão Preto

⁽²⁾ Estudando as bacias dos Rios Jacaré-Pepira e Jacaré-Guaçu

4.1.7 FLUXO SUBTERRÂNEO

Segundo o DAEE (1974), apesar da diferenciação litológica entre a Formação Botucatu e a Formação Pirambóia, em termos hidrodinâmicos estas unidades geológicas estão interligadas dentro de um mesmo sistema de fluxo de 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 na região. Na porção confinada, de forma regional, o fluxo subterrâneo segue para o oeste do Estado (SILVA, 1983). De acordo com DAEE

(1974), a inclinação natural da superfície potenciométrica na região nordeste do Estado de São Paulo é baixa, variando de 0,5% a 3%. A variação sazonal do nível estático do SAG observada por DAEE (1974) em alguns poços, inclusive em Ribeirão Preto mostrou variações de 1,8 a 3 m.

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 ao bombeamento intensivo e à concentração de poços. Em algumas porções, o nível d'água chega a ultrapassar a base do Aquífero Serra Geral, que atua como camada confinante (ou semiconfinante).

4.1.8 SITUAÇÃO EM RIBEIRÃO PRETO

Atualmente, de acordo com os registros existentes, 95 poços são destinados ao abastecimento público do município de Ribeirão Preto. O consumo per capita em 1970 era de 428 l/hab/dia segundo DAEE (1974), subindo para 547 l/hab/dia em 1996, de acordo com FIPAI (1996). A maior parte da população do município encontra-se na área urbana, sendo abastecida pela rede pública. Se considerarmos a mesma taxa de consumo per capita adotada por FIPAI (1996) e a população existente em 2000, o volume explorado de água para abastecimento público fica em torno de 275.000 m³/dia, ou seja, 8,25 milhões de m³/mês. Entretanto, considera-se esta taxa de consumo elevada, sendo mais viável a projeção de um valor de até 350 l/hab/dia, incluindo perdas na rede, o que totalizaria um volume explotado de cerca de 176.000 m³/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 conexões diretas com o aquífero.

A profundidade dos poços também vem crescendo ao longo dos anos. Acredita-se que este fato deve-se ao melhoramento das tecnologias de perfuração, necessidade de maiores transmissividades para aumento da produtividade dos poços e pelo rebaixamento do nível d'água, exigindo a perfuração de poços cada vez mais profundos.

Na **Figura 15** é mostrada a evolução do rebaixamento do nível piezométrico do SAG no município de Ribeirão Preto (a evolução da área urbana está representada em vermelho), do ano de 1960 até 2002. As imagens foram geradas pelas simulações de GUIDO (2004) para a área do município de Ribeirão Preto.

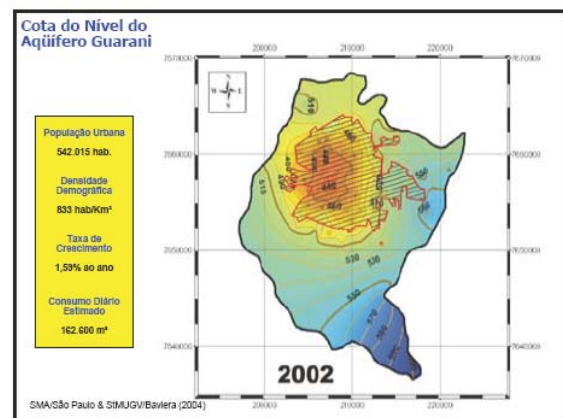
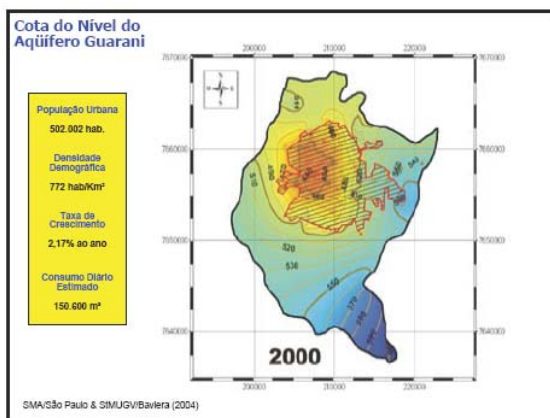
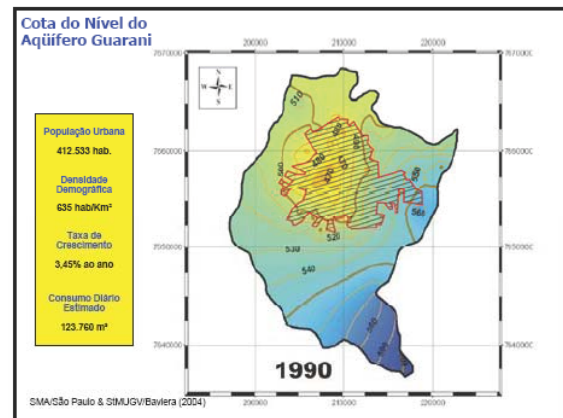
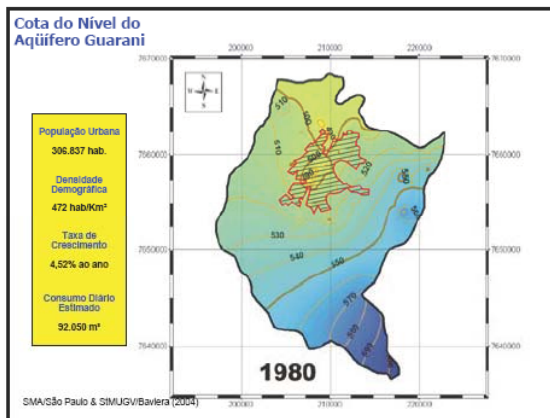
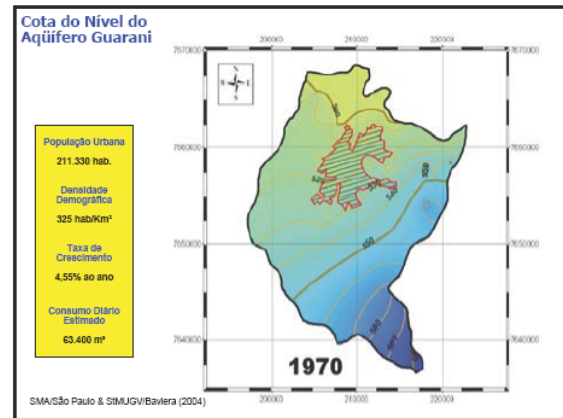
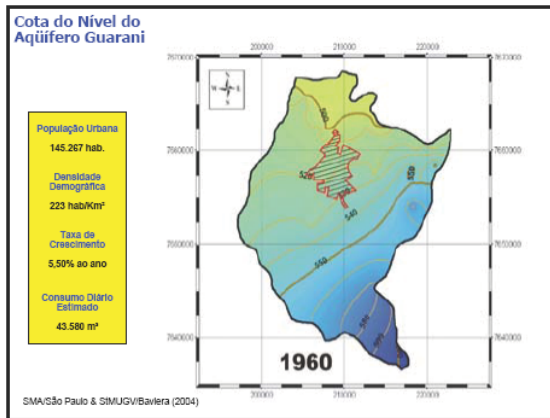


Figura 15: Evolução do nível piezométrico no município de Ribeirão Preto (GUIDO, 2004)

Para tentar conter o avanço do rebaixamento e demais problemas no município de Ribeirão Preto, a Câmara Técnica de Saneamento e Água Subterrânea do CBH – Pardo propôs a classificação do município como Área Provável de Restrição e Controle conforme a Deliberação CRH nº 52, de 15 de abril de 2005. Essa área de restrição é mostrada na **Figura 16**.

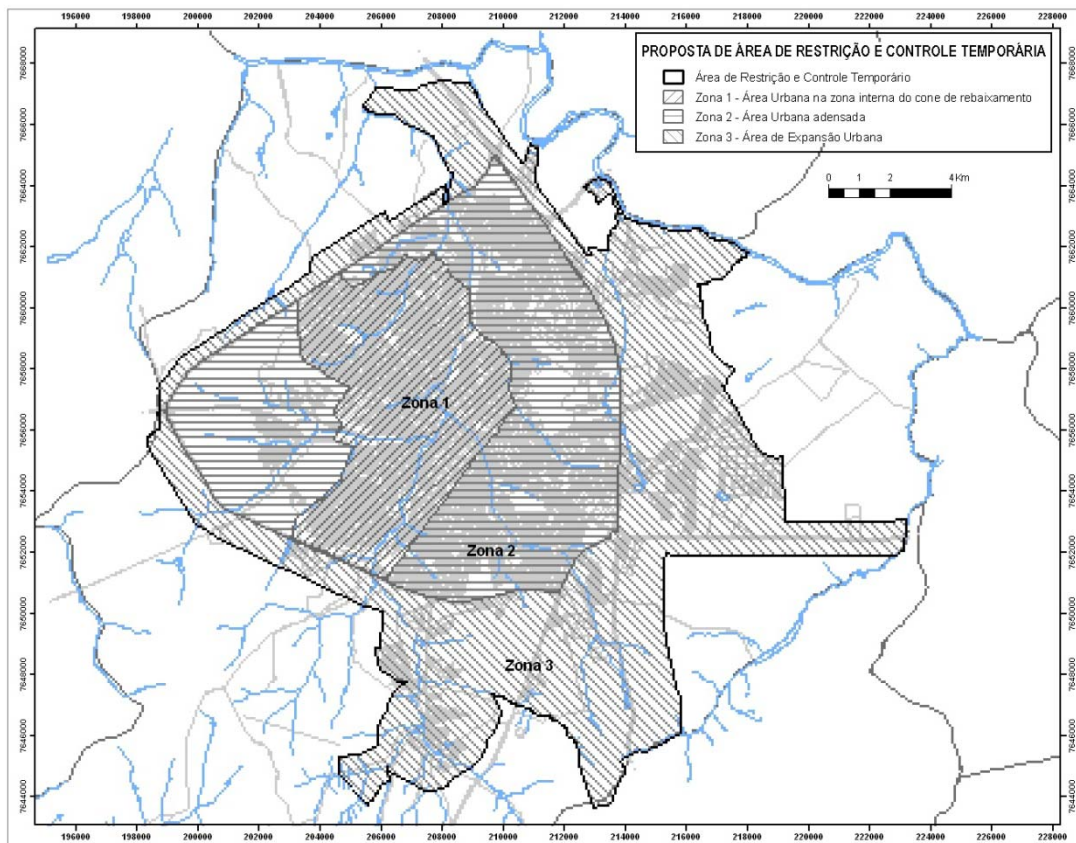


Figura 16: Área de restrição e controle temporário no município de Ribeirão Preto (SMA/São Paulo & StMUGV/Baviera, 2004)

4.2 MODELO CONCEITUAL

O modelo conceitual é uma parte fundamental no processo de construção de um modelo numérico, já que nele são detalhados todos os processos físicos do meio natural e as simplificações adotadas para esse meio.

Aqui também, por conseguinte, residem as principais causas de falhas e de imprecisão do modelo. A construção do modelo conceitual é um processo iterativo e ele está sempre em evolução, já que, se uma hipótese adotada para o modelo não for confirmada, ele deve ser revisto.

O modelo conceitual proposto para a área de estudo é direcionado à construção de um modelo numérico de fluxo subterrâneo. Todas as informações obtidas (descritas na **Seção 4.1**) visaram dar subsídios ao estabelecimento de unidades hidroestratigráficas, do balanço hídrico e do sistema de fluxo conceitual do modelo.

4.2.1 UNIDADE HIDROESTRATIGRÁFICA

As Formações Botucatu e Pirambóia foram consideradas como uma única unidade hidroestratigráfica, o Aquífero Guarani, limitada inferiormente pela base da Formação Pirambóia e, superiormente, pelo topo da Formação Botucatu.

Essas formações foram consideradas uma única unidade aquífera pelos seguintes motivos:

- Semelhança hidrogeológica;
- Isotropia e homogeneidade regionais;
- Paralelismo e regularidade de ocorrência.

4.2.2 RECARGA

A recarga foi considerada, inicialmente, como a soma de:

- Recarga direta, que chega diretamente ao aquífero pelas áreas de afloramento;
- Recarga indireta, que passa através de estruturas sobrejacentes ao aquífero.

Foram definidos como áreas de recarga do Aquífero Guarani os afloramentos das seguintes formações:

- Botucatu;
- Pirambóia;
- Sedimentos Aluvionares Modernos;
- Sedimentos Continentais Indiferenciados;

As duas últimas são regiões onde o Aquífero Guarani é semiconfinado, ou seja, áreas de recarga indireta. Essa hipótese é baseada no fato de que, dada sua litologia e pequena espessura, existe interação entre elas e o Aquífero Guarani.

4.2.3 FLUXO

Localmente, o Rio Pardo constitui-se na drenagem principal da área, tendo a maioria dos rios como afluentes. Assim, a tendência é que o fluxo subterrâneo seja também para o Rio Pardo.

As áreas a leste do domínio (regiões de afloramento do Guarani) funcionam como áreas de recarga, com drenagem própria. O excedente escoia subsuperficialmente para oeste, em direção à calha do Rio Paraná.

4.3 OBTENÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS EM SIG

Ferramentas SIG (Sistemas de Informações Geográficas) têm sido amplamente utilizadas para a organização e gerenciamento de grandes quantidades de dados de uma determinada região. De modo simplificado, um SIG combina *layers* (níveis de informação) de uma área de modo a fornecer uma melhor compreensão sobre esta área. A escolha dos *layers* a serem combinados depende do propósito, por exemplo: encontrar o melhor local para uma nova loja, analisar danos ambientais, observar crimes similares em uma cidade para detectar padrões.

Em águas subterrâneas, o SIG tem sido utilizado como a forma mais adequada de gerenciamento de grandes quantidades de dados: hidrológicos, formações geológicas, rios e lagos, poços etc.

Como ferramenta de gerenciamento de dados, o SIG dispõe de possibilidades de exportação e importação de arquivos em diversos formatos, que permitem compartilhar dados e recursos entre diferentes programas, e também de bons recursos de armazenamento, processamento e visualização.

Neste trabalho, a ferramenta SIG utilizada foi o *software* Arcview (ESRI, 2002), servindo de organizador e manipulador de dados que serão, posteriormente, disponibilizados para o *software* SPA – Simulador de Processos em Aquíferos (WENDLAND, 2003). Esse processo de organização e manipulação permitiu fornecer ao modelo numérico todos os dados georreferenciados e separados em *layers*, de um modo que facilite a compreensão dos processos e características da região. No **ANEXO 1**, é apresentado um roteiro mais detalhado de utilização integrada dos *softwares* necessários neste projeto.

4.3.1 OBTENÇÃO DE DADOS

Dados sobre a região foram fornecidos pelo Grupo Coordenador do Projeto Piloto de Ribeirão Preto, na forma de um arquivo para o *software* AutoCAD e uma compilação de todos os poços existentes na área de estudo.

Dados sobre a geologia da região também foram obtidos do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS, 2006).

Aqui cabe ressaltar a escassez de dados no cadastro de informações para a área de estudo, principalmente para as regiões mais distantes de Ribeirão Preto. Para discutir eventuais soluções para as dificuldades enfrentadas na aquisição de dados, foi realizada uma reunião no Instituto Geológico (IG/SMA). O relatório desta reunião está apresentado no **ANEXO 2**.

4.3.1.1 Dados topográficos e superficiais da região

Os dados referentes à topografia e características superficiais da região de estudo foram obtidos através de um mapa digital vetorial em escala 1:50.000 (IBGE, 1971) contendo as Folhas de Ribeirão Preto (SF-23-V-C-I-1), Serrana (SF-23-V-C-I-2), Bonfim Paulista (SF-23-V-C-I-3) e Cravinhos (SF-23-V-C-I-4).

Esse mapa contém dados referentes a:

- Altimetria, com curvas de nível espaçadas de 20 m;
- Hidrografia, apenas com localização (coordenadas X e Y), sem cotas altimétricas;
- Rodovias e ferrovias de acesso, com localização (coordenadas X e Y);
- Divisão municipal;
- Área urbana de cada município e arruamento;

- o Articulação das Folhas do IBGE.

Dados de geologia superficial da região foram obtidos junto ao IPT (2000), pelo arquivo digital do Relatório nº 40670 "Diagnóstico da situação atual dos Recursos Hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo – Relatório Final".

Dados hipsométricos do Rio Pardo e afluentes foi obtida de cartas topográficas do IBGE para a região do Rio Pardo, na escala 1:10.000, obtidas junto à secretaria do IBGE de São Carlos.

Todos esses dados foram transportados para a ferramenta SIG, e convertidos de dados vetoriais e tabelas para *shapefiles*, que é o tipo de dado de entrada no *software* Arcview (ESRI, 2002).

4.3.1.2 Dados geológicos subterrâneos

Os dados geológicos subterrâneos utilizados foram obtidos, primariamente, através do banco de dados do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS, 2006) e, complementarmente, através da compilação fornecida pelo Grupo Coordenador do Projeto Piloto de Ribeirão Preto.

O SIAGAS (2006) foi a fonte inicial de informações de poços existentes na região de estudo. Infelizmente, esses dados, muitas vezes, apresentaram-se incompletos, incoerentes ou ausentes, sendo que a quantidade de dados consistentes e aproveitáveis é relativamente baixa para a dimensão da área de estudo. Constam, nesse cadastro de poços, dados referentes a: geologia, hidrogeologia, coordenadas (UTM L-O e N-S), município, data de instalação, uso, localidade e testes efetuados.

Os dados de geologia, hidrogeologia, coordenadas (UTM L-O e N-S), data de instalação e uso dos poços desse cadastro estão representados, na forma de uma tabela, no **ANEXO 3**.

Foram selecionados dados referentes à:

- o Cota de topo e base da Formação Serra Geral;
- o Cota de topo e base da Formação Botucatu;
- o Cota de topo e base da Formação Pirambóia (porém, com uma densidade muito baixa de dados).

Posteriormente, foi obtida junto à coordenadoria do Projeto Piloto de Ribeirão Preto, uma compilação de todos os poços existentes na área de estudo (PSAG, 2007,¹ comunicação pessoal). Esses dados foram utilizados para preencher os vazios de dados, principalmente, na região dos municípios de Serra Azul, São Simão e Cravinhos. Essa compilação apresenta a ficha cadastral de cada poço, separadas por folha do IBGE.

Dessa compilação constam 432 poços no da área do Projeto Piloto de Ribeirão Preto, sendo 292 em atividade. Dos poços em atividade, 143 localizam-se no município de Ribeirão Preto.

Desses dados, foram aproveitados:

- o Cota de topo e base da Formação Serra Geral;
- o Cota de topo e base da Formação Botucatu;
- o Nível estático do aquífero (para toda a área).

¹ Comunicação feita por carta do dia 15 de Março de 2007, assinada pelo Facilitador Local do Projeto Piloto de Ribeirão, Dr. Heraldo Campos.

4.3.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS EM SIG

Todos os dados obtidos foram reunidos e transportados para a ferramenta SIG utilizada, transformados para o formato *shapefile* e georreferenciados.

Para se obter a superfície do terreno e a de topo e base dos aquíferos existentes na área, os dados pontuais foram interpolados pelo método de krigagem ordinária. A unidade das cotas apresentadas é metros sobre nível médio do mar (m.s.n.m.).

4.3.2.1 Geologia

A fonte inicial dos dados de geologia subterrânea foi o SIAGAS – Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (2006), entretanto a quantidade de poços que possuem dados geológicos é insuficiente para se realizar uma interpolação adequada em toda a área de estudo.

Esse problema foi sanado apenas após o fornecimento, pelo Grupo Coordenador de Ribeirão Preto, da compilação de todos os poços da região. Pela dificuldade de processamento desses dados, já que eles estão separados por ficha cadastral, só foram utilizados os necessários para o preenchimento dos vazios de dados. Os dados utilizados estão apresentados no **ANEXO 5**.

- Topo do Aquífero Guarani

Dos poços cadastrados para a área, 145 apresentavam as cotas de topo do Aquífero Guarani, sendo a maioria deles localizada na área urbana de Ribeirão Preto (**Figura 17**).

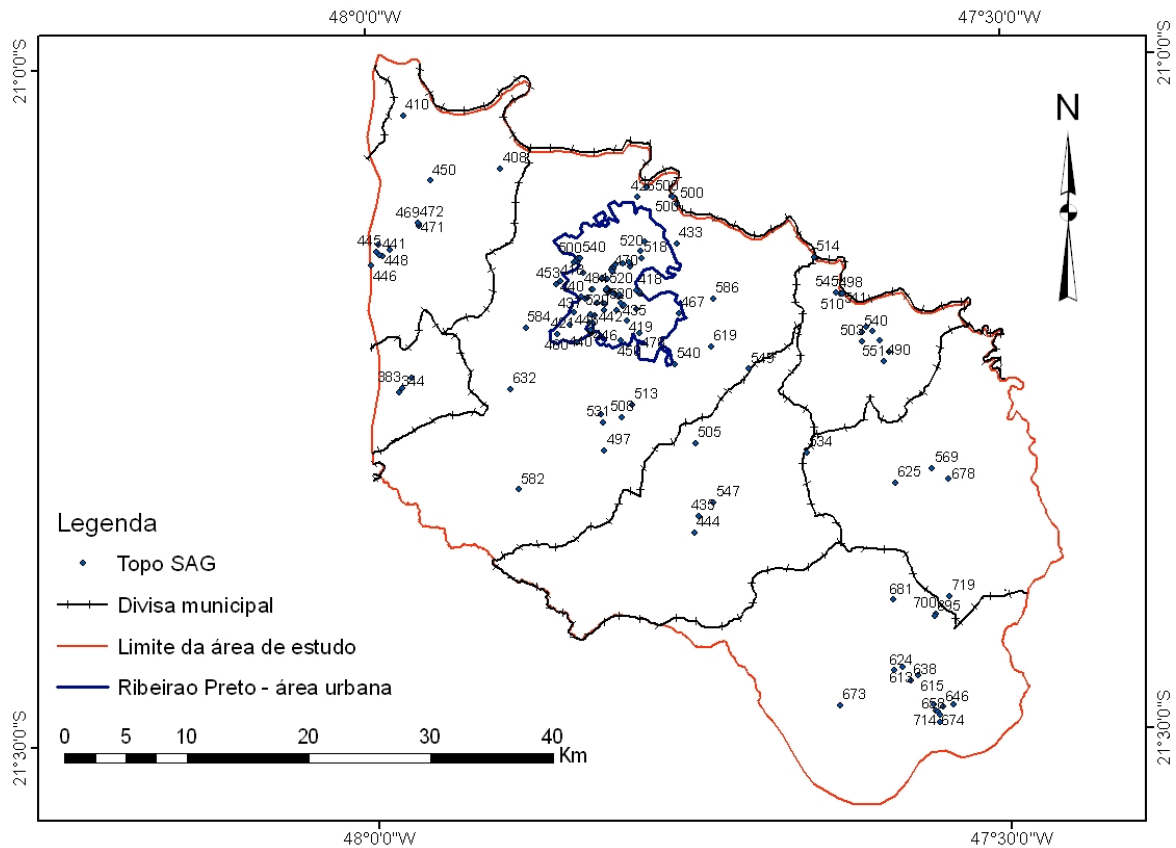


Figura 17: Poços contendo informações sobre topo do Aquífero Guarani (m.s.n.m)

A partir desses pontos foi gerada uma superfície tipo *raster* do topo do Aquífero Guarani. Esse arquivo *raster* foi transformado em uma *shapefile* do tipo ponto que, em seguida, foi transportada para o SPA. Essas informações foram utilizadas para definir a espessura do aquífero. A superfície do tipo *raster* é apresentada na **Figura 18**.

A porção ao norte de Sertãozinho, onde há uma ausência de dados, foi preenchida manualmente. Já as regiões faltantes de Serra Azul e São Simão não foram preenchidas porque nelas o Guarani é aflorante, então a própria superfície do terreno constitui o topo do aquífero.

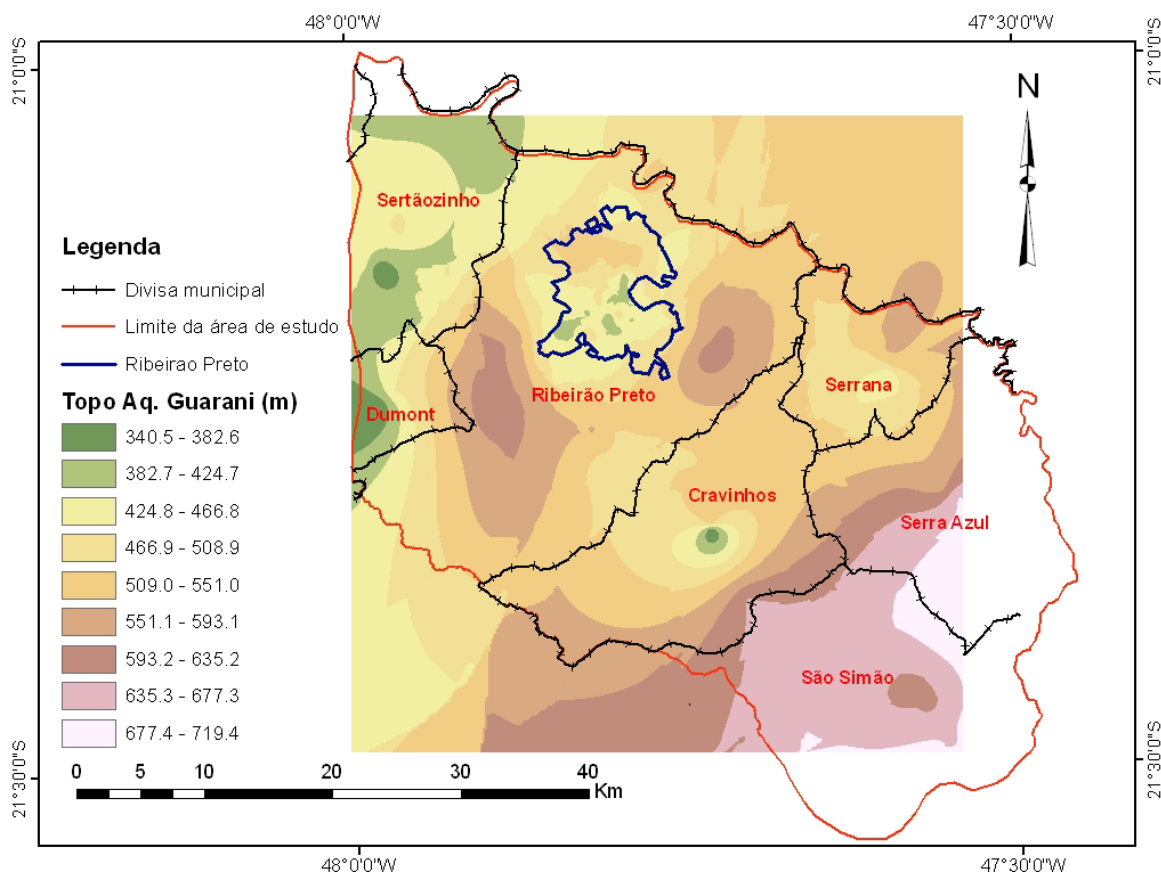


Figura 18: Superfície do topo do Aqüífero Guarani (m.s.n.m.)

Pela figura pode-se identificar um mergulho na direção de São Simão para Sertãozinho, ou seja, de Sudeste para Noroeste. As regiões em branco são devidas à insuficiência de dados nessas regiões e à uma limitação do processo de *krigagem*.

O topo do SAG implementado no SPA está apresentado na **Figura 19**. Os valores do parâmetro TOPO mostrados foram atribuídos às áreas confinadas pela Formação Serra Geral; na área de afloramento, foi atribuída a própria superfície do terreno.

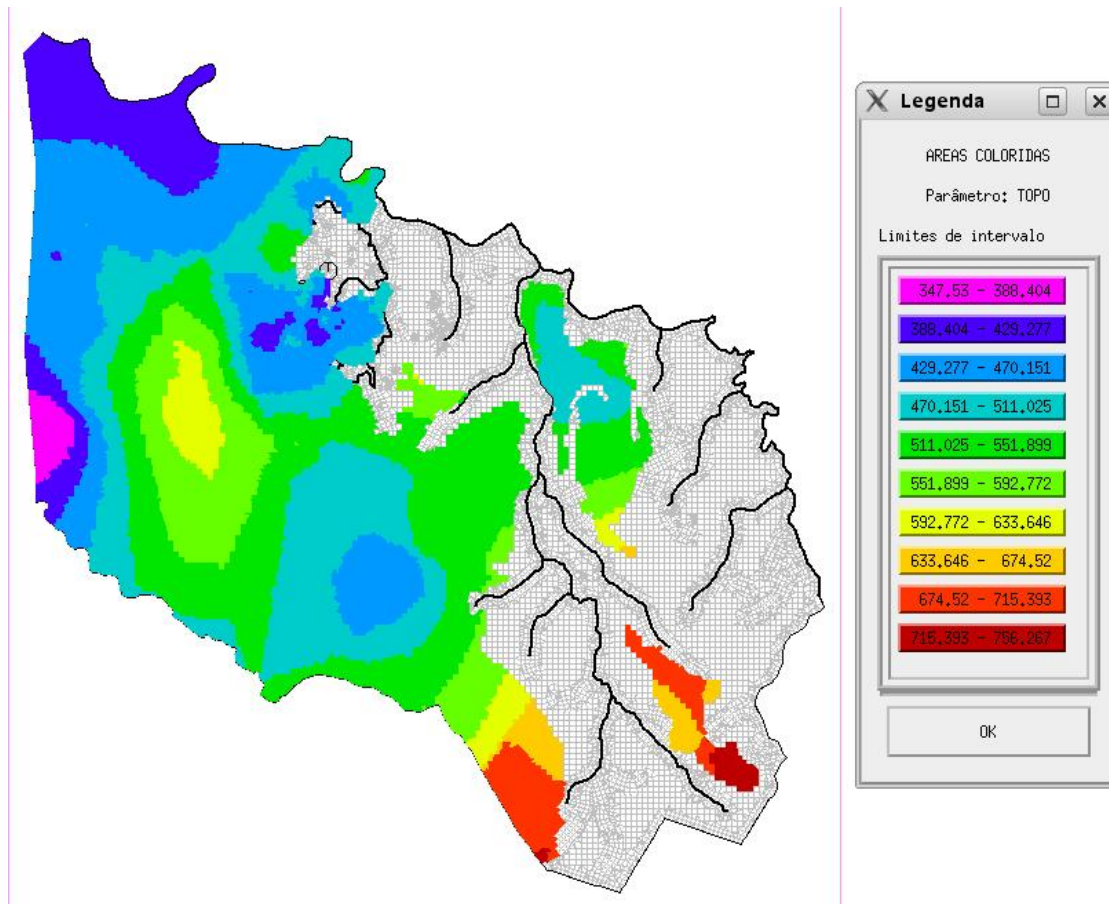


Figura 19: Topo do Aquífero Guarani no SPA (m.s.n.m)

- Base do Aquífero Guarani

Informações sobre a base da Formação Pirambóia são quase que inexistentes. A profundidade necessária de perfuração torna essa informação muito difícil de ser obtida, já que os custos aumentam bastante e a produção de água desejada é alcançada em profundidades menores na maioria dos casos.

Portanto, para obter as cotas de base do aquífero foi utilizado um mapa regional de espessura do Aquífero Guarani (**Figura 20**), em conjunto com dados de 19 poços (**Figura 21**) do SIAGAS (2006) que continham essa informação (interpretação de perfis geológicos).

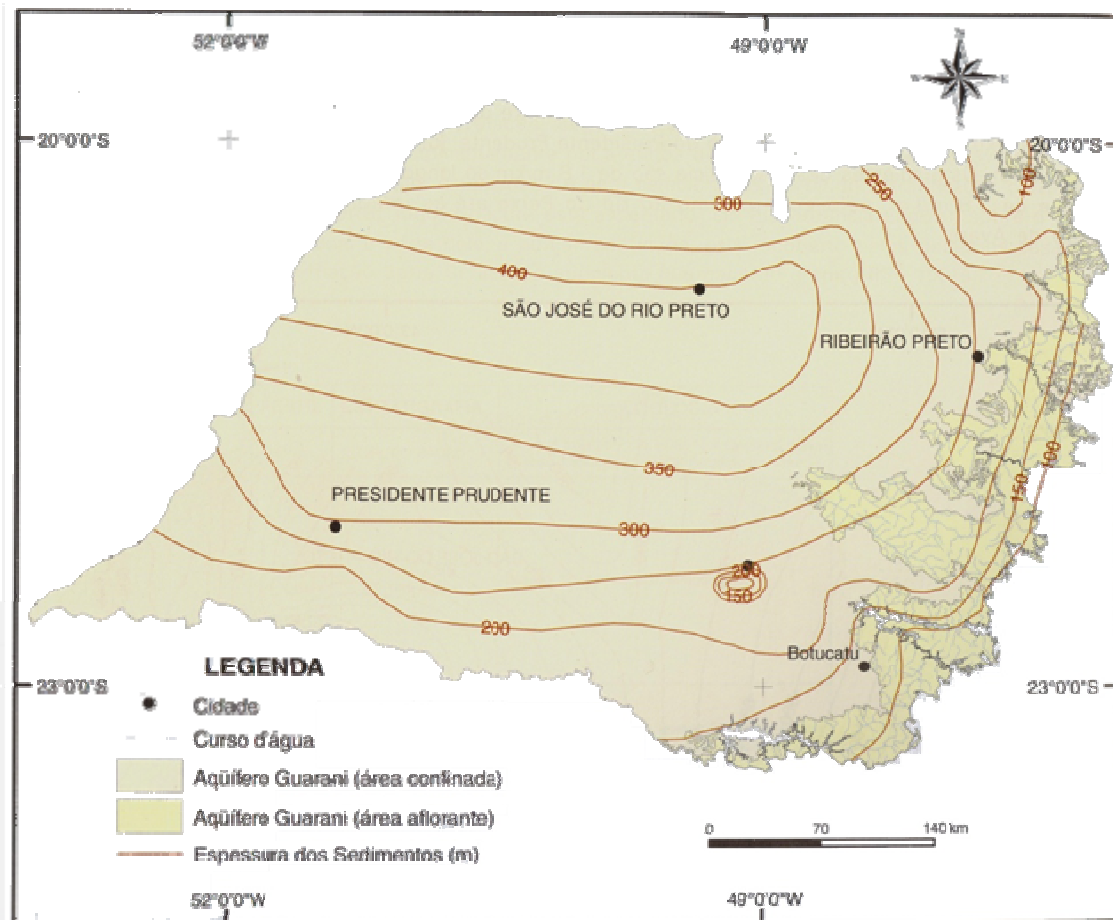


Figura 20: Isópacas dos sedimentos do Aquífero Guarani (DAEE/IG/IPT/CPRM, 2005)

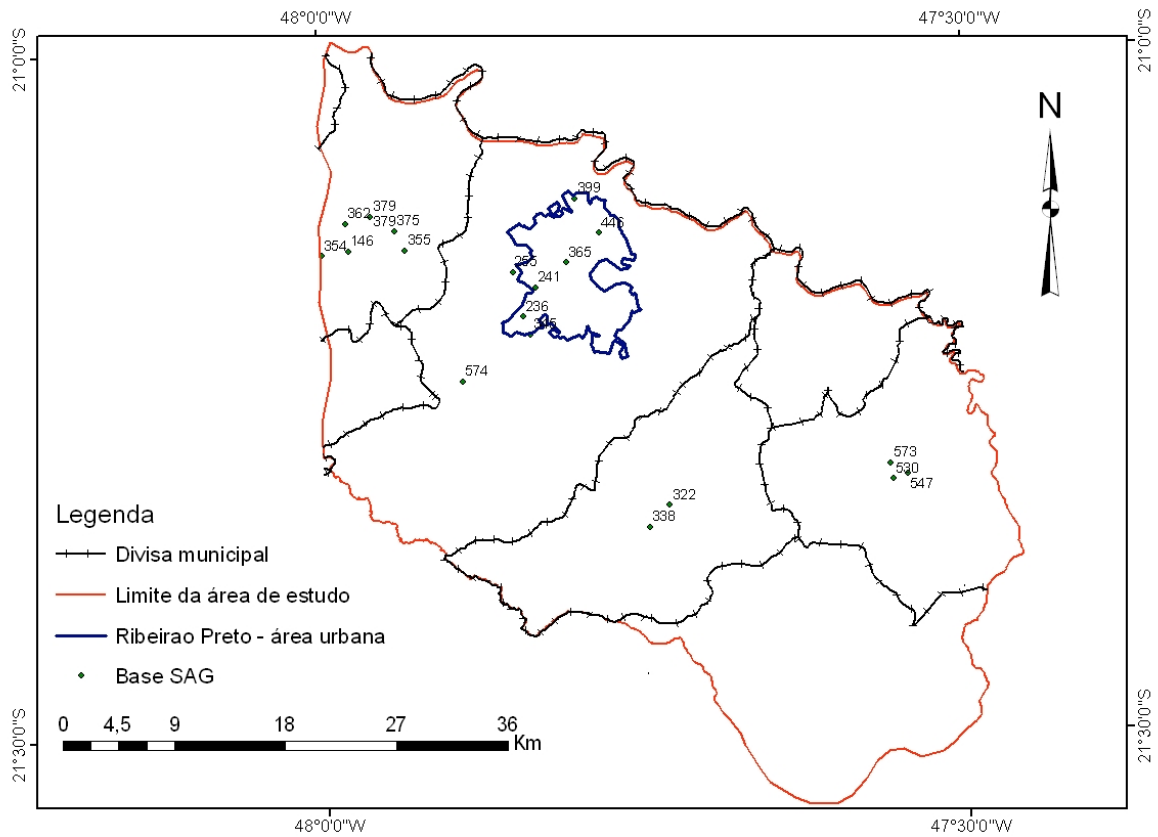


Figura 21: Pontos com dados de base da Formação Botucatu (m.s.n.m)

A **Figura 22** ilustra a base do SAG considerada no modelo numérico, com as cotas em relação ao nível do mar.

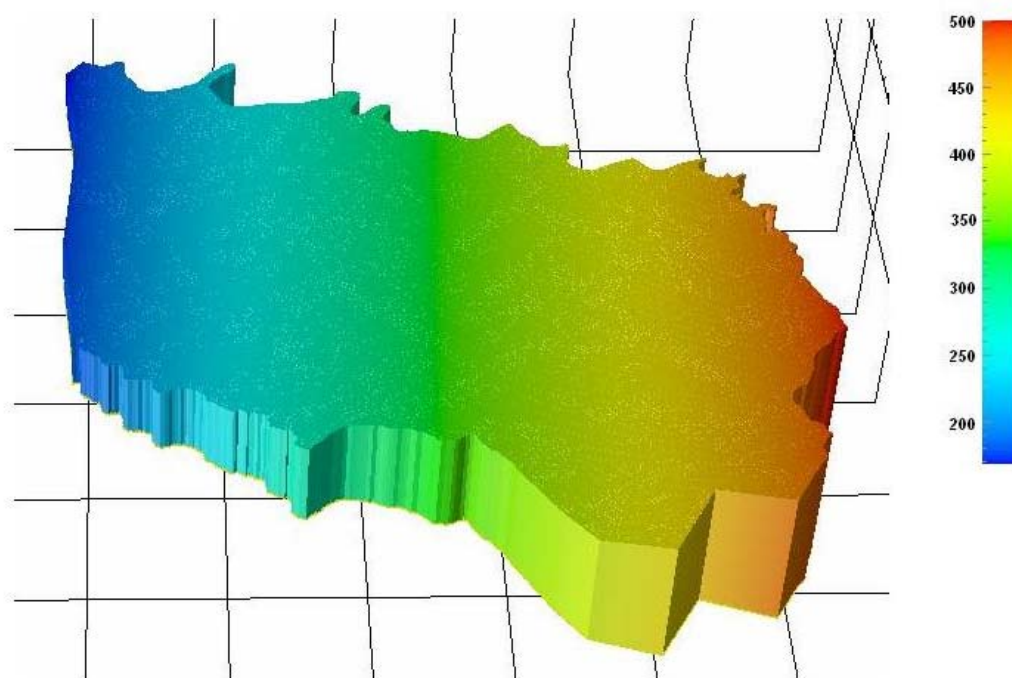


Figura 22: Base do Aquífero Guarani (m.s.n.m) no SPA

4.3.2.2 Área de afloramento

Os afloramentos do Aquífero Guarani correspondem a cerca de 40% da área de estudo. Foram consideradas como afloramentos as seguintes estruturas (**Figura 23**):

- Formação Botucatu;
- Formação Pirambóia;
- Sedimentos Aluvionares Modernos;
- Sedimentos Continentais Indiferenciados.

Nessas regiões, o SAG é considerado livre e em conexão hidráulica com os cursos d'água.

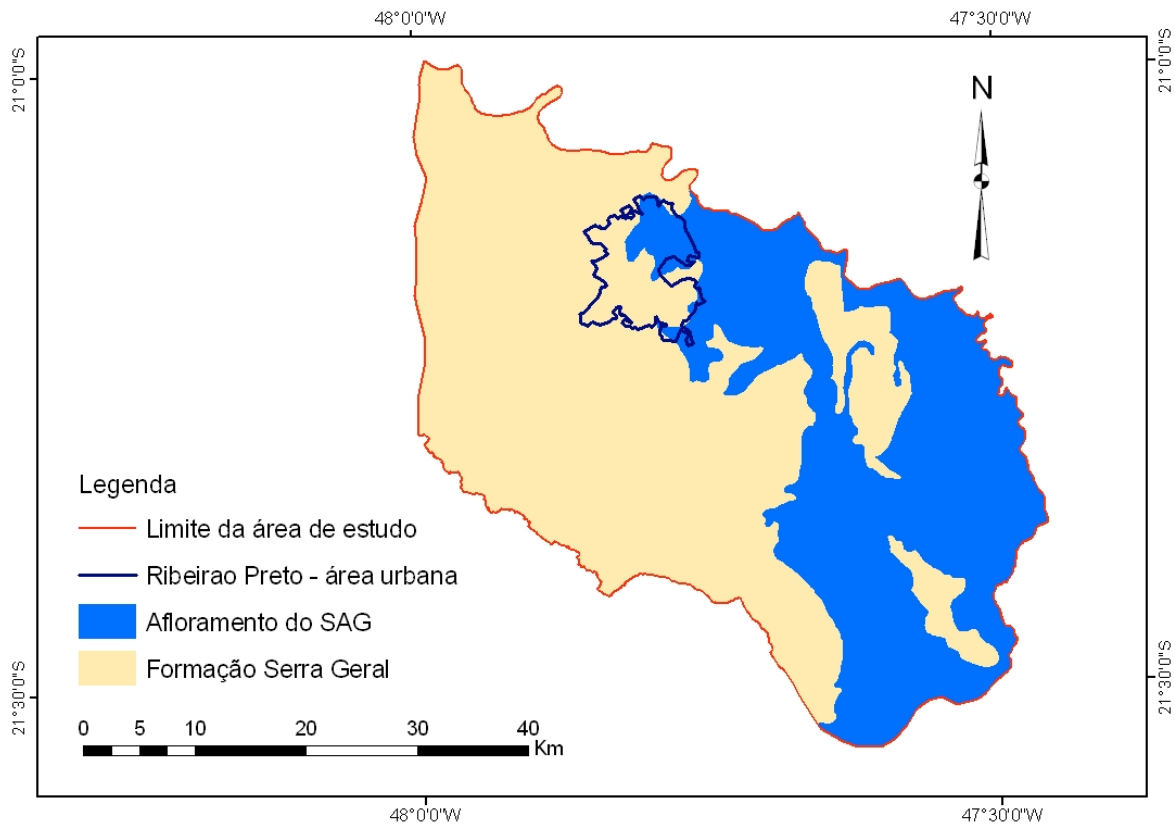


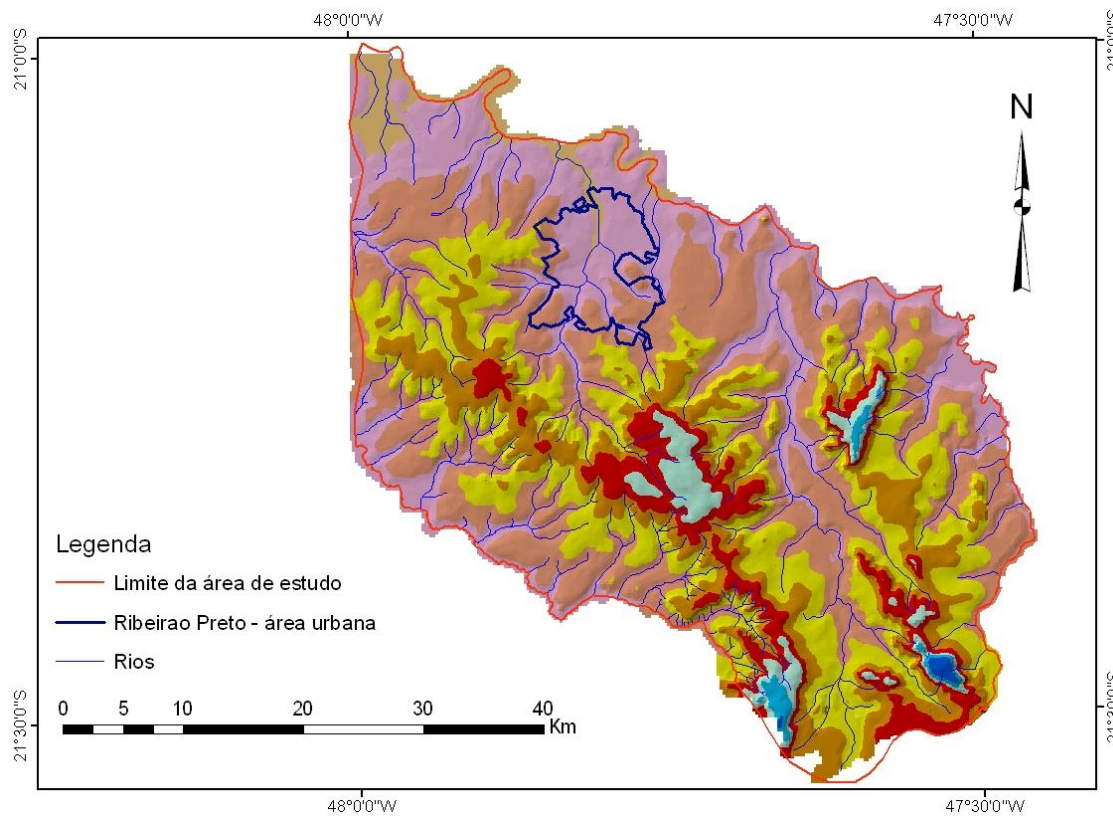
Figura 23: Área de afloramento do SAG

4.3.2.3 Altimetria

Os dados altimétricos foram obtidos a partir do mapa vetorial (citado na Seção 4.3.1.1) para o *software* AutoCAD, no qual as curvas de nível espaçadas de 20 m eram representadas por *polylines*. Para efetuar a interpolação pelo método da *krigagem*, essas *polylines* foram transformadas em pontos. Em seguida, esses pontos foram transportados para o *software* ArcView como uma *shapefile*. A partir daí foi construída uma superfície de triângulos interconectados (método TIN – *Triangulated Irregular Network*) para visualização da topografia da região.

Os valores de altimetria foram interpolados novamente no SPA para atribuição aos nós da malha do modelo numérico.

A topografia da região de estudo é apresentada na **Figura 24**, juntamente com a hidrografia.



**Figura 24: Topografia e hidrografia da região de estudo
(m.s.n.m.)**

Na **Figura 25** é mostrada a superfície do terreno considerada no modelo numérico.

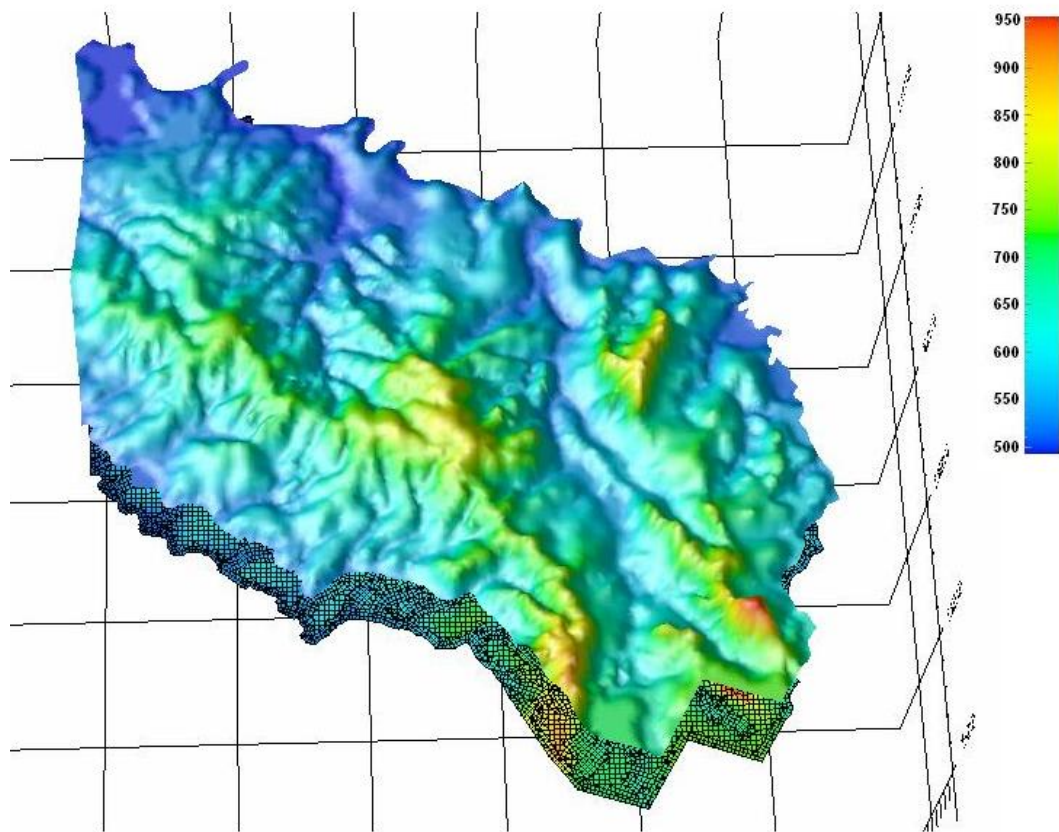


Figura 25: Altimetria no SPA (m.s.n.m)

4.3.2.4 Hidrografia

Na **Figura 26** é mostrada a hidrografia da região de estudo. Os cursos d'água não-representativos (muito pequenos, baixa vazão) não foram apresentados.

O Rio Pardo é a principal drenagem da área de estudo, e recebe a contribuição de cerca de 80% dela (regiões Leste, Oeste, Norte e Central). Ao Sul destaca-se o Ribeirão da Onça, recebendo a contribuição dessa região (cerca de 20%).

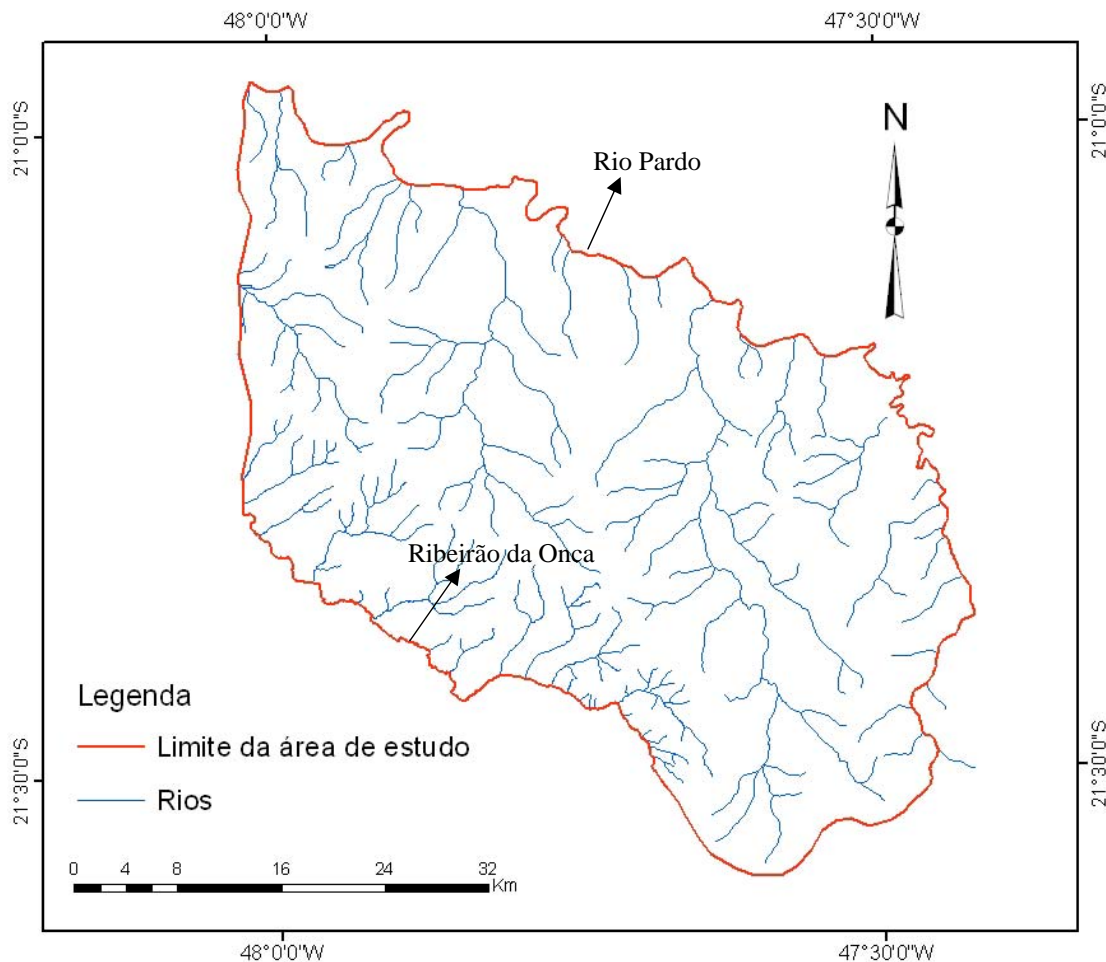


Figura 26: Hidrografia da área de estudo

Os cursos d'água que estão em suas áreas de afloramento foram considerados em contato hidráulico com o Aquífero Guarani.

A cota da superfície livre em alguns pontos dos principais cursos d'água da região foi obtida das Cartas Topográficas do IBGE, em escala 1:10.000 (**Figura 27**). Os pontos localizam-se na região próxima ao Rio Pardo, que é a área abrangida pelas cartas disponíveis.

Para o restante da área, foram utilizadas informações de altimetria, em conjunto com Modelos Digitais de Elevação (DEM – *Digital Elevation Models*) (CGIAR-CSI, 2007).

Em seguida, essas cotas pontuais foram usadas para interpolação para o restante do curso d'água no SPA.

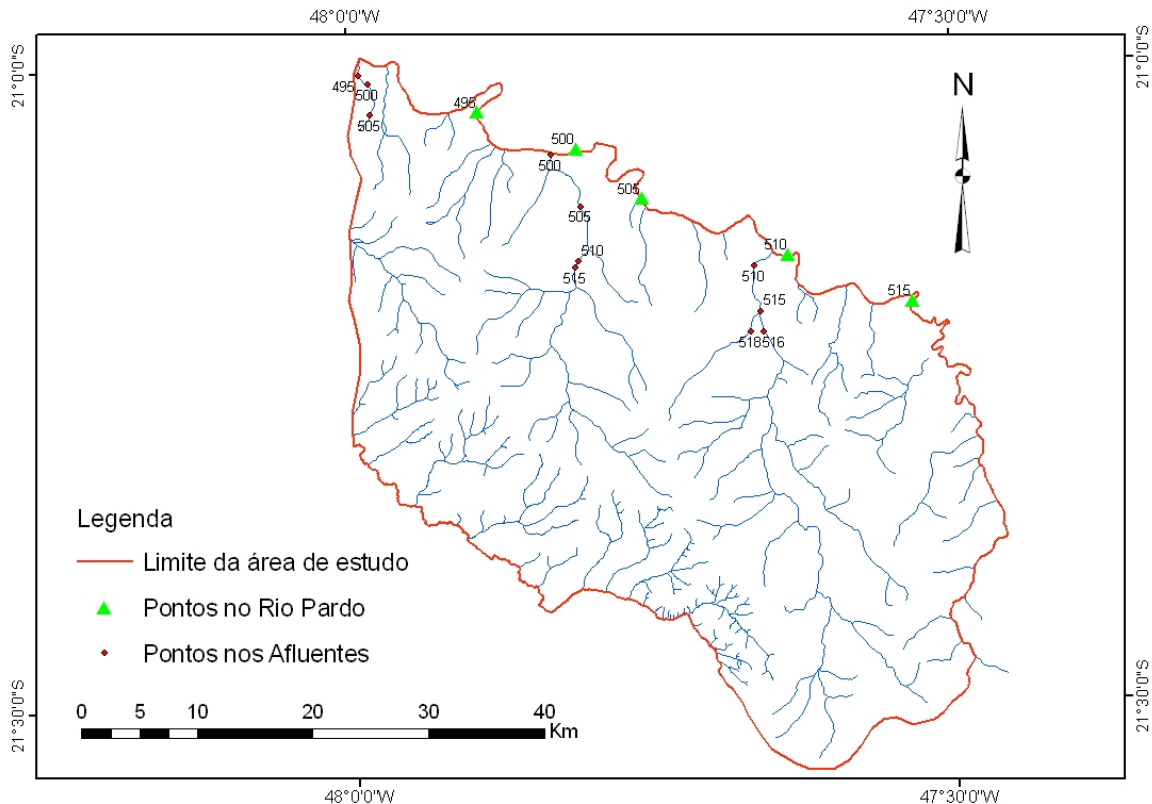


Figura 27: Pontos de carga hidráulica conhecida (m.s.n.m)

4.3.2.5 Potenciometria

Para determinar o nível estático do Aquífero Guarani foram utilizados dados de poços, cotas nos rios onde há o contato hidráulico e a bibliografia disponível.

Visando a calibração do modelo, esses dados foram separados em décadas e associados à exploração dos poços correspondentes. A situação com pouca interferência (com poços em funcionamento até a década de 50) foi utilizada posteriormente para a calibração do modelo.

Para a região do município de Ribeirão Preto, o nível estático do Aquífero Guarani para uma situação sem interferência (ou pouca exploração) foi definido a partir dos poços existentes nas décadas

de 40 e 50. Para o restante da área, dado o grande espaçamento entre os poços, foram considerados também dados mais recentes (década de 90).

O conjunto de pontos com nível estático do SAG para uma situação de pouca interferência está apresentado na **Figura 28**.

Posteriormente esses dados foram interpolados e transportados para o SPA para se efetuar a calibração do modelo.

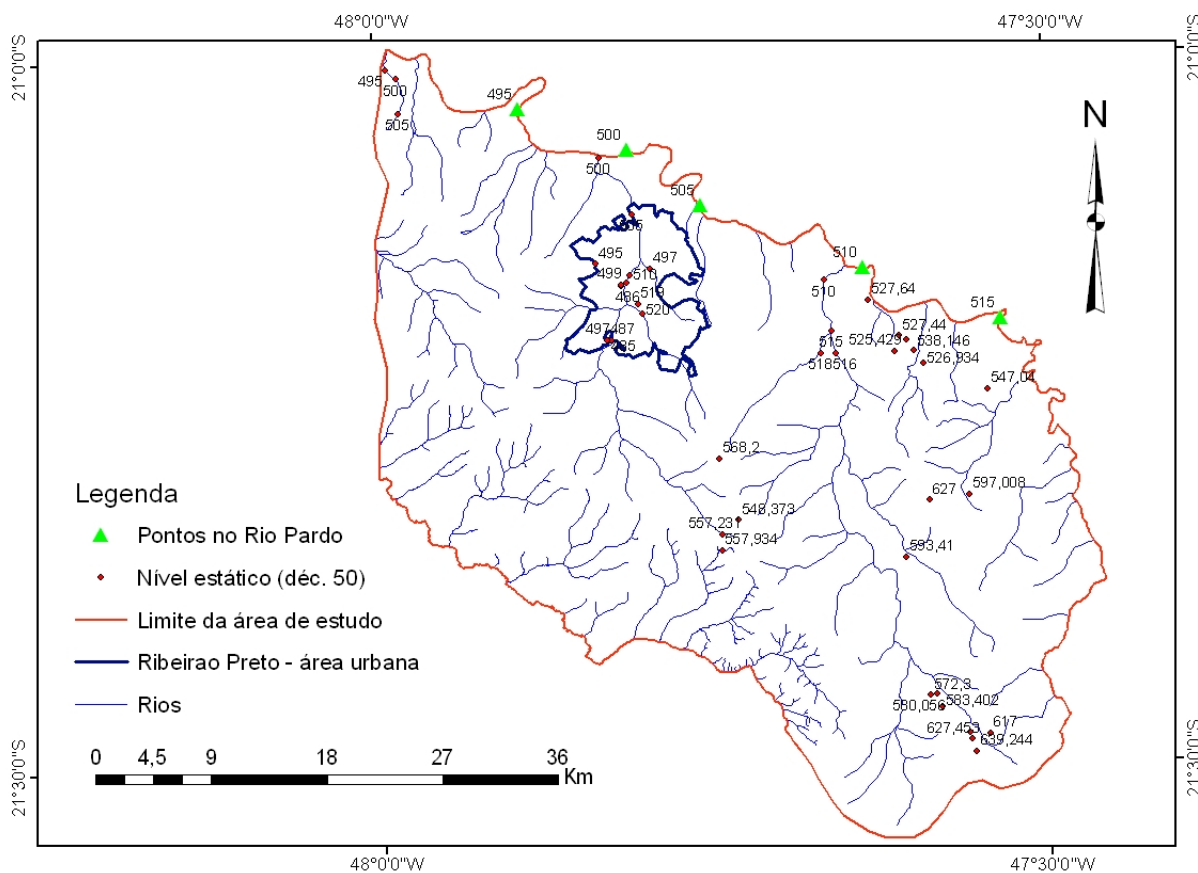


Figura 28: Potenciometria – poços até a década de 50 (m.s.n.m)

Para esses dados, foram construídas, manualmente, as equipotenciais do Aquífero Guarani para a situação de exploração até a década de 50. Essas linhas estão apresentadas na **Figura 29**.

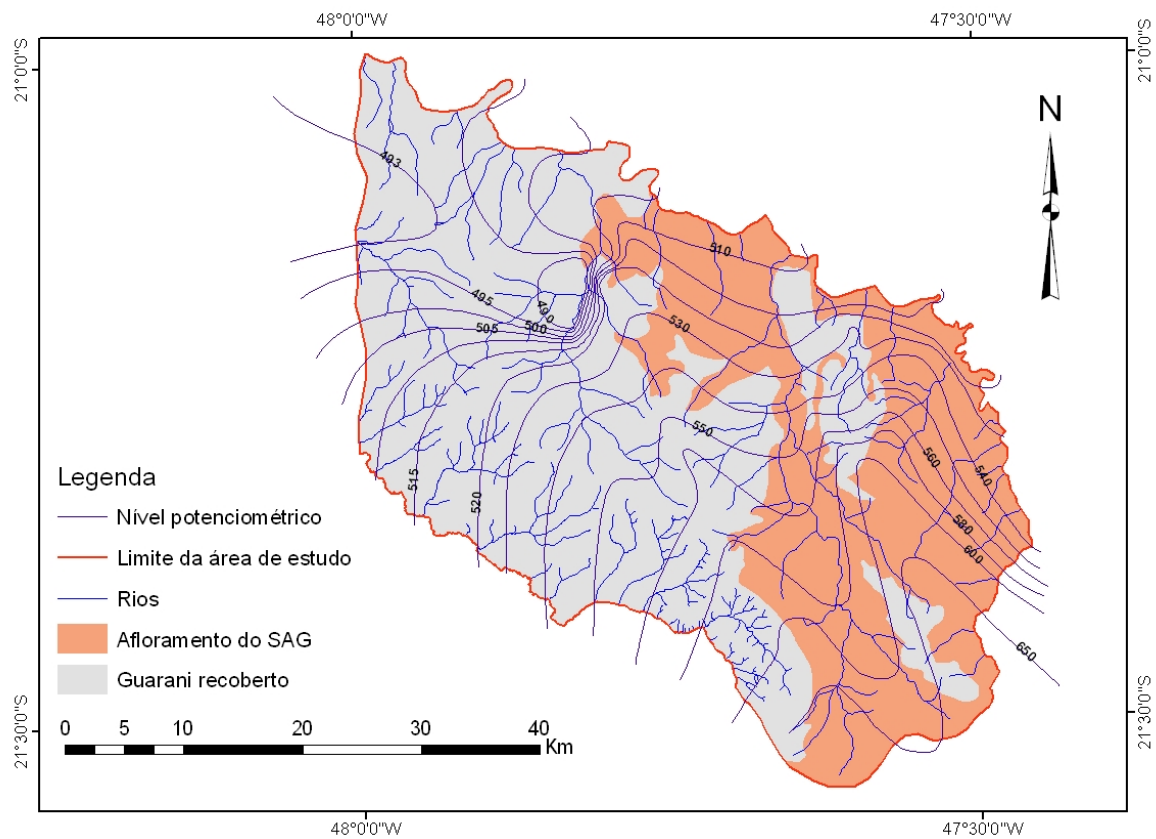


Figura 29: Isopotenciais do SAG, traçadas manualmente – década de 50 (m.s.n.m)

4.3.2.6 Poços em operação

Atualmente existem 197 poços cadastrados no DAEE para a região do Projeto Piloto do Aquífero Guarani, com 115 deles em operação. Os poços existentes na área de estudo que exploram água do Aquífero Guarani estão concentrados no município de Ribeirão Preto, principalmente na zona urbana. Dos 115 poços em operação na área de estudo, 91 encontram-se nesse município.

Na **Figura 30** pode-se ver a distribuição de poços por município e a densidade de poços existente na área de estudo. Os poços ilustrados nessa figura não contêm dados geológicos, apenas dados de vazão explorada.

Informações sobre esses poços podem ser encontradas no ANEXO 4.

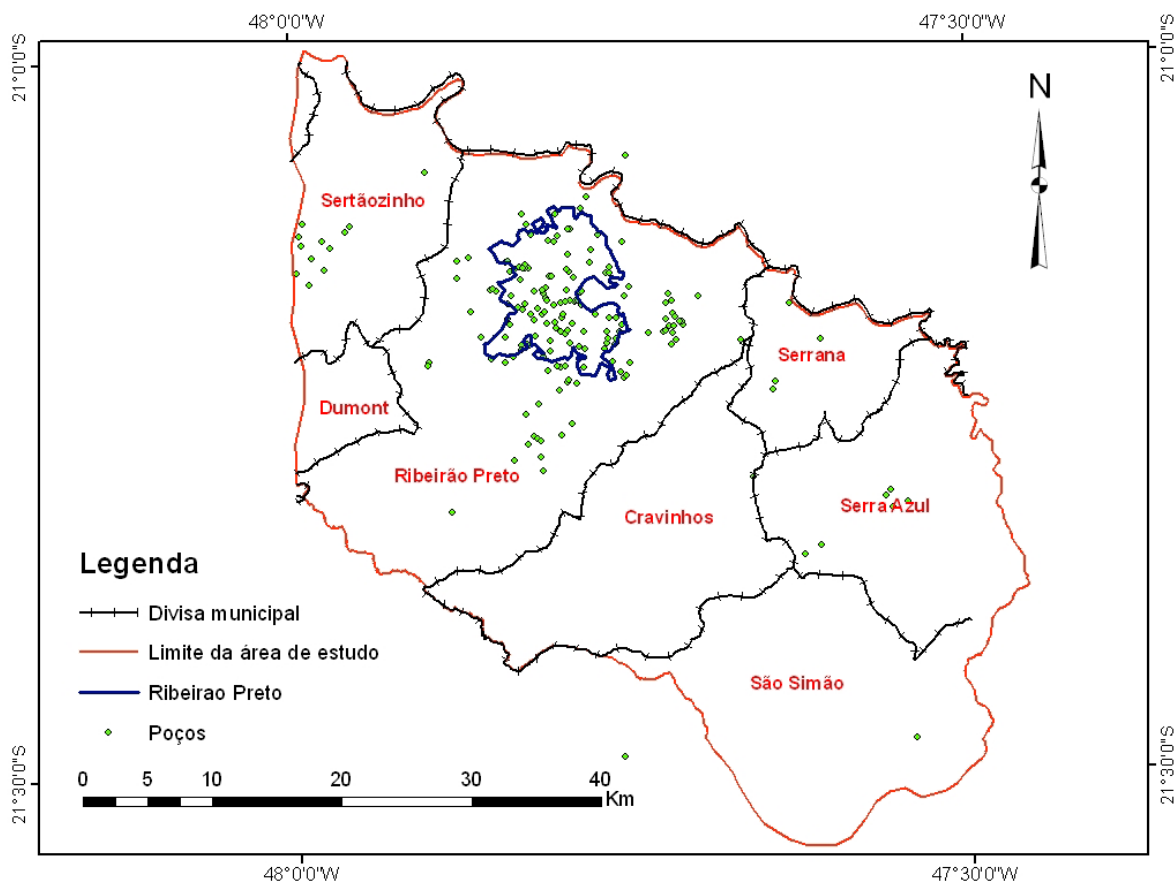


Figura 30: Municípios e distribuição dos poços em operação na área de estudo

4.3.2.7 Perfis hidrogeológicos

Foram traçados duas seções de perfis hidrogeológicos, A-B e C-D, na região do município de Ribeirão Preto, respectivamente orientados de Oeste para Leste e de Norte para Sul, e uma seção geral E-F, orientada de Noroeste para Sudeste. Esses perfis foram obtidos de interpolações das cotas altimétricas e topo e nível potenciométrico do SAG (**Figura 31**), a fim de se avaliar seus resultados.

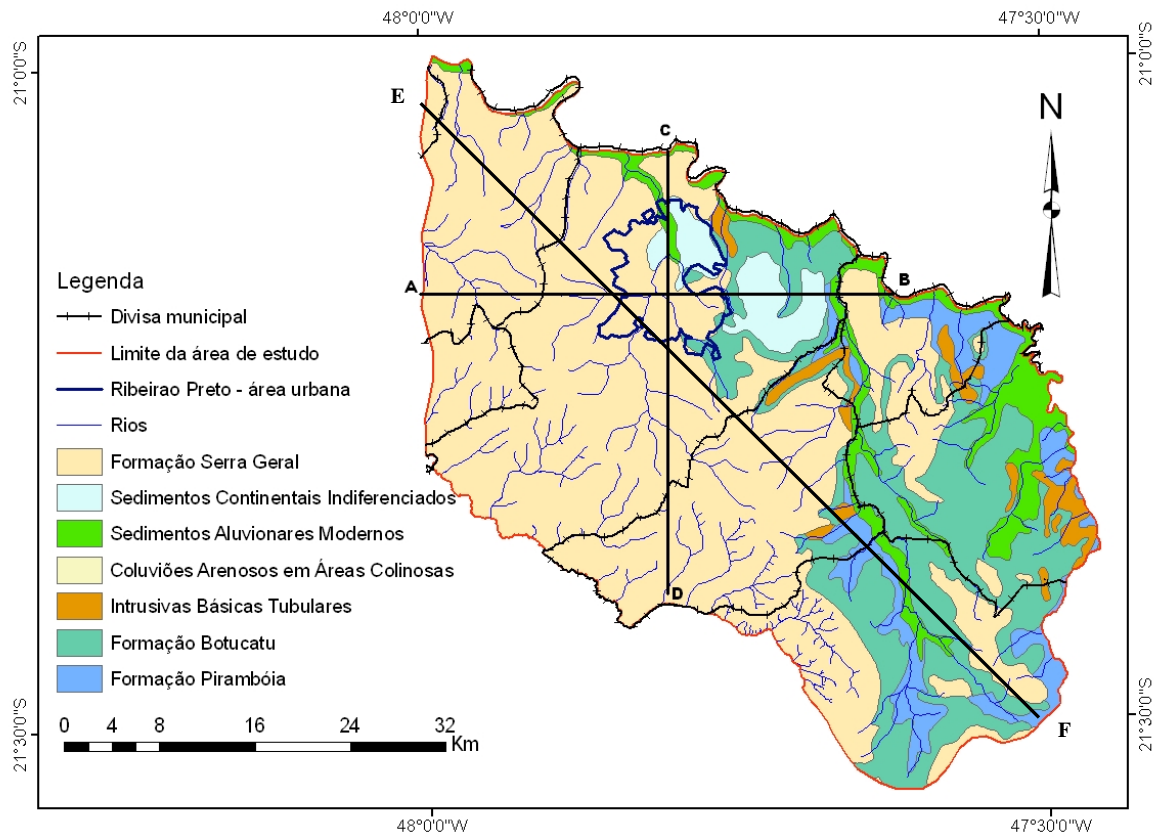


Figura 31: Seções Hidrogeológicas

Os perfis construídos estão mostrados na **Figura 32**, na **Figura 33** e na **Figura 34**. Os valores de cotas estão expressos em metros sobre o nível do mar (m.s.n.m).

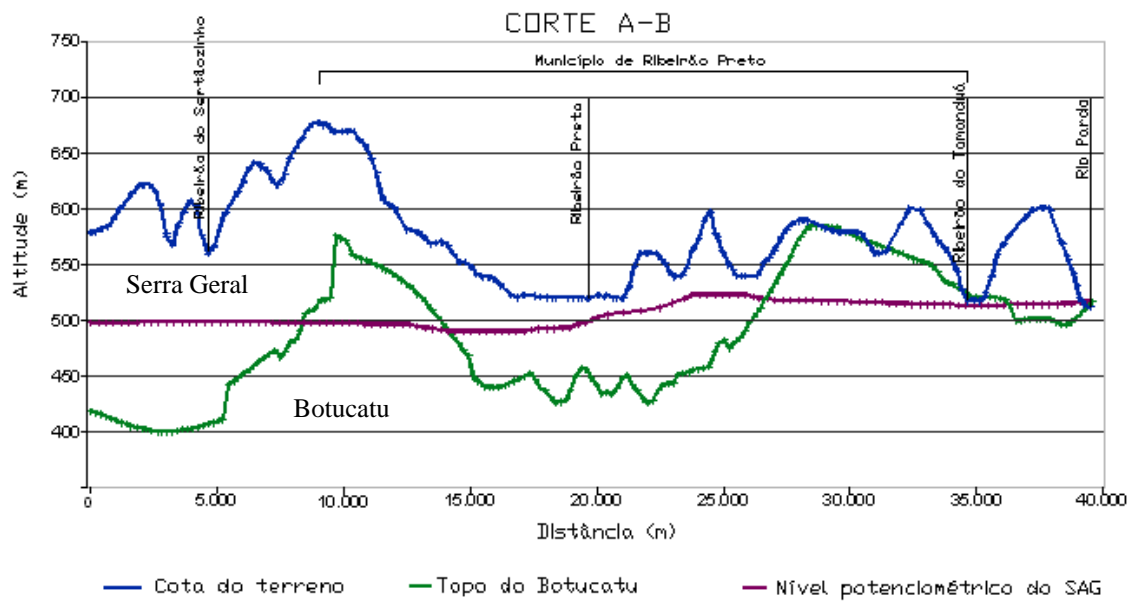


Figura 32: Perfil hidrogeológico do corte A-B

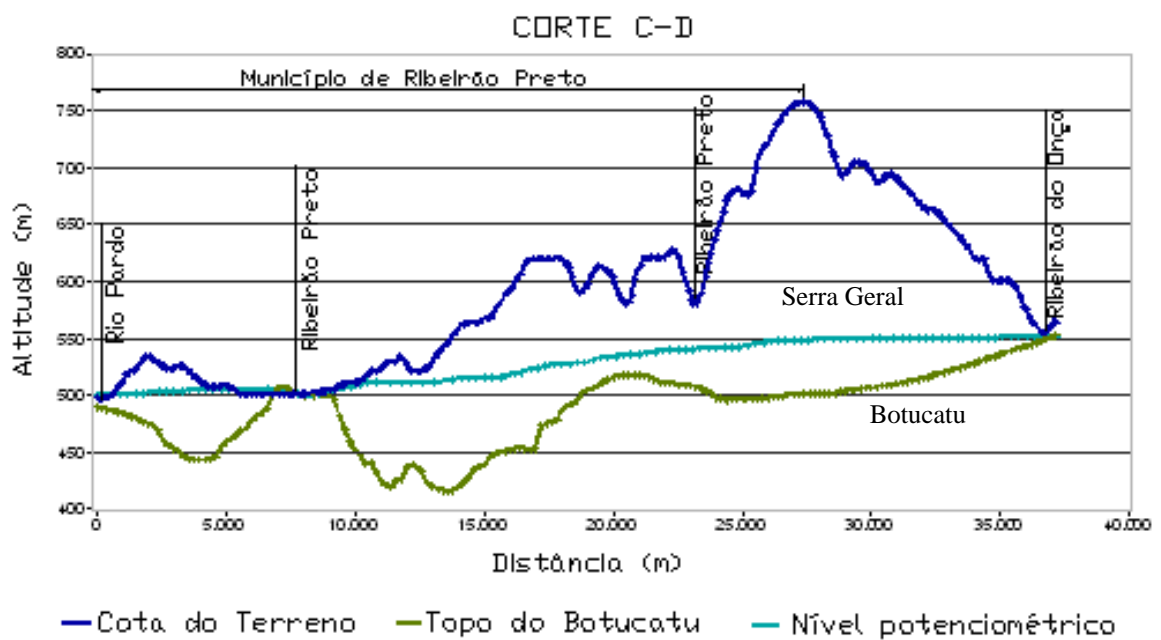


Figura 33: Perfil hidrogeológico do corte C-D

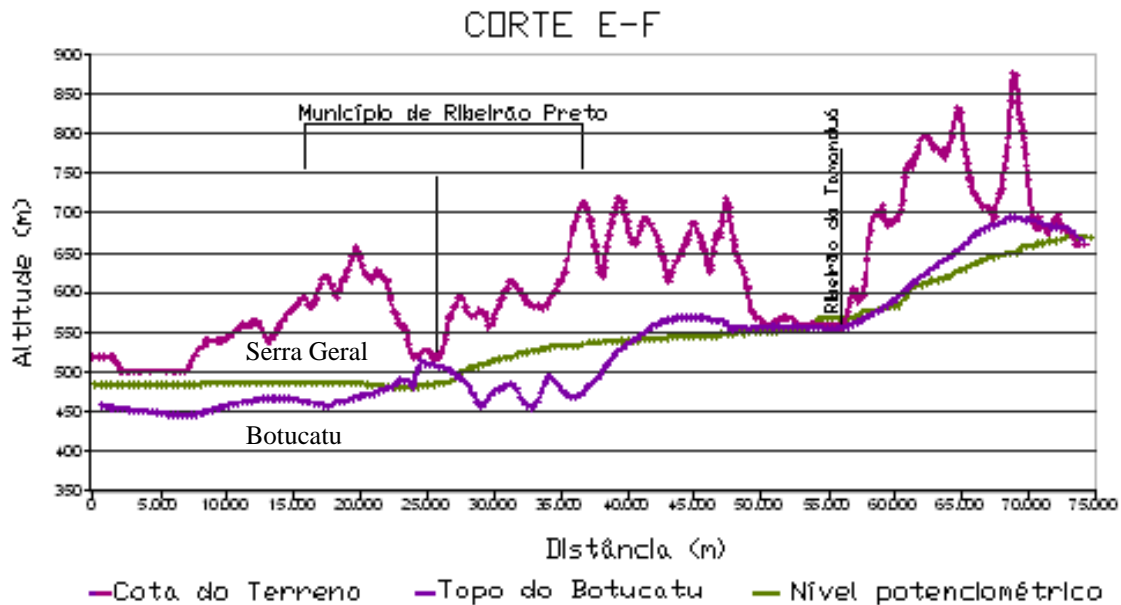


Figura 34: Perfil hidrogeológico do corte E-F

A análise dos dados dos perfis mostra que:

- A cobertura do Serra Geral na região do município de Ribeirão Preto varia entre 50 e 100 m;
- A linha potenciométrica do SAG está acima da cota do terreno nos trechos do Rio Pardo, Ribeirão do Tamanduá, Ribeirão do Onça e Ribeirão Preto (porção que está na área de afloramento), indicando que o SAG alimenta esses corpos d'água;
- A interpolação do topo do SAG está coerente com os locais de afloramentos indicados no mapa geológico superficial.

Nota-se que as interpolações de dados de nível potenciométrico e topo do SAG foram feitas a partir de um pequeno número de dados, estando sujeita a eventuais imprecisões.

No modelo numérico, para as regiões de afloramento do Sistema Aquífero Guarani, a própria superfície do terreno foi considerada como o topo do aquífero.

4.4 MODELO NUMÉRICO

Os dados levantados na elaboração do modelo conceitual foram implementados em um modelo numérico bidimensional horizontal, heterogêneo e isotrópico com recarga distribuída, aplicado sob condições de aquífero livre e confinado.

As condições de contorno utilizadas inicialmente foram de carga conhecida (condição de 1º tipo ou de Dirichlet) para o Rio Pardo e fluxo especificado (condição de 2º tipo ou de Neumann) para as demais fronteiras do modelo.

A simulação foi feita utilizando-se o pacote SPA – Simulador de Processos em Aquíferos (WENDLAND, 2003).

4.4.1 FUNCIONAMENTO DO SPA

O pacote SPA – Simulação de Processos em Aquíferos foi desenvolvido no Laboratório de Hidráulica Computacional do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (LHC-SHS/EESC/USP), e funciona em sistemas operacionais Linux. O método numérico utilizado nos cálculos é o de Elementos Finitos (FEM); na geração da malha não-estruturada foi utilizado o método de Triangulação de Delaunay.

O SPA é composto de diversos módulos:

- CMA – Construtor de Modelos de Aquíferos: responsável pela construção da malha de elementos finitos, e atribuição de parâmetros hidrogeológicos e geológicos;

- VMA – Verificador de Modelos de Aquíferos: responsável pela otimização e verificação de possíveis erros e defeitos na malha;
- FAS – Fluxo Águas Subterrâneas: responsável pela simulação de fluxo subterrâneo;
- VPA – Visualizador de Imagens de Aquíferos: responsável pela geração de imagens 3D do modelo e resultados;
- GIA e XPLT: responsável pela geração de imagens 3D do modelo e resultados.

Na **Figura 35** é apresentado o fluxo de dados no pacote SPA. Na parte de processamento principal, o módulo a ser utilizado depende do tipo de simulação que se pretenda fazer. No presente estudo foram utilizados os módulos CMA, VMA, FAS, GIA, XPLT e VPA.

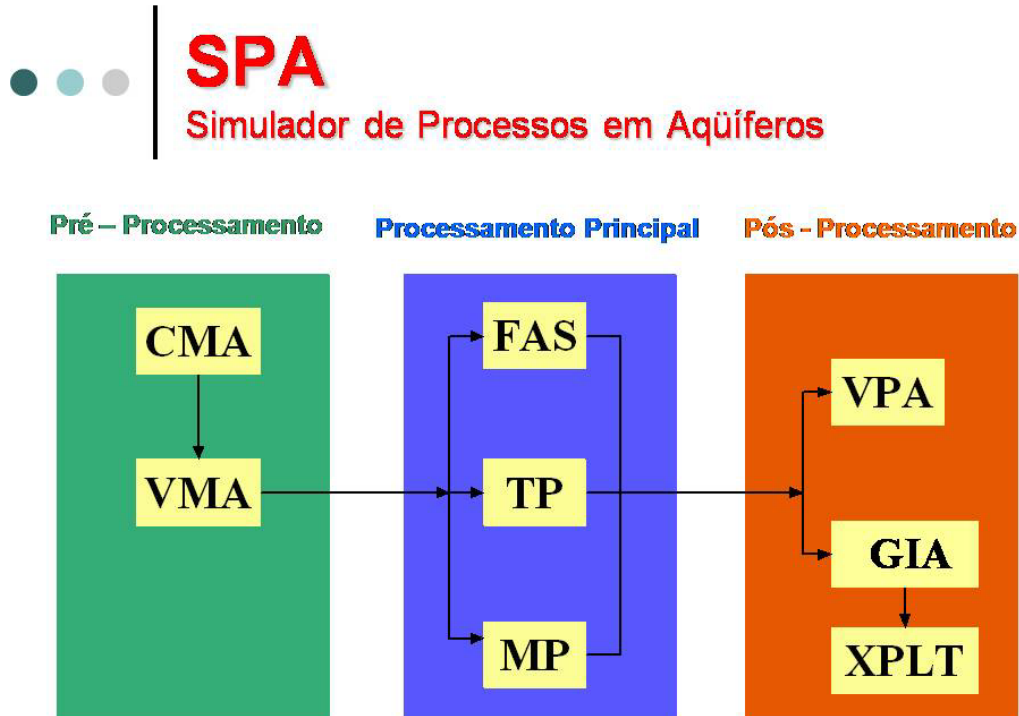


Figura 35: Fluxograma de dados através dos módulos do SPA

4.4.2 TIPOS DE DADOS

Os dados georreferenciados em SIG foram convertidos para um arquivo tipo texto no formato de entrada de dados do CMA – Construtor de Modelos de Aquíferos (WENDLAND, 2003), que é o módulo responsável pela construção da malha de elementos finitos. Esses dados são representados por parâmetros designados de acordo com a sua representação no modelo (carga hidráulica, base e topo do aquífero, exploração de poços etc.) e são reconhecidos por: numeração, coordenadas X e Y e valor do parâmetro designado Z (no formato 6x,10x,10x,10x) . Os dados que foram interpolados por *krigagem* na ferramenta SIG necessitam ser atribuídos aos nós ou aos elementos da malha.

Os dados de entrada são classificados em estruturas e contornos (internos ou externos).

- Estruturas são os elementos hidrogeológicos existentes na natureza. Cada estrutura é atrelada a um parâmetro, cujo valor é posteriormente atribuído aos nós da malha.

- Contornos são as estruturas utilizadas na construção da malha, ou seja, elementos de definição da malha. Cada nó do contorno será um nó da malha de elementos finitos.

A formatação dos dados de entrada para o formato do CMA foi feita através de um aplicativo, elaborado para este fim por RABELO (2005). Seu código fonte, instruções de instalação e utilização na ferramenta SIG estão apresentados no ANEXO 6.

Na **Tabela 3** são apresentados os dados de entrada do modelo, com sua classificação, programa no qual foi interpolado, parâmetro regente no SPA e o tipo de dado.

Tabela 3: Dados utilizados no modelo numérico

INFORMAÇÃO	ESTRUTURA	CONTORNO	AMBIENTE DE INTERPOLAÇÃO	PARÂMETRO	TIPO
Limites da área de estudo	-	X	-	-	x,y
Rios	-	X	SPA	POTE	x,y,h ⁽¹⁾
Poços	-	X	-	POCO	x,y,Q ⁽²⁾
Altimetria	X	-	SIG/SPA	SUPE	x,y,h ⁽³⁾
Topo do Guarani	X	-	SIG/SPA	TOPO	x,y,h ⁽³⁾
Base do Guarani	X	-	SPA	BASE	x,y,h ⁽³⁾
Afloramento do Guarani	X	-	-	RECA	x,y,r ⁽⁴⁾
Formação Serra Geral	X	-	-	RECA	x,y,r ⁽⁴⁾
Nível estático do Aquífero Guarani	X	-	SIG/SPA	CALI	x,y,h ⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Carga hidráulica

⁽²⁾ Vazão explotada

⁽³⁾ Cota altimétrica

⁽⁴⁾ Taxa de recarga

⁽⁵⁾ Nível estático

4.4.2.1 Estruturas

As estruturas representam todas as estruturas hidrogeológicas que devem ser representadas no modelo numérico.

Foram implementados como estruturas:

- Corpos d'água, com parâmetro de carga hidráulica (POTE);
- Poços, com parâmetro de vazão explotada (POCO);
- Áreas de ocorrência de formações geológicas;
- Área de afloramento e confinamento do Aquífero Guarani;
- Postos fluviométricos;
- Topo (TOPO) e Base (BASE) do Aquífero Guarani;
- Altimetria (SUPE);

- Nível estático do Aquífero Guarani, com parâmetro para calibração do modelo (CALI);
- Taxa de recarga do Guarani livre e confinado (RECA);
- Condutividade Hidráulica (COND);
- Espessura do Aquífero Guarani (ESPE).

4.4.2.2 Contornos

Os contornos são utilizados para a construção da malha de elementos finitos. Pontos da malha serão criados coincidentemente com os pontos do contorno de acordo com o especificado pelo usuário. Foi adotado um espaçamento de 300 m entre os pontos do contorno, considerando um nível de detalhamento suficiente para os objetivos propostos.

Os contornos externos do modelo foram definidos a partir da hidrografia da região. São eles:

- Norte: Rio Pardo;
- Sul: Ribeirão da Onça e Ribeirão do Pântano;
- Leste: Rio Pardo e Ribeirão da Prata;
- Oeste: Córrego do Tamboril e divisor de águas superficiais.

Os contornos internos são constituídos por:

- Rios e lagos;
- Poços em funcionamento.

Os contornos estão apresentados na **Figura 36**, sendo que os círculos representam os poços e as linhas representam os rios e divisores de águas superficiais.

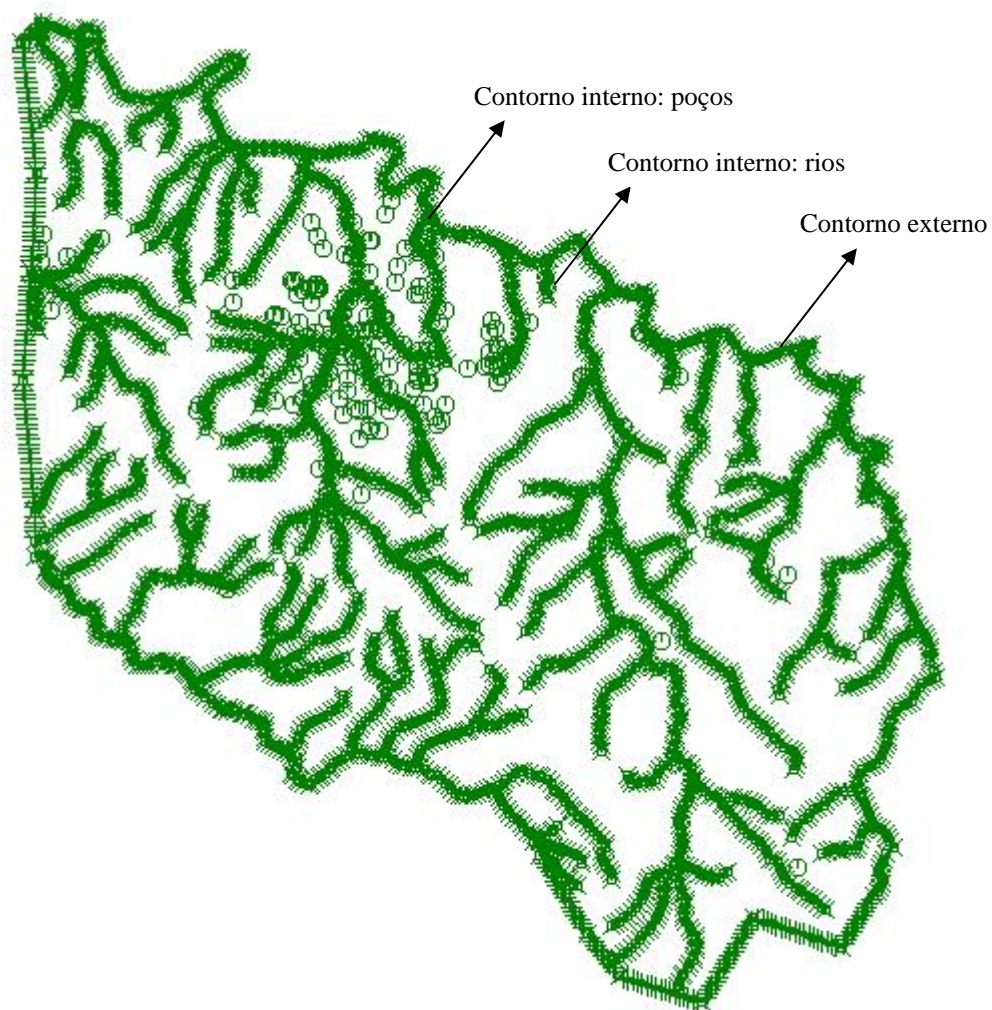


Figura 36: Contornos internos e externo

Um detalhe do município de Ribeirão Preto está apresentado na **Figura 37**; pode-se observar a grande concentração de poços em funcionamento em sua área urbana.

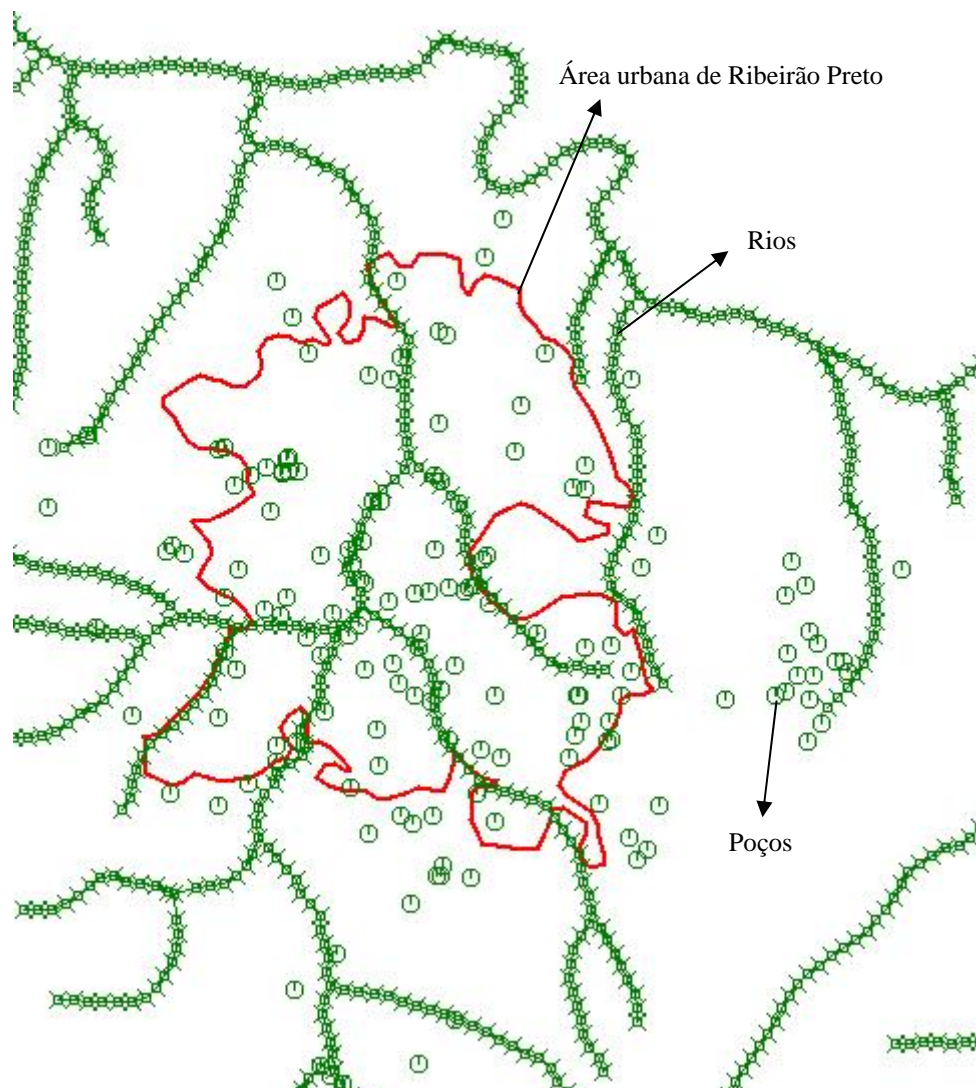


Figura 37: Detalhe dos contornos na área urbana de Ribeirão Preto

4.4.3 MALHA DE ELEMENTOS FINITOS

A qualidade de um modelo computacional baseado no Método dos Elementos Finitos está relacionada à qualidade da malha que representa o domínio estudado. Idealmente, triângulos equiláteros (e quadriláteros retângulos) são as melhores opções de elementos, admitindo variações graduais em seus tamanhos e formas.

Para se chegar a formas próximas do ideal, a malha deve passar por uma análise visual seguida de ajustes manuais em alguns pontos. Isso se deve ao fato de que o programa não consegue otimizar todos os elementos próximos aos pontos fixos da malha em zonas de muitos contornos (poços próximos a rios, etc.).

Outro fator que deve ser levado em conta na construção da malha é o esforço computacional necessário aos cálculos e simulações que serão efetuadas no modelo numérico. Para reduzir esse esforço computacional, o programa avalia a malha e converte os triângulos que estão em regiões uniformes em quadriláteros.

Considerando-se esses fatores, foi definido um espaçamento inicial para os nós do contorno de 300 m, havendo espaço suficiente para a possível inserção de refinamento sem sobrecarregar a memória do computador.

A malha construída para a região de estudo é apresentada na **Figura 38**, contando com 21035 nós e 25629 elementos.

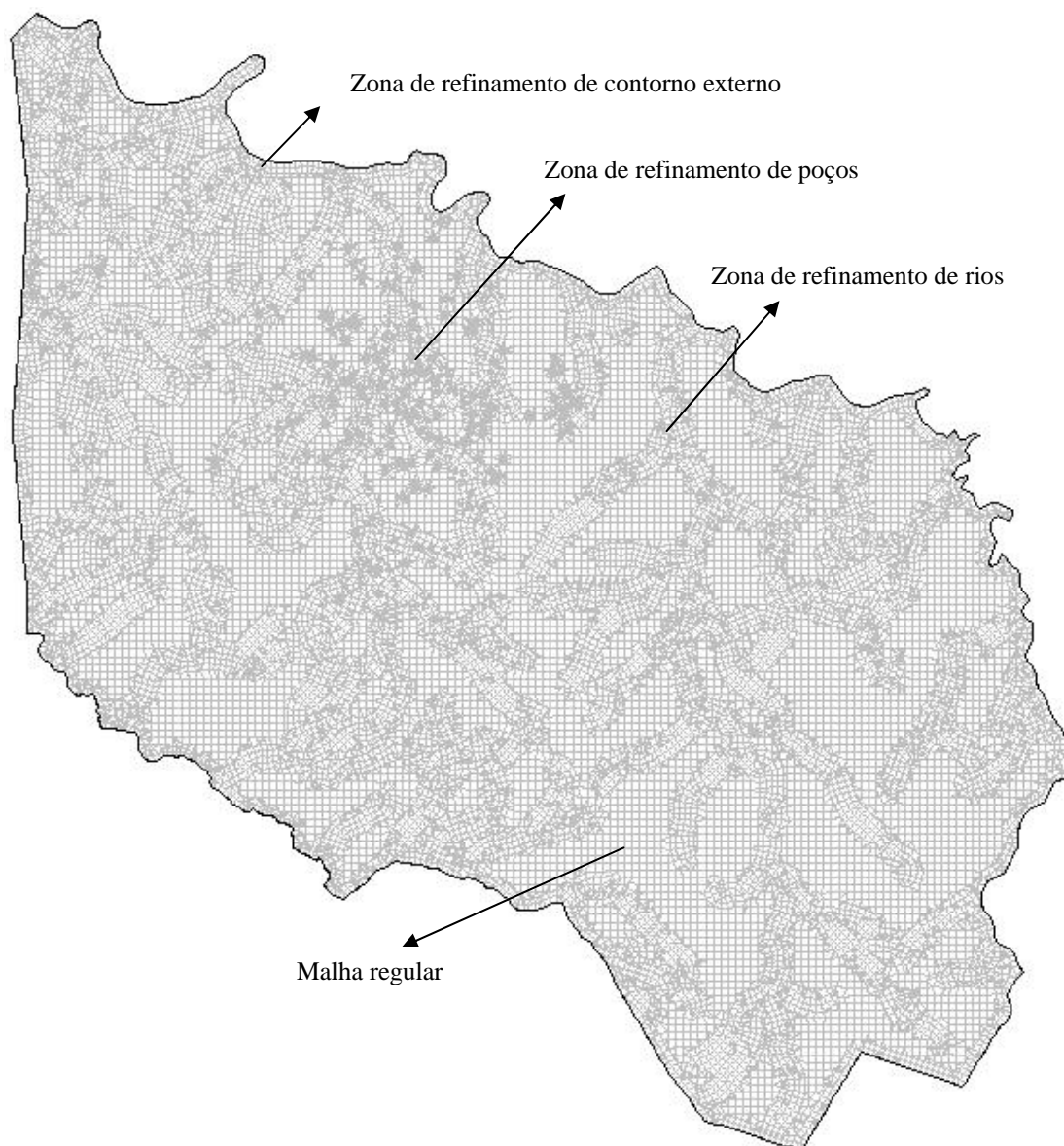


Figura 38: Malha de Elementos Finitos

Um detalhe da região de Ribeirão Preto é apresentado na **Figura 39**.

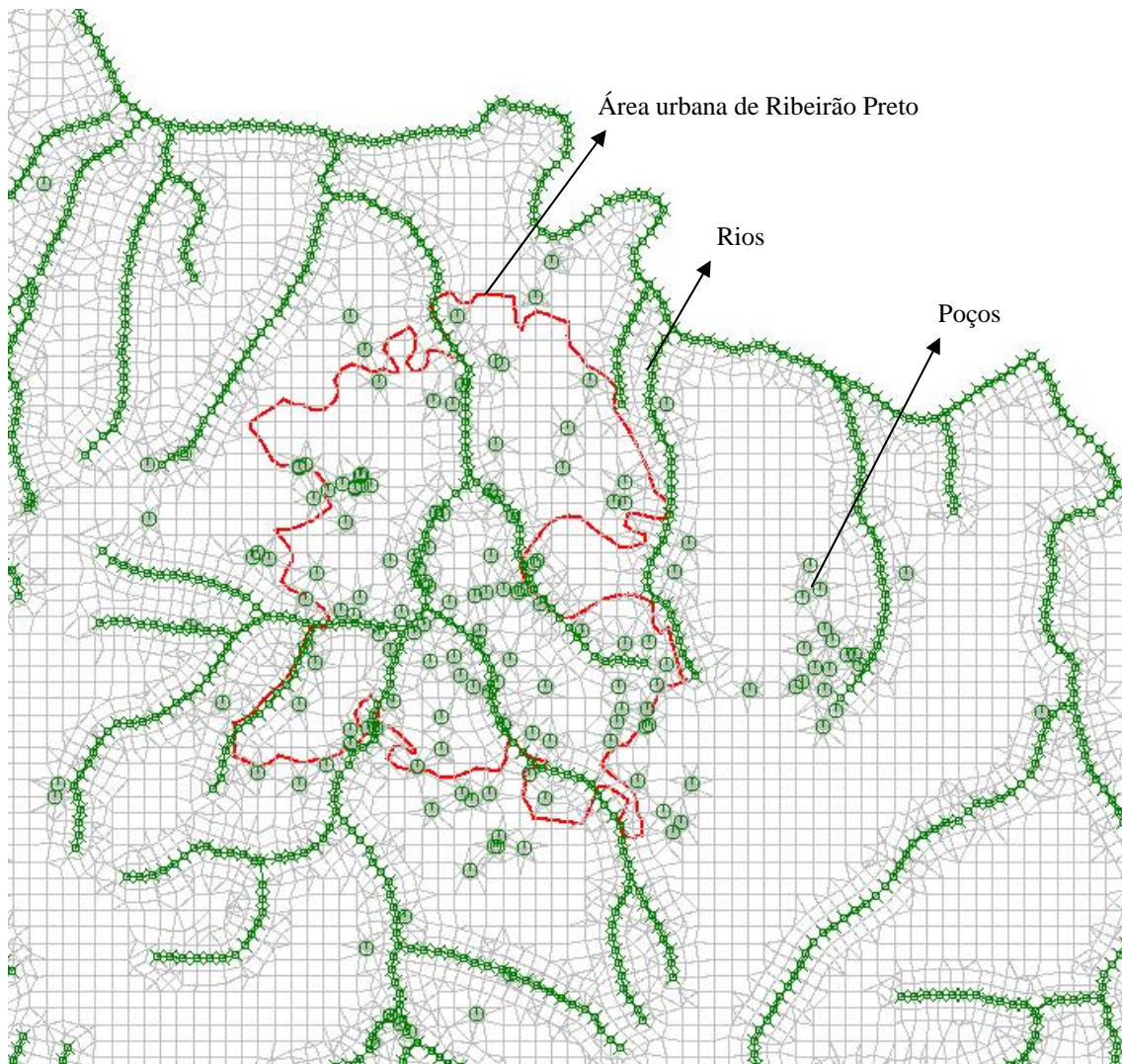


Figura 39: Detalhe da malha e contornos na área urbana de Ribeirão Preto

4.4.4 PARÂMETROS HIDROGEOLÓGICOS

Com base nos valores da **Seção 4.1.6** (página 48), nas isópacas do mapa da **Figura 20** e em dados de poços, foram definidos inicialmente para o Aquífero Guarani na região do Projeto Piloto de Ribeirão Preto:

- Espessura média da porção confinada (E_c) = 250 m

- Espessura média da porção livre (E_1) = 180 m
- Espessura média total (E) = 220 m

- Condutividade hidráulica (K) = $3,0 \cdot 10^{-5}$ m/s = 2,6 m/d

Em seguida, foi calculada a transmissividade:

- Transmissividade da porção confinada (T_c)

$$T_c = K \cdot E_c = 2,6 \cdot 250 = 650 \text{ m}^2/\text{d}$$

- Transmissividade da porção livre (T_1)

$$T_1 = K \cdot E_1 = 2,6 \cdot 180 = 468 \text{ m}^2/\text{d}$$

4.4.5 TAXA DE RECARGA E CONDIÇÕES DE CONTORNO

As entradas e saídas de água da região, necessárias para se chegar ao balanço hídrico, são representadas pela recarga e pelas condições de contorno definidas para o modelo numérico.

A recarga, definida como entrada, foi distribuída aos elementos da malha de acordo com as características geológicas de cada um deles. A recarga considerada inicialmente (já considerando o escoamento básico) foi de 20 mm/ano para as áreas confinadas e 400 mm/ano para as zonas livres, baseando-se em valores médios da bibliografia e da pluviosidade da região (1400 mm/ano segundo DAEE, 1974).

A drenagem do aquífero aos rios foi simulada por condição de contorno de Carga Especificada (condição de 1º tipo ou de Dirichlet). Os valores dos pontos de carga conhecida foram atribuídos à malha, interpolados pelo CMA para os demais pontos

e, em seguida, conferidos e corrigidos de acordo com a elevação do terreno. As vazões obtidas nesses pontos são uma reação do modelo à imposição da carga hidráulica. Foram utilizadas condições de 1º tipo nos rios onde, supostamente, existe interação com o Sistema Aquífero Guarani (escolhidos por análise de dados e complementados durante a calibração da malha) e no Rio Pardo. As cargas hidráulicas nos rios da área aflorante serão apresentadas no capítulo seguinte.

Os fluxos laterais foram simulados por condição de contorno de Fluxo Especificado (condição de 2º tipo ou Neumann). A região de fluxo lateral foi estabelecida a partir da observação do nível piezométrico regional no entorno da bacia. Assim, foi definida uma zona de fluxo lateral a oeste da área de estudo, na direção do Rio Paraná. Os pontos onde são atribuídos os valores de fluxo especificado coincidem com os nós da malha no seu contorno externo. A descarga foi definida a partir do gradiente hidráulico no contorno sul da área de estudo, como segue:

$$Q = -K.i.b.l, \text{ em que:}$$

- Q = descarga lateral saindo da área de estudo (m^3/s);
- K = condutividade hidráulica = $3,0.10^{-5}$ m/s;
- i = gradiente hidráulico do SAG = -3 m/km;
- b = espessura média do SAG = 220 m;
- l = largura média da área = 30 km.

Então tem-se:

$$Q = 3,0.10^{-5}.0,003.220.30000 = 0,594 m^3/s = 1,87.10^7 m^3/a$$

Essa vazão de saída foi distribuída ao longo de 97 nós na fronteira Oeste, resultando $1,92 \cdot 10^5 \text{ m}^3/\text{a}$ para cada nó, e foi utilizada no processo de ajuste do modelo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O principal resultado proposto nesse estudo é um modelo numérico do Sistema Aquífero Guarani na região do Projeto Piloto de Ribeirão Preto, ferramenta muito útil para o gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos na região.

5.1 AJUSTE DO MODELO NUMÉRICO

Para contornar a falta de informações verificadas em campo, foram testadas algumas configurações de funcionamento do fluxo subterrâneo e superficial, com os elementos hidrogeológicos sendo ativados seqüencialmente ao modelo numérico. Uma vantagem desse procedimento é a possibilidade de se analisar a sensibilidade do modelo e o impacto de cada componente do balanço hídrico.

Os elementos hidrogeológicos foram adicionados da seguinte forma:

1. Rio Pardo e o Ribeirão do Tamanduá, por se constituírem nos principais cursos d'água da parte aflorante;
2. Cursos d'água da parte aflorante e a descarga regional subterrânea de saída pela fronteira Oeste;
3. Poços em funcionamento no município de Ribeirão Preto até a década de 50;
4. Ribeirão da Onça e cursos d'água em Ribeirão Preto, que estão no afloramento da Formação Serra Geral.

Os resultados do ajuste para as diferentes configurações estão apresentadas a seguir, na seqüência em que foram implementadas. As taxas de recarga e a condutividade foram mantidas constantes nesta etapa, e são indicadas em cada configuração para facilidade de consulta.

5.1.1 RIO PARDO E RIBEIRÃO DO TAMANDUÁ

O Rio Pardo e o Ribeirão do Tamanduá foram os primeiros cursos d'água a serem adicionados ao modelo por se constituírem nas principais drenagens da região aflorante. As cargas hidráulicas nesses rios são apresentadas na **Figura 40**.

Foram considerados os seguintes valores:

- Recarga na área aflorante: 400 mm/ano;
- Recarga na área confinada: 20 mm/ano;
- Condutividade hidráulica: $3,0 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Na **Figura 41** é mostrada a diferença entre o nível do terreno e nível potenciométrico do SAG.

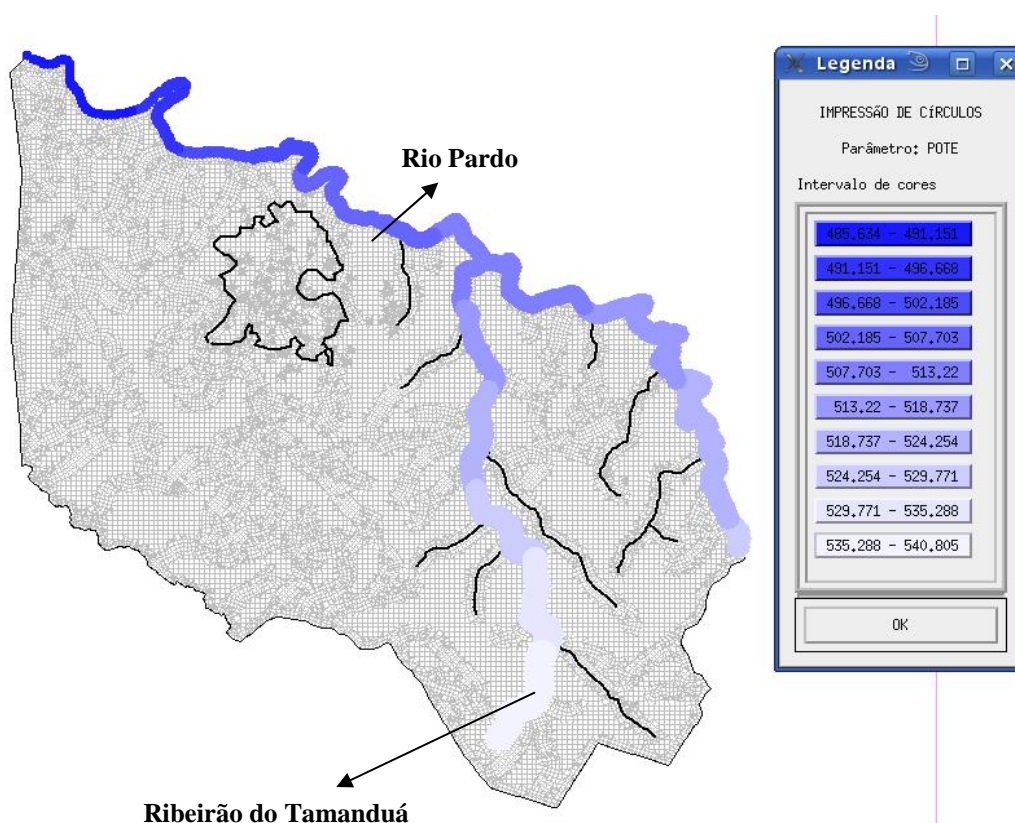


Figura 40: Cargas hidráulicas do Rio Pardo e do Ribeirão do Tamanduá (m.s.n.m)

Pela análise da **Figura 41** pode-se concluir que as entradas e saídas do sistema não estão balanceadas, ou seja, o modelo não está suficientemente drenado. Os valores negativos (regiões da figura em que a malha de elementos finitos é visível) indicam que a cota da superfície potenciométrica está acima da cota do terreno, havendo um excesso de água e, possivelmente, um ponto de descarga localizada não computado no modelo.

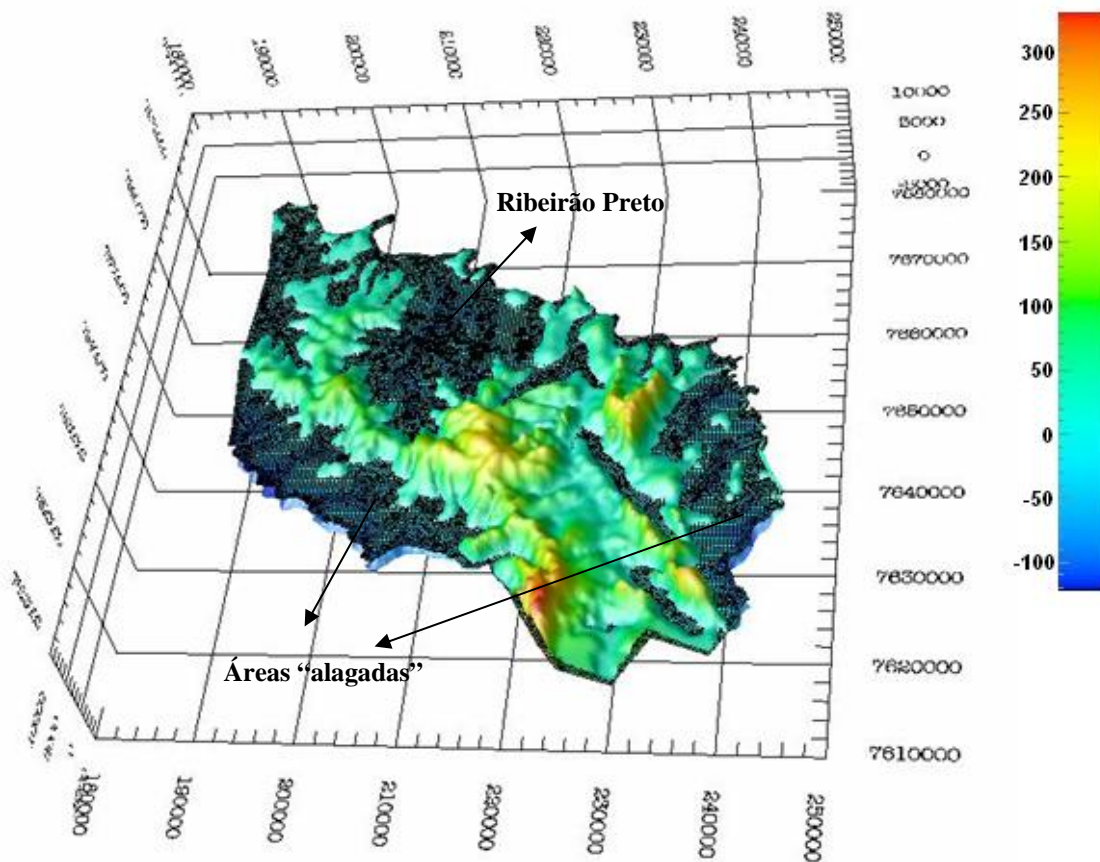


Figura 41: Diferença entre cota do terreno e nível potenciométrico do SAG (m) – configuração 1

5.1.2 RIOS NO AFLORAMENTO E DESCARGA REGIONAL LATERAL

Para a segunda configuração, optou-se por adicionar a descarga dos demais dos cursos d'água representativos da região

aflorante e a descarga regional subterrânea lateral na fronteira Oeste, representando a tendência de fluxo regional na direção do Rio Paraná.

Na **Figura 42** estão apresentadas as cargas hidráulicas dos rios da parte aflorante considerados como descargas do sistema e os nós utilizados para representar o fluxo de saída pela fronteira Oeste da área de estudo.

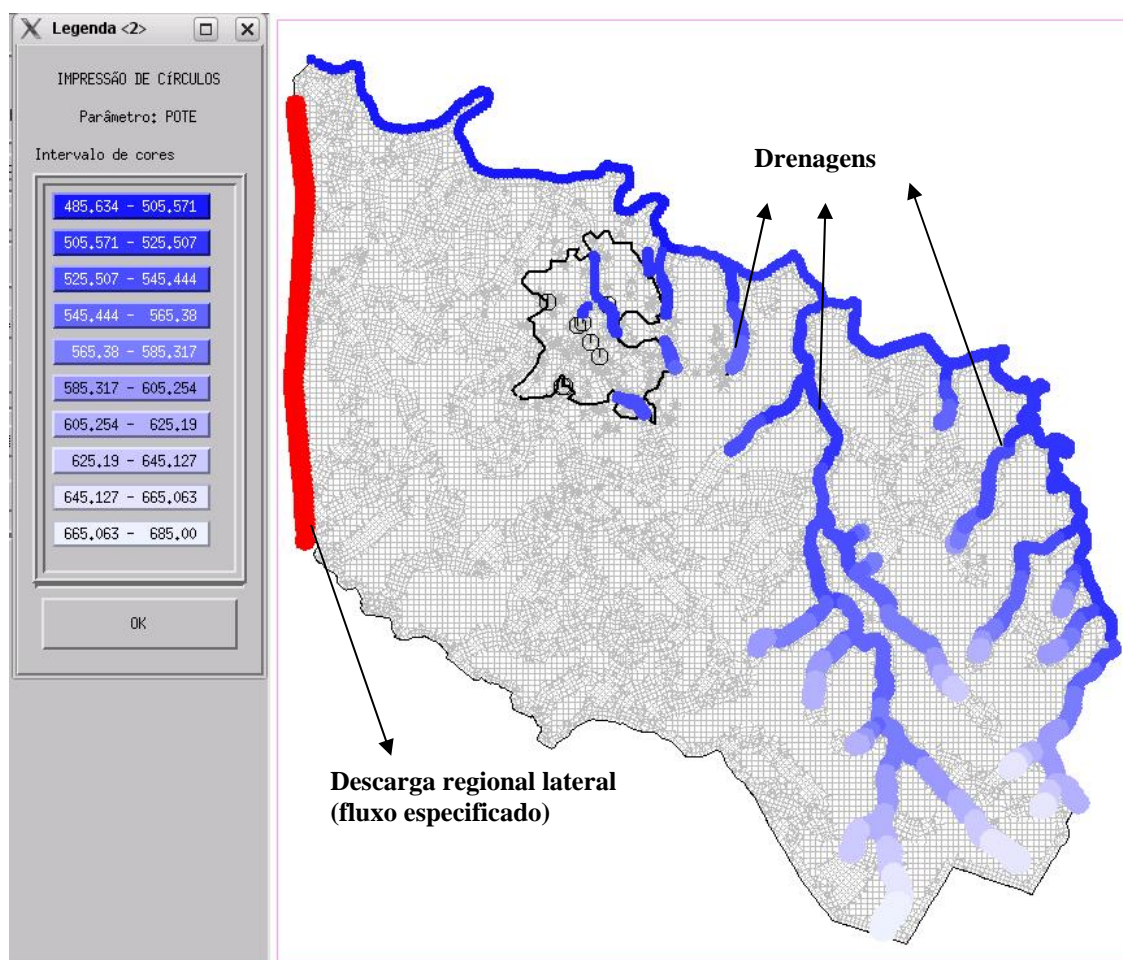


Figura 42: Carga hidráulica dos rios da região aflorante (m.s.n.m) e descarga regional lateral

Foram considerados os seguintes valores:

- Recarga na área aflorante: 400 mm/ano;
- Recarga na área confinada: 20 mm/ano;

- Condutividade hidráulica: $3,0 \cdot 10^{-5}$ m/s;
- Descarga regional lateral em cada nó: $192000 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Na **Figura 43** é mostrada a diferença entre a cota do terreno e nível potenciométrico do SAG para a segunda configuração. Comparando-se com a **Figura 41**, verifica-se que a área em que o nível potenciométrico do SAG está acima da cota do terreno diminuiu, mas o modelo ainda não está devidamente ajustado.

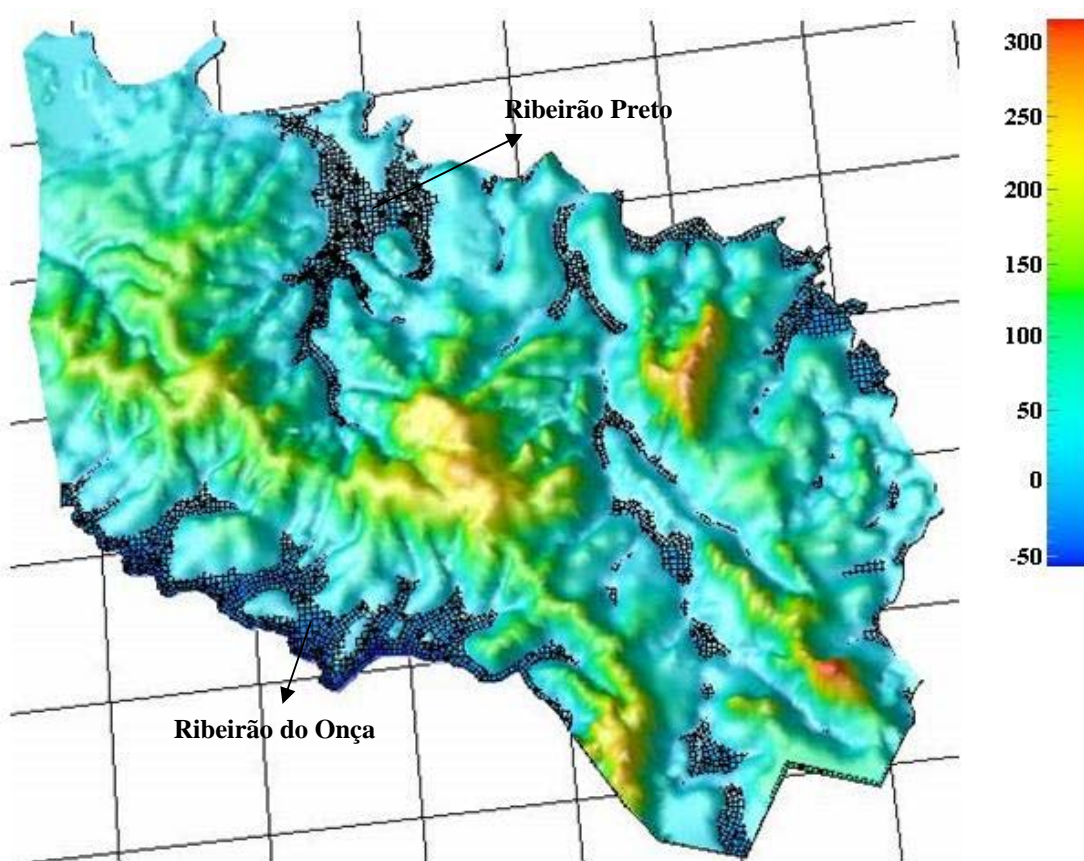


Figura 43: Diferença entre cota do terreno e nível potenciométrico SAG (m) – configuração 2

Verifica-se também na **Figura 43** que, na região do município de Ribeirão Preto, bem como nas proximidades do Ribeirão do

Onça, há um excesso de água proveniente do SAG, sugerindo a existência de drenagens nessas regiões não computadas no modelo.

5.1.3 POÇOS EM RIBEIRÃO PRETO

Para a terceira configuração, optou-se por adicionar os poços em funcionamento em Ribeirão Preto até a década de 50. Esses poços estão apresentados na **Tabela 4**.

Tabela 4: Poços em funcionamento em Ribeirão Preto até a década de 50 (adaptado de SIAGAS, 2006)

Instalação	UTM-(N/S)	UTM-(L/O)	Profundidade do Nível Estático (m)	Vazão Após Estabilização (m ³ /h)
01/01/1938	7653100	206760	23	72
01/01/1938	7653100	206760	23	72
01/01/1942	7657370	207550	29	72
01/01/1945	7659050	205550	45	80
01/01/1948	7655160	209220	1	80
01/01/1948	7655900	208850	1	35
01/01/1949	7653100	206480	34	80
01/01/1954	7657420	207520	16	120
01/01/1955	7661450	234350	91	11,2
01/01/1956	7661880	192550	31	32,7
01/01/1956	7658650	209800	15	36
01/01/1957	7662000	192420	61,5	33

Foram considerados os seguintes valores:

- Recarga na área aflorante: 400 mm/ano;
- Recarga na área confinada: 20 mm/ano;
- Condutividade hidráulica: $3,0 \cdot 10^{-5}$ m/s;
- Descarga regional lateral em cada nó: 192000 m³/ano.

Na **Figura 44** estão apresentadas as cargas hidráulicas dos rios da parte aflorante considerados como descargas do sistema, os

nós utilizados para representar descarga regional lateral pela fronteira Oeste da área de estudo e os poços em funcionamento em Ribeirão Preto até a década de 50.

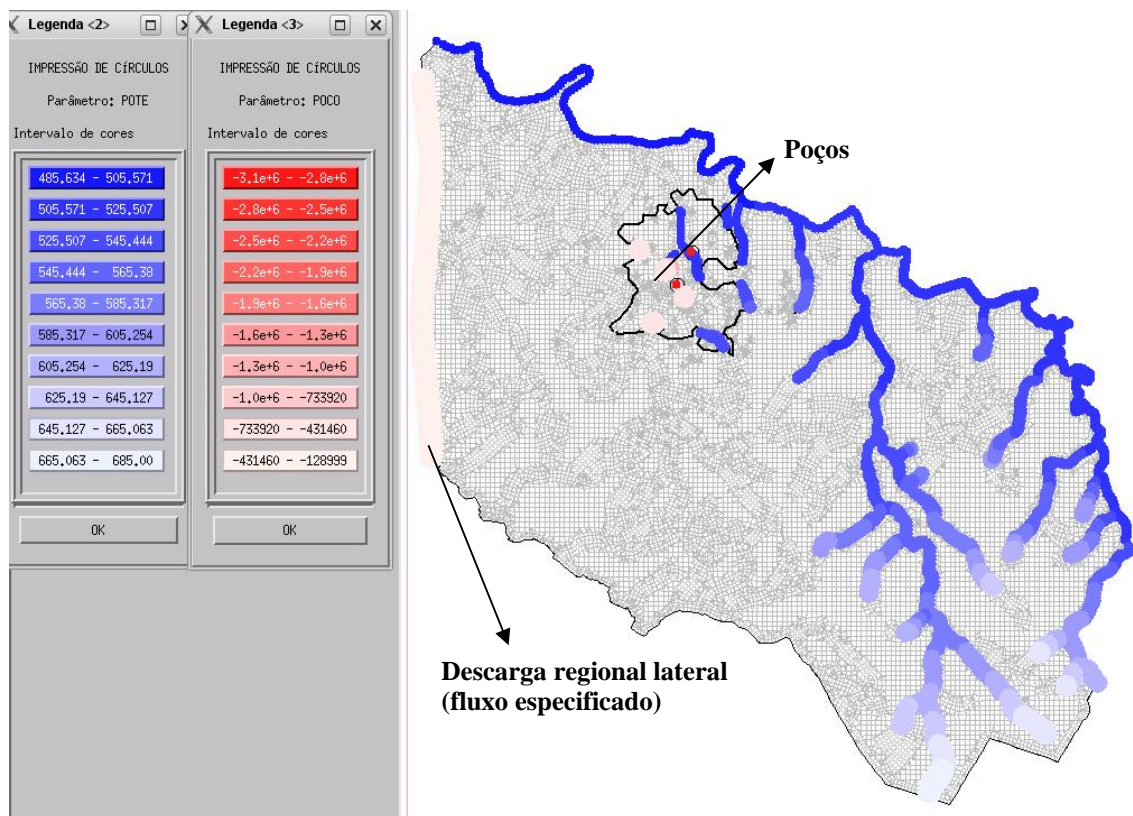


Figura 44: Carga hidráulica dos rios da região aflorante (m.s.n.m), descarga regional lateral e poços (m^3 /ano) em Ribeirão Preto até a década de 50

Na **Figura 45** é mostrada a diferença entre a cota do terreno e o nível potenciométrico do SAG para a terceira configuração. Nota-se que a alteração é imperceptível, indicando que a vazão extraída pelos poços em Ribeirão Preto até a década de 50 tinha pequeno impacto no sistema de fluxo. Isso vai de encontro às constatações de DAEE (1974), que verifica esse fato até a década de 70 pelo menos.

Portanto, mesmo com a adição desses poços, a região de Ribeirão Preto ainda não está totalmente drenada, e o modelo ainda não está devidamente ajustado.

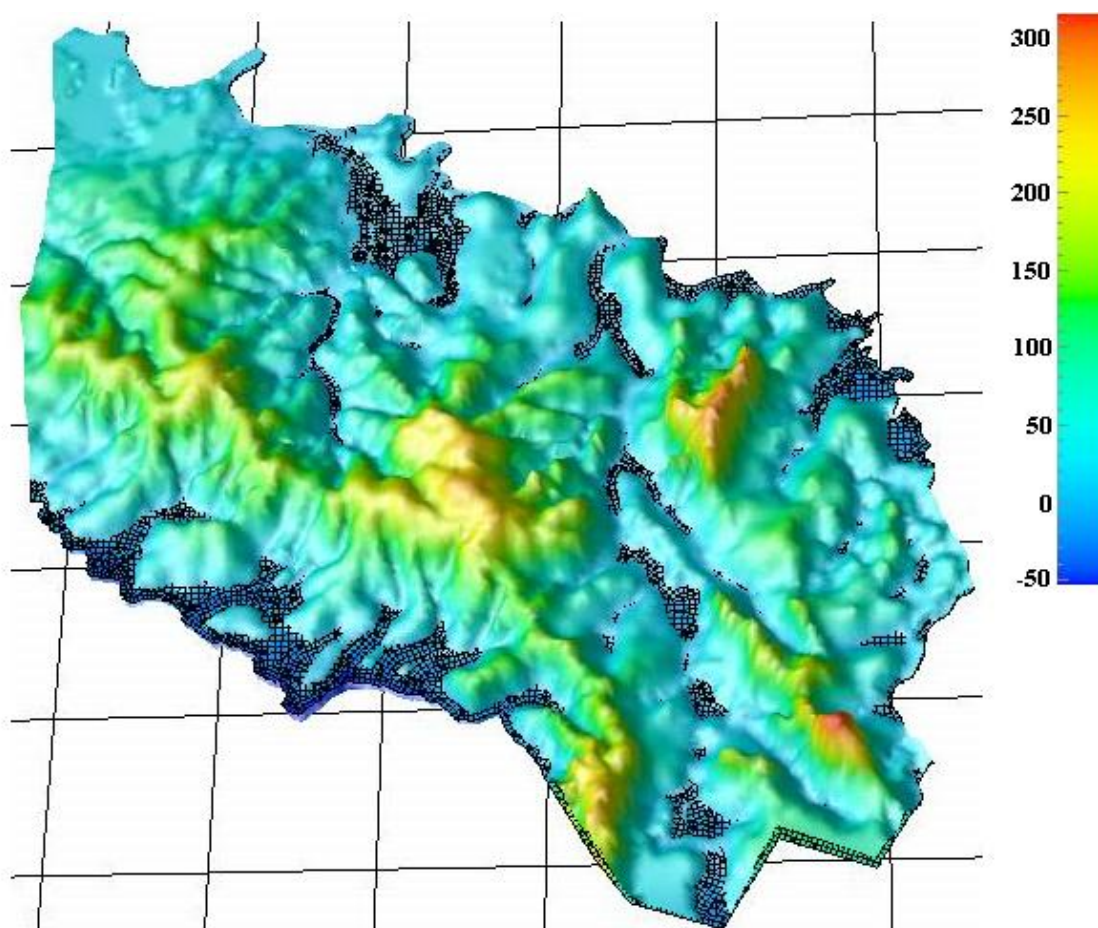


Figura 45: Diferença entre cota do terreno e nível potenciométrico do SAG (m) – configuração 3

5.1.4 RIBEIRÃO DO ONÇA E TRECHOS DE RIOS EM RIBEIRÃO PRETO

A quarta configuração de dados para ajuste do modelo levou em conta a possibilidade do contato hidráulico entre o SAG e alguns cursos d'água que possam estar localizados em lineamentos da Formação Serra Geral.

A suposição é que esse contato exista com o Ribeirão do Onça e com os afluentes do Ribeirão Preto que estão nas proximidades da zona de afloramento da Formação Botucatu na área urbana de Ribeirão Preto. As cargas hidráulicas desses rios, a descarga regional lateral pela fronteira Oeste da área de estudo e os poços em funcionamento em Ribeirão Preto até a década de 50 são mostrados na **Figura 46**.

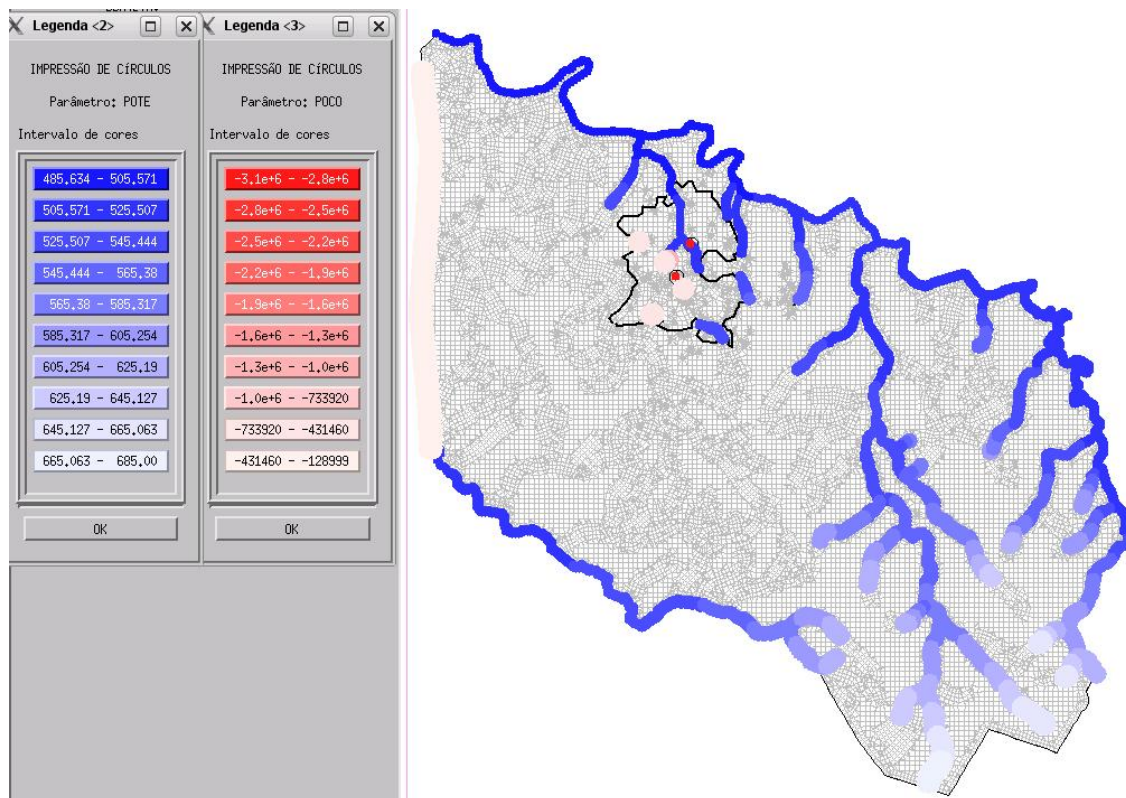


Figura 46: Carga hidráulica dos rios (m.s.n.m), descarga regional lateral e vazão em poços (m³/ano) em Ribeirão Preto

Foram considerados os seguintes valores:

- Recarga na área aflorante: 400 mm/ano;
- Recarga na área confinada: 20 mm/ano;
- Condutividade hidráulica: $3,0 \cdot 10^{-5}$ m/s;
- Descarga regional lateral em cada nó: 192000 m³/ano.

Na **Figura 47** é apresentada a diferença entre a cota do terreno e o nível potenciométrico do SAG para a quarta configuração.

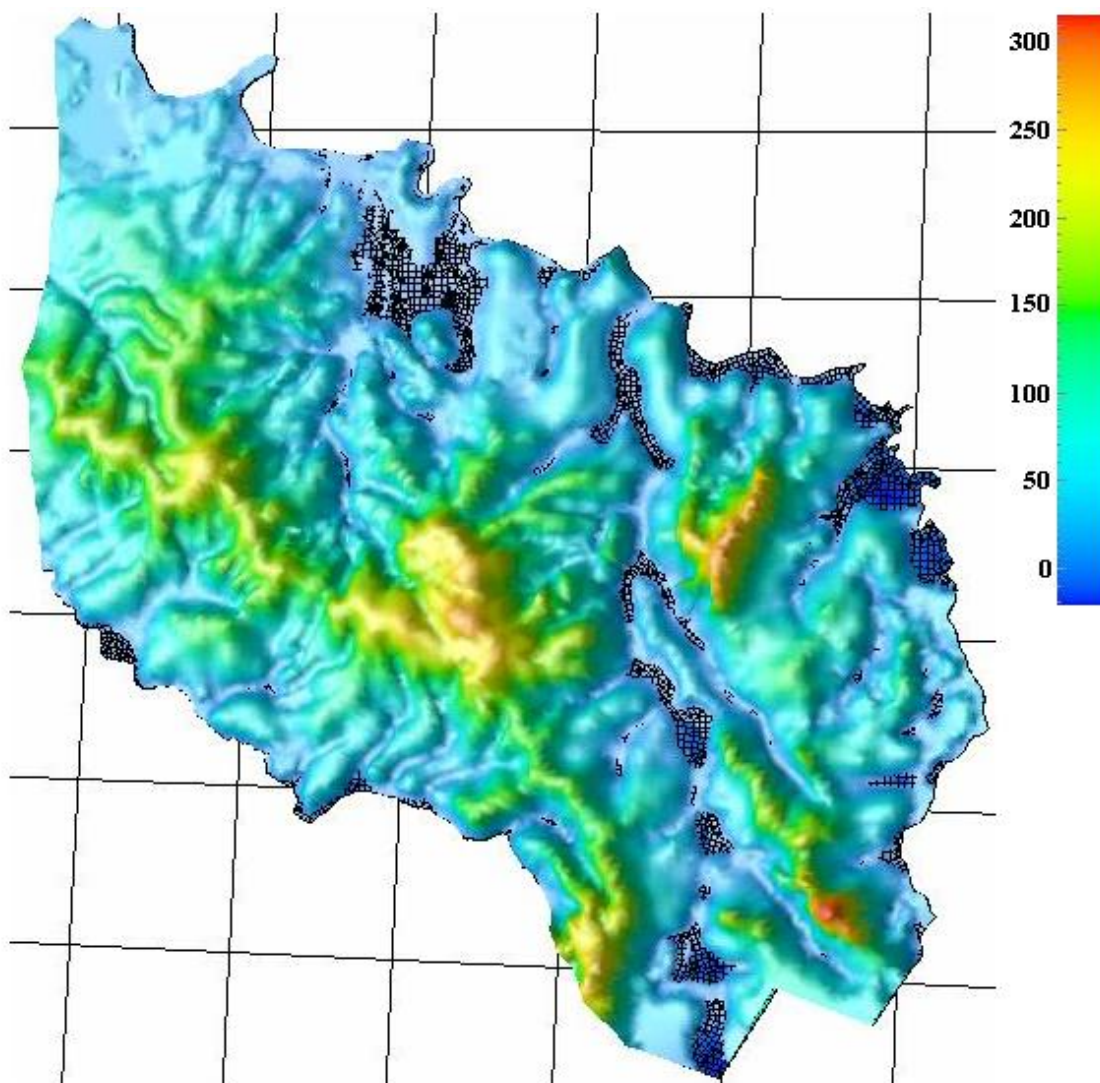


Figura 47: Diferença entre cota do terreno e nível potenciométrico do SAG (m) – configuração 4

Pela análise da **Figura 47**, vê-se que a inserção da descarga do Ribeirão do Onça resolveu a inconsistência do excesso de água na região Sul do modelo.

Aparentemente o problema de Ribeirão Preto ainda não está solucionado, mas o que ocorre é um problema de escala, já que a

cota do terreno e o nível potenciométrico do SAG estão muito próximos nessa região. Então, para melhor visualizar essa área, foi elaborada o detalhe apresentado na **Figura 48**.

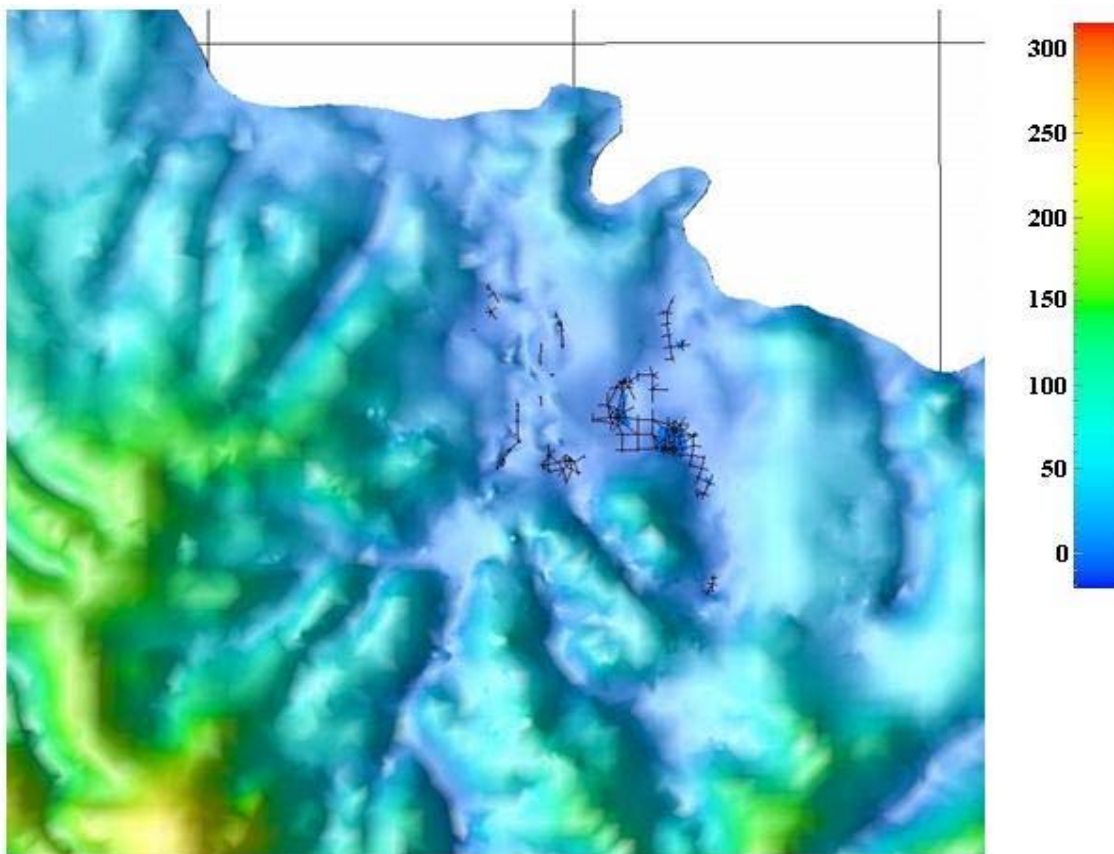


Figura 48: Diferença entre cota do terreno e nível potenciométrico do SAG (m) para a região de Ribeirão Preto – configuração 4

Pela análise da **Figura 48**, pode-se concluir que a inserção de cursos d'água na região de afloramento da Formação Serra Geral resolveu a inconsistência na região de Ribeirão Preto (as falhas remanescentes são devidas à imprecisão do modelo digital do terreno; geralmente essa imprecisão não é perceptível, mas como nesse caso os valores são baixos, ela se torna representativa).

Esse fato é bastante representativo, já que indica que, para essa região, os cursos d'água que estão sobre os basaltos da Formação Serra Geral drenam o Aquífero Guarani, ao invés de o recarregarem.

5.2 RESULTADOS

Depois de definido o sistema de fluxo da região (modelo conceitual) na seção anterior, foram gerados resultados para a verificação da consistência do modelo numérico.

Os parâmetros utilizados são os mesmos da seção anterior:

- Recarga na área aflorante: 400 mm/ano;
- Recarga na área confinada: 20 mm/ano;
- Condutividade hidráulica: $3,0 \cdot 10^{-5}$ m/s;
- Descarga regional lateral em cada nó: $192000 \text{ m}^3/\text{ano}$.

A recarga total calculada a partir dessas taxas de recarga foi de $327,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$.

O primeiro deles ilustra as reações de positivas e negativas dos cursos d'água no Aquífero Guarani (**Figura 49**). Se a reação é positiva, o curso d'água está recarregando o SAG (Reação de Recarga); se ela for negativa, o SAG está recarregando o curso d'água (Reação de Descarga). Estes escoamentos são respostas à especificação de carga hidráulica no ponto.

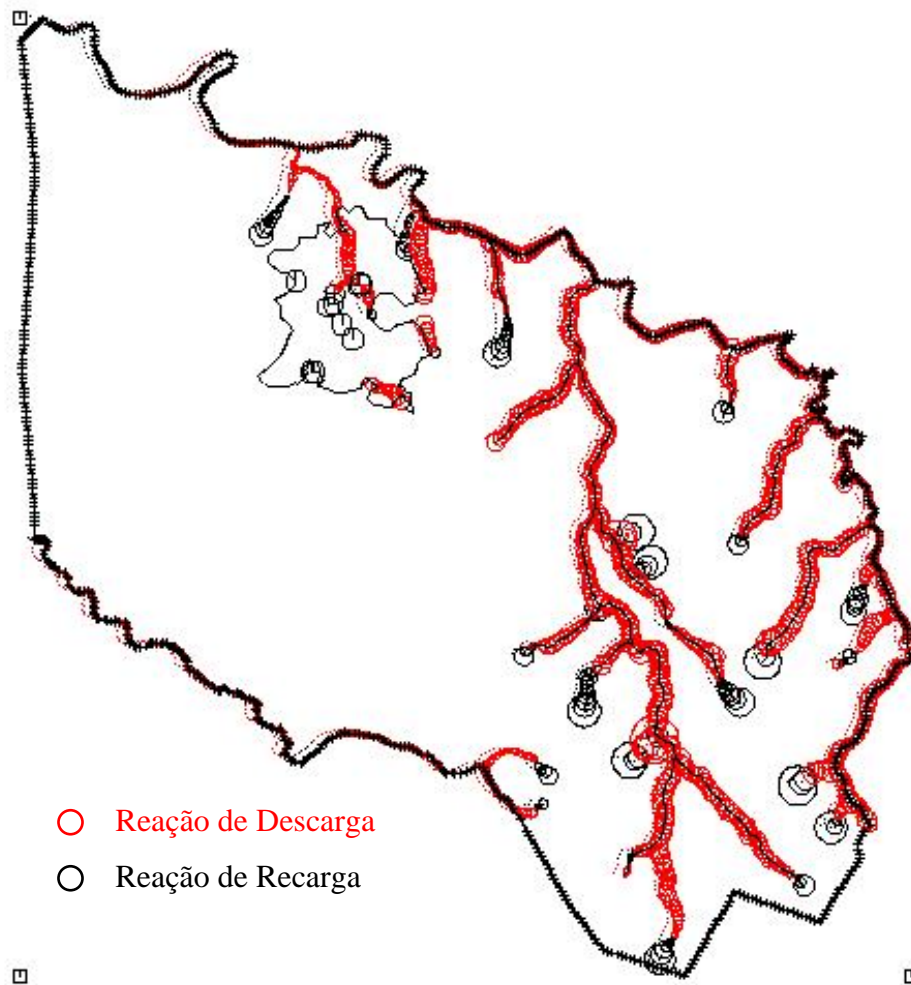


Figura 49: Reações nos rios

Pela análise da **Figura 49** pode-se ver que a maioria dos cursos d'água no afloramento do Serra Geral, nos arredores do município de Ribeirão Preto apresenta reação negativa, ou seja, estão drenando o SAG. Isto vai de encontro ao proposto na seção anterior, ao se considerar esses rios em conexão hidráulica com o SAG, e drenando-o.

O segundo resultado gerado foi o mapa de isolinhas de potenciometria do SAG, para a década de 50. Esse mapa de isolinhas pode ser comparado àquele gerado manualmente (**Figura 29**)

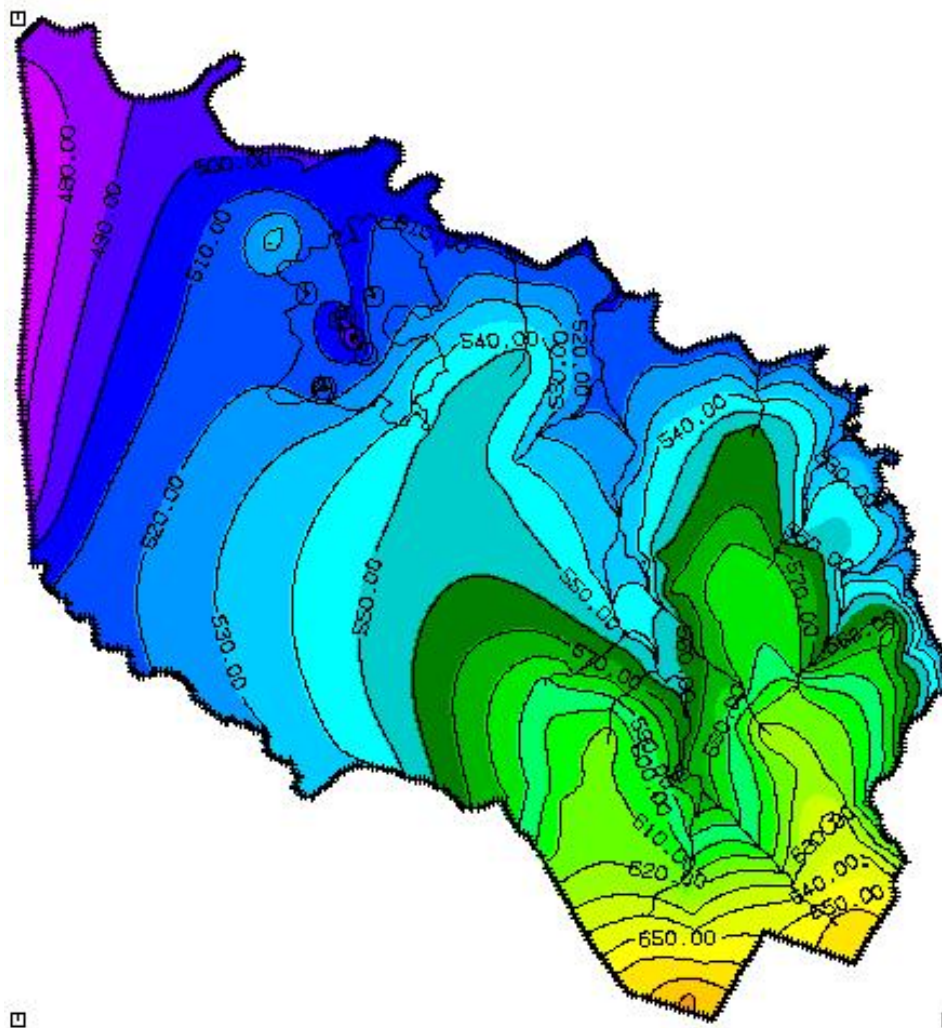


Figura 50: Isolinhas de potenciometria do SAG (m.s.n.m).

Juntamente às isolinhas é apresentada a superfície potenciométrica do SAG para a região de estudo, que é gerada a partir do balanço de entradas e saídas implementadas no modelo numérico. A superfície potenciométrica (exagerada verticalmente na proporção de 10V:1H) para a década de 50 está apresentada na **Figura 51**.

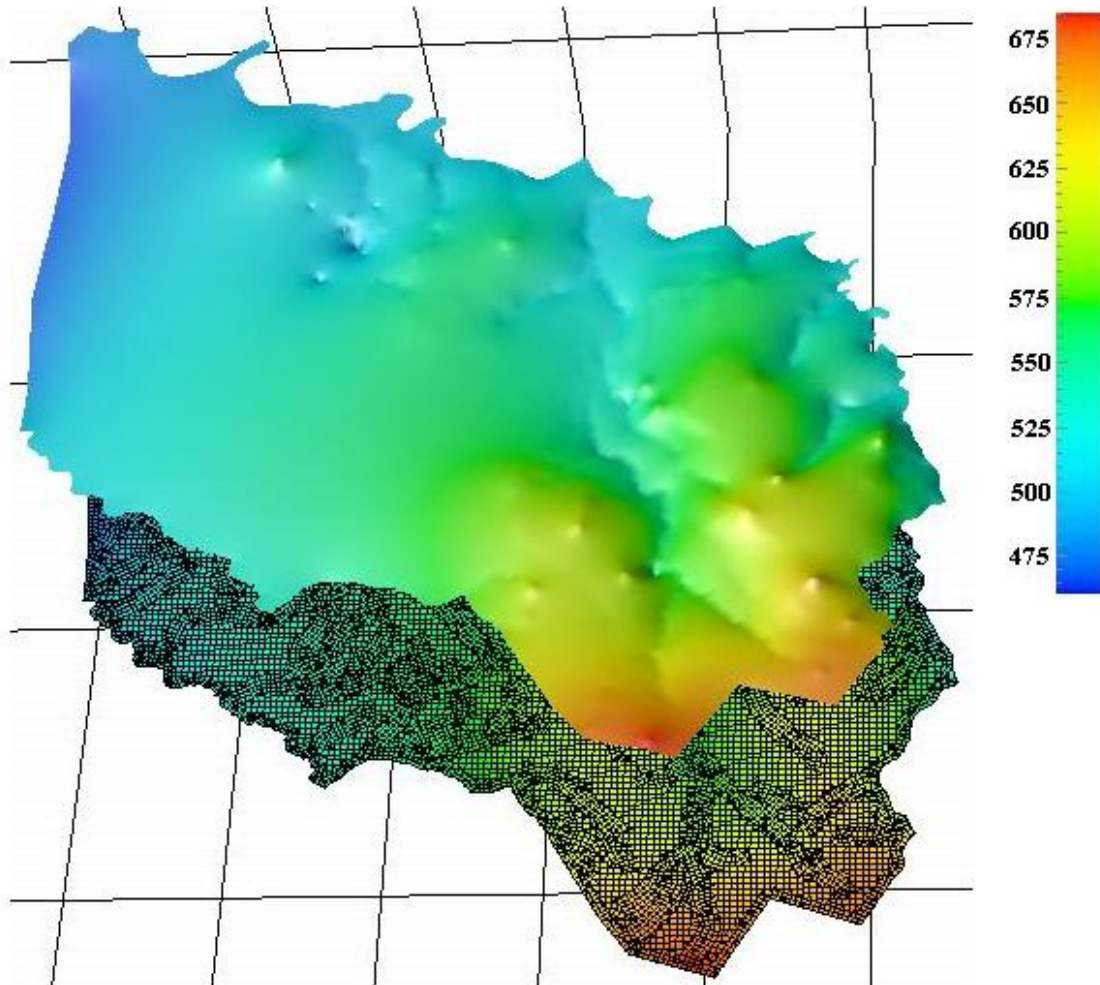


Figura 51: Superfície potenciométrica (m.s.n.m.).

Os picos existentes na superfície potenciométrica gerada nessa simulação são inconsistências do modelo numérico, já que essa superfície tende a ser mais plana para uma situação de baixa exploração. Observa-se que os valores nos picos são fixados pelo valor da carga hidráulica definida para aquele ponto do curso d'água.

Esses picos são resultado, provavelmente, de um dos seguintes fatores:

- Incerteza nos valores das cargas hidráulicas dos rios: as cotas nos cursos d'água foram tomadas a partir de um modelo

digital de terreno, que possui relativa imprecisão. Há a necessidade de verificar esses valores em campo, se possível.

- Baixo valor de recarga: se a recarga for aumentada ocorre uma elevação global do nível potenciométrico, reduzindo os picos. Para testar essa hipótese, a recarga direta foi aumentada para 425 mm/a (RABELO, 2005). Os resultados estão apresentados a seguir.

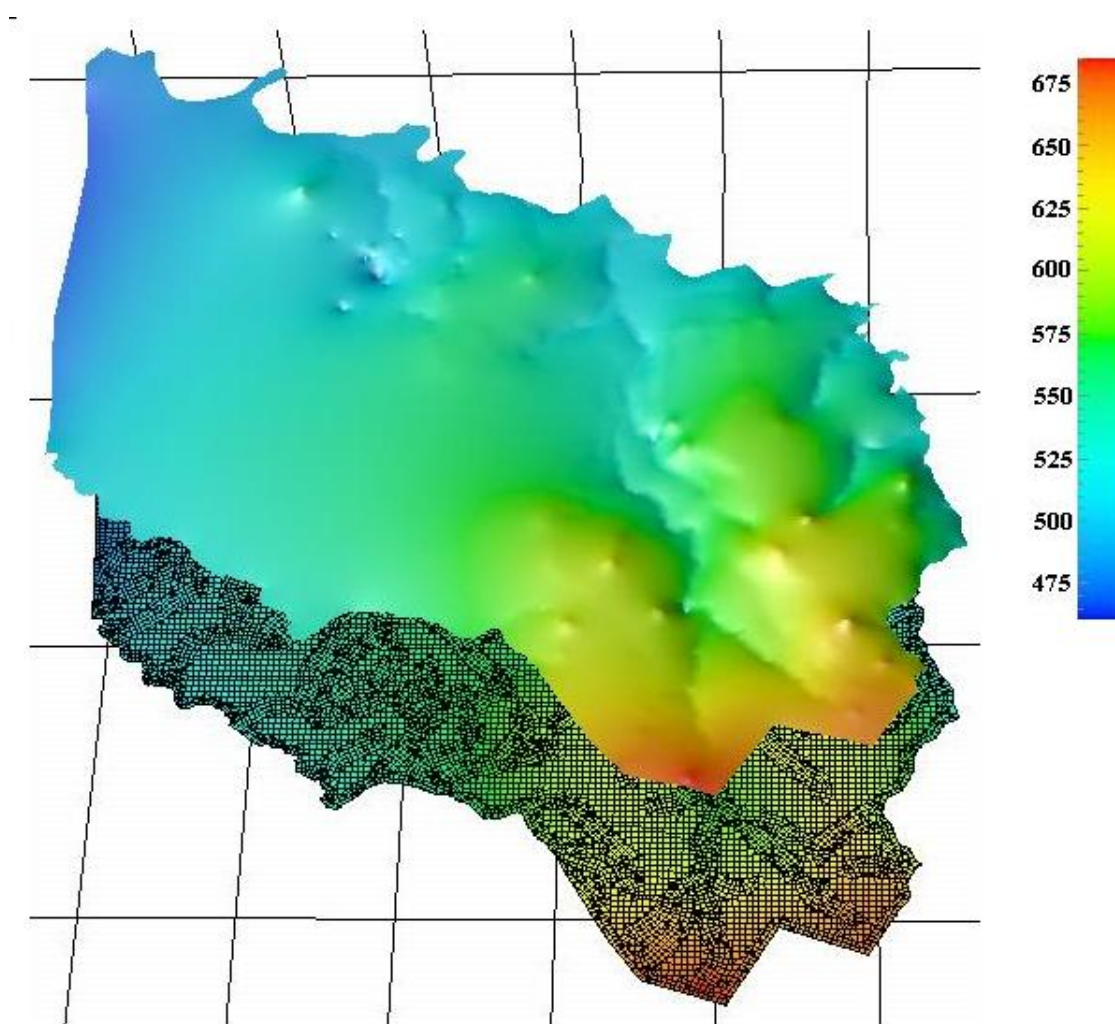


Figura 52: Superfície potenciométrica para valores de 425 mm/a de recarga direta e 20 mm/a para recarga indireta (m.s.n.m.).

Percebe-se uma leve melhora, mas ainda assim não resolve a inconsistência dos picos.

- Recarga localizada: pode estar ocorrendo uma recarga localizada através da Formação Serra Geral, ou de algum solo retentor de água, de acordo com o esquema mostrado na **Figura 53**. Nela, é mostrada uma hipótese onde o escoamento de base sobre o basalto provoca uma recarga localizada no Aquífero Guarani, que depois é estabilizada por um ponto a jusante no curso d'água, gerando um pico na superfície potenciométrica. A maioria desses picos ocorre nos rios que nascem em regiões de confinamento pela Formação Serra Geral, e são mostrados na **Figura 54**. Esse esquema deve ser verificado fazendo-se a somatória das entradas e saídas do trecho. O mapa de reações (**Figura 49**) reforça essa teoria, já que as reações nas nascentes dos cursos d'água são, na maioria das vezes, positivas (recarregam o SAG).

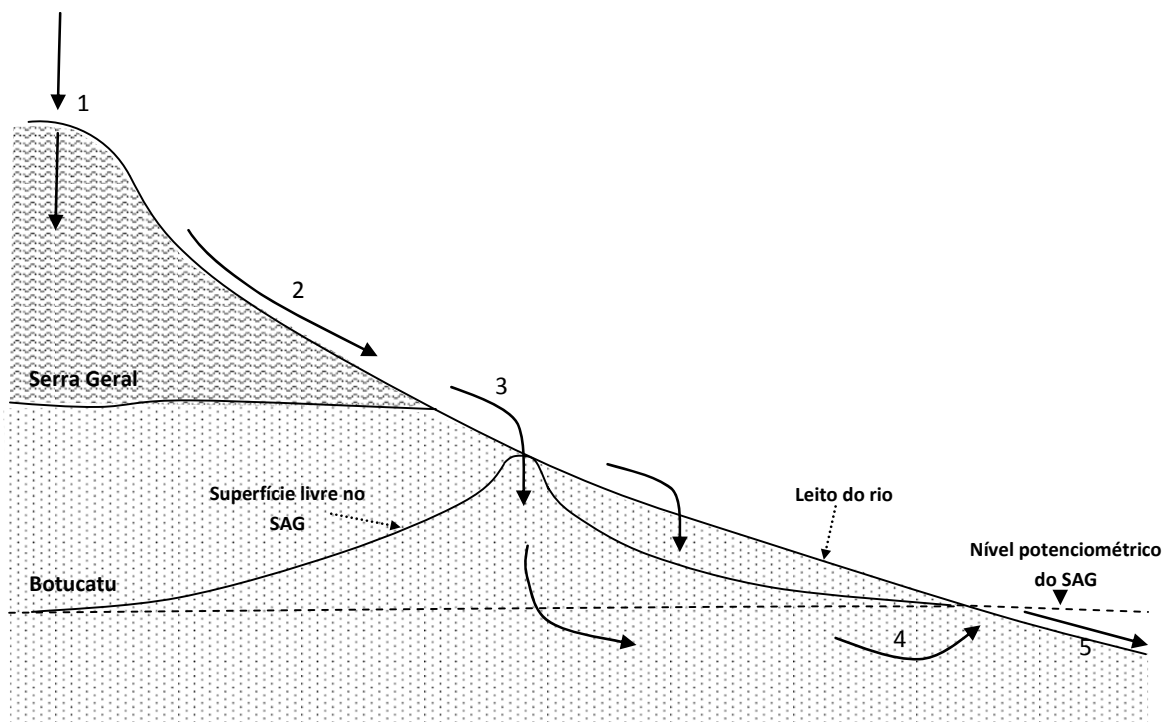


Figura 53: Esquema de fluxo em zonas de transição entre a Formação Serra Geral e a Formação Botucatu (corte longitudinal no leito do rio)

Em que:

- 1 – Nascente: drenagem de solos residuais de basalto (latossolos);
- 2 – Vazão de base escoando sobre o basalto;
- 3 – Recarga localizada no Aquífero Guarani através do leito do rio (influyente);
- 4 – Drenagem do Aquífero Guarani através do leito do rio (efluente);
- 5 – Vazão de base escoando sobre o Arenito Botucatu.

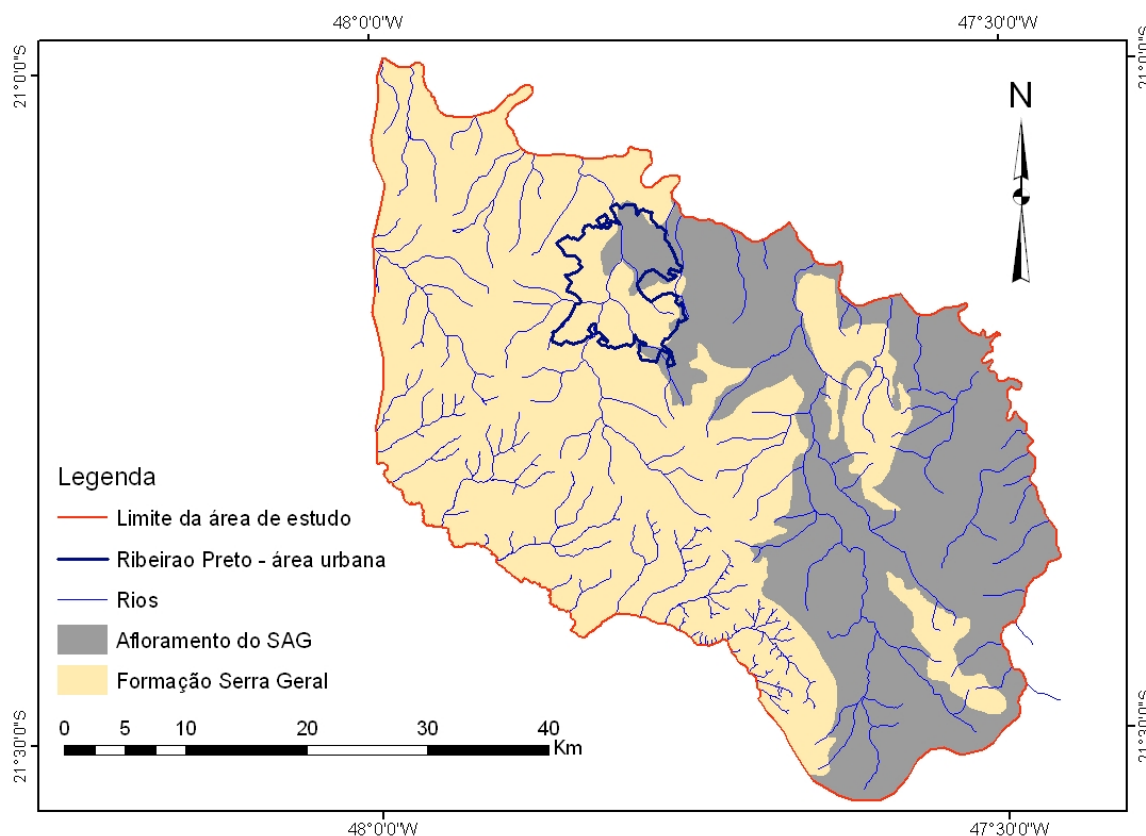


Figura 54: Afloramento do Aquífero Guarani e cursos d'água

Para verificar a sensibilidade do modelo à recarga indireta pela Formação Serra Geral, optou-se por elaborar um mapa de reações e um de isolinhas de potenciometria para uma taxa de

recarga indireta de 0,1 mm/a, ou seja, uma situação onde o Aquífero Serra Geral praticamente não recarrega o Guarani.

As reações nos cursos d'água estão apresentadas na **Figura 55**.

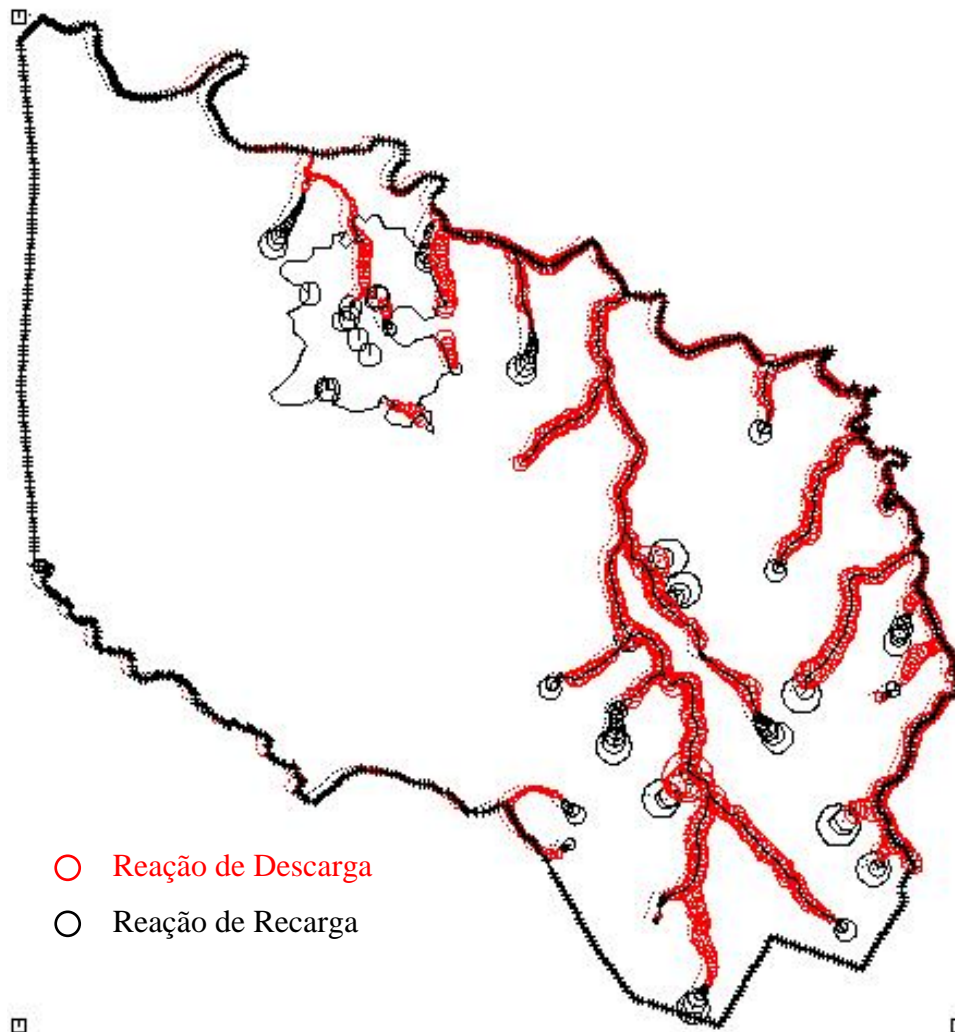


Figura 55: Reações nos cursos d'água, para uma taxa de recarga indireta de 0,1 mm/a.

As isolinhas de potenciometria estão apresentadas na **Figura 56**.

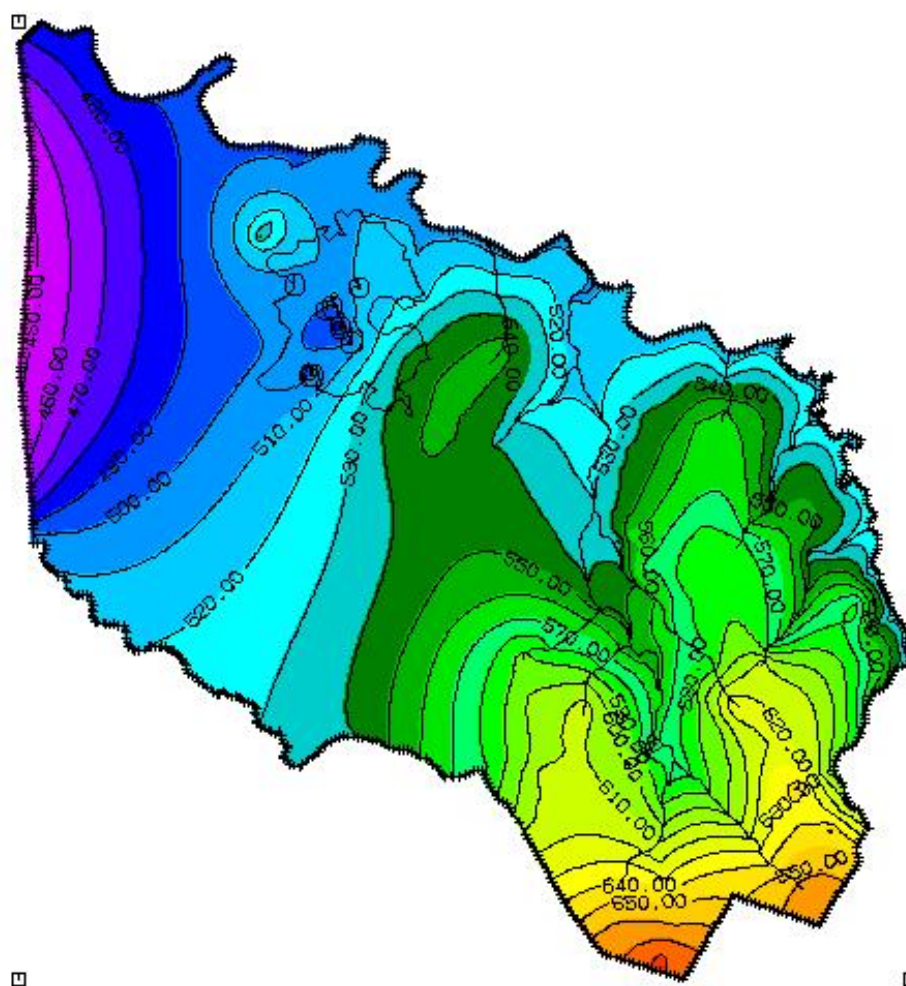


Figura 56: Isolinhas para recarga indireta do SAG de 0,1 mm/a.

Pode-se perceber que ocorreram pequenas mudanças nas reações e na disposição das linhas, mas sem interferir significativamente no resultado do modelo. Nesses índices, o modelo é pouco sensível a alterações na taxa de recarga indireta.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho objetivou-se a construção de um modelo numérico bi-dimensional, heterogêneo e estacionário do Sistema Aquífero Guarani na região do Projeto Piloto de Ribeirão Preto. Para tal, foi realizado um extenso levantamento de dados com suporte SIG e elaborado um modelo conceitual do sistema de fluxo na região.

A construção de um modelo numérico desse porte exige uma grande quantidade de dados de entrada. Na região do município de Ribeirão Preto essa necessidade é suprida, dada a existência de uma grande quantidade de poços perfurados. Nos municípios circunvizinhos essa situação não se repete; não existe uma quantidade suficiente de dados para construir um modelo numérico preciso, sendo que a maior parte deles teve que ser inferida ou sua interpolação produziu resultados poucos precisos. No decorrer do projeto chegou-se a um banco de dados bastante representativo para a área de estudo, todos catalogados em ferramenta SIG.

A estratégia adotada para elaboração do modelo conceitual foi a de uma análise de sensibilidade a diferentes elementos hidrológicos da área de estudo. A partir dessas análises, chegou-se às seguintes conclusões.

- O modelo numérico foi construído levando-se em conta os seguintes valores de parâmetros hidrodinâmicos: Recarga direta = 400 mm/a; Recarga indireta = 20 mm/a; Condutividade = $3,0 \cdot 10^{-5}$ m/s; Fluxo subterrâneo em direção ao Rio Paraná = $1,87 \cdot 10^7$ m³/a;

- Até a década de 50, o Aquífero Guarani não sofria de superexploração no município de Ribeirão Preto;

- Há a possibilidade de que os cursos d'água localizados em lineamentos da Formação Serra Geral, no município de Ribeirão Preto, estejam descarregando o SAG;

- Verificações em campo são necessárias para se evitar que certas imprecisões do modelo digital do terreno afetem os resultados do modelo numérico;

- Há evidência de recarga localizada nas zonas de transição entre a Formação Serra Geral e a Formação Botucatu.

O modelo gerado neste trabalho apresentou um bom resultado, porém é uma versão preliminar do modelo final. A construção de um modelo numérico é um processo iterativo, de constante aperfeiçoamento. Tendo isto em mente, como continuidade desse projeto, sugere-se verificar em campo dados, simplificações e hipóteses assumidas neste trabalho. Alguns fatores que devem ser incrementados e estudados com mais cuidado são:

- Verificação em campo de cargas hidráulicas dos cursos d'água em áreas aflorantes;
- Contato hidráulico entre o Ribeirão da Onça e o SAG;
- Contato hidráulico entre os cursos d'água em zonas de afloramento da Formação Serra Geral, no município de Ribeirão Preto;
- Taxa de recarga indireta pelo Aquífero Serra Geral;
- Taxa de recarga direta pelos afloramentos;
- Variação dos valores do fluxo lateral em direção ao Rio Paraná, acompanhada de análise de sensibilidade.

É importante salientar que este modelo numérico não está terminado. Com dados mais consistentes e verificados em campo, pode-se aumentar sua precisão e fidelidade na representação dos processos de fluxo subterrâneo para o Aquífero Guarani, e ficam como proposta para a continuidade e término desse modelo computacional.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, L. M.; FRANÇA, A. B. E POTTER, P. E., 1999. *Hydrogeology of the Mercosul Aquifer System in the Chaco-Paraná Basins, South America, an comparison with de Navajo-Nugget Aquifer System, USA*. Hydrogeology Journal, nº 7, p. 317-336.

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

CAETANO-CHANG, M. R. E WU, F. T., 1992. *Bacia do Paraná: Formações Pirambóia e Botucatu*. Em: Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo. Roteiro de Excursão. São Paulo: SBG, 1992, v.2, 19p.

CALCAGNO, A, 2001. *Actividad 09 – Identificación de areas para a ejecución de programas y acciones piloto y definición de terminos de referencia*. Preparación del proyecto para la protección ambiental y desarrollo sostenible del Sistema Acuífero Guaraní. Anexos. GEF – BIRF – OEA.

CAMPOS, H. C. N. S., 1999. *Modelación conceptual y matamática del Acuífero Guaraní, Cono Sur*. Mapa Hidrogeológico do Aqüífero Guaraní. Acta Geológica Leopoldensia v. 23(4), p. 3-50.

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.

CGIAR-CSI – Consultative Group on International Agricultural Research-Consortium for Spatial Information. Disponível em: <srtm.csi.cgiar.org>. Acesso em: 2007.

CHANG, H. K., 2001. *Uso atual e potencial do Aquífero Guarani – Brasil*. Atividade 3b do Projeto Aquífero Guarani: Proteção Ambiental e Gerenciamento Sustentável Integrado do Aquífero Guarani - Agência Nacional de Águas. Disponível em www.ana.gov.br/guarani/gestao/gest_cbasico.htm.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1974. *Estudo de Águas Subterrâneas: Região Administrativa nº 6, Ribeirão Preto*. São Paulo: v. 4.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1984. *Caracterização dos recursos hídricos no Estado de São Paulo*. São Paulo. 175 p.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica; IG – Instituto Geológico; IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2005. *Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo*. Escala 1:1.000.000.

DNM – Departamento Nacional de Meteorologia - Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Secretaria Nacional de Irrigação, 1992. *Normas climatológicas, 1961-1990*, Brasília, p. 1-84.

ESRI, 2002. *Software ArcView*. Versão. 8.3. CA, USA. Manual Arcmap, 229 p.

FERNANDES, A. J.; MALDANER, C.; WAHNFRIED, I.; FERREIRA, L. M. R.; PRESSINOTTI, M. M. N.; VARNIER, C.;

IRITANI, M. A. E HIRATA, R., 2006. *Modelo conceitual preliminar de circulação de água subterrânea no Aquífero Serra Geral, Ribeirão Preto, SP*. Artigo no XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Curitiba – PR.

FILI, M.; ROSA FILHO, E. F.; AUGÉ, M.; MONTAÑO XAVIER, J. E TUJCHNEIDER, O., 1998. *El Acuífero Guaraní: um recurso compartilhado por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay (América Del Sur)*. Boletín Geológico y Minero, v. 109, nº 4, p. 389-394, julho/agosto.

FIPAI, 1996. *Relatório técnico do Projeto de Gestão da Quantidade de Águas Subterrâneas*. Ribeirão Preto, SP, 43 p.

FRANTZ, L. C., 2005. *Avaliação do Índice de Vulnerabilidade do Aquífero Guaraní no perímetro urbano da cidade de Sant'ana Do Livramento – RS*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Tecnologia, Santa Maria, RS – Brasil.

GILBOA, Y.; MERO, F. E MARIANO, I. B., 1976. *The Botucatu Aquifer of South America. Model of an untapped continental aquifer*. Journal of Hydrology, New York: v. 29, p. 165-179.

GUIDO, B., 2004. *Grundwasserbewirtschaftung mittels eines dreidimensionalen numerischen Strömungsmodells im Raum Ribeirão Preto – São Paulo – Brasilien*. Diplomarbeit am Institut für Bauningenieurwesen und Angewandte Geowissenschaften – Technischen Universität Berlin.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Superintendência de Cartografia, 1971. *Carta do Brasil*. Escala

1:50.000, reimpressão. Digitalizado por SMA – Secretaria do Meio Ambiente/CPLA – Coordenadoria de Planejamento Ambiental.

IG – Instituto Geológico/CETESB – Companhia De Tecnologia De Saneamento Ambiental/DAEE – Departamento De Águas E Energia Elétrica, 1997. *Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo*. São Paulo, 2 volumes.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2000. *Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Pardo – Relatório Zero*. Relatório elaborado para o Comitê da Bacia Hidrográfica do Pardo – CBH-PARDO.

KRESIC, N., 1997. *Quantitative solutions in Hydrogeology and Groundwater Modeling*. Lewis Publishers, cap. 11.

MALDANER, C.; FERNANDES, A. J.; WAHNFRIED, I.; FERREIRA, L. M. R.; PRESSINOTI, M. M. N.; VARNIER, C; IRITANI, M. A. E HIRATA, R., 2005. *Representação tridimensional do Aquífero Serra Geral na região de Ribeirão Preto, SP* (enviado ao 43º Congresso Brasileiro de Geologia).

MONTEIRO, R. C., 2003. *Estimativa espaço temporal da superfície potenciométrica do Sistema Aquífero Guarani na cidade de Ribeirão Preto (SP), Brasil*. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, SP – Brasil.

MONTENEGRO, A. A.; RIGHETTO, A. M. E SINELLI, O., 1988. *Modelação do manancial subterrâneo de Ribeirão Preto*. Anais 5º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, ABAS, São Paulo. P 32 – 41.

MONTENEGRO, A. A., 1990. *Modelação matemática do manancial subterrâneo de Ribeirão Preto – SP*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP – Brasil.

PIUCI, J. E DINIZ, H. N., 1985. *Conhecimento do Aqüífero Botucatu na Cidade de Araraquara – SP*. Revista do Instituto Geológico. v. 6, p. 23-44.

RABELO, J., 2005. *Desenvolvimento de modelo numérico para avaliar a recarga do Aqüífero Guarani na sua região de afloramento no Estado de São Paulo*. Relatório Científico para a FAPESP. Processo nº 02/12836-1.

REBOUÇAS, A. C. 1976. *Recursos hídricos subterrâneos da Bacia do Paraná - análise de pré-viabilidade*. Tese de Livre Docência apresentada ao Instituto de Geociências – USP. São Paulo. 143p.

REBOUÇAS, A. C. 1994. *Sistema Aqüífero Botucatu no Brasil*. Em: ABAS – Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 8, Recife. Anais. P. 500-509.

ROCHA, G., 1997. *O grande manancial do Cone Sul*. Estudos Avançados, Universidade de São Paulo, São Paulo. v. 30, p. 191-213.

ROSA FILHO, E. F.; HINDI, E. C.; GIUSTI, D. A.; ROSTIROLA, S. P.; FERREIRA, F. J. F. E BITTENCOURT, A. V. L., 2003. *Sistema Aquífero Guarani – Considerações preliminares sobre a influência do Arco de Ponta Grossa no fluxo das águas subterrâneas*. Águas Subterrâneas, São Paulo. V. 17, v. 91-111.

SG-SAG – Secretaria Geral do Projeto Sistema Aquífero Guarani.
Disponível em:

<www.sg-guarani.org/index/site/sistema_acuifero/sa001.php>. Acesso em: 2006.

SG-SAG – Secretaria Geral do Projeto Sistema Aquífero Guarani.
Disponível em: <www.sg-guarani.org>. Acesso em: 2007.

SIAGAS – Sistema de Informação de Águas Subterrâneas.
Disponível em:

<<http://siagas.cprm.gov.br/wellshow/indice.asp?w=800&h=600>>.

Acesso em: 2006.

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 – Universidade de São Paulo, São Paulo.

SINELLI, O. E WERNICK, E., 1970. *Análise estrutural geomorfológica*. Notícias Geomorfológicas. Campinas – SP, 10 (20). P 39 – 54.

SMA – Secretaria do Estado do Meio Ambiente, 2004. *Gerenciamento de aquíferos – Um exemplo de solução integrada para a criação de áreas de abastecimento público com uso de modelos de sustentabilidade e sistemas avançados de suporte de tecnologia de informação*. Relatório 11.04.04, 40p. São Paulo, SP.

SMA/São Paulo & StMUGV/Baviera, 2004. *Sistema de informação para o gerenciamento ambiental dos recursos hídricos subterrâneos na área de afloramento do Aquífero Guarani no Estado de São Paulo*. Projeto em cooperação com Secretaria de Meio Ambiente, Saúde Pública e Proteção ao Consumidor do Estado da Baviera (Alemanha). São Paulo.

WENDLAND, E., 2003. *Desenvolvimento do pacote computacional SPA – Simulação de Processos em Aquíferos*. Relatório de Pesquisa, Processo FAPESP 02/09696-3, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 78 p.

ZALÁN, P.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M.; VIEIRA, I.; APPI, V. E ZANOTTO Y. O., 1990. *Bacia Do Paraná*. Em: *Pederneiras Raja Gabaglia, G. Y E. Milani (Ed.) Origem e Evolução de Bacias Sedimentares*. Petróleo Brasileiro S. A., 415 Pág., Rio De Janeiro. P 135-168.

APÊNDICE A - Roteiro de utilização integrada e transporte de dados entre os *softwares* utilizados nesse projeto

ROTEIRO DE UTILIZAÇÃO INTEGRADA E TRANSPORTE DE DADOS ENTRE OS *SOFTWARES* UTILIZADOS NESSE PROJETO

Muitas vezes, características de uma determinada região, cidade etc. encontram-se armazenadas em meio digital na forma de mapas do AutoCAD, ou seja, arquivos de extensão dxf e dwg.

Neste projeto houve a necessidade de se transportar os dados do AutoCAD para a ferramenta GIS, por motivos de organização e processamento dos dados. Essa operação é facilitada pelo certo grau de integração existente entre o ArcGIS e o AutoCAD.

Para isso, foram executados os seguintes passos:

1. Separação de conjuntos de dados por *layers* no AutoCAD: para facilitar a operação de transporte de dados entre esses dois *softwares*, os dados do mesmo tipo (polyline, por exemplo) que representem diferentes estruturas (por exemplo, estradas, rios e ferrovias) podem ser separados em diferentes *layers* (ver Figura 57).

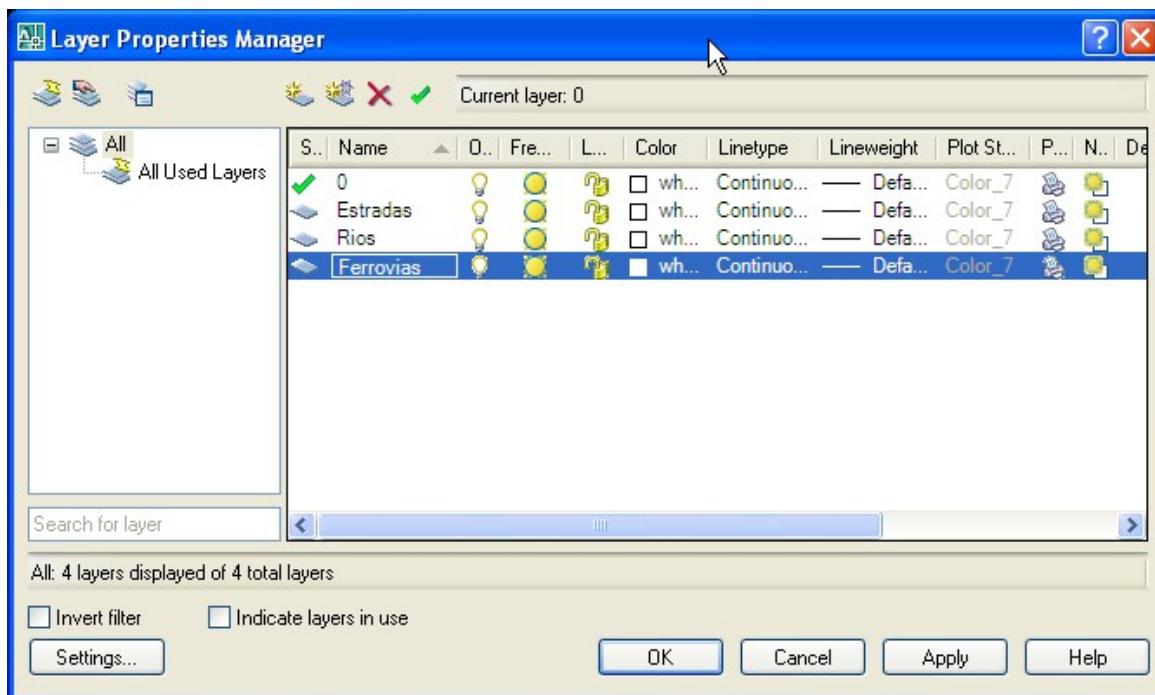


Figura 57: Separação em *layers*

2. Importação de dados do AutoCAD pelo ArcMap: no ArcMap, *File* → *Add Data*. Procurar o arquivo vetorial (.dxf ou .dwg) desejado (como exemplo, projeto1.dwg) dar duplo clique com o botão direito do mouse. O arquivo será aberto em cinco outros arquivos (*Annotation*, *MultiPatch*, *Point*, *Polygon* e *Polyline*), cada um representando um tipo de dado ou informação do AutoCAD (ver Figura 58). Selecionar aquele que se deseja transportar (como exemplo, *polyline*) → *Add*. Todos os dados do tipo *polyline* serão adicionados como *nome_do_arquivo.dwg Tipo_de_dado* (temos, no caso do exemplo, Exemplo.dwg Polyline), e esse arquivo deve ser separado nas diferentes estruturas que o compõe.

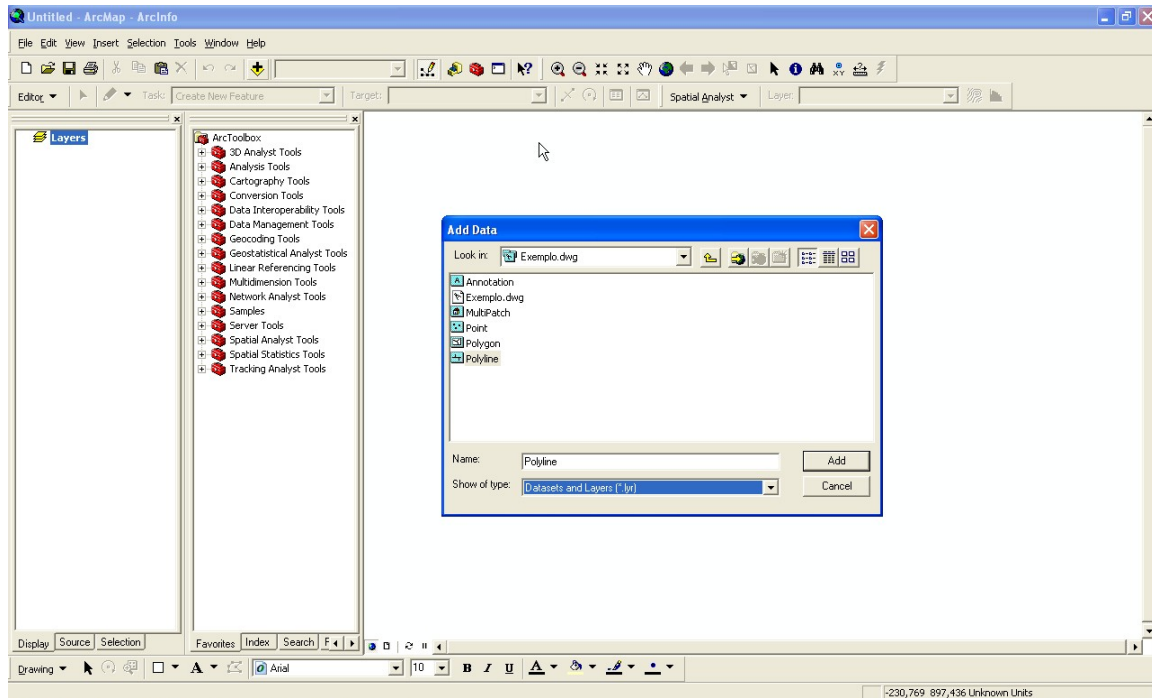


Figura 58: Adicionando dados do AutoCAD

3. Separando as estruturas (*layers*) de um arquivo vetorial no ArcMap: no ArcMap → *Selection* → *Select by Attributes*. Na janela que será aberta: em *Layer*, selecionar o arquivo do AutoCAD recém importado pelo ArcMap (no caso do exemplo, Exemplo.dwg Polyline); em *Method*, selecionar *Create a New Selection*; em *Fields*, selecionar “*Layer*”; clicar em *Get Unique Values* para que as *layers* definidas no AutoCAD apareçam no campo *Unique Values* (no caso do exemplo, estradas, rios e ferrovias). Para cada estrutura que se deseja entrar no ArcMap, montar a equação “*Layer*” = *estrutura* (no caso do exemplo, a operação seria repetida três vezes: “*Layer*” = estradas, “*Layer*” = rios e “*Layer*” = ferrovias) → *APPLY*. A estrutura selecionada aparecerá em destaque.

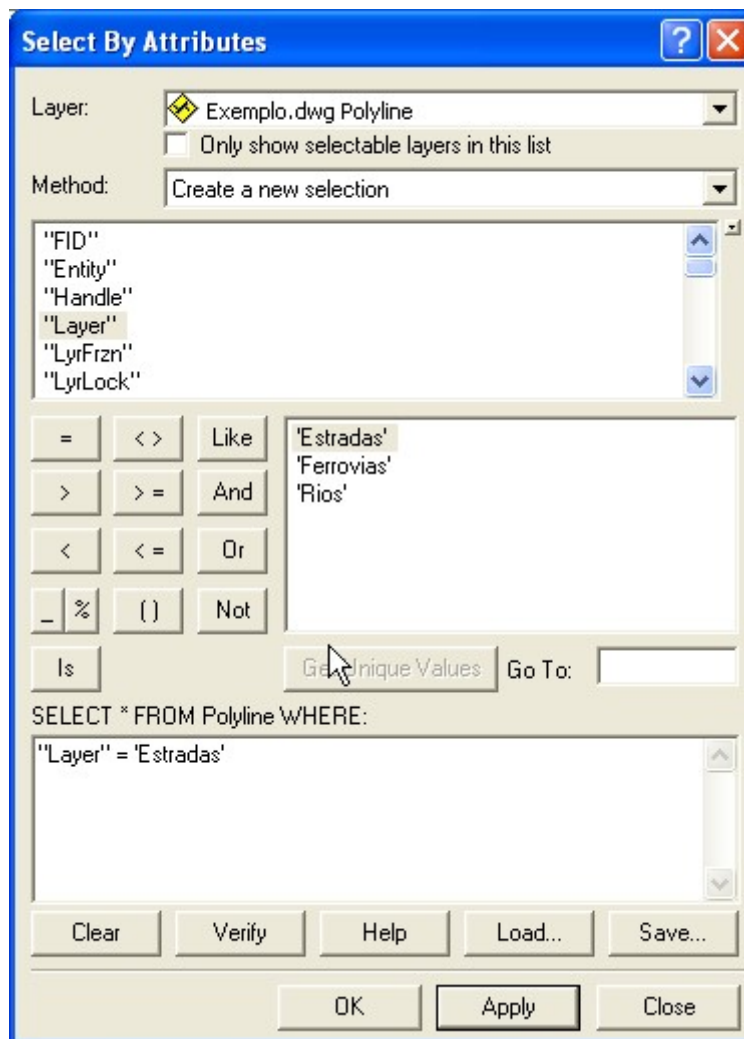


Figura 59: Separação das estruturas

4. Transformação de arquivo vetorial em *shapefiles*: com a estrutura selecionada, clicar com o botão direito do mouse no arquivo vetorial de entrada (no caso, Exemplo.dwg Polyline) → *Data* → *Export Data*. Na janela aberta, em *Export*, selecionar *Selected Features*; marcar a opção de sistema de coordenadas mais adequada ao projeto; em *Output shapefile or feature class*, definir um nome para a nova *shapefile* → OK (ver Figura 60). Terminada a transformação: *Do you want to add the exported data to the map as a layer?* → *Sim*.

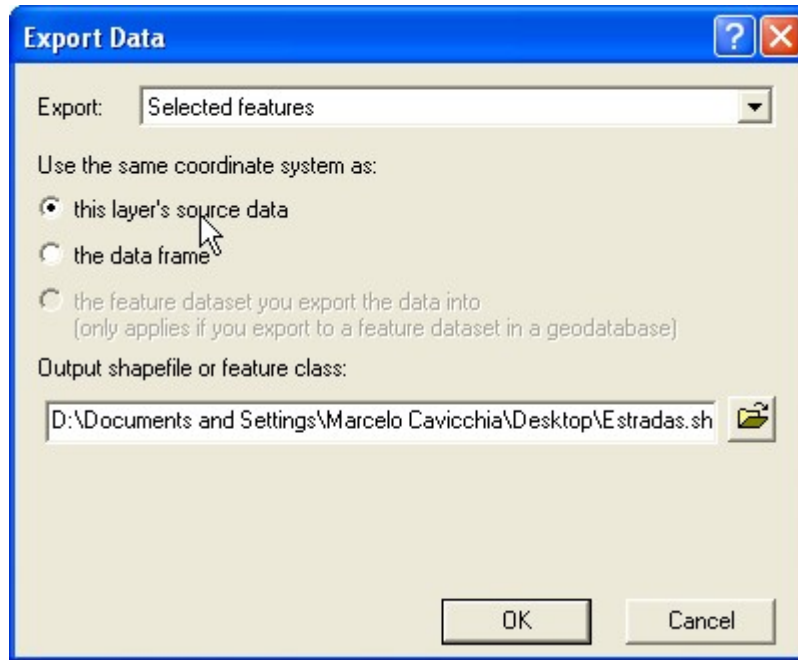


Figura 60: Exportação de dados vetoriais para *shapefiles*

Terminado o processo, cada estrutura da região (estradas, ferrovias, cursos d'água, poços, lagos etc) originará uma shapefile na ferramenta SIG. O arquivo de entrada inicial do AutoCAD pode ser removido do projeto (clique do botão direito do mouse → *Remove*), deixando-se apenas as *shapefiles*. Na Figura 61, pode-se observar o processo finalizado com as estruturas fictícias do exemplo.

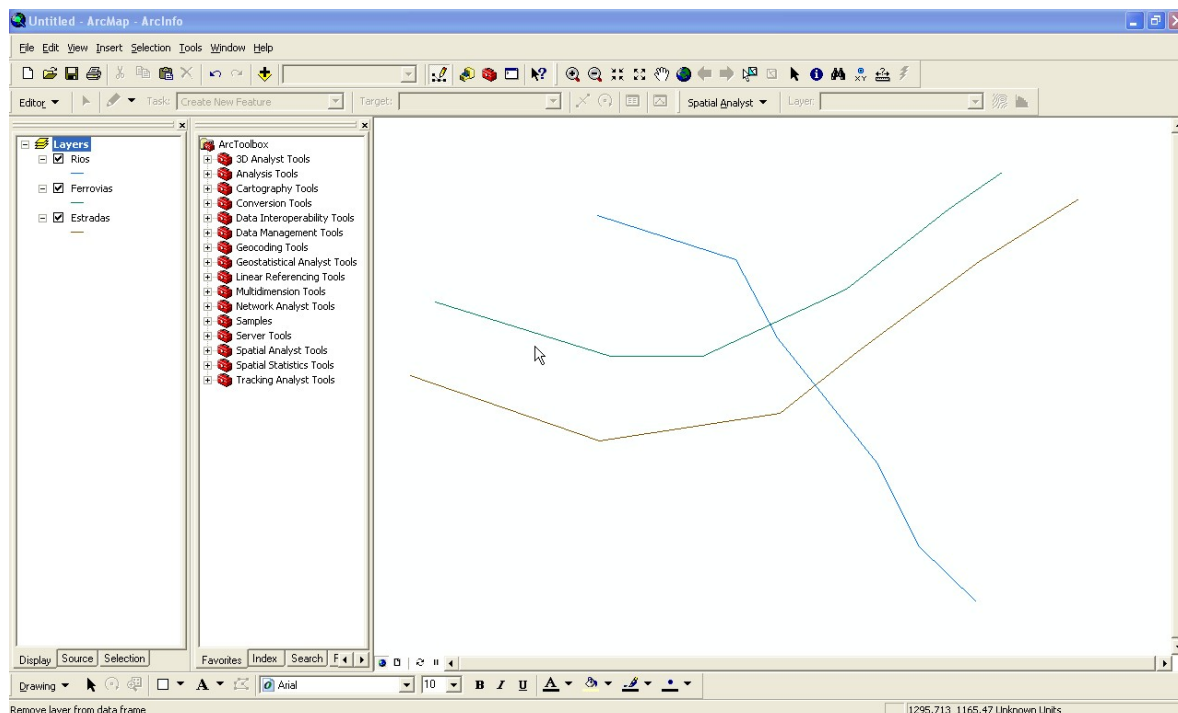


Figura 61: Estruturas passadas do AutoCAD para o ArcMap

ETAPAS PARA INTERPOLAÇÃO DE DADOS EM FERRAMENTA SIG (ARCMAP)

A interpolação por krigagem de um conjunto de pontos gera uma superfície do tipo *raster*. Para que os valores desse *raster* sejam transportados para o CMA, cada *pixel* do *raster* deve ser transformado em um ponto, que será alocado no centro do *pixel*.

Essa transformação de *raster* em pontos pode ser feita de forma direta caso os valores do *raster* sejam valores inteiros (se existirem valores decimais, uma mensagem de erro é exibida, encerrando o processo). Como essa é uma situação difícil de acontecer, primeiramente tem-se que transformar os valores do *raster* em valores inteiros (assim, cada faixa de valores será representada por um algarismo) para, a seguir, transformá-los em pontos e re-atribuir os valores do *raster* original.

Para isso, foram executados os seguintes passos:

1. Interpolação por Krigagem: na barra de ferramentas *Spatial Analyst* → *Interpolate to Raster* → *Kriging*. Na janela *Kriging* (ver Figura 62): em *Input points*, selecionar a *shapefile* pontos que se deseja interpolar; em *Z value field*, colocar o campo que representa os valores que se deseja interpolar; nos demais itens, colocar a opção que melhor se adapta à situação; em *Output raster*, definir um nome para o *raster* que será gerado (como exemplo, nomeado raster1). Essa etapa resultará em uma superfície do tipo *raster*, com valores decimais interpolados (variável tipo *Float*).

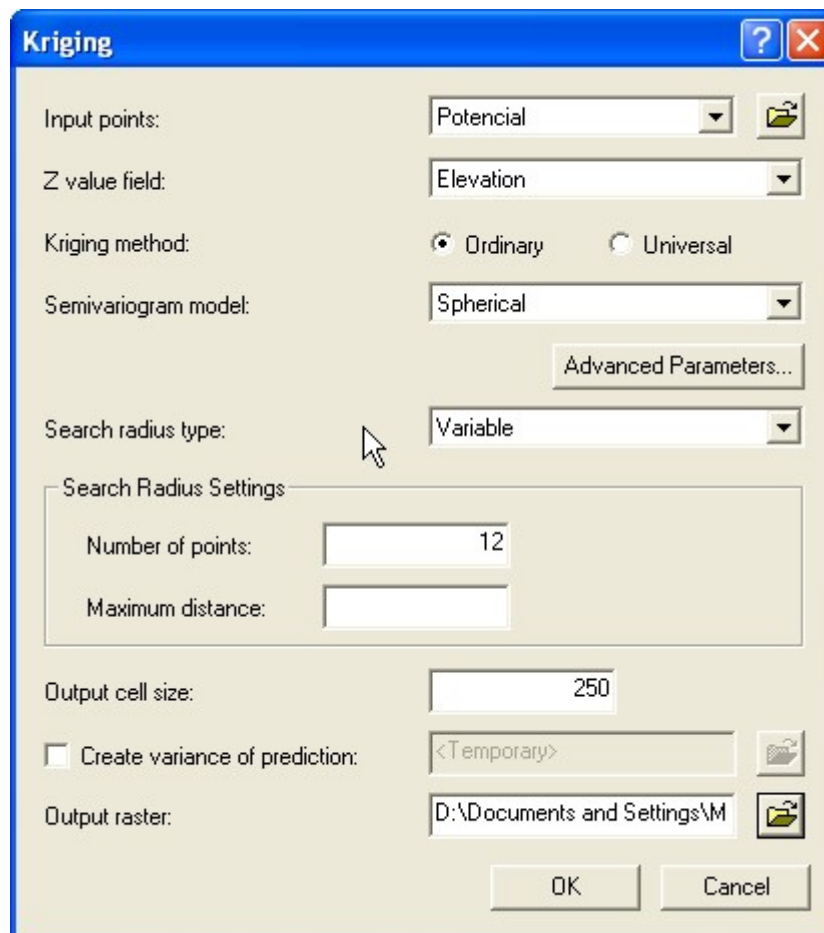


Figura 62: Informações para interpolação

- 2. Transformação dos valores do raster de *Float* para *Integer*:** na barra de ferramentas *Spatial Analyst* → *Reclassify*. Na janela *Reclassify* (ver Figura 63): em *Input Raster*, selecionar o raster gerado na etapa anterior (raster1); em *Set values to reclassify*, observar os valores inteiros que serão atribuídos às faixas de valores; em *Output raster*, definir um nome para o novo raster que será gerado (como exemplo, será utilizado o nome raster1-rc).

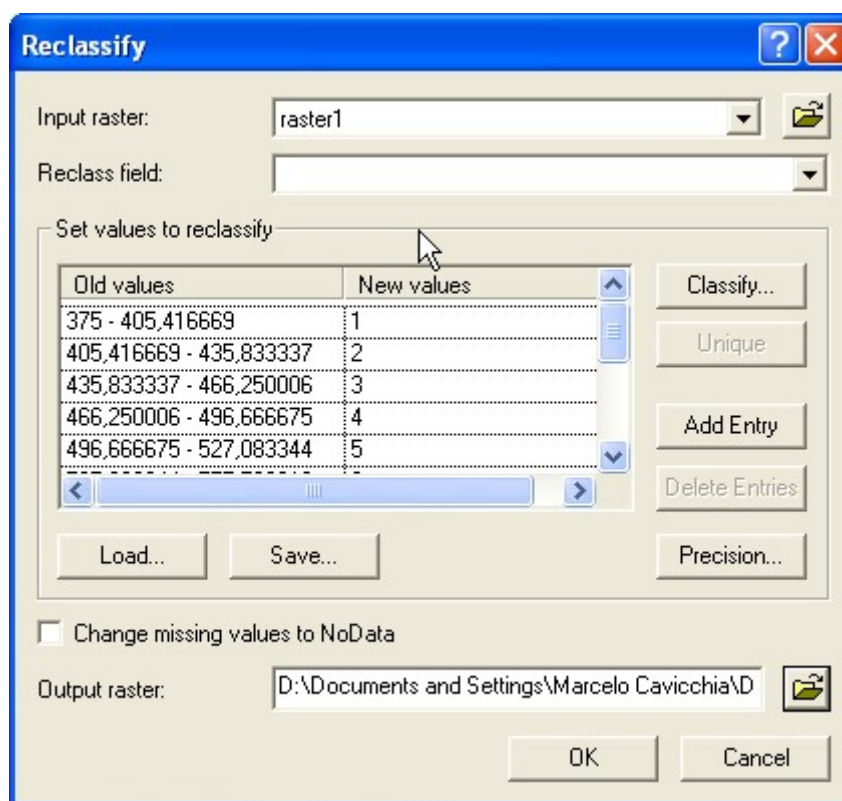


Figura 63: Janela *Reclassify*

- 3. Transformação do raster com valores inteiros (raster1-rc) para uma shapefile pontos:** no *ArcToolbox* → *Conversion Tools* → *From Raster* → *Raster to Point* (ver Figura 64). Em *Input Raster*, selecionar o raster gerado na etapa anterior (raster1-rc); em *Output point features*, definir um nome para a shapefile pontos resultante da transformação (como exemplo,

nomeada shap1). Assim, cada *pixel* do *raster* será transformado em um ponto concêntrico.

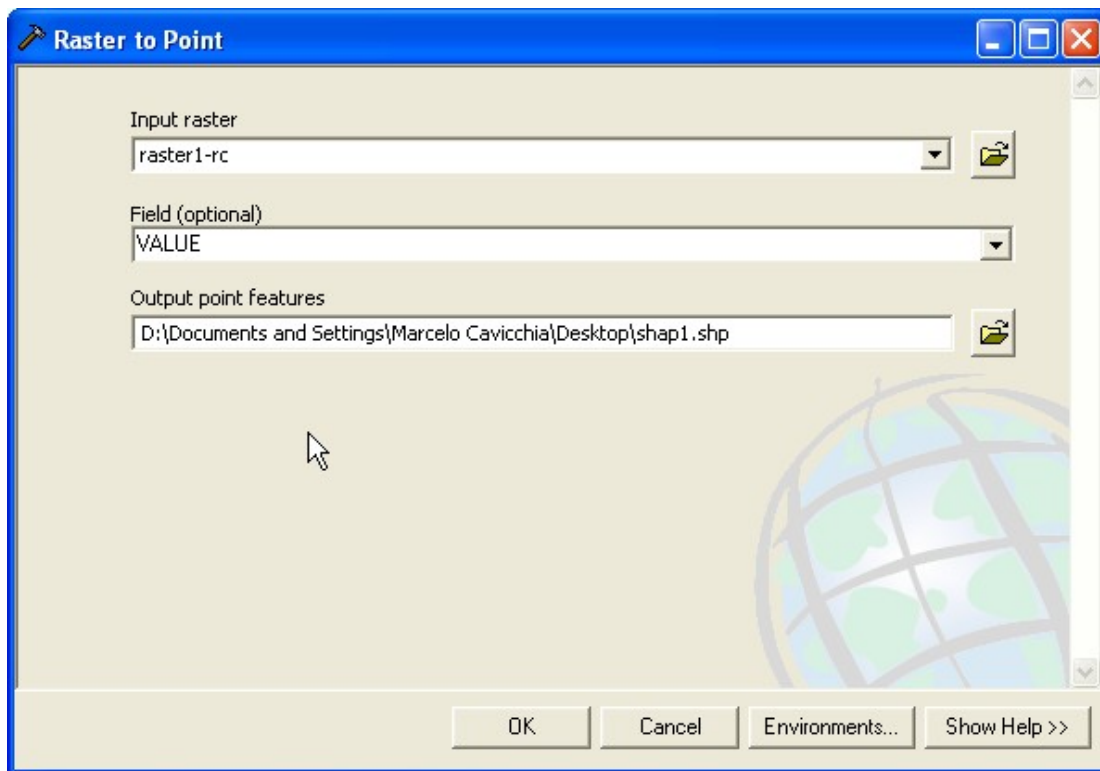


Figura 64: Raster para Pontos

4. Atribuição dos valores do *raster* original (*raster1*) para a *shapefile* pontos criada (*shap1*): no *ArcToolbox* → *Spatial Analyst Tools* → *Extraction* → *Extract Values to Points*. Em *Input point features*, selecionar a *shapefile* pontos à qual se deseja extrair os valores da superfície *raster*, ou seja, aquela gerada na etapa anterior (*shap1*); em *Input raster*, selecionar o *raster* com os valores originais (*raster1*); em *Output point features*, definir o nome da *shapefile* pontos que será gerada (como exemplo, *shap-pontos*).

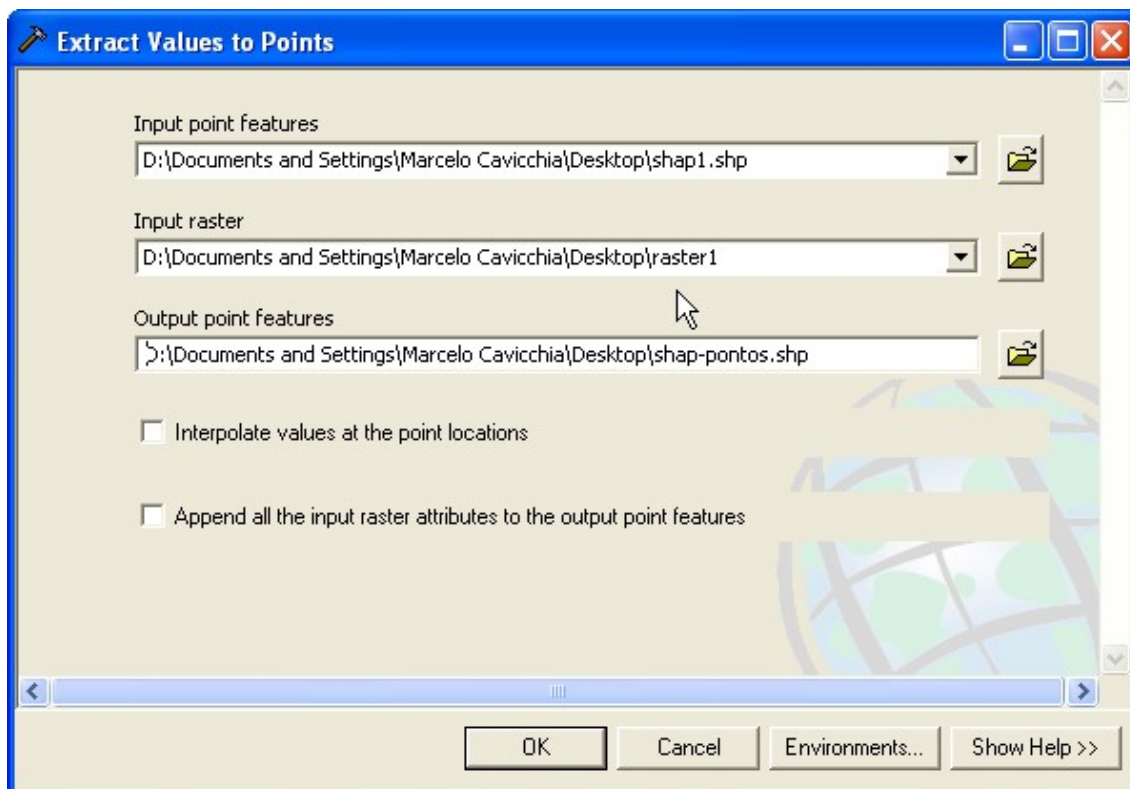


Figura 65: Janela para extração de valores do *raster* para a *shapefile* pontos

Executados esses passos, temos uma *shapefile* do tipo pontos, e cada ponto possui um valor interpolado decimal do *pixel* que o gerou, já que cada ponto representa o centro de um *pixel* do *raster*. Esses dados distribuídos em pontos já podem ser transportados para o CMA, e integrados à malha de Elementos Finitos.

TRANSPORTE DE DADOS DA FERRAMENTA SIG (ARCGIS) PARA O CMA

Para se converter os dados de uma dada estrutura do ArcMap para um arquivo tipo texto simples, são necessárias a separação por trechos (importante quando se tem diversos segmentos do mesmo tipo, por exemplo no caso de cursos d'água), a coordenada X, a coordenada Y e os valores para cada ponto. Esses campos são

utilizados pela rotina de conversão que, em sua ausência, não funciona. Posteriormente, esse arquivo de texto simples formatado adequadamente (.txt) consiste no arquivo de entrada do CMA.

Nessa etapa, foram executados os seguintes passos:

1. Separação por trechos: na *Table os Contents* (coluna da esquerda na área de trabalho do ArcMap), clicar com o botão direito do mouse no arquivo que se deseja transportar → *Open Attribute Table*. Na tabela que será aberta → *Options* → *Add Field*. Em *Name*, colocar Trecho; em *Type*, selecionar *Short Integer* → OK (ver Figura 66). Se a separação por segmentos for importante para o conjunto de dados, identificar os pontos de início do segmento e identificá-los na tabela, numerando-os.

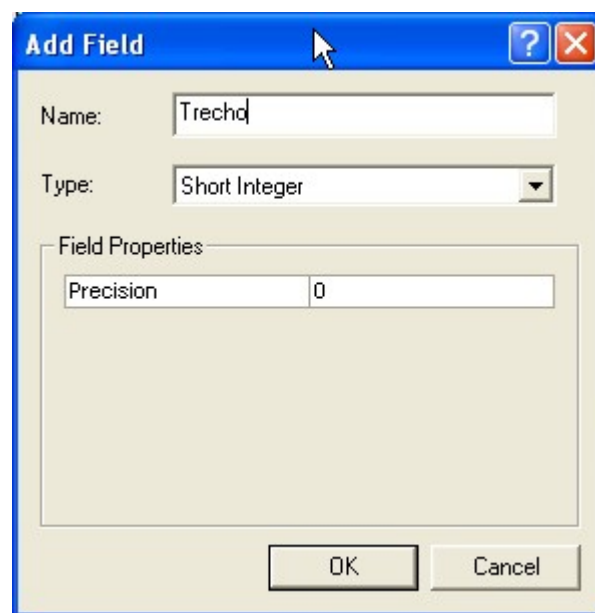


Figura 66: Janela para adição de campos

2. Obtenção das coordenadas X: na *Table os Contents* (coluna da esquerda na área de trabalho do ArcMap), clicar com o botão direito do mouse no arquivo que se deseja transportar → *Open Attribute Table*. Na tabela que será aberta → *Options* → *Add*

Field. Em *Name*, colocar *Coord_X*; em *Type*, selecionar *Long Integer* → OK (analogamente ao passo 1, ver Figura 66). Em seguida, clicar com o botão direito do mouse no campo recém criado → *Calculate Values*. Na janela *Field Calculator* → marcar a caixa *Advanced* → *Help*. No *Help*, procurar a opção *To add the x coordinate of points* e copiar as três primeiras linhas da rotina que se segue para o campo *Pre-Logic VBA Script Code*; o que se segue ao *Output* (*pPoint.X*), colar na última linha do *Field Calculator* → OK (ver Figura 67).

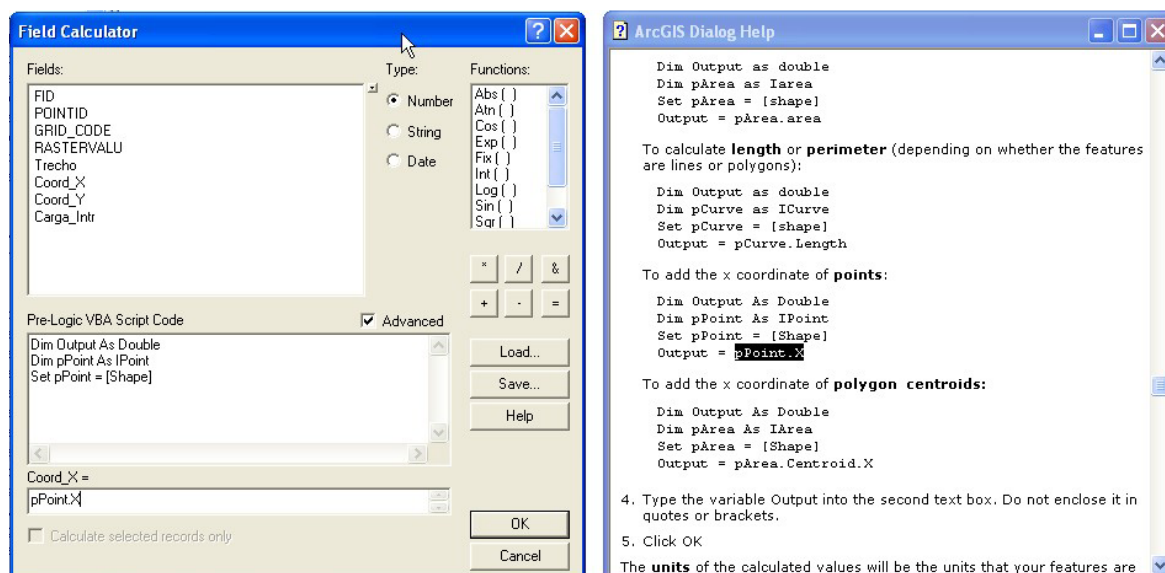


Figura 67: Cálculo das coordenadas X e Help

3. Obtenção das coordenadas Y: na *Table of Contents* (coluna da esquerda na área de trabalho do ArcMap), clicar com o botão direito do mouse no arquivo que se deseja transportar → *Open Attribute Table*. Na tabela que será aberta → *Options* → *Add Field*. Em *Name*, colocar *Coord_Y*; em *Type*, selecionar *Long Integer* → OK (analogamente ao passo 1, ver Figura 66). Em seguida, clicar com o botão direito do mouse no campo recém criado → *Calculate Values*. Na janela *Field Calculator* →

marcar a caixa *Advanced* → *Help*. No *Help*, procurar a opção *To add the x coordinate of points* e copiar as três primeiras linhas da rotina que se segue para o campo *Pre-Logic VBA Script Code*; no campo “*Coord_Y =*” colocar *pPoint.Y* → OK (ver Figura 68).

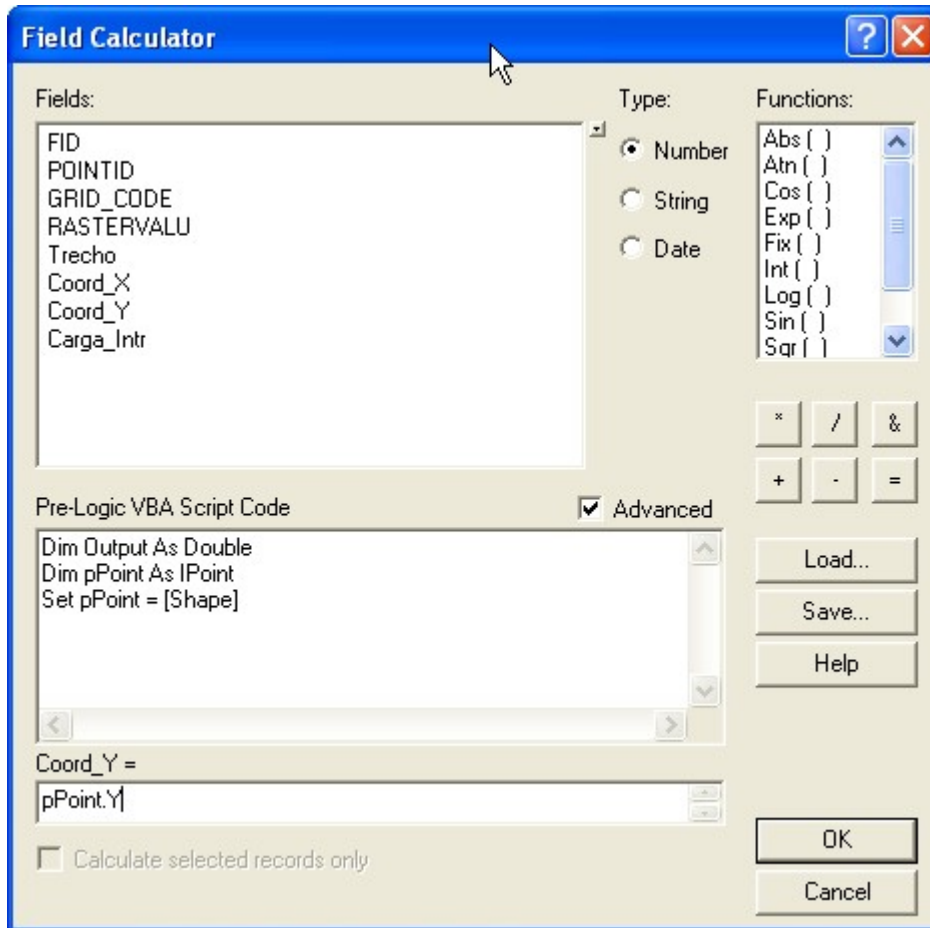


Figura 68: Cálculo das coordenadas Y

4. Valores para cada ponto: na *Table os Contents* (coluna da esquerda na área de trabalho do ArcMap), clicar com o botão direito do mouse no arquivo que se deseja transportar → *Open Attribute Table*. Na tabela que será aberta → *Options* → *Add Field*. Em *Name*, colocar *Carga_Intr*; em *Type*, selecionar *Float* → OK. Em seguida, clicar com o botão direito do mouse no campo recém criado → *Calculate Values*. Na janela *Field*

Calculator → campo *Fields* → duplo clique no campo que contém os valores → OK (ver Figura 69).

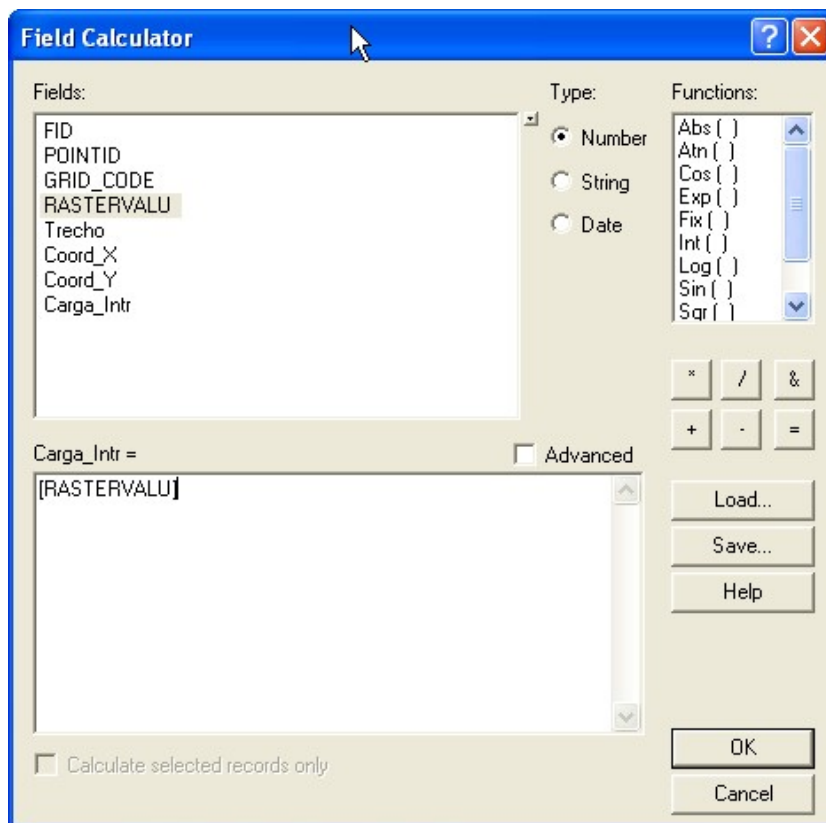


Figura 69: Inserção dos valores para cada ponto

Terminado esse processo, a tabela de atributos (*Attribute Table*) da *shapefile* deve ficar como pode ser visto na Figura 70. Nesse formato, a rotina de transporte de *shapefiles* para um arquivo de texto simples funciona adequadamente.

Attributes shap-pontos

FID	Shape *	POINTID	GRID CODE	RASTERVALU	Trecho	Coord X	Coord Y	Carga Intr
2438	Point	2439	4	495,5	0	201823	7670943	495,5
2439	Point	2440	4	495,666656	0	202073	7670943	495,66699
2440	Point	2441	4	495,833344	0	202323	7670943	495,83301
2441	Point	2442	4	495,833344	0	202573	7670943	495,83301
2442	Point	2443	4	495,833344	0	202823	7670943	495,83301
2443	Point	2444	4	496	0	203073	7670943	496
2444	Point	2445	4	496	0	203323	7670943	496
2445	Point	2446	4	496,25	0	203573	7670943	496,25
2446	Point	2447	4	496,666656	0	203823	7670943	496,66699
2447	Point	2448	4	496,666656	0	204073	7670943	496,66699
2448	Point	2449	5	497,083344	0	204323	7670943	497,08301
2449	Point	2450	5	497,083344	0	204573	7670943	497,08301
2450	Point	2451	5	497,5	0	204823	7670943	497,5
2451	Point	2452	5	497,5	0	205073	7670943	497,5
2452	Point	2453	5	497,916656	0	205323	7670943	497,91699
2453	Point	2454	5	499	0	205573	7670943	499
2454	Point	2455	5	499	0	205823	7670943	499
2455	Point	2456	5	499	0	206073	7670943	499
2456	Point	2457	5	499	0	206323	7670943	499
2457	Point	2458	5	499	0	206573	7670943	499
2458	Point	2459	5	499,25	0	206823	7670943	499,25
2459	Point	2460	5	499,25	0	207073	7670943	499,25
2460	Point	2461	5	499,25	0	207323	7670943	499,25
2461	Point	2462	5	499,25	0	207573	7670943	499,25
2462	Point	2463	5	499,5	0	207823	7670943	499,5
2463	Point	2464	5	499,75	0	208073	7670943	499,75
2464	Point	2465	5	499,75	0	208323	7670943	499,75
2465	Point	2466	5	499,75	0	208573	7670943	499,75
2466	Point	2467	5	500,25	0	208823	7670943	500,25
2467	Point	2468	5	500,25	0	209073	7670943	500,25
2468	Point	2469	5	500,25	0	209323	7670943	500,25
2469	Point	2470	5	500,5	0	209573	7670943	500,5
2470	Point	2471	5	500,5	0	209823	7670943	500,5
2471	Point	2472	5	500,5	0	210073	7670943	500,5
2472	Point	2473	5	500,5	0	210323	7670943	500,5

Record: 1 Show: All Selected Records (0 out of 58950 Selected) Options

Figura 70: Formato final da tabela de atributos

APÊNDICE B - Relatório de visita ao instituto geológico

**RELATÓRIO DE VISITA AO INSTITUTO GEOLÓGICO -
06/02/2007**

A reunião no Instituto Geológico contou com as pesquisadoras Mara Akie Iritani, Amélia João Fernandes e Márcia Maria Nogueira Pressinotti, profundas conhecedoras da área de estudo.

As pesquisadoras indicaram fatores complicadores do processo de construção de um modelo computacional, bem como temas relacionados à área em geral. Todas as sugestões foram aproveitadas e estudadas, sendo de muita importância no desenvolvimento do projeto.

Cabe salientar que diversas das dificuldades aqui apresentadas foram solucionadas com o conjunto de dados fornecidos pelo Grupo Coordenador do Projeto Piloto de Ribeirão Preto, em 16/03/2007.

As áreas abordadas foram:

1. Geologia:

- **Topo do Botucatu:** foi recomendado q o candidato preenchesse os vazios de dados nas regiões a Sul e Leste da área urbana de Ribeirão Preto. Para tal, foi recomendada uma visita ao banco de dados físico do DAEE em São Paulo e uma consulta ao banco de dados SIDAS.

- **Base do Botucatu:** esse é um parâmetro de difícil obtenção, segundo as pesquisadoras, por causa da pouca profundidade dos poços perfurados, que não chegam até o cristalino. O número de poços com essa informação foi maior do que o esperado por elas. Essa informação deve ser adaptada de um mapa regional.

- **Basalto Serra Geral:** estudos sobre a interação da camada de basalto confinante e o aquífero são poucos na área de estudo, se restringindo a uma pequena parcela à sudeste da região urbanizada de Ribeirão Preto. Foi indicado o artigo **Modelo conceitual preliminar de circulação de água subterrânea no Aquífero Serra Geral, Ribeirão Preto, S.P.** para consulta. Ficou entendido que a infiltração do basalto para o arenito é baixa e ocorre, principalmente, por fraturas sub-horizontais.
- **Pirambóia:** como as regiões de afloramento da Formação Pirambóia são representativas, as pesquisadoras sugeriram um estudo mais detalhado dessa formação.
- **Perfis:** as pesquisadoras recomendaram a elaboração de diversos perfis geológicos da área, a fim de facilitar a compreensão de sua geologia.
- **Espessura:** Com os perfis prontos, pode-se fazer uma comparação entre eles e o mapa regional de espessura do Aquífero Guarani, com o objetivo de conferência.

2. Calibração

- **Estações Fluviométricas:** foi recomendada a procura de um segundo posto fluviométrico na região do Agrishow, em Ribeirão Preto (o primeiro está no Clube de Regatas, também em Ribeirão Preto). Essa estação pertencia ao Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e talvez tenha informações dessa natureza.

3. Condições de Contorno

- **Contorno Oeste:** foi sugerida a utilização de uma condição de contorno que leve em conta a tendência de fluxo regional da área, para Oeste. Para essa porção, também se discutiu uma possível interferência do cone de depressão centralizado na zona urbana de Ribeirão Preto no contorno do modelo. Se essa interferência de fato ocorrer, o limite terá que ser afastado dessa zona central.
- **Contorno Norte:** foi discutido a forma de abordagem do Rio Pardo no modelo, e se uma condição de carga hidráulica constante nesse rio não estaria forçando demais a “subida” da água do Aquífero Guarani através do basalto.

**APÊNDICE C - Instruções de instalação e utilização de
aplicativo da ferramenta SIG**

Instruções para instalação e utilização do aplicativo de interpolação de cargas hidráulicas e exportação de dados para arquivo ASCII, em ambiente ArcGis (compatível com versões 8x e 9x)

O aplicativo elaborado em linguagem *Visual Basic* é composto de dois módulos: um de interpolação dos valores de carga e outro que permite exportar os dados de um arquivo *shapefile* (de pontos x,y,z) para um arquivo texto, segundo formatação específica.

1. Módulo de Interpolação

Na *tabela de atributos* da *layer* (formato *shapefile*) que contém os pontos a terem suas cargas interpoladas, devem ser criados quatro campos (ou colunas) com os seguintes nomes: “Coord_X”, “Coord_Y”, “Trecho” e “Carga”. O uso de caixa-alta, ordem e posição em que os campos se encontram na tabela são indiferentes. Abaixo, segue a formatação e conteúdo necessários a cada campo:

1. Os campos “Coord_X” e “Coord_Y” (formato numérico inteiro) devem conter respectivamente as coordenadas (UTM) de cada ponto. Todos os pontos devem possuir coordenadas.
2. “Trecho” (formato numérico inteiro) deve conter as identificações de início de cada trecho; essa identificação deve constar apenas no primeiro ponto de cada trecho, a identificação pode ser um número qualquer (# 0), compatível com a característica do campo. Um trecho é definido como um conjunto de pontos que possui necessariamente cargas conhecidas nos pontos extremos, entre esses, pode possuir quaisquer outros pontos com ou sem valor de carga conhecido.

3. “Carga” (formato *string*) deve conter os valores de carga, atribuídos de modo crescente ou constante (do alto para baixo da tabela), representando o sentido jusante para montante das cargas nos rios. Os pontos de carga desconhecida (a interpolar) devem permanecer em branco. O caracter utilizado para separação decimal deve ser o mesmo configurado para o computador. Caso necessário, pode-se utilizar o recurso localizer & trocar (em *opções da tabela de atributos*) para automatizar possíveis conversões de ponto para vírgula ou vice-versa. A geração dos campos deve parecer como na tabela abaixo.

No ArcMap, antes de executar o módulo, a *layer* contendo os dados a interpolar deve ocupar a primeira posição na *área de dados (data frame)*.

Depois de iniciado, o módulo faz a leitura dos dados e verifica sua consistência segundo as definições acima. Assim, cada trecho é verificado quanto a possuir:

- a) existência de coordenadas em todos os pontos;
- b) uma identificação (apenas no respectivo primeiro ponto, na coluna “Trecho”);
- c) cargas conhecidas necessariamente nos pontos extremos;
- d) cargas crescentes (ou constantes), condição exigida apenas ao longo de cada trecho e não intertrechos.

Garantida a consistência dos dados, a interpolação linear (em cada trecho) é realizada entre cada par de cargas conhecidas (subtrechos). Os valores de carga (calculados e conhecidos) são dispostos no campo “Carga_Intr”.

FID	Shape*	Coord_X	Coord_Y	Trecho	Carga	Carga_Intr
497	Point	766087	7582883	11300	497	497
498	Point	765772	7583226	0		500,528466
499	Point	765702	7583812	0	505	505
500	Point	766584	7582842	11400	497,2	497,2
501	Point	766930	7583043	0		498,509888
502	Point	767305	7583394	0		500,191300
503	Point	767617	7583762	0		501,770644
504	Point	767946	7584216	0		503,606028
505	Point	768181	7584732	0		505,462092
506	Point	768298	7585187	0	507	507
507	Point	768216	7585541	0		515,141905
508	Point	767935	7585928	0		525,857958
509	Point	767700	7586336	0		536,407785
510	Point	767535	7586779	0	547	547
511	Point	768298	7585187	11401	507	507
512	Point	768654	7585390	0		516,997546
513	Point	768959	7585836	0		530,178821
514	Point	769217	7586431	0	546	546

Tabela de atributos contendo valores interpolados de carga hidráulica, obtidos pelo aplicativo.

A instalação do módulo de interpolação no ambiente ArcGis é feita a partir do ArcMap seguindo os passos abaixo; os módulos devem ser instalados separadamente, um por vez :

- na barra de ferramenta *Tools* -> *Customize...*;
- na janela “Customize”, abrir a paleta “Toolbars” -> *New..*
- em “Toolbar Name” atribuir um nome para uma nova ferramenta e em “Save in”, selecionar o próprio *arquivo .mxd* onde estão os dados;
- na paleta *Comands* , escolher a categoria *UIControls* -> *New UIControl...*;
- na janela “New UIControl “ (opção *UIBittonControl*) -> *Create*;
- em *Comands*, alterar o nome do botão *Project*. *UIBittonContro11* (clik sobre ele e editar um nome qualquer desejado - *Project. nome do botão*;

- arrastar o botão criado, de *Comands* para a ferramenta criada, nesta, clik-D -> *Image and Text*; fechar a janela “Customize”;
- sobre a ferramenta criada, clik-D -> *View Source* ; no ambiente visual basic, inserir o código do módulo entre as duas linhas de comando: `Private Sub nome do botão_Click()` e `End Sub`. Com isso, não se deve deixar duplicado os comandos `Private...` (acima) nem o `End Sub` (abaixo).

2. Módulo de exportação de dados

A exportação de arquivos *shapfile* para arquivos de texto (ASCII), seguindo formatação específica (formato utilizado pelo simulador de processos em aquíferos – SPA), a partir do ArcMap, necessita que na *tabela de atributos* do respectivo arquivo *shapefile* (de pontos) sejam adicionados os seguintes campos: “Coord_X”, “Coord_Y”, “Trecho” e “Carga_Intr”. As características dos campos são as mesmas, como referido no módulo de interpolação, e o campo “Carga_Intr” pode ser do tipo numérico ou *string* (valendo as mesmas observações em relação à colocação dos dados em campos desses tipos). Diferentemente do módulo de interpolação, agora o campo “Trecho” não possui qualquer tipo de restrição para preenchimento, podendo inclusive não possuir qualquer registro de identificação de trechos, apesar disso o campo é necessário. Além da existência dos campos com os referidos nomes, este módulo checa apenas a condição de todos os pontos possuírem coordenadas.

O módulo permite gerar os dados também em ordem inversa a da *tabela de atributos*, bem como, com diferentes números de casas decimais para o valor de cargas. A formatação com que os dados são listados em arquivo texto pode ser facilmente alterada a partir do código-fonte do referido módulo.

A instalação deste módulo segue os mesmos passos descritos na instalação do módulo anterior.

ANEXO A: Poços do SIAGAS na área de estudo, com dados geológicos

Instalação	Uso	UTM-(N/S)	UTM-(L/O)	Geológicos						Hidrogeológicos			
				S. Geral (m)		Botucatu (m)		Pirambóia (m)		Aquífero	Topo(m)	Base(m)	Condição
				INI.	FIM	INI.	FIM	INI.	FIM				
1/1/1966	Urbano	7664850	211150							Botucatu	0	96	
1/1/1973		7664100	210450	0	114	114	145			Botucatu	114	145	Semi-Confinado
1/1/1973	Industrial	7663150	209050			0	110	110	200	Botucatu			Confinado
1/1/1979		7662050	209700										
1/1/1958	Outros	7664200	213280							Botucatu	0	90	
1/1/1961	Urbano	7664120	213300							Botucatu	0	100	
1/1/1967		7663550	213680			0	70			Botucatu	0	70	Confinado
	Urbano	7662660	214080							Botucatu			Confinado
1/1/1973		7660250	213650	0	87	87	150			Botucatu	87	150	Confinado
1/1/1971	Industrial	7660400	211000			0	74			Botucatu	0	74	Semi-Confinado
1/1/1976		7660220	211000										
	Urbano	7659650	210670							Botucatu	0	120	
		7659100	210750							Botucatu	0	175	
	Urbano	7657100	210870	0	90	90	120			Serra geral			Livre
1/1/1970	Urbano	7658430	209850	0	107,1	107,1	109.6			Botucatu	107.1	109.6	
1/1/1956	Urbano	7658650	209800	0	34	34	68			Botucatu	34	68	Semi-Confinado
1/1/1965	Urbano	7658730	209700	0	30	30	76,1			Botucatu	30	76.1	Semi-Confinado
1/1/1970		7658650	209260							Botucatu	0	162	
		7658530	208600	0	25	25	85			Botucatu	25	85	Confinado
1/1/1965		7658310	208410	0	39	39	62			Botucatu	39	62	Semi-Confinado
1/1/1962	Urbano	7658250	208420	0	40	40	96			Botucatu	40	96	Semi-Confinado
1/1/1962	Urbano	7658190	208500	0	35	35	81,5			Botucatu	35	81.5	Semi-Confinado
	Industrial	7658100	208250							Botucatu	0	110	
	Industrial	7658000	208350	0	30	30	135	135	205	Botucatu	30	205	Confinado
1/1/1948	Industrial	7657900	208230										Confinado
		7657750	208260										Confinado
1/1/1945	Urbano	7657340	207950	0	34	34	67				34	67	Confinado
1/1/1954	Urbano	7657390	207530	0	35	35	102			Botucatu	35	102	Confinado

Instalação	Uso	UTM-(N/S)	UTM-(L/O)	Geológicos						Hidrogeológicos			
				S. Geral (m)		Botucatu (m)		Pirambóia (m)		Aquífero	Topo(m)	Base(m)	Condição
				INI.	FIM	INI.	FIM	INI.	FIM				
1/1/1942	Urbano	7657370	207550	0	66	66	68			Botucatu	66	68	Semi-Confinado
1/1/1954	Urbano	7657420	207520	0	34,3	34,3	78			Botucatu	34,3	78	Confinado
1/1/1978		7657200	207040										
1/1/1975	Industrial	7657900	206000	0	95	95	111			Botucatu	95	111	Semi-Confinado
	Urbano	7658700	205220	0	40	40	95			Botucatu	40	95	Confinado
	Urbano	7658800	205600	0	40	40	121			Botucatu	40	121	
	Urbano	7658920	205400	0	58	58	88			Botucatu	58	88	
1/1/1945	Urbano	7659050	205550	0	40	40	120			Botucatu	40	120	
	Urbano	7659120	205710			0	102			Botucatu	0	102	Confinado
	Urbano	7657100	210870	0	90	90	120			Serra geral			Livre
	Industrial	7648350	200000	0	126	126	186	186	228	Botucatu	128	228	Confinado
1/1/1970	Urbano	7650000	219550			0	85			Botucatu	0	85	Confinado
1/1/1970	Urbano	7650400	213470	0	40	40	117			Botucatu	40	117	
1/1/1933	Urbano	7651850	216450			0	87			Botucatu	0	87	Livre
	Urbano	7655750	216650			0	135			Botucatu	0	135	Livre
1/1/1972		7654600	213800	0	83	83	86,4			Botucatu	83	86,4	Semi-Confinado
1/1/1978		7653250	211700										
1/1/1936	Urbano	7653360	201290							Botucatu	0	150	
	Urbano	7655600	202150							Botucatu			Semi-Confinado
	Urbano	7657200	204100	0	195	195	356	356	358	Botucatu	195	356	Confinado
		7656880	203830										
		7656950	203750	0	130	130	200			Botucatu	130	200	Confinado
1/1/1973		7653410	203050	0	63	63	161			Serra geral	0	159	Livre
1/1/1970	Urbano	7652880	203830	0	130	130	200			Botucatu	130	200	Confinado
	Urbano	7652150	205500	0	92,5	92,5	192	192	301,75	Botucatu	92,5	192	Confinado
1/1/1946	Urbano	7652250	206000	0	70					Botucatu			Semi-Confinado
	Urbano	7652350	209100	0	132	132	142			Botucatu	132	142	Semi-Confinado
1/1/1968	Urbano	7652930	210600	0	90	90	108			Botucatu	90	108	Semi-Confinado

Instalação	Uso	UTM-(N/S)	UTM-(L/O)	Geológicos						Hidrogeológicos			
				S. Geral (m)		Botucatu (m)		Pirambóia (m)		Aquífero	Topo(m)	Base(m)	Condição
				INI.	FIM	INI.	FIM	INI.	FIM				
1/1/1977		7656400	203850										
1/1/1987		7656230	203950										
		7655600	203550	0	108					Serra geral	0	108	Livre
	Urbano	7653630	204860	0	168	168	344	344	385	Botucatu	168	385	Confinado
	Urbano	7654650	205250	0	159	159	390			Botucatu	159	390	
	Urbano	7652150	205500	0	92,5	92,5	192	192	301,75	Botucatu	92,5	192	Confinado
		7655950	205850	0	74	74	282	282	286	Botucatu	70	282	Confinado
1/1/1966	Urbano	7655750	206160	0	83	83	122			Botucatu	83	122	Semi-Confinado
	Urbano	7655800	206050										Semi-Confinado
1/1/1972		7655850	206340	0	80,3	80,3	132,7			Botucatu	80,3	132,7	Semi-Confinado
1/1/1973		7653800	206500	0	94,6	94,6	106			Botucatu	94,6	106	Semi-Confinado
	Industrial	7653820	206750							Botucatu	0	105	
1/1/1966	Urbano	7655250	207080										Semi-Confinado
1/1/1963	Urbano	7655420	207100	0	101	101	107			Botucatu	101	107	Semi-Confinado
1/1/1961	Urbano	7656550	206670	0	94	94	101			Botucatu	94	101	Semi-Confinado
1/1/1961	Urbano	7656520	206720	0	94,7	94,7	100,1			Botucatu	94,7	100,1	Semi-Confinado
1/1/1960	Urbano	7654500	206620	0	98	98	100			Botucatu	98	100	
1/1/1966	Urbano	7654450	206600	0	107	107	183			Botucatu	107	183	
1/1/1970		7654400	206950	0	69,1	69,1	75,1			Botucatu	69,1	75,1	Semi-Confinado
	Urbano	7652940	206650	0	83	83	87			Botucatu	83	87	Semi-Confinado
1/1/1938	Urbano	7653100	206760	0	83,5	83,5	87			Botucatu	83,5	87	Confinado
1/1/1965	Urbano	7653060	206570	0	80	80	86			Botucatu	80	86	Semi-Confinado
1/1/1930		7653050	206550	0	76	76	82			Botucatu	76	82	Confinado
1/1/1938	Urbano	7653100	206760	0	83,5	83,5	87			Botucatu	83,5	87	Confinado
1/1/1949	Urbano	7653100	206480	0	81	81	83			Botucatu	81	83	Semi-Confinado
		7653120	206610	0	74,5	74,5	80			Botucatu	74,5	80	Confinado
1/1/1966	Urbano	7653160	206550	0	73	73	81			Botucatu	73	81	Semi-Confinado
1/1/1971	Urbano	7655380	207620	0	92,8	92,8	95,2			Botucatu	92,8	95,2	Semi-Confinado

Instalação	Uso	UTM-(N/S)	UTM-(L/O)	Geológicos						Hidrogeológicos			
				S. Geral (m)		Botucatu (m)		Pirambóia (m)		Aquífero	Topo(m)	Base(m)	Condição
				INI.	FIM	INI.	FIM	INI.	FIM				
1/1/1969		7654830	207670	0	95	95	120			Botucatu	95	120	Semi-Confinado
1/1/1968	Urbano	7655300	207820	0	90	90	110			Botucatu	90	110	Semi-Confinado
1/1/1970	Urbano	7653950	209550	0	110	110	150			Botucatu	110	150	Semi-Confinado
1/1/1959		7654850	208700	0	142,3	142,3	146,5			Botucatu	142,3	146,5	Semi-Confinado
1/1/1963	Urbano	7654900	210370	0	145	145	205			Botucatu	145	205	Semi-Confinado
1/1/1948	Urbano	7655160	209220	0	80	80	125			Botucatu	80	125	Semi-Confinado
	Industrial	7655250	209320							Botucatu	0	160	
1/1/1970		7656100	210750							Botucatu			Semi-Confinado
1/1/1961	Urbano	7656150	210650	0	82	82	96,5			Botucatu	82	96,5	Confinado
1/1/1966	Urbano	7656150	210600	0	131,7	131,7	137,7			Botucatu	131,7	137,7	Semi-Confinado
1/1/1964	Urbano	7656220	210570	0	81	81	105			Botucatu	81	105	
1/1/1966	Urbano	7656350	210600	0	72	72	78			Botucatu	72	78	Semi-Confinado
1/1/1971	Urbano	7656470	210310	0	113,6	113,6	172,6			Botucatu	113,6	172,6	
	Urbano	7655450	209050	0	85	85	96			Botucatu	85	96	Semi-Confinado
1/1/1948	Urbano	7655900	208850	0	80	80	91			Botucatu	80	91	Semi-Confinado
	Urbano	7656050	209070	0	112	112	122			Botucatu	112	122	
1/1/1970	Urbano	7656070	209000	0	92	92	150			Botucatu	90	150	Semi-Confinado
1/1/1970	Urbano	7656150	208550	0	100	100	195			Botucatu	100	195	Semi-Confinado
1/1/1960	Urbano	7656270	208370	0	93	93	96			Botucatu	93	96	Semi-Confinado
1/1/1963	Industrial	7656230	208070	0	30	30	75			Botucatu	30	75	Semi-Confinado
1/1/1953	Industrial	7656360	207960	0	43	43	81,2			Botucatu	43	81,2	Semi-Confinado
1/1/1953	Industrial	7656450	207850	0	50	50	71			Botucatu	50	71	Semi-Confinado
1/1/1958	Industrial	7656480	208000	0	32	32	100			Botucatu	32	100	
	Industrial	7656510	207960							Botucatu	0	72	
	Industrial	7656530	207920							Botucatu	0	90	
		7656570	207940	0	36,5	36,5	119			Botucatu	36,5	119	Semi-Confinado
1/1/1961	Industrial	7656540	207880							Botucatu	0	90	
		7653000	228850	0	30	30	153			Botucatu	30	153	

Instalação	Uso	UTM-(N/S)	UTM-(L/O)	Geológicos						Hidrogeológicos			
				S. Geral (m)		Botucatu (m)		Pirambóia (m)		Aquífero	Topo(m)	Base(m)	Condição
				INI.	FIM	INI.	FIM	INI.	FIM				
		7653176	229628										
1/1/1972		7655600	236950			0	100			Botucatu	0	100	Confinado
1/1/1955	Urbano	7661450	234350			0	172,8			Botucatu	0	172,8	Livre
		7636500	215100	0	282	282	451						
	Urbano	7636600	215100	0	282	282	367	367	451	Botucatu	282	367	Confinado
	Urbano	7637170	216020										
		7638400	216800										
		7638400	216750	0	394	394	496	496	613,62	Botucatu	496	613,62	Confinado
	Urbano	7649300	191910							Botucatu	171	271	
1/1/1969	Urbano	7648440	191180	0	196	196	204			Botucatu	196	204	Semi-Confinado
1/1/1981	Urbano	7648250	191350										
	Urbano	7648100	190900	0	230	230	359			Botucatu	230	359	Confinado
1/1/1981		7647900	190900										
1/1/1962		7675550	223550	0	235	235	261			Botucatu	235	261	
		7678900	224400							Botucatu	290	565	
	Urbano	7677250	225750	0	12	12	216	216	220	Botucatu	216	220	Confinado
18/01/1986	Urbano	7677250	226000	0	251	251	365	365	450	Botucatu	251	450	Confinado
1/1/1986		7677450	225970							Botucatu	320	450	
1/1/1973	Urbano	7677770	225730	0	218	218	220			Botucatu	218	220	
		7677950	225750	0	75					Serra geral	9	75	
1/1/1972		7665400	214400							Botucatu			Semi-Confinado
1/1/1964	Urbano	7664980	215650	0	178	178	180			Botucatu	178	180	Semi-Confinado
1/1/1979		7665400	216700										
	Urbano	7668443	215055										
		7673763	212136	0	110	110	280			Botucatu	110	280	Confinado
1/1/1970	Pecuária	7681150	203550	0	100	100	103			Botucatu			
	Urbano	7670750	191220	0	90	90	114			Botucatu	90	114	
		7666430	199200	0	130	130	141			Botucatu	130	141	Semi-Confinado

Instalação	Uso	UTM-(N/S)	UTM-(L/O)	Geológicos						Hidrogeológicos			
				S. Geral (m)		Botucatu (m)		Pirambóia (m)		Aquífero	Topo(m)	Base(m)	Condição
				INI.	FIM	INI.	FIM	INI.	FIM				
		7659500	188720	0	253					Serra geral	0	253	Livre
		7659500	188800										
1/1/1970	Urbano	7659570	189050	0	75	75	101			Botucatu	75	101	Semi-Confinado
		7659500	189100										
		7659400	189300										
	Urbano	7659350	189300	0	92	92	114.7			Botucatu	92	114.7	Semi-Confinado

**ANEXO B: Poços na área de estudo com informações sobre
vazão explorada**

Nº	Nº DAEE	Município	CoordUTMN	CoordUTML	Cota (m)	Aq. Explorado	Prof. (m)	Vazão (m³/h)	Horas/Dia	Dias/Mes
1	67	RIBEIRAO PRETO	7660.64	207.16	595	BP	280	0	0	0
2	68	RIBEIRAO PRETO	7658.1	206	580	BP	306.8	0	0	0
3	69	RIBEIRAO PRETO	7654.8	208.64	563.3	BP	329	0	0	0
4	70	RIBEIRAO PRETO	7661.47	208.84	535	BO	198	0	0	0
5	71	RIBEIRAO PRETO	7653.63	204.86	601	BP	385	0	0	0
6	72	RIBEIRAO PRETO	7651.69	204.86	560	BP	278	0	0	0
7	73	RIBEIRAO PRETO	7656.32	209.15	570	BP	372.5	0	0	0
8	74	RIBEIRAO PRETO	7523.9	209.84	527	BO	183	0	0	0
9	79	RIBEIRAO PRETO	7654.65	205.25	604	BP	390	0	0	0
10	80	RIBEIRAO PRETO	7661.55	206.8	525	BP	235	0	0	0
11	81	RIBEIRAO PRETO	7657.2	204.1	630	BP	358	0	0	0
12	82	RIBEIRAO PRETO	7652.72	212.49	583	BP	232	0	0	0
13	83	RIBEIRAO PRETO	7654.09	212.69	582	BO	186.8	0	0	0
14	84	RIBEIRAO PRETO	7652.15	205.5	547	BP	301.75	0	0	0
15	85	RIBEIRAO PRETO	7655.41	207.68	536	BP	268	0	0	0
16	86	RIBEIRAO PRETO	7657.08	210.62	495	BO	24	2	8	30
17	87	RIBEIRAO PRETO	7651	213.8	603	BO	90	4	10	30
18	89	RIBEIRAO PRETO	7658.33	208.22	515	BO	50	2	10	30
19	90	RIBEIRAO PRETO	7657.16	210.69	532	BP	35	2	10	30
20	91	RIBEIRAO PRETO	7656.37	210.21	620	BO	70	2	10	30
21	92	RIBEIRAO PRETO	7659.06	205.92	545	BO	50	2	10	30
22	93	RIBEIRAO PRETO	7653.15	213.43	610	BO	136	10	4	30
23	94	RIBEIRAO PRETO	7661	213.85	0	BO	80	22.1	4	30
24	95	RIBEIRAO PRETO	7651.06	208.11	592	BP	35	1	10	30
25	97	RIBEIRAO PRETO	7654.08	209.13	556	BO	128	2	10	30
26	98	RIBEIRAO PRETO	7648.43	207.44	587	BP	283	65	10	30
27	99	RIBEIRAO PRETO	7661.58	211.99	537	BO	50	2	10	30
28	102	RIBEIRAO PRETO	7654.34	208.8	580	BO	150	7.2	20	30

Nº	Nº DAEE	Município	CoordUTMN	CoordUTML	Cota (m)	Aq. Explorado	Prof. (m)	Vazão (m³/h)	Horas/Dia	Dias/Mes
29	103	RIBEIRAO PRETO	7656.47	209.87	540	BO	0	9	4	30
30	104	RIBEIRAO PRETO	7651.93	210.51	560	BP	102	10	2	30
31	106	RIBEIRAO PRETO	7658.18	201.15	671	BO	230	0	0	0
32	108	RIBEIRAO PRETO	7656.38	209.44	0	BO	147	0	0	0
33	109	RIBEIRAO PRETO	7661	208.6	519	BP	199.6	0	0	0
34	110	RIBEIRAO PRETO	7654.09	212.7	537	BP	184.3	0	0	0
35	111	RIBEIRAO PRETO	7655.95	205.85	528	BP	286	0	0	0
36	112	RIBEIRAO PRETO	7651.75	213.15	610	BO	150	18	20	30
37	113	RIBEIRAO PRETO	7653.67	202.96	617	BP	277	30	4	30
38	115	RIBEIRAO PRETO	7651.3	209.1	0	BO	220	23	20	30
39	116	RIBEIRAO PRETO	7659.52	201.14	634	BP	200	50	0	0
40	117	RIBEIRAO PRETO	7650.14	209.63	663	BO	200	0	0	30
41	47	RIBEIRAO PRETO	7654.74	210.01	564	BP	290.8	0	0	0
42	48	RIBEIRAO PRETO	7653	206.1	536	BP	260	0	0	0
43	49	RIBEIRAO PRETO	7655.15	209.24	528.5	BO	260	0	0	0
44	50	RIBEIRAO PRETO	7659.47	204.84	562	BP	271	0	0	0
45	51	RIBEIRAO PRETO	7655.9	207.35	527	BO	203	0	0	0
46	52	RIBEIRAO PRETO	7652.66	206.11	540	BO	202	0	0	0
47	53	RIBEIRAO PRETO	7658.75	209.72	514	BO	164	0	0	0
48	54	RIBEIRAO PRETO	7658.32	208.38	517	BO	213	0	0	0
49	55	RIBEIRAO PRETO	7661.98	209.82	528	BO	180	0	0	0
50	56	RIBEIRAO PRETO	7653.33	208.32	621	BP	370	0	0	0
51	57	RIBEIRAO PRETO	7662.05	209.66	518	BP	181.7	0	0	0
52	58	RIBEIRAO PRETO	7660.02	209.66	535	BP	240	0	0	0
53	59	RIBEIRAO PRETO	7654.1	213.64	563	BP	165	0	0	0
54	60	RIBEIRAO PRETO	7661.1	208.13	518	BO	180	0	0	0
55	61	RIBEIRAO PRETO	7650.5	214	575.75	BP	200	0	0	0
56	62	RIBEIRAO PRETO	7663.15	208.72	505	BP	200	0	0	0

Nº	Nº DAEE	Município	CoordUTMN	CoordUTML	Cota (m)	Aq. Explorado	Prof. (m)	Vazão (m³/h)	Horas/Dia	Dias/Mes
57	63	RIBEIRAO PRETO	7654.08	210.9	588.5	BP	292	0	0	0
58	64	RIBEIRAO PRETO	7651.34	210.9	595	BO	189.8	0	0	0
59	65	RIBEIRAO PRETO	7659.45	204.85	592	BO	207	0	0	0
60	66	RIBEIRAO PRETO	7656.85	205.27	534	BP	255	0	0	0
61	75	RIBEIRAO PRETO	7656.22	205	552	BP	303.5	0	0	0
62	76	RIBEIRAO PRETO	7655.06	205	573	BO	2000	0	0	0
63	77	RIBEIRAO PRETO	7658.62	212.57	548	BP	210	0	0	0
64	78	RIBEIRAO PRETO	7659	206.6	563	BP	276.5	0	0	0
65	118	RIBEIRAO PRETO	7650.14	209.7	663	BO	200	8	0	30
66	119	RIBEIRAO PRETO	7650.1	210.36	645	BO	175	25	4	30
67	120	RIBEIRAO PRETO	7659.78	202.01	590	BO	105	3.6	24	30
68	121	RIBEIRAO PRETO	7663.15	206.1	560	BO	212	80	8	30
69	122	RIBEIRAO PRETO	7657.59	214.41	510	BO	100	6.43	8	25
70	123	RIBEIRAO PRETO	7664.5	211.05	530	BP	150	30	10	30
71	125	RIBEIRAO PRETO	7649.55	209.05	618	BO	288	25	20	30
72	128	RIBEIRAO PRETO	7652.72	211.01	610	BP	135	2	10	30
73	130	RIBEIRAO PRETO	7644.4	207.6	0	BP	251.5	150	13	22
74	131	RIBEIRAO PRETO	7656.64	207.96	0	BP	232	210	13	22
75	132	RIBEIRAO PRETO	7656.52	208.03	0	BP	238	180	13	22
76	133	RIBEIRAO PRETO	7650.38	209.75	650	BO	180	0	0	0
77	135	RIBEIRAO PRETO	7653.2	212.65	605	BO	100	3.5	2	30
78	137	SERTAOZINHO	7661.73	192.5	600.78	BP	311.45	180	16	30
79	138	SERTAOZINHO	7662.21	192.79	599.37	BP	324	90	10	30
80	139	RIBEIRAO PRETO	7660.41	211.45	540	BO	110	5	1	30
81	142	RIBEIRAO PRETO	7659	206.38	530	BO	280	0	0	0
82	143	JARDINOPOLIS	7667.7	214.1	0	BO	6	1.5	0	0
83	144	RIBEIRAO PRETO	7655.38	206.79	515	BP	171	5	3	30
84	148	SERTAOZINHO	7661.03	190.65	570	BP	323	180	20	30

Nº	Nº DAEE	Município	CoordUTMN	CoordUTML	Cota (m)	Aq. Explorado	Prof. (m)	Vazão (m³/h)	Horas/Dia	Dias/Mes
85	149	SERTAOZINHO	7660.37	2	562	BP	353	200	20	30
86	150	SERTAOZINHO	7657.67	189.66	588	BP	406	200	20	30
87	151	SERTAOZINHO	7662.38	189.18	550	BP	320	230	20	30
88	152	SERTAOZINHO	7659.71	189.89	538	BP	200	60	18	30
89	153	SERTAOZINHO	7660.71	189.1	550	BP	254	200	20	30
90	154	SERTAOZINHO	7660.5	191.27	555	BP	237	180	18	30
91	155	RIBEIRAO PRETO	7763.15	206.4	550	BP	209.8	50	10	30
92	156	RIBEIRAO PRETO	7763	206.75	555	BP	254.4	150	20	30
93	158	RIBEIRAO PRETO	7651.45	208.85	610	BO	204	4.5	1	30
94	159	RIBEIRAO PRETO	7651.45	209.52	590	BO	204	4.5	2	30
95	161	RIBEIRAO PRETO	7656.89	214.06	545	BP	200	70	15	30
96	162	RIBEIRAO PRETO	7651.67	198.95	620	BP	130	40	15	30
97	5	RIBEIRAO PRETO	7658.94	206.23	550	BO	260	35	20	30
98	6	RIBEIRAO PRETO	7659.28	206.37	530	BO	241	0	0	0
99	7	RIBEIRAO PRETO	7659.25	206.35	530	BO	243	0	0	0
100	10	SERTAOZINHO	7658.79	190.85	560	BP	408	360	20	30
101	11	SERTAOZINHO	7661.37	188.9	560	BP	306.7	140	20	30
102	12	SERTAOZINHO	7666.4	198.6	0	BP	323.45	180	20	30
103	13	SERTAOZINHO	7658.56	188.72	540	BP	337.5	180	20	30
104	16	RIBEIRAO PRETO	7658.98	206.23	545	BP	259	0	12	22
105	19	RIBEIRAO PRETO	7657.25	203.7	539	BO	249	45	15	30
106	21	RIBEIRAO PRETO	7663.65	210.65	545	BO	119	0	20	30
107	22	RIBEIRAO PRETO	7657.28	209.56	534	BP	121	8	3	30
108	23	RIBEIRAO PRETO	7659.5	205	540	BO	86	0	0	0
109	24	RIBEIRAO PRETO	7656.25	206.34	522	BO	78	0	0	0
110	25	RIBEIRAO PRETO	7658.9	205.57	548	BO	88.3	0	0	0
111	26	RIBEIRAO PRETO	7653.95	209.5	534	BO	150	0	0	0
112	27	RIBEIRAO PRETO	7656.15	208.55	510	BO	196	46.7	20	30

Nº	Nº DAEE	Município	CoordUTMN	CoordUTML	Cota (m)	Aq. Explorado	Prof. (m)	Vazão (m³/h)	Horas/Dia	Dias/Mes
113	28	RIBEIRAO PRETO	7656.47	210.31	547	BO	172	0	0	0
114	29	RIBEIRAO PRETO	7658.7	205.22	548	BP	280	0	0	0
115	30	RIBEIRAO PRETO	7656.1	210.75	533	BO	236	0	0	0
116	31	RIBEIRAO PRETO	7655.82	206.2	537	BP	200	0	0	0
117	32	RIBEIRAO PRETO	7654.6	213.85	588.8	BO	0	0	0	0
118	33	RIBEIRAO PRETO	7658.9	209.55	524	BP	208	0	0	0
119	34	RIBEIRAO PRETO	7657.47	208.01	520	BP	208	0	0	0
120	35	RIBEIRAO PRETO	7652.93	210.56	573	BO	132.7	0	0	0
121	36	RIBEIRAO PRETO	7653.15	209.86	536	BP	288	0	0	0
122	37	RIBEIRAO PRETO	7655.45	209.27	528	BO	250	0	0	0
123	38	RIBEIRAO PRETO	7655.56	202.2	550	BO	283.06	0	0	0
124	39	RIBEIRAO PRETO	7657.16	207.07	535	BP	225	0	0	0
125	41	RIBEIRAO PRETO	7655.45	211.78	557	BO	144	0	0	0
126	42	RIBEIRAO PRETO	7656.98	207.78	520.6	BO	222	0	0	0
127	43	RIBEIRAO PRETO	7655.12	212.85	564	BP	220	0	0	0
128	44	RIBEIRAO PRETO	7658.27	210.09	518	BP	290.8	0	0	0
129	45	RIBEIRAO PRETO	7656.48	210.46	525	BO	245	0	0	0
130	46	RIBEIRAO PRETO	7653.07	206.54	531	BP	282	0	0	0
131	163	RIBEIRAO PRETO	7651.37	198.86	630	BP	170	80	20	30
132	164	RIBEIRAO PRETO	7650.74	214.22	608	BO	107	6	0	0
133	165	RIBEIRAO PRETO	7651.68	214.48	610	BO	110	15	3	30
134	167	RIBEIRAO PRETO	7653.05	206.75	520	BO	180	10	18	30
135	168	RIBEIRAO PRETO	7654.68	208.05	598	BO	215	16	7	30
136	169	RIBEIRAO PRETO	7653.51	212.77	604	BO	120	5	8	30
137	172	RIBEIRAO PRETO	7659.44	211.32	680	BP	250	20	4	30
138	173	RIBEIRAO PRETO	7651.95	203.82	590	BO	188	20	10	30
139	174	RIBEIRAO PRETO	7657.27	207.68	514	BO	174	15.2	6	30
140	176	RIBEIRAO PRETO	7652.1	207.75	575	BO	168.16	30	20	30

Nº	Nº DAEE	Município	CoordUTMN	CoordUTML	Cota (m)	Aq. Explorado	Prof. (m)	Vazão (m³/h)	Horas/Dia	Dias/Mes
141	177	RIBEIRAO PRETO	7652.54	208.35	600	BO	200	5	10	30
142	180	RIBEIRAO PRETO	7655.6	207.92	500	BO	192	6	8	22
143	181	RIBEIRAO PRETO	7662.35	206.45	552	BO	0	5	12	30
144	183	RIBEIRAO PRETO	7653.53	213.38	580	BO	80	2	12	30
145	184	RIBEIRAO PRETO	7647.66	206.49	595	BO	258	10	7	30
146	186	RIBEIRAO PRETO	7653.08	213.35	600	BP	135	30	2	30
147	188	RIBEIRAO PRETO	7658.59	212.83	580	BO	104	2.79	5	30
148	194	RIBEIRAO PRETO	7654.97	207.08	540	BP	114	4	2	30
149	196	RIBEIRAO PRETO	7657.35	203.83	630	PI	352	115	7	30
150	197	RIBEIRAO PRETO	7653.72	207.15	550	BP	182	8	7	26
151	201	RIBEIRAO PRETO	7659.1	212.83	549	BO	105	15.2	6	26
152	202	RIBEIRAO PRETO	7654.2	209.7	533	BO	130	9.9	7	26
153	3	SERRANA	7653.52	229.19	570	BP	130	40	10	30
154	4	RIBEIRAO PRETO	7657.03	217.37	583	BP	75	6	6	30
155	5	RIBEIRAO PRETO	7656.48	217.64	582	BP	84	5	6	30
156	6	RIBEIRAO PRETO	7653.44	223.05	563	BO	141	14	12	30
157	7	RIBEIRAO PRETO	7655.5	217.74	495	BP	130	20	10	30
158	8	RIBEIRAO PRETO	7656.28	217.21	582	BP	120	25	15	30
159	9	RIBEIRAO PRETO	7653.5	218.03	590	BO	134.4	0	0	0
160	10	RIBEIRAO PRETO	7654	215.9	560	BP	201	0	0	0
161	12	SERRANA	7656.27	226.74	0	BP	204	100	24	30
162	13	SERRANA	7656.28	226.77	0	BP	240	200	24	30
163	15	RIBEIRAO PRETO	7655.02	217.25	590	BP	82	5	0	30
164	16	RIBEIRAO PRETO	7655.21	217.92	607	BO	80	11.2	1	15
165	18	RIBEIRAO PRETO	7655.18	213.42	580	BO	69	3	1	30
166	21	RIBEIRAO PRETO	7656.85	219.75	570	BO	108	20	2	30
167	22	RIBEIRAO PRETO	7654.54	217.5	589	BO	90	2	2	30
168	23	RIBEIRAO PRETO	7654.51	217.85	584	BO	100	2	2	30

Nº	Nº DAEE	Município	CoordUTMN	CoordUTML	Cota (m)	Aq. Explorado	Prof. (m)	Vazão (m³/h)	Horas/Dia	Dias/Mes
169	25	RIBEIRAO PRETO	7654	217.75	585	BO	84	10	1	30
170	31	RIBEIRAO PRETO	7653.1	217.7	580	BO	60	1	1	10
171	41	SERRA AZUL	7650.28	225.73	0	BO	35	0.5	20	30
172	44	CRAVINHOS	7649.59	225.5	0	BO	24	0.5	23	30
173	45	RIBEIRAO PRETO	7654.6	218.6	0	BO	70	1	1	10
174	51	RIBEIRAO PRETO	7654.85	218.5	575	BO	80	3	1	30
175	54	RIBEIRAO PRETO	7654.08	217.02	575	BO	66	3	1	30
176	55	RIBEIRAO PRETO	7654.85	218.3	580	BO	80	2	1	30
177	57	RIBEIRAO PRETO	7654.18	217.21	585	BO	90	1	2	30
178	1	RIBEIRAO PRETO	7647	210.03	607	BO	200	12	20	30
179	2	RIBEIRAO PRETO	7646.03	209.21	636	BO	200	21	20	30
180	3	RIBEIRAO PRETO	7646	207.1	575	BO	77	2	10	30
181	4	RIBEIRAO PRETO	7645.33	206.64	605	BP	150	6	10	30
182	5	RIBEIRAO PRETO	7645.8	207.3	576	BO	89.25	0	0	0
183	7	RIBEIRAO PRETO	7645.59	207.57	570	BP	40	2	10	30
184	9	RIBEIRAO PRETO	7640.13	200.71	582	BO	130	30	8	15
185	10	RIBEIRAO PRETO	7643.26	207.76	620	BO	201	8	12	30
186	12	LUIS ANTONIO	7621.2	214.15	585	BO	180.4	0	0	0
187	13	RIBEIRAO PRETO	7644.1	205.6	640	BO	0	0	0	0
188	3	SERRA AZUL	7641.45	234.23	600	PI	196.2	0	0	0
189	4	SERRA AZUL	7640.55	234.8	620	BP	239	0	0	0
190	5	SERRA AZUL	7641.9	234.6	620	PI	210.45	0	0	0
191	6	SERRA AZUL	7641.85	234.6	620	PI	92	0	0	0
192	7	SERRA AZUL	7641	235.95	670	BP	229	0	0	0
193	8	SERRA AZUL	2750	510	538	BP	64	8	24	30
194	10	SAO SIMAO	7622.68	236.65	710	BO	186	12	1	10
195	21	CRAVINHOS	7642.85	224	0	BO	24	0.5	0	0
196	24	SERRA AZUL	7637.57	229.24	557.7	BO	72	10	3	25

**ANEXO C: Poços complementares para preenchimento de
informações em áreas com carência de dados**

Código	Nome poço	Município	Coord.X _{UTM} (m)	Coord. Y _{UTM} (m)	Início de exploração	Estado	Aquífero	Vazão (m ³ /h)	Prof. Niv. Estático (m)	Desde (m)	Até (m)	Formação
2637/1	100-1	Rib. Preto	208885.7	7662623.35	12/1/2006	Ativo	Guarani	246.3	35.37	0	8	solo
										8	200	botucatu-pirambóia
										200	203	Serra Geral
2637/1	100-2	Rib. Preto	208880.62	7662620.74	29/12/1991	Abandonado	Guarani	176.66	24	8	199.6	Botucatu/Piramboia
	100-003	Rib. Preto	208375.15	7658065.99	25/8/1987	Ativo	Guarani	179.45	47.5	0	2	Aterro
										2	29	Serra Geral
										29	100	Botucatu
										100	200	Piramboia
										200	202	Diábasio
2637/1	100-04	Rib. Preto	208236	7657916		Abandonado	Guarani					
2637/1	100-05	RIB. PRETO	206486.437	7653132.437	15/11/2002	Ativo	GUARANI	227.8	78.05	0	78.8	SERRA GERAL
										78.8	301	BOTUCATU/PIRAMBÓIA
2637/1	100-06	Ribeirão Preto	206533	7653110		Abandonado	Guarani					
2637/1	100-8	Rib. Preto	206474.433	7652886.164	19/3/2002	Ativo	Guarani	95.17	73.2			
2637/1	100-10	RIB. PRETO	205810.59	7652487.55	2/5/1991	Ativo	GUARANI	236.3	68.13	0	92.5	SERRA GERAL
										92.5	192	botucatu
										192	301.75	piramboia
2637/1	100-011	Rib. Preto	206862.07	7653037.21		Ativo	Guarani	146.31	82.45	0	13	Cenozoico
										13	160	Serra Geral
										160	260	Botucatu/Pirambóia
2637/1	100-12	Rib. Preto	206662.51	7654422.44	20/7/1994	Ativo	Guarani	267.7	88.1	0	105	Serra Geral
										105	198	Botucatu
										198	311	Piramboia
										311	320	Estrada Nova
2637/1	100-14	Rib. Preto	206786.04	7653893.84	26/8/1991	Ativo	Guarani	39	85	0	15	Cenozoico
										15	58	Serra Geral
										58	183	Botucatu Piramboia

Código	Nome poço	Município	Coord.X _{UTM} (m)	Coord. Y _{UTM} (m)	Início de exploração	Estado	Aquífero	Vazão (m ³ /h)	Prof. Niv. Estático (m)	Desde (m)	Até (m)	Formação
2637/1	100-16	Rib. Preto	205861.83	7655466.48	5/7/1995	Ativo	Guarani	204.09	90.22	0	101	Serra Geral
										101	193	Botucatu
										193	293	Piramboia
										293	295	Estrada Nova
2637/1	100-17	Rib. Preto	205811.03	7655772.71	6/4/1992	Ativo	Guarani	250	77.2	0	74	Serra Geral
										74	282	Botucatu/Piramboia
										282	286	Serra Geral
2637/1	100-19	Rib. Preto	205043.79	7656167.36	28/8/1988	Ativo	Guarani	120	91	0	108	Serra Geral
										108	302	Botucatu/ Piramboia
										302	303.5	Diabásico
2637/1	100-021	Rib. Preto	204113.1	7656052.2	6/3/1987	Ativo	Guarani	190.85	65	0	92.2	Serra Geral
										92.2	286	Botucatu/Piramboia
										286	289.6	Diabásio
2637/1	100-022	Rib. Preto	203786.74	7657313.44		Ativo	Guarani	115		0	131	Serra Geral
										131	355	Botucatu/Piramboia
2637/1	100-023	RIB. PRETO	204453.86	7657345.57	11/6/1999	Ativo	GUARANI	234.49	172.7	0	173	SERRA GERAL
										173	355	BOTUCATU/PIRAMBÓIA
										355	360	SERRA GERAL
2637/1	100-25	Ribeirão Preto	205269.62	7656677.49	22/5/1979	Ativo	Guarani	85	109	0	106	Serra Geral
										106	254	Botucatu-Pirambóia
2637/1	100-26	RIB. PRETO	204897.29	7654778.75	28/9/2000	Ativo	GUARANI	180	108	0.00	5.30	SOLO
										5.30	112.00	SERRA GERAL
										112.00	313.00	BOTUCATU/PIRAMBOIA
										313.00	315.00	BDIABASIO
2637/1	100-27	RIB. PRETO	205292.23	7654405.52	21/4/1990	Ativo	GUARANI	169.1	137.29	0.00	158.00	SERRA GERAL
										158.00	390.00	BOTUCATU/PIRAMBOIA
2637/1	100-28	RIB.	204858.47	7653652.4	17/2/1987	Ativo	GUARANI	149.2	116.06	0.00	168.00	Serra Geral

Código	Nome poço	Município	Coord.X _{UTM} (m)	Coord. Y _{UTM} (m)	Início de exploração	Estado	Aquífero	Vazão (m ³ /h)	Prof. Niv. Estático (m)	Desde (m)	Até (m)	Formação
		PRETO										
										168.00	385.00	Botucatu-Piramboia
2637/1	100-29	RIB. PRETO	201001.36	7664632.48		Ativo	GUARANI					
2637/1	100-30	Ribeirão Preto	203478	7657525	1984	Ativo	Guarani	60	123.6	0	117	Serra Geral
										117	128	Botucatu/Piramboia(intertrap)
										128	158	Serra Geral
										158	249	Botucatu/Piramboia
2637/1	100-31	Rib. Preto	203792.24	7656369.53	30/4/1977	Ativo	Guarani	49.9	60.4	0	75	Serra Geral
										75	100	Botucatu
										100	122	Serra Geral
										122	222	Botucatu/Piramboia
2637/1	100-32	Rib. Preto	202970.29	7655376.997	14/10/1994	Ativo	Guarani	60.92	76.92	0	88	Serra Geral
										88	94	Botucatu/Piramboia
										94	116	Serra Geral
										116	223	Botucatu/Piramboia
2637/1	100-33	Rib. Preto	205904.58	7656921.43	24/1/1985	Ativo	Guarani	61.71	85	0	20	Cenozoico
										20	80	Serra Geral
										80	95	Botucatu
										95	112	Serra Geral
										112	255	Botucatu/Piramboia
2637/1	100-34	Rib. Preto	206592.21	7656631.92	25/11/1986	Ativo	Guarani	264.5	82.15	0	98	Serra Geral
										98	170	Botucatu
										170	275	Botucatu Piramboia
										275	280	Diabasio
2637/1	100-35	Rib. Preto	203622.33	7653418.31	22/10/1998	Ativo	Agurani	238.96	107.65	0	14.87	Cenozoico
										14.87	113	Serra Geral
										113	302.8	Botucatu/Piramboia
2637/1	100-36	Rib. Preto	206191.75	7651308.01	19/7/1994	Ativo	Guarani	197.43	103.3	0	10.35	Cenozoico

Código	Nome poço	Município	Coord.X _{UTM} (m)	Coord. Y _{UTM} (m)	Início de exploração	Estado	Aquífero	Vazão (m ³ /h)	Prof. Niv. Estático (m)	Desde (m)	Até (m)	Formação
										10.35	103	Serra Geral
										103	315	Botucatu/Piramboia
										315	330	Diabasio
2637/1	100-37	Rib. Preto	209778.9	7653128.54	1975	Ativo	Guarani	165	8.08	0	8.5	Cenozoico
										8.5	97.15	Serra Geral
										97.15	257	Botucatu/Piramboia
2637/1	100-38	RIB. PRETO	209478.79	7654031.19	1979	Ativo	GUARANI	160	12	0.00	110.00	Serra Geral
										110.00	150.00	Botucatu/Piramboia
2637/1	100-40	RIB. PRETO	211996.9	7651912.9	10/1/2006	Ativo	GUARANI	241.2	53.66	0.00	8.00	SOLO
										8.00	20.00	BOUCATU/PIRMBIOIA
										20.00	30.00	BOUCATU/PIRMBIOIA
										30.00	50.00	BOUCATU/PIRMBIOIA
										50.00	100.00	BOUCATU/PIRMBIOIA
										100.00	267.00	BOUCATU/PIRMBIOIA
2637/1	100-41	Rib. Preto	210765.39	7651264.62	18/10/1978	Ativo	SAG	36	62.8	0	25	Solo
										25	51.7	Serra Geral
										51.7	189.8	Fm Botucatu
										189.8		Diabásio
2637/1	100-42	Ribeirão Preto	210072.15	7652191.1	2/7/1994	Ativo	SAG	317.9	47.48	0	16	Solo
										16	37	Fm Serra Geral
										37	238	Fm Botucatu
										238	290	Fm Pirambóia
2637/1	100-43	Ribeirão Preto	216993.53	7654823.66	21/9/1978	Ativo	Guarani	20	31.2	0	136	Fm Botucatu
2637/1	100-44	Rib. Preto	213603.46	7654101.89	8/4/2002	Ativo	Guarani	166.6	59.56	0	30	Serra Geral
										30	230	Botucatu/ Piramboia
2637/1	100-45	Ribeirão Preto	212627.52	7654099.78	15/10/1991	Ativo	Guarani	219	38	15.8	186.8	Botucatu/Pirambóia

Código	Nome poço	Município	Coord.X _{UTM} (m)	Coord. Y _{UTM} (m)	Início de exploração	Estado	Aquífero	Vazão (m ³ /h)	Prof. Niv. Estático (m)	Desde (m)	Até (m)	Formação
2637/1	100-46	Rib. Preto	212828.96	7655074.33		Ativo	Guarani	198.24	59.4	0	17	Cenozoico
										17	236	Botucatu/Piramboia
2637/1	100-47	Rib. Preto	213362.23	7650593.02	23/11/1998	Ativo	Guarani			0	90	Botucatu
										90	241.6	Botucatu/ Piramboia
2637/1	100-48	Ribeirão Preto	212699.05	7651610.81		Ativo	Guarani	70	50	0	243	Poroso - Libre
2637/1	100-49	Rib. Preto	211810.58	7649651.39	8/8/2001	Ativo	Guarani	154.7	80.5	0	267	Botucatu/ Piramboia
2637/1	100-50	Ribeirão Preto	213691.36	7651944.58		Ativo	Guarani					
2637/2	101-02	Serrana	229184.97	7653463.4	19/5/1998	Ativo	Guarani	41.68	40.35	0	20	Serra Geral
										20	130	Botucatu
2637/2	101-09	Serrana	230325.2	7652368.8	16/12/1965	Ativo	Guarani	36	10	0	17	Aluvião
										17	170	Botucatu
2637/2	101-25	Serrana	226744	7656268	2/6/1981	Ativo	Guarani			0	12	Serra Geral
										12	204	Botucatu
2637/2	101-26	Serrana	226739	7656235	21/1/1989	Ativo	Guarani	203	30.36	0	10	Cenozoico
										10	60	Serra Geral
										60	240	Botucatu
2637/2	101-27	Serrana	224885	7659175	1/5/1980	Ativo	Guarani	100	0	0	4	Cenozoico
										4	108	Botucatu/Piramboia
2637/2	101-39	Serrana	230650	7650663	1/1/1963	Ativo	Guarani			0	3	Cenozoico
										3	110	Serra Geral
										145	145	Botucatu
2637/4	121-01	Cravinhos	215396.759	7636673.08	23/8/1986	Ativo	Guarani	131.2	143.31	0	282	Serra Geral
										282	451	Botucatu/ Piramboia
2637/4	121-02	Cravinhos	215452.847	7637964.506	10/4/1980	Ativo	Guarani	30.4	214	0	5	Cenozoico
										5	353	Serra Geral
										353	510	Botucatu
2637/4	121-03	Cravinhos	216666.589	7639073.614	14/7/1992	Ativo	Guarani	85.6	282.5	0	16	Cenozoico
										16	294	Serra Geral

Código	Nome poço	Município	Coord.X _{UTM} (m)	Coord. Y _{UTM} (m)	Início de exploração	Estado	Aquífero	Vazão (m ³ /h)	Prof. Niv. Estático (m)	Desde (m)	Até (m)	Formação
										294	613.62	Botucatu/ Piramboia
2637/4	121-14	São Simão	234744.349	7622502.918	22/8/1986	Ativo	Guarani	55.5	26	0	140	Botucatu
2637/4	121-18	São Simão	235444.64	7622272	2/6/1980	Ativo	Guarani	23.4	0	0	151	Botucatu
2637/4	121-19	São Simão	235409.865	7622358.62		Ativo	Guarani	15.8	0			
2637/4	121-20	São Simão	232171.19	7625510	1951	Ativo	Guarani	39.65	9			
2637/4	121-24	Serra Azul	229272	7637588	1976	Ativo	Guarani	50				
2637/4	121-25	Serra Azul	228085	7636943	1/12/1988	Ativo	Guarani	15				
2637/4	121-27	São Simão	230929	7631284		Ativo	Guarani					
2637/4	121-28	São Simão	231686	7625421	13/7/1967	Ativo	Guarani	96	12.7	0	99.4	Botucatu
2637/4	121-35	São Simão	235977	7631376	1/3/1983	Ativo	Guarani			0	26	Cenozoico
										26	150	Botucatu

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)