

# RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

## LEVANTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS



### REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

**Relatório Diagnóstico**

## **SISTEMA AQUÍFERO GUARANI NOS ESTADOS DE SÃO PAULO, MATO GROSSO DO SUL E PARANÁ**

**BACIA SEDIMENTAR DO PARANÁ**

**Volume 15**

**RIMAS**  
Rede integrada de Monitoramento  
das Águas Subterrâneas



**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA  
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL  
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

**PROJETO  
REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

**RELATÓRIO DIAGNÓSTICO  
SISTEMA AQUÍFERO GUARANI NOS  
ESTADOS DE SÃO PAULO,  
MATO GROSSO DO SUL E PARANÁ  
BACIA SEDIMENTAR DO PARANÁ**

**VOLUME 15**

**RECURSOS HÍDRICOS**

**ÁREA: RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**

**SUBÁREA: LEVANTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**



**2012**

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL  
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA  
DIVISÃO DE HIDROGEOLOGIA E EXPLORAÇÃO

PAC – Programa de Aceleração do Crescimento

**PROJETO**  
**REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM/Serviço Geológico do Brasil.  
Superintendência Regional de Belo Horizonte.

CPRM – Superintendência Regional de Belo Horizonte  
Av. Brasil, 1731 – Bairro Funcionários  
Belo Horizonte – MG – 30140-002  
Fax: (31) 3878-0388  
Tel: (31) 3878-0307  
<http://www.cprm.gov.br/bibliotecavirtual/estantevirtual>  
seus@cprm.gov.br

Ficha Catalográfica

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM

Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: relatório diagnóstico Aquífero Guarani nos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná. Bacia sedimentar do Paraná /Armando Teruo Takahashi, Maria Antonieta Alcântara Mourão, Coord. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2012.

39 p, il. v.15. Inclui mapas de aquíferos (Serie: Área de Recursos Hídricos Subterrâneos, Subárea, Levantamento de Recursos Hídricos Subterrâneos). Versão digital e impresso em papel.

Conteúdo: Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas – Inclui listagem da coleção com 16 volumes de Relatórios dos Aquíferos Sedimentares no Brasil, descritos na página 7.

1-Hidrogeologia. 2- Aquífero Guarani. 3- Bacia do Paraná. I – Título. II – Takahashi, A.T. III – Mourão, M.A.A., Coord. IV – Série.

CDU 556.3(81)

Direitos desta edição: CPRM – Serviço Geológico do Brasil  
É permitida a reprodução desta publicação, desde que mencionada a fonte.

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA  
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL  
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

**PROJETO  
REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

**RELATÓRIO DIAGNÓSTICO  
SISTEMA AQUÍFERO GUARANI NOS  
ESTADOS DE SÃO PAULO,  
MATO GROSSO DO SUL E PARANÁ  
BACIA SEDIMENTAR DO PARANÁ**

**VOLUME 15**

**RECURSOS HÍDRICOS**

**ÁREA: RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**

**SUBÁREA: LEVANTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**

**ARMANDO TERUO TAKAHASHI**



**2012**

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL  
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA  
DIVISÃO DE HIDROGEOLOGIA E EXPLORAÇÃO

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
Edison Lobão  
**MINISTRO**

**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
Carlos Nogueira  
**SECRETÁRIO**

**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM**

Manoel Barretto da Rocha Neto  
**DIRETOR-PRESIDENTE**

Roberto Ventura Santos  
**DIRETOR DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS**

Thales de Queiroz Sampaio  
**DIRETOR DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Antônio Carlos Bacelar Nunes  
**DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS E DESENVOLVIMENTO**

Eduardo Santa Helena da Silva  
**DIRETOR DE ADMINISTRAÇÃO E FINANÇAS**

Frederico Cláudio Peixinho  
**CHEFE DO DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA**

José Carlos da Silva  
**CHEFE DA DIVISÃO DE HIDROGEOLOGIA E EXPLORAÇÃO**

Ernesto Von Sperling  
**CHEFE DO DEPARTAMENTO DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS E DIVULGAÇÃO**

José Marcio Henrique Soares  
**CHEFE DA DIVISÃO DE MARKETING E DIVULGAÇÃO**

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL  
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA  
DIVISÃO DE HIDROGEOLOGIA E EXPLORAÇÃO

**ÁREA: RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**  
**SUBÁREA: LEVANTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**

**PROJETO**  
**REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

**CRÉDITOS DE AUTORIA**

Maria Antonieta Alcântara Mourão  
**COORDENAÇÃO EXECUTIVA**

Daniele Tokunaga Genaro  
Marcio Junger Ribeiro  
Elvis Martins Oliveira

Thiago de Castro Tayer (estagiário)  
**APOIO TÉCNICO E EXECUTIVO**

Manfredo Ximenes Ponte  
**SUREG-BE**

João Batista Marcelo de Lima  
**GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Ariolino Neres Souza  
**SUPERVISOR TÉCNICO**

Manoel Imbiriba Junior

Homero Reis de Melo Junior (de 2009 a 2011)  
**COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO**

Rosilene do Socorro Sarmento de Souza  
Celina Monteiro (Estagiária)  
**APOIO TÉCNICO**

Marco Antônio de Oliveira  
**SUREG-MA**

Daniel de Oliveira  
**GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Carlos José Bezerra de Aguiar  
**COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO**

Silvia Cristina Benites Goncales  
Hugo Galúcio Pereira  
**EQUIPE EXECUTORA**

Francisco Sandoval Brito Pereira  
Cláudia Vieira Teixeira  
**APOIO TÉCNICO**

Maria Abadia Camargo  
**SUREG-GO**

Cíntia de Lima Vilas Boas

**GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Tomaz Edson de Vasconcelos

**COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO - SUPERVISOR**  
**TÉCNICO**

Dario Dias Peixoto (de 2009 a 2012)  
**APOIO EXECUTIVO**

Claudionor Francisco de Souza  
**APOIO TÉCNICO**

Marco Antônio Fonseca  
**SUREG-BH**

Márcio de Oliveira Cândido

**GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Haroldo Santos Viana  
**SUPERVISOR TÉCNICO**

Raphael Elias Pereira

**COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO**

Claudia Silvia Cerveira de Almeida  
José do Espírito Santo Lima  
Reynaldo Murilo Drumond Alves de Brito  
**APOIO EXECUTIVO**

José Carlos Garcia Ferreira  
**SUREG-SP**

Ângela Maria de Godoy Theodorovicz  
**GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Andrea Segura Franzini  
**SUPERVISORA TÉCNICA**

Guilherme Nogueira Santos  
**COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO**  
David Edson Lourenço  
**APOIO TÉCNICO**

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL  
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA  
DIVISÃO DE HIDROGEOLOGIA E EXPLORAÇÃO

Teobaldo Rodrigues de Oliveira Junior

**SUREG-SA**

Gustavo Carneiro da Silva

**GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Amilton de Castro Cardoso

**SUPERVISOR TÉCNICO**

Paulo Cesar Carvalho Machado Villar

**COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO**

Cristovaldo Bispo dos Santos

Cristiane Neres Silva (SIAGAS)

**EQUIPE EXECUTORA**

Juliana Mascarenhas Costa

Rafael Daltro (Estagiário)

Bruno Shindler Sampaio Rocha (Estagiário)

**APOIO TÉCNICO**

José Leonardo Silva Andriotti

**SUREG-PA**

Marcos Alexandre de Freitas

**GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Marcelo Goffermann

**COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO - SUPERVISOR**

**TÉCNICO**

Guilherme Troian

Mario Wrege (2009-2010)

**EQUIPE EXECUTORA**

Pedro Freitas

Bruno Francisco B. Schiehl

Luiz Alberto Costa Silva

**APOIO TÉCNICO**

José Wilson de C. Temóteo

**SUREG-RE**

Adriano da Silva Santos

**GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Melissa Franzen

**SUPERVISORA TÉCNICO**

Joao Alberto Oliveira Diniz

**COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO**

Carlos Eugenio da Silveira Arraes

Guilherme Troian (de 2009 a 2012)

**EQUIPE EXECUTORA**

Manoel Júlio da Trindade Gomes Galvão

**APOIO EXECUTIVO**

Paulo Magalhães

**APOIO TÉCNICO**

Darlan F. Maciel

**CHEFE DA RESIDÊNCIA DE FORTALEZA**

Jaime Quintas dos S. Colares

**ASSISTENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Liano Silva Verissimo

José Alberto Ribeiro (de 2009 a mar/2012)

**COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO**

Helena da Costa Bezerra

**CHEFE DA RESIDÊNCIA DE PORTO VELHO**

Francisco de Assis dos Reis Barbosa

**ASSISTENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Claudio Cesar Aguiar Cajazeiras

**COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO**

Elvis Martins Oliveira

Luiz Antonio da Costa Pereira

Marcos Nóbrega II

**APOIO EXECUTIVO**

Wladimir Ribeiro Gomes

**APOIO TÉCNICO**

Francisco das Chagas Lages Correia Filho

**CHEFE DA RESIDÊNCIA DE TERESINA**

Carlos Antônio da Luz

**ASSISTENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Mickaelon Belchior Vasconcelos

**COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO**

Ney Gonzaga de Souza

Cipriano Gomes de Oliveira

**APOIO TÉCNICO**

Alceu Percy Mendel Junior

Fabio Silva da Costa

Rubens Esteves Kenup

**LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO**

Maria Antonieta Alcântara Mourão

**REVISÃO DO TEXTO**

Homero Coelho Benevides

**REVISÃO ORTOGRÁFICA E GRAMATICAL**

Alessandra Morandi Pidello

Patrícia Silva Araújo Dias

**DIAGRAMAÇÃO**

Elizabeth de Almeida Cadete Costa

**ARTE GRÁFICA DA CAPA**

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL  
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA  
DIVISÃO DE HIDROGEOLOGIA E EXPLORAÇÃO

**PROJETO**  
**REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

**COLEÇÃO DE RELATÓRIOS-DIAGNÓSTICO DOS AQUÍFEROS SEDIMENTARES DO BRASIL**

**VOLUME 1. Aquífero Missão Velha. Bacia Sedimentar do Araripe.**

Robério Bôto de Aguiar  
José Alberto Ribeiro  
Liano Silva Veríssimo  
Jaime Quintas dos Santos Colares

**VOLUME 2. Aquífero Açú. Bacia Sedimentar Potiguar.**

João Alberto Oliveira Diniz  
Francklin de Moraes  
Alexandre Luiz Souza Borba  
Guilherme Casaroto Troian

**VOLUME 3. Aquífero Tacaratu. Bacia Sedimentar Jatobá.**

João Alberto Oliveira Diniz  
Francklin de Moraes  
Alexandre Luiz Souza Borba  
Guilherme Casaroto Troian

**VOLUME 4. Aquífero Serra Grande. Bacia Sedimentar do Parnaíba.**

Mickaelon B. Vasconcelos  
Carlos Antônio Da Luz

**VOLUME 5. Aquífero Itapecuru no Estado do Pará. Bacia Sedimentar do Parnaíba.**

Homero Reis de Melo Junior

**VOLUME 6. Aquífero Alter do Chão no Estado do Amazonas. Bacia Sedimentar do Amazonas.**

Carlos José Bezerra de Aguiar

**VOLUME 7. Aquífero Alter do Chão no Estado do Pará. Bacia Sedimentar do Amazonas.**

Homero Reis de Melo Junior

**VOLUME 8. Sistema Aquífero Parecis no Estado de Rondônia. Bacia Sedimentar dos Parecis.**

Cláudio Cesar de Aguiar Cajazeiras

**VOLUME 9. Aquíferos Ronuro, Salto das Nuvens e Utiariti no Estado do Mato Grosso. Bacia Sedimentar dos Parecis.**

Dario Dias Peixoto  
Tomaz Edson Vasconcelos  
Jamilo José Thomé Filho

**VOLUME 10. Sistema Aquífero Urucuaia. Bacia Sedimentar Sanfranciscana.**

Paulo Cesar Carvalho M. Villar

**VOLUME 11. Aquíferos Furnas e Vale do Rio do Peixe nos Estados de Mato Grosso e Goiás. Bacia Sedimentar do Paraná.**

Dario Dias Peixoto  
Tomaz Edson Vasconcelos  
Jamilo José Thomé Filho

**VOLUME 12. Aquífero Furnas nos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná. Bacia Sedimentar do Paraná.**

Maria Cecília de Medeiros Silveira

**VOLUME 13. Sistema Aquífero Bauru–Caiuá no Estado de Minas Gerais. Bacia Sedimentar do Paraná.**

José do Espírito Santo Lima  
Cláudia Sílvia Cerveira de Almeida

**VOLUME 14. Sistema Aquífero Bauru-Caiuá nos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná. Bacia Sedimentar do Paraná.**

Andréa Segura Franzini

**VOLUME 15. Sistema Aquífero Guarani nos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná. Bacia Sedimentar do Paraná.**

Armando Teruo Takahashi

**VOLUME 16. Sistema Aquífero Guarani no Estado do Rio Grande do Sul. Bacia Sedimentar do Paraná.**

Mario Wrege





# SUMÁRIO

---

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. O SISTEMA AQUÍFERO GUARANI.....	19
2.1. Características Gerais .....	19
2.2. Características Hidrodinâmicas e Geométricas .....	20
2.3. Características Hidroquímicas .....	22
2.4. Análise da Vulnerabilidade Natural e Risco de Contaminação .....	24
2.5. Potenciometria e Isotermas .....	26
2.6. Reservas .....	28
3. REDES DE MONITORAMENTO PROJETADAS E EXISTENTES .....	31
3.1. Substâncias Analisadas nas Redes de Monitoramento Existentes .....	34
3.2. A Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas - RIMAS .....	34
3.2.1. Poços de Monitoramento Implantados na Rede RIMAS .....	34
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	37
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	39



## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 1. Área de exposição dos aquíferos Bauru, Furnas e Guarani nos estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul .....	20
Figura 2. Potencial de risco à contaminação das águas subterrâneas por atividade antrópica .....	24
Figura 3. Mapa de vulnerabilidade das unidades aquíferas do estado de São Paulo .....	26
Figura 4. Mapa de cota potenciométrica para o sistema aquífero Guarani no estado de São Paulo .....	27
Figura 5. Mapa de isotermas para o sistema aquífero Guarani .....	28
Figura 6. Grau de utilização das águas subterrâneas no Paraná .....	31
Figura 7. Rede estratégica para o estado do Paraná: Áreas prioritárias e número de poços de monitoramento .....	33
Figura 8. Localização das estações pluviométricas existentes na área de domínio dos aquíferos Guarani, Furnas e Bauru .....	35



## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 1. Principais características do sistema aquífero Guarani compiladas de estudos diversos .....	21
Tabela 2. Parâmetros físicos e químicos do sistema aquífero Guarani, compilados de estudos diversos .....	23
Tabela 3. Potencial de risco à contaminação de águas subterrâneas por atividades antrópicas, no estado do Paraná .....	25
Tabela 4. Intensidade de uso das águas subterrâneas no estado do Paraná .....	32
Tabela 5. Unidades de gestão com número de poços propostos para o monitoramento no Paraná .....	33
Tabela 6. Principais características dos poços de monitoramento implantados no sistema aquífero Guarani .....	35



**RELATÓRIO DIAGNÓSTICO  
SISTEMA AQUÍFERO GUARANI NOS  
ESTADOS DE SÃO PAULO,  
MATO GROSSO DO SUL E PARANÁ  
BACIA SEDIMENTAR DO PARANÁ**

**RECURSOS HÍDRICOS**

**ÁREA: RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**

**SUBÁREA: LEVANTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**

---





# 1. INTRODUÇÃO

O Serviço Geológico do Brasil-CPRM, empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia, em consonância com suas atribuições, propôs e definiu as bases para a implantação de rede de monitoramento integrado das águas subterrâneas abrangendo os principais aquíferos do país.

A rede de monitoramento, de natureza fundamentalmente quantitativa, foi concebida tendo como principal objetivo o conhecimento mais detalhado a respeito dos aquíferos de modo a propiciar a médio e longo prazos: i) A identificação de impactos às águas subterrâneas em decorrência da exploração ou das formas de uso e ocupação dos terrenos; ii) A estimativa da disponibilidade do recurso hídrico subterrâneo; iii) A avaliação da recarga e o estabelecimento do balanço hídrico; iv) Informações do nível d'água; v) Determinação de tendências de longo termo tanto como resultado de mudanças nas condições naturais quanto derivadas de atividades antropogênicas etc.

Um dos principais aspectos do programa refere-se à proposição de um monitoramento integrado (águas subterrâneas e superficiais) em que o ambiente aquático é considerado de forma inteiramente inter-relacionável e não fracionado nos diversos componentes. Um aspecto que favorece esta integração é o fato da CPRM ser responsável pela implantação e operação de redes hidrometeorológicas, telemétricas, de qualidade de água

e sedimentométricas bem como monitoramento de níveis em açudes.

A estruturação do programa de monitoramento para cada aquífero ou local selecionado exige que seja feita uma caracterização hidrogeológica a partir da integração, análise e interpretação de dados existentes. Além disso, considerando a integração com o monitoramento hidrometeorológico são incluídos também dados relativos às estações existentes no domínio dos aquíferos enfocados além de estudos hidrológicos e climatológicos realizados na região enfocada.

A reunião e a interpretação dessas informações visam subsidiar a seleção dos locais para monitoramento bem como a avaliação da viabilidade de emprego dos dados das estações fluviométricas e pluviométricas para interpretação dos resultados do monitoramento quanto à representatividade do aquífero nas bacias hidrográficas monitoradas, densidade, localização etc.

O presente relatório apresenta a integração das informações para o sistema aquífero Guarani, nos estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul e constitui o estágio atual de conhecimento de suas características naturais, pressões percebidas e impactos identificados. Como resultados da análise dessas informações são apresentadas as principais demandas ao monitoramento e promovida a configuração da rede de monitoramento para o aquífero.



## 2. O SISTEMA AQUÍFERO GUARANI

### 2.1. Características Gerais

Dentre os aquíferos presentes nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná, este se reveste de grande importância tanto pela produção e qualidade de suas águas, quanto pela preocupação relativa à sua proteção frente à exploração intensiva e ao potencial de contaminação. Nos estados mencionados, aflora ao longo das bordas oriental e ocidental da bacia sedimentar do Paraná (Figura 1), com área de exposição de 55.000 km<sup>2</sup>. Na borda oriental, está exposto em uma faixa de direção NE com largura máxima de 132 km, que se estende desde a cidade de Cássia dos Coqueiros no estado de São Paulo, até Rosário do Ivaí no Paraná, onde se inflete para SSE até União da Vitória, mais ao sul. Na borda ocidental, encontra-se aflorante somente no estado de Mato Grosso do Sul em uma faixa de direção NE com largura máxima de 120 km, abrangendo a cidade de Alcínópolis a NE e a cidade de Antônio João a SW.

Entre as duas faixas de exposição, o aquífero está totalmente confinado, ocupando área de 470.000 km<sup>2</sup>. É constituído, predominantemente, por arenitos róseos de granulação média a fina, distribuídos estratigraficamente em duas formações denominadas de Pirambóia, inferior, e Botucatu, superior, as quais durante muito tempo compuseram o denominado aquífero Botucatu.

De acordo com Almeida *et al.* (1981), os arenitos da formação inferior, com até 350 metros de espessura, são mais argilosos em sua base. Exibem estratificações plano-paralela e cruzada tangencial de grande a médio porte, originadas em ambiente continental fluvial meandrante associado a planícies de inundação. Os arenitos da formação superior, com espessura acima de

200 metros, possuem boa seleção de grãos foscas, com alta esfericidade, organizados em estratificações cruzadas tangenciais de médio a grande porte, típicas de ambiente eólico. Lentes de arenitos conglomeráticas e de argilito, na base do pacote, indicam a influência de ambiente sub-aquoso.

A passagem do arenito inferior para o superior se dá de forma transicional, observando-se, nos afloramentos descritos, a presença da fração argilosa, que diminui gradativamente até que a fração arenosa com grãos de alta esfericidade, característicos da formação Botucatu, seja predominante. Deste modo, as duas formações são tratadas como um sistema aquífero, hidraulicamente contínuo, denominado Guarani (SAG). A designação foi adotada nos estudos transnacionais voltados ao sistema aquífero que ultrapassa o território brasileiro, abrangendo Argentina, Uruguai e Paraguai. Estes estudos fazem parte do Project For The Environmental Protection And Development Of The Aquifer System, cuja coordenação no Brasil é de responsabilidade do Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos .

As rochas do sistema Guarani estão capeadas no topo pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral, a qual apresenta, em sua base, *intertraps* de arenito da Formação Botucatu, com espessuras variáveis, fato que dificulta o estabelecimento do limite estratigráfico entre as duas unidades. No lado oriental de exposição do SAG, o contato inferior se faz com as rochas do Grupo Passa Dois, representadas por folhelhos e argilitos com bancos carbonáticos, de comportamento hidráulico de aquíclode. No lado ocidental, os arenitos vermelhos a róseo-claros da Formação Aquidauana, Grupo Tubarão, aparecem sotopostos ao SAG.

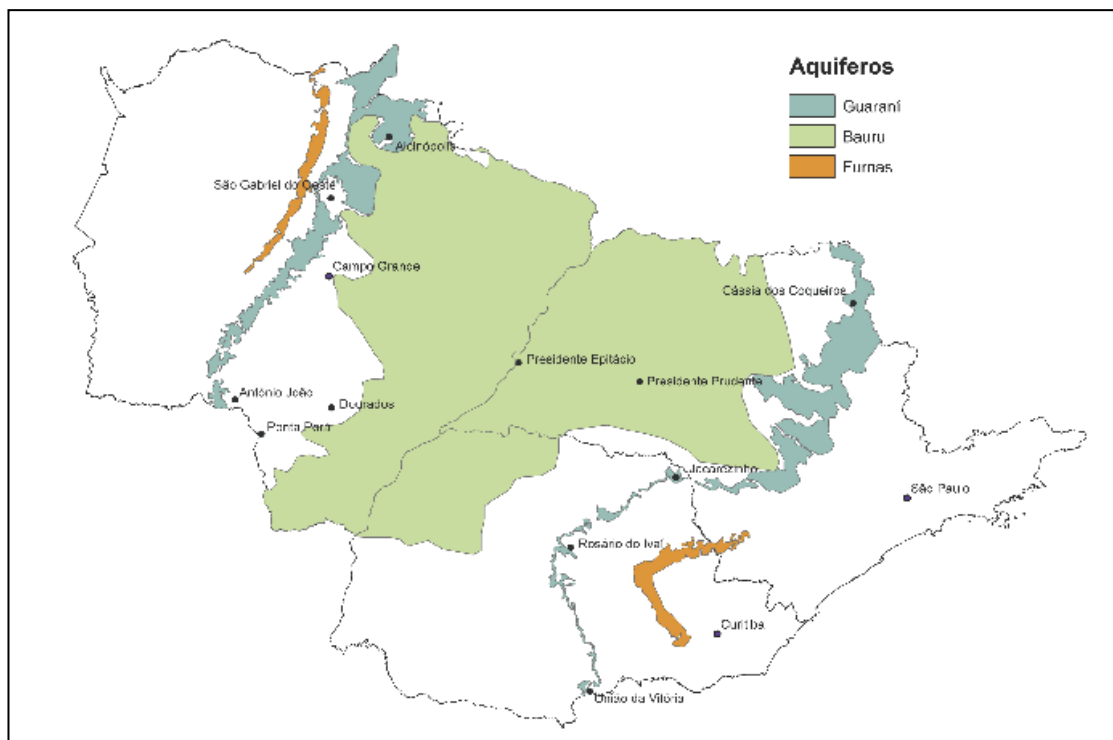


Figura 1. Área de exposição dos aquíferos Bauru, Furnas e Guarani nos estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul

## 2.2. Características Hidrodinâmicas e Geométricas

Destacam-se como trabalhos pioneiros e de grande importância, relacionados ao sistema aquífero Guarani no estado de São Paulo, os estudos efetuados pelo DAEE (1981) nas regiões administrativas, por Rebouças (1976) e por Silva (1983). Os parâmetros e informações mais relevantes, referentes a estes estudos, estão condensados na tabela 1. Os dados hidrodinâmicos e geométricos para o sistema aquífero no estado de São Paulo mostram similaridades aos apresentados por SANESUL (2008) e SUDERHSA (2009 e 2010) nos estados do Paraná e de Mato Grosso do Sul.

Os estudos citados indicam que a espessura do aquífero varia desde 100 metros na área aflorante, até mais de 400 a 600 metros na região do rio Paraná, sendo que o maior valor (acima de 600 m) foi determinado na região de Campo Grande-MS (ARAÚJO *et al.*, 1995). A cota do topo da unidade é de 600 metros nas áreas de afloramento e atinge 600 metros abaixo do nível do mar na porção confinada.

As estimativas e determinações dos parâmetros hidrodinâmicos indicam os seguintes valores característicos:

- i) permeabilidade - varia de 3,5 a 5,18 m/dia. Entretanto, valor médio de 2,25 m/dia foi encontrado por SILVA (1983) a partir de datações de isótopos radiativos do carbono-14;
- ii) transmissividade - varia de 150 a 1.296m<sup>2</sup>/dia;
- iii) coeficiente de armazenamento - entre 0,10 e 0,25 no aquífero livre e entre 2x10<sup>-4</sup> a 10<sup>-6</sup>, no confinado;
- iv) capacidade específica – apresenta valor médio aproximado de 4,5 m<sup>3</sup>/h/m;
- v) recarga direta - desde 225 a 325 mm/ano.

No estudo denominado “Aquífero Gigante do MERCOSUL no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai” Araújo *et al.* (1995) definiram para este aquífero os seguintes parâmetros: porosidade média de 16 a 17%; condutividade hidráulica de 0,01 a 4,6 m/dia; espessuras superiores a 800 metros (Alegrete/RS) até ausência completa em áreas internas.

Tabela 1. Principais características do sistema aquífero Guarani compiladas de estudos diversos

CARACTERÍSTICAS	DAEE (1974)	R. B. GOUVEA DA SILVA (1983)	A. C. REBOUÇAS(1976)	DAEE (1979)	DAEE (1976)
Área de Abrangência	Região Administrativa de Ribeirão Preto	Estado de São Paulo	Brasil	Região administrativa de Presidente Prudente/Marília	Regiões Administrativas S.J. do Rio Preto, Araçatuba e Bauru
Espessura média do aquífero(m)		100 m na área aflorante até mais de 400 m no baixo Tietê	400	200 a 400	350 a 400
Esp. Média da zona saturada(m)			300		
Cota do topo do aquífero(m)		600 m a leste a -600 m a oeste			
Gradiente do topo do aquífero(m/km)		6 a 30		4	
K (m/dia)	3,5		5,18	3 (regional)	
T (m <sup>2</sup> /dia)	150-400	40,6 a 1.296		300 a 800	
S <sup>freatico</sup>	0,25	0,10 a 0,15 (ensaios de bombeamento DAEE)	0,20 a 0,10	0,10 a 0,15	
S <sup>conf.</sup>	10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>-5</sup>	2x10 <sup>-4</sup> a 4x10 <sup>-5</sup> (análise granulométrica)	10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-4</sup> a 10 <sup>-6</sup>	
Q <sub>esp.</sub> (m <sup>3</sup> /h/m)	4,5	> 5 em 32% dos poços		10 a 15	
i (gradiente hidráulico)	0,03 a norte e 0,0005 a sul	0,002 (freatico) a 0,0005 (confinado)			
Cota do NE(m)	650(Altinópolis); 600 (São Simão); 520(Igarapava) 450 (Catanduva); e 430 (Bariri)	600 a 800 (freatico) até 400(rio Paraná)			
Q <sub>média</sub> (m <sup>3</sup> /h)	54 (57% dos poços)				200 a 300
Escoamento básico (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /ano)	1.340				
Armazenamento (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	1.250.000		48.021.000	800.000 (confinado)	
Reserva ativa (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	2000		160.000	800 (confinado)	
Recarga profunda (mm/ano)	35				
Recarga media regional (mm/ano)	325		225	545	
Área (km <sup>2</sup> )	2.000	Estado de São Paulo	818.000	2.200 (aflorante) 41.800 (confinado)	
Reserva explorável(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )			56.000 por meio de 8.000 poços pelo período de 20 anos e aprofundamento do nível dinâmico de 50 metros (livre) e 100 metros (confinado)		
Potencial Explorável(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /ano)	2.000				
Fluxo regional	Norte, para a região de Igarapava; e oeste para fora da área.	E-W a partir da área aflorante; NE-SW a partir do Rio Grande; dado resultante geral de NE-SW			

### **2.3. Características Hidroquímicas**

No sistema aquífero Guarani predominam águas bicarbonatadas cálcicas, sendo que na porção livre, bicarbonatadas magnesianas ocorrem em proporção significativa, enquanto que na porção confinada, são as bicarbonatadas sódicas. Os valores de pH são mais elevados na região confinada chegando a alcançar valores de 10,35. Comportamento semelhante é verificado com a temperatura que atinge até 63°C.

Silva (1983) ao estudar a variação da composição destas águas no estado de São Paulo correlacionou a evolução da concentração dos íons maiores com os valores de temperatura, de pH e de sólidos totais dissolvidos, interdependentes entre si, obtendo as seguintes relações: a) correlação de 84% entre os valores de STD, T e pH com a soma dos valores de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ , em decorrência do aumento da concentração do sódio no sentido do confinamento; b) correlação de T, pH e STD muito baixa com os valores de  $\text{Ca}^{2+}$ ; c) correlação de T, pH e STD muito baixa com  $\text{Mg}^{2+}$ , guardando uma tendência inversamente proporcional; d) alta correlação de T, pH e STD com a soma dos valores de  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{CO}_3^{2-}$ ; e) boa correlação do STD e T com Cl<sup>-</sup> que mostra incremento de concentração no sentido do confinamento e cuja origem foi associada a águas meteóricas e/ou a dissolução minerais secundários de alteração de basaltos, micas e clorita; f) péssima correlação do STD e T com o pH e boa correlação com o  $\text{SO}_4^{2-}$  de origem associada a águas meteóricas e/ou à dissolução de sulfetos de basaltos.

No estudo das relações iônicas, Silva (1983) constatou que: a) ocorre um aumento do valor do índice de  $r\text{SO}_4/r\text{Cl}$  e  $r\text{Cl}/r\text{HCO}_3$  no sentido preferencial do fluxo subterrâneo; b) diminuição do valor do índice de  $r\text{K}/r\text{Na}$  no sentido do confinamento devido a maior facilidade de fixação de K pelas rochas percoladas; c) diminuição do valor do índice de  $r\text{Mg}/r\text{Ca}$ , devido a maior quantidade do cálcio em solução; d) aumento do índice de  $r\text{Na}/r\text{Ca}$  e diminuição do índice de troca de bases (itb) no sentido do confinamento,

devido à retenção do cálcio e liberação do sódio pelas argilas e/ou precipitação da calcita.

Em termos de potabilidade, as águas deste sistema foram consideradas adequadas ao consumo doméstico e animal. Campos (1993) identificou, nos arredores da cidade de Ribeirão Preto, restrição localizada para algumas águas em virtude do teor de ferro total maior que 0,3 mg/L. DAEE (1974) com base nos valores de sólidos totais dissolvidos (STD), razão de adsorção de sódio (SAR) e proporção de sódio, considerou as águas do SAG adequadas ao uso para todos os tipos de culturas, com exceção das águas profundas de Catanduva que apresentaram um valor de SAR equivalente a 20 e de proporção de sódio de 98%.

No estado de Mato Grosso do Sul, trabalhos efetuados por SANESUL (2008) estabeleceram como valores característicos: condutividade elétrica de 20 a 100  $\mu\text{S}$  na área aflorante e de 870  $\mu\text{S}$ , na área mais confinada; pH de 6,5 a 9,5 e temperatura de 22 a 44,5°C, que aumentam no sentido do confinamento; cálcio de 2 a 30 mg/L, magnésio de 1 a 8 mg/L, sódio de 0,3 a 170 mg/L e potássio menor que 2 mg/L.

No estado do Paraná, SUDERHSA (2009 e 2010), nas investigações para a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Paraná, constatou o aumento nos valores de sólidos totais dissolvidos, cloreto, sulfato, fluoreto, sódio, temperatura e pH no sentido do confinamento. Comportamento contrário foi verificado para os íons cálcio e magnésio.

Teores excessivos em flúor foram encontrados em poços profundos das cidades de Londrina e Presidente Prudente.

A tabela 2 apresenta a compilação das características hidroquímicas para o sistema aquífero Guarani, no estado de São Paulo, extraídas de estudos diversos. Ressalta-se que a composição química das águas do SAG para os estados de Mato Grosso do Sul e do Paraná mostra semelhança com a descrição feita para São Paulo.

Tabela 2. Parâmetros físicos e químicos do sistema aquífero Guarani, compilados de estudos diversos

CARACTERÍSTICAS	DAEE (1974)	H. C.N. CAMPOS (1993)	R. B. GOUVEA DA SILVA (1983)	(DAEE 1979) ÁREA: REGIÃO ADMINISTRATIVA DE PRESIDENTE PRUDENTE/MARILIA	DAEE (1976) REGIÕES ADMINISTRATIVAS DE S.J RIO PRETO, ARAÇATUBA E BAURU
R <sub>s</sub> (mg/l)		<50 (66%) na porção livre; 50 a 500 (confinado)	< 250 (maioria)		
STD <sub>médio</sub> (mg/l)	74				
Dureza			69% brandas		
SiO <sub>2médio</sub> (mg/l)	19		>20(52%)		14,5 a 64
Condutividade Elétrica (µslim/s)	80				
Ca <sub>médio</sub> (mg/l)	7,5				
Na <sub>médio</sub> (mg/l)	3,1		0 a 225		
K <sub>médio</sub> (mg/l)			0,1 a 6,5		19,2
Ca (mg/l)			<50,4		3,81
Mg (mg/l)			0 a 13,7		
HCO <sub>3médio</sub> (mg/l)	29		1 a 170		
CO <sub>3</sub> (mg/l)			0 a 145		
pH	5,2	5,40 a 9,27 (livre); 6,30 a 9,80 (confinado)	5,40 a 10,35		
T(°C)	22 a 30	22 a 27 (livre); 22 a 58,7(confinado)	22 a 25 (afiorante); 63 (confinado)	63(Presidente Prudente)	
rMg/rCa	0 a 1,66		0 a 3,30		Muito baixo (conf)
rSO <sub>4</sub> /rCl			0 a 2,84		
rCl/rHCO <sub>3</sub>			0 a 1,10		
rK/rNa			0,003 a 3,72		
rNa/rCa			8,0 a 80,00		
Itb (índice de troca de bases)			-0,3 a -3,0		
B(ppm)	0.3 a 0.4				
% <sub>média</sub> Na=100(Na+K)/(Ca+Mg+Na+K)	25 (98 em Catanduva)				
SAR	0,25 (20 em Catanduva)				
Fe <sup>3+</sup> ou Fe <sup>2+</sup>	<0,3				
F(fluoreto)	<0,3	3,6 a 12 IN C.G.FRAGA-92	2 amostras >10 (Presidente Prudente)		
Cl(mg/l)			Pequenas quantidades		
SO <sub>4</sub> (mg/l)			<92		
NO <sub>3</sub> (mg/l)			6 amostras > 1 de N		
Composição	a) rCa>rMg>rNa>rCl b) rCa<rMg>rNa>rCl c) rCa>rMg<rNa>rCl	Bicarbonatada cálcica (44%) seguida da bicarbonatada magnésiana (porção livre); bicarbonatada cálcica (44%)	Bicarbonatadas cálcicas e cálcico magnésianas (36 amostras); bicarbonatadas sódicas (18 amostras); bicarbonatadas	Bicarbonatadas sódicas passando a clorosulfatadas sódicas	Bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas carbonatadas sódicas.



## 2.4. Análise da Vulnerabilidade Natural e Risco de Contaminação

No geral, as áreas de afloramento e de recarga do aquífero Guarani são as mais vulneráveis à contaminação. Entretanto, a região de exposição no estado de Mato Grosso do Sul exibe menor vulnerabilidade natural por ser reconhecida como área de descarga. Quanto ao risco, este se mostra elevado na área de recarga tendo em vista a presença de contaminantes difusos ou pontuais, como agrotóxicos, adubos, indústrias, fossas sépticas, aterros sanitários, mineração, postos de combustíveis etc.

No estado do Paraná, SUDERHSA (2009 e 2010) definiu níveis de risco potencial à contaminação, em unidades de gestão, com base nos fatores apresentados na tabela 3, consoante os seguintes critérios:

i) Alto: incidência dos 5 fatores potenciais à contaminação ou população acima de 300.000 habitantes e que não contemplem o mínimo de 4 fatores de potenciais contaminantes;

ii) Médio: concentração populacional de 100.000 a 300.000 habitantes e que os demais fatores sejam parciais; e

iii) Baixo, quando apresentam no mínimo 3 fatores potenciais de contaminação. Para a faixa do aquífero aflorante pode-se visualizar, no mapa, predominância de áreas com risco potencial médio potencial de contaminação, e um pequeno segmento com alto risco na unidade de gestão Tibagi 03 (Figura 2).

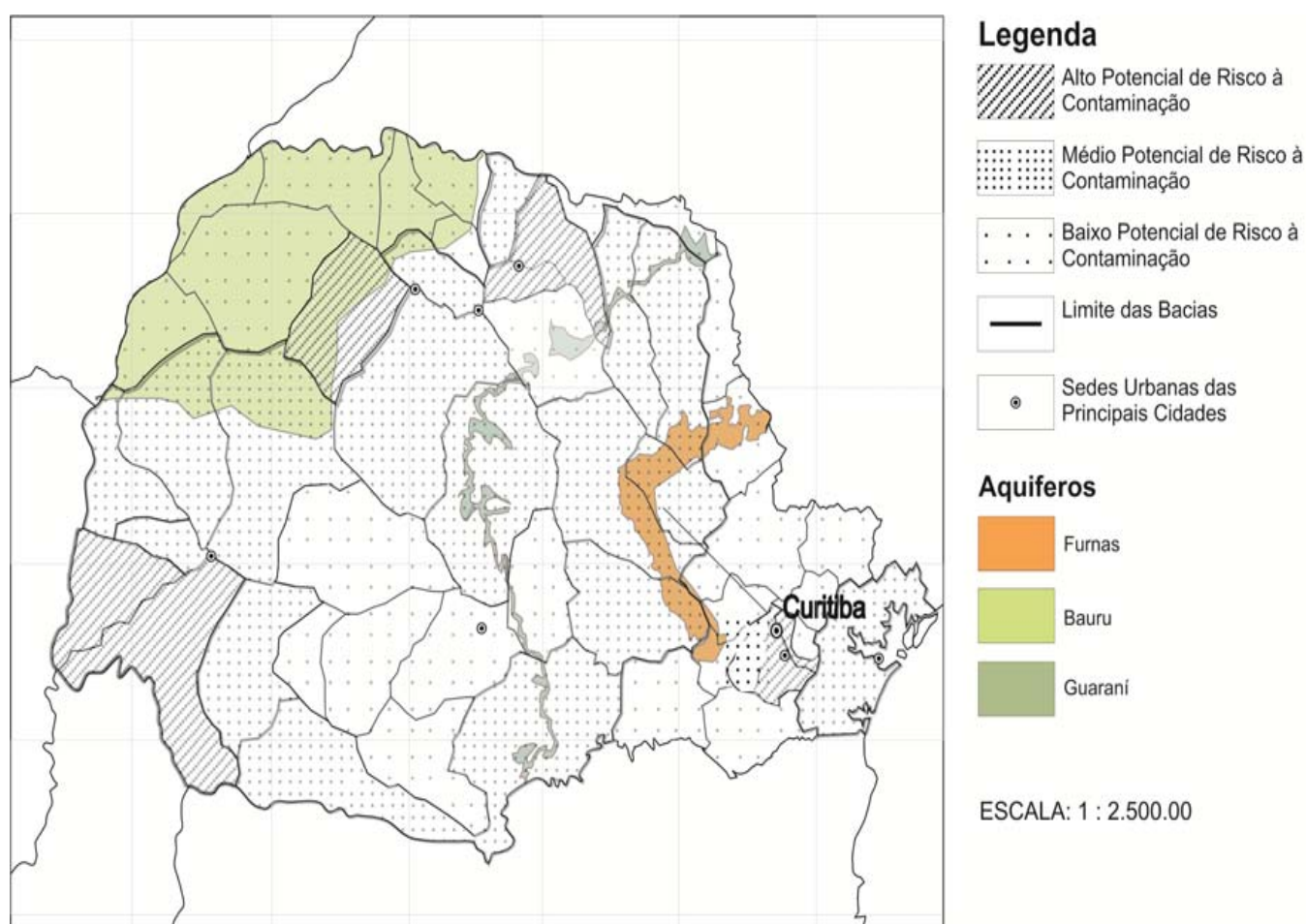


Figura 2. Potencial de risco à contaminação das águas subterrâneas por atividade antrópica  
Fonte: SUDEHSA (2009)

Tabela 3. Potencial de risco à contaminação de águas subterrâneas por atividades antrópicas, no estado do Paraná

BACIA	UNIDADE DE GESTÃO	POPULAÇÃO(Hab)		RESÍDUOS SÓLIDOS >44.000 kg/dia (0,6 kg/Hab/dia)	ÁREA AGRÍCOLA			MINE RAÇÃO
		MAIOR 3X10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup> A 3X*10 <sup>5</sup>		PRODUÇÃO MAIOR	AGRO TÓXICO	ADUBOS E CORRETIVO	
				60% PROP.				
Iguaçu	IGA.2	X		X		X	X	X
Iguaçu	IGA3	X		X		X	X	X
Iguaçu	IGB	X		X	X	X	X	X
Ivaí	IVB1	X		X	X	X	X	X
Paraná	PR3.3	X		X	X	X	X	X
Tibagi	TIB2	X			X		X	X
Tibagi	TIB3	X		X	X		X	X
Cinzas	CZ1		X	X	X		X	
Cinzas	CZ2		X	X	X		X	X
Iguaçu	IGA4		X	X		X	X	
Iguaçu	IGM1		X	X	X		X	
Iguaçu	IGB2		X	X	X		X	
Iguaçu	IGB4			X	X	X	X	X
Ivaí	IVA2			X	X		X	X
Ivaí	IVA3		X	X	X	X	X	
Litorânea	BL1		X	X		X	X	
Paranapanema	PN3.01			X	X		X	X
Paraná3	Pr3.01		X		X	X	X	
Paraná3	PR3.02		X		X	X	X	
Piqueri	PQ2		X	X	X	X	X	
Piqueri	PQ3		X	X	X	X	X	
Pirapó	PI1		X	X	X		X	
Tibagi	TIA1		X	X	X	X	X	
Tibagi	TIA2		X	X	X	X	X	
Tibagi	TIA3				X	X	X	X
Iguaçu	IGA1		X	X		X	X	
Iguaçu	IGA5					X	X	
Iguaçu	IGA6						X	
Iguaçu	IGA7						X	
Iguaçu	IGM2		X	X	X			
Iguaçu	IGM3				X		X	
Iguaçu	IGB1				X		X	
Iguaçu	IGB3				X		X	
Itararé	IT1				X		X	
Itararé	IT2				X		X	
Ivaí	IVA1				X		X	
Ivaí	IVB2		X				X	
Paranapanema1	PN1.01				X		X	
Paranapanema2	PN2.01				X			
Paranapanema3	PN3.02						X	
Paranapanema4	PN4.01						X	
Paraná1	PR1.01						X	
Paraná2	PR2.01						X	
Piquiri	PQ01				X		X	
Pirapó	PI2				X		X	
Pirapó	PI3						X	
Ribeira	RB1					X	X	
Ribeira	RB2				X	X	X	
Ribeira	RB3					X	X	
Ribeira	RN4							
Tibagi	TIB1				X		X	

	Alto Risco		Médio Risco		Baixo Risco
--	------------	--	-------------	--	-------------

Fonte: SUDERHSA (2009)

No estado de São Paulo, o mapa de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos superficiais (Figura 3) foi executado por INSTITUTO GEOLÓGICO (1997). Relativamente ao sistema aquífero Guarani, a vulnerabilidade foi classificada como média alta a alta alta.

Para o estado de Mato Grosso do Sul, SANESUL (2008) tece as seguintes considerações a respeito da vulnerabilidade do SAG:

i) a faixa aflorante arenosa é muito vulnerável, mas como os rios principais drenam suas águas, não há recarga profunda;

ii) a região semi-confinada é vulnerável à contaminação, devido a pouca espessura dos basaltos sobrejacentes e ao seu sistema de faturamento. Esta condição é minimizada pelo escoamento das águas subterrâneas para oeste, a partir do divisor de águas coincidente com o alinhamento da serra de Maracaju, comportamento que preserva a qualidade das águas provenientes das áreas de recarga do norte; e

iii) a porção confinada apresenta baixa vulnerabilidade natural à contaminação.

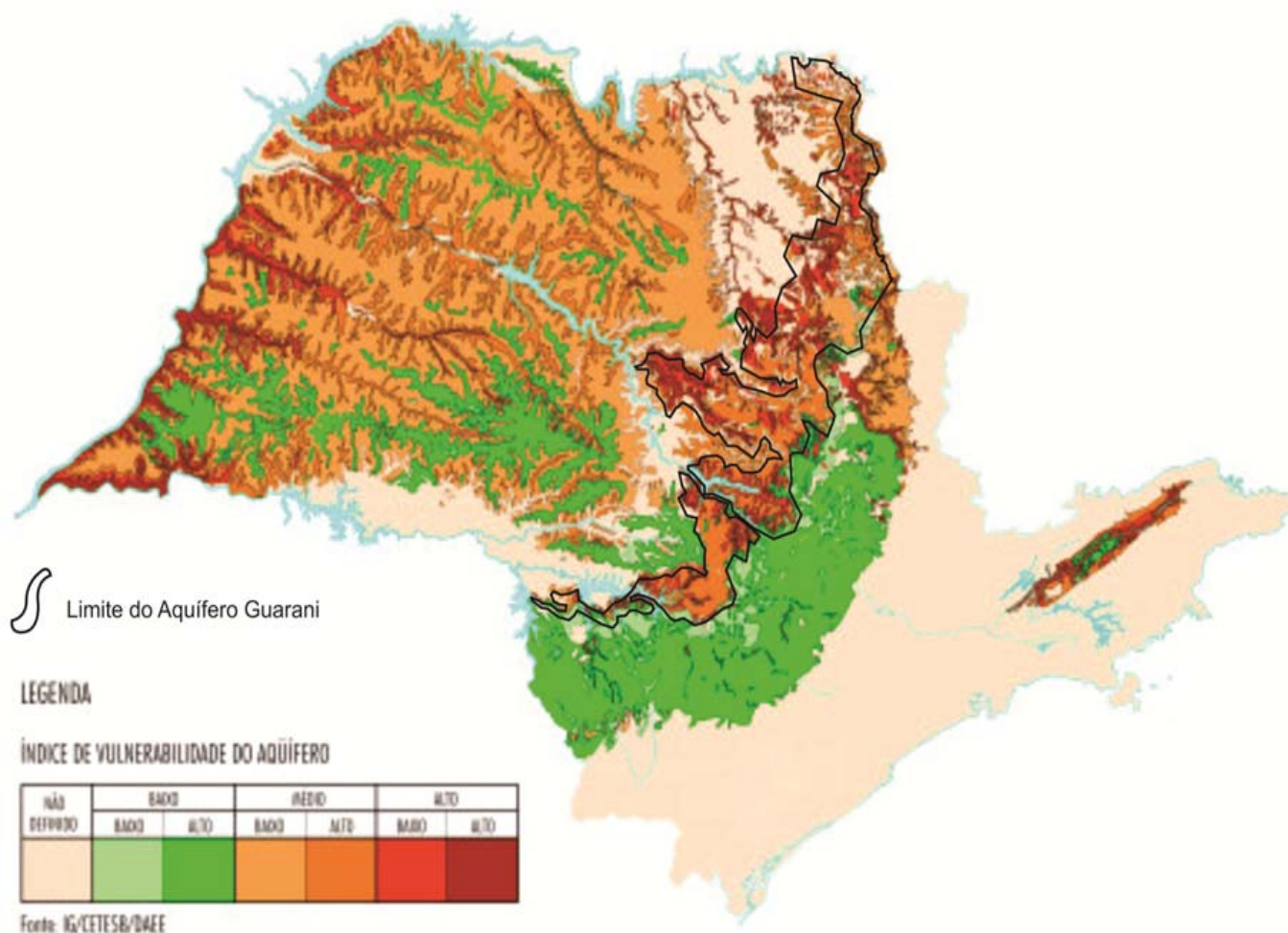


Figura 3. Mapa de vulnerabilidade das unidades aquíferas do estado de São Paulo  
Fonte: Instituto Geológico (1997)

## 2.5. Potenciometria e Isotermas

O trabalho mais abrangente sobre a potenciometria do aquífero foi realizado por Araújo *et al.* (1995), nos estados de São Paulo, do Paraná e de Mato Grosso do Sul, e resultou no reconhecimento de dois compartimentos hidrogeológicos (Figura 4). O primeiro compartimento ocorre ao norte do Arco de Ponta Grossa, onde se verifica fluxo regional de N para SW. A partir das áreas de maior elevação das zonas de afloramento do aquífero, foram observadas as seguintes particularidades no fluxo subterrâneo:

i) de E para SW a partir da área de recarga no estado de São Paulo, com cota potenciométrica variando de 600 a 800 metros, o que fornece um gradiente hidráulico de 3 m/km passando a 0,2 m/km a uma distância de 50 km ;

ii) de N para S, a partir da área de recarga em Goiás e norte de Mato Grosso do Sul, para as áreas central da bacia e de afloramento no Paraguai, que se inicia com um gradiente de 1,5 m/km e cai para 0,2 m/km mais distante. O baixo potenciométrico na calha central da bacia, com

cota de 350 metros, indica uma zona de despressurização do aquífero atribuída a uma comunicação hidráulica do aquífero ao longo do rio Paraná, encaixado nesta região na zona de falha Loanda–Presidente Epitácio;

iii) Ao sul do Arco de Ponta Grossa a diferença do nível potenciométrico entre as faixas aflorantes a leste e oeste é de 1000 metros, com sentido do fluxo de leste para sudoeste, e gradiente hidráulico que se inicia com valores de 5 m/km caindo para 2 m/km junto à Argentina.

Silva (1983) definiu, localmente no estado de São Paulo, cota do nível estático de 600 a 800 metros na porção freática e 400 metros nas proximidades do eixo do rio Paraná, o que fornece gradiente hidráulico variável de 0,002 a 0,0005, com fluxo geralmente de leste para oeste. Entretanto, notam-se fluxos também de nordeste para sudoeste a partir do Rio Grande, e uma componente para norte, rumo ao Rio Grande, que aflora nas imediações da cidade de Igarapava (DAEE, 1974).

Também são descritos, por diversos autores, nas regiões confinadas do aquífero, fluxos verticais ascendentes através de fraturas nos basaltos superiores

e nas estruturas do Arco de Ponta Grossa. Nestes casos, ocorre a recarga do aquífero Serra Geral com águas ricas em sulfatos, cloretos e sólidos totais dissolvidos (SUDERHSA, 2009 e 2010)

SANESUL (2008) reconheceu que na borda ocidental da bacia do Paraná, a serra do Maracaju é o divisor de águas superficiais e subterrâneas tendo-se portanto uma zona de descarga das águas do aquífero com fluxo para oeste. O alto de São Gabriel do Oeste constitui uma exceção por ser uma zona de recarga, com fluxos tanto para NE quanto SW, ambos com descarga na bacia do rio Paraguai. Também foi identificado fluxo para NE a partir da cidade de Pontaporã até Dourados, quando inverte para SE penetrando no estado do Paraná.

SUDERHSA (2009 e 2010) descreve, no Arco de Ponta Grossa, reservatórios estanques sem comunicação hidráulica entre si, com potencimetria e hidroquímica peculiares. As áreas de descarga nesta região ocorrem nos rios Iguazu, Paraná, Ivaí e Piqueri, sendo encontradas fontes de águas quentes às margens dos cursos d'água.

Localmente foram constatadas áreas de rebaixamento do nível dinâmico nas regiões de Ribeirão Preto-Sertãozinho e São José do Rio Preto.

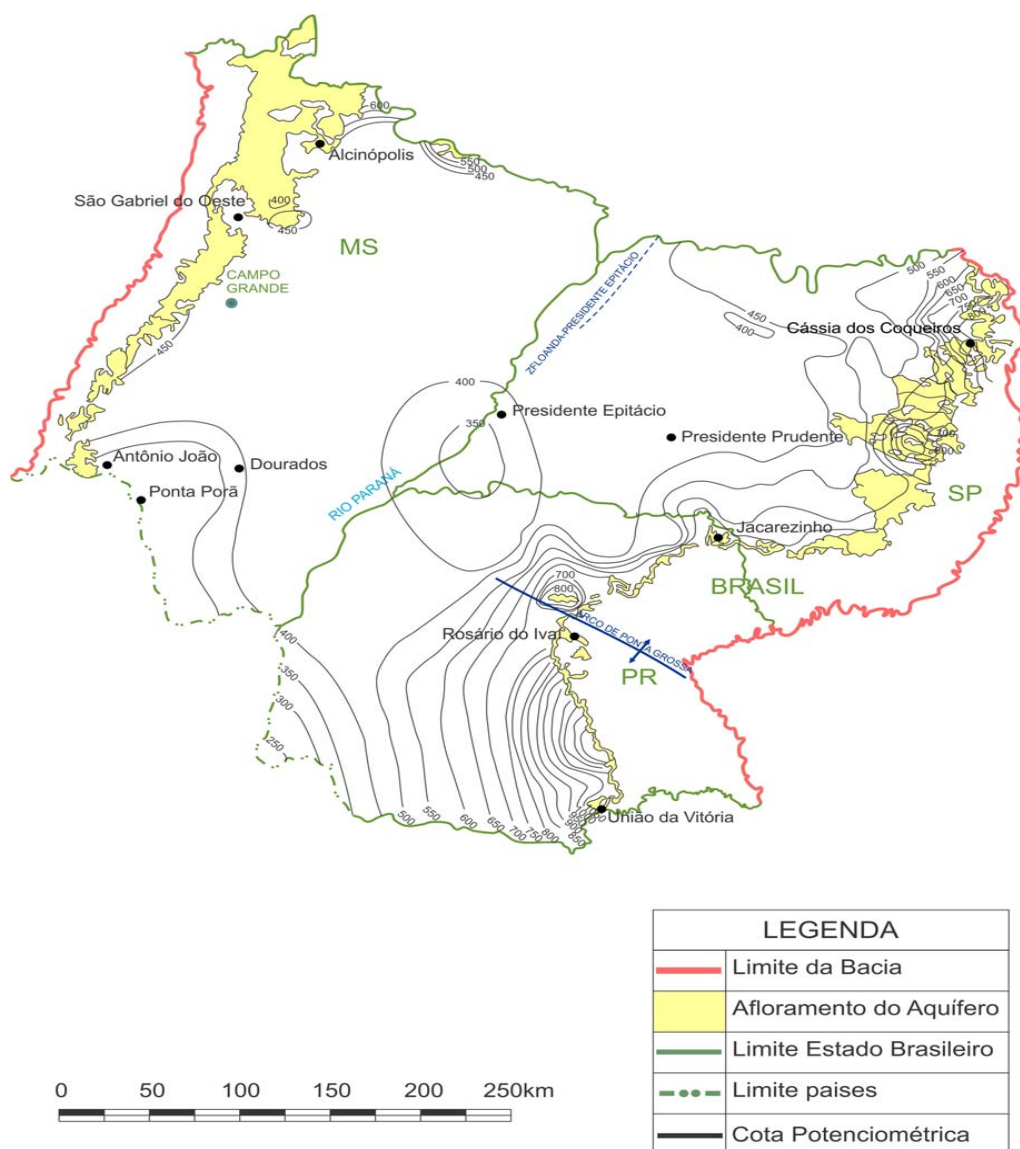


Figura 4. Mapa de cota potenciométrica para o sistema aquífero Guarani no estado de São Paulo  
Fonte: Araújo et al. (1995)

Araújo *et al.* (1995) obtiveram, por meio de medidas das temperaturas da água em diversos poços, gradiente geotérmico de 29°C/km. O mapa de isotermas elaborado

(Figura 5) mostra uma calha de alta temperatura coincidente com a calha estrutural, onde a temperatura chega a atingir 80°C na região de Presidente Prudente.

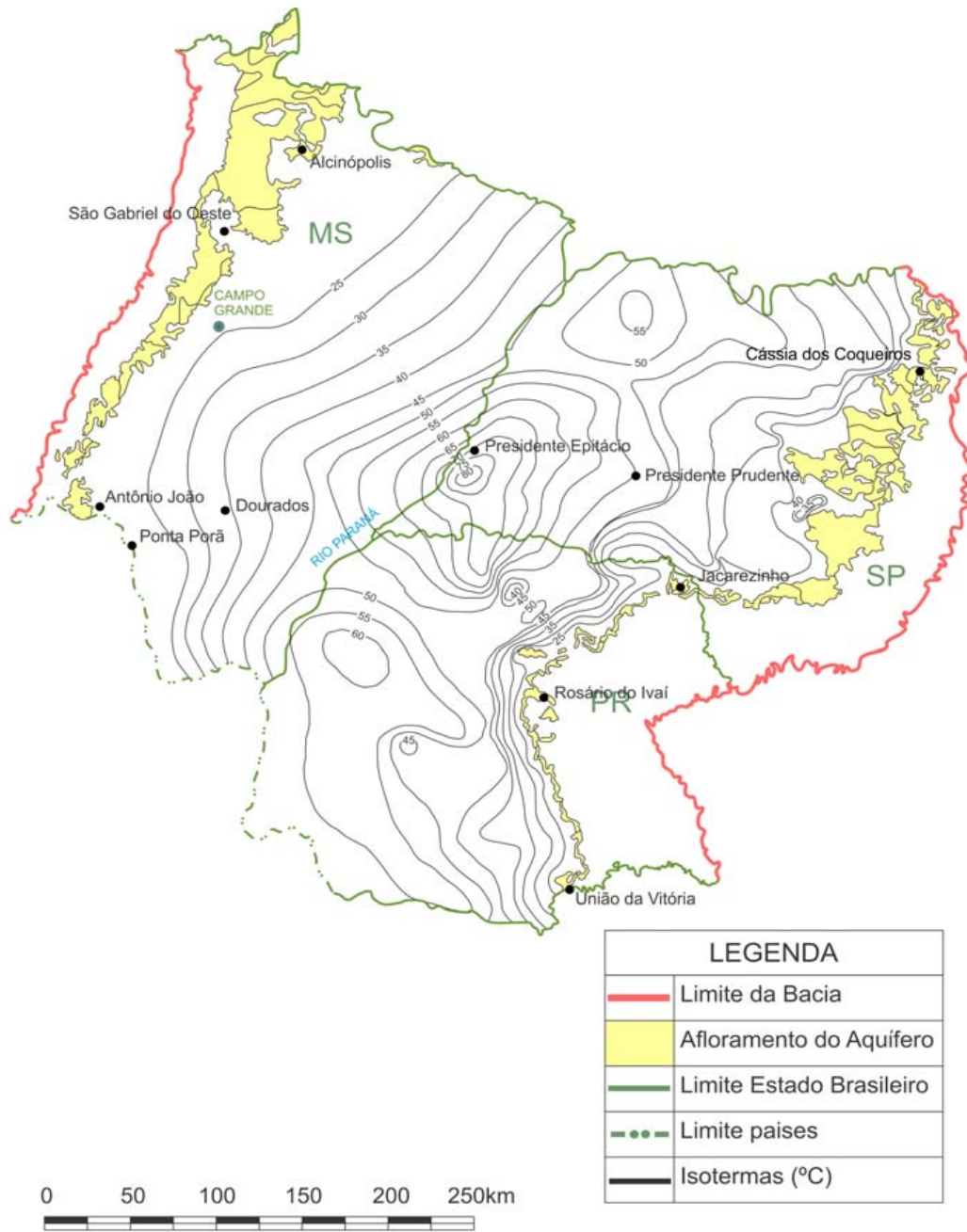


Figura 5. Mapa de isotermas para o sistema aquífero Guarani  
Fonte: Araújo *et al.* (1995)

## 2.6. Reservas

SANESUL (2008) calculou o volume de reservas explotáveis no estado de Mato Grosso do Sul entre  $111.620 \times 10^6$  a  $451.620 \times 10^6$  m<sup>3</sup>. Esta diferença se deve à adoção de coeficientes de armazenamento de 0,05 e 0,2, para o cálculo das reservas da porção livre, considerando rebaixamento do nível d'água em 50 metros. Para o aquífero semi-confinado e confinado as reservas explotáveis foram estimadas em  $1.620 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, para rebaixamento de 100 metros.

Na Região Administrativa de Ribeirão Preto, em uma área de 57.700 km<sup>2</sup>, DAEE (1974) estabeleceu as seguintes quantificações: escoamento básico de  $1.340 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/

ano, reserva ativa de  $2.600 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, armazenamento de  $1.250.000 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, recarga profunda de 35 mm/ano e potencial explorável de  $2.000 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano. Este último parâmetro foi calculado com base nas seguintes premissas: i) toda recarga profunda, referente a  $350 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano, está disponível para extração; ii) a retirada de  $1.000 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano do armazenamento, durante 20 anos, pode causar algum rebaixamento do nível d'água na região freática que, entretanto, equilibrará rapidamente, em detrimento do escoamento básico, e pela maior recarga a partir dos aquíferos superiores na porção confinada; e iii) é recomendável a extração de ¼ do volume de água infiltrada, correspondente a  $650 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano, de maneira a afetar ao mínimo o escoamento básico.

Estima-se que, no estado de São Paulo, as retiradas sustentáveis dos mananciais subterrâneos livres ou freáticos sejam da ordem de  $108 \cdot 10^9$  m<sup>3</sup>/ano, e que as reservas exploráveis do aquífero Guarani confinado sejam de cerca de  $5 \cdot 10^9$  m<sup>3</sup>/ano (DAEE/IGC, 2005). Por outro lado, devido à falta de dados confiáveis, uma vez que somente 26% dos poços de água subterrânea no estado estão outorgados, estima-se que o volume extraído de água seja de  $1,3 \cdot 10^9$  m<sup>3</sup>/ano e que deste,  $0,7 \cdot 10^9$  m<sup>3</sup>/ano seja destinado ao abastecimento público.

Em uma área mais localizada no município de Ribeirão Preto, DAERP (sem data) realizou estudos de balanço hídrico em área de 651 km<sup>2</sup> e definiu os seguintes parâmetros: i) infiltração anual correspondente a 298,26 mm e precipitação média anual de 1.469,3 mm/ano; ii) taxa de recarga profunda média anual de 69 mm, correspondente a 4,7% da precipitação média anual;

iii) reserva permanente de  $32.550 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>, considerando espessura média de 250 metros e porosidade efetiva de 20%; iv) recarga anual de  $7.168.127$  m<sup>3</sup>; v) reserva explorável de  $10.761 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>, vi) volume anual de abastecimento de  $95,7 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>; vii) vida útil da reserva explorável de 112 anos. A simulação do rebaixamento do nível piezométrico por períodos de tempo de 9 meses, 4 anos, 10 anos, 16 anos e 20 anos exibiu diminuição para as cotas, na região central da cidade, respectivamente de 460, 455, 455 e 440 metros.

Rebouças (1976) calculou para uma área de 818.000 km<sup>2</sup>, no território brasileiro, armazenamento de  $48.021.000 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>, reserva ativa de  $160.000 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>, recarga média de 200 mm/ano e reserva explorável de  $50.000 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>, durante 20 anos por meio de 8000 poços, com rebaixamento do nível de água de 50 metros no aquífero aflorante e de 100 metros, no confinado.



### 3. REDES DE MONITORAMENTO PROJETADAS E EXISTENTES

Com base na vulnerabilidade natural de cada aquífero, no risco potencial de contaminação pelas atividades antrópicas e na intensidade na utilização das águas (Tabela 04 e Figura 6) foram definidas por SUDERHSA (2009 e 2010), no estado do Paraná, as áreas de gestão prioritárias ao monitoramento (Figura 7), com montagem de uma rede estratégica de densidade média de um

poço/300 km<sup>2</sup> (Tabela 05). No total serão 252 poços de monitoramento acrescidos de mais 10 para avaliação de eventuais conflitos de uso e ocupação do solo que possam existir na Região Metropolitana de Curitiba, assentada nas áreas estratégicas IGA.02, IGA.03, IGA.04, IGA.07, RB.02 e RB.04. A distribuição dos poços de monitoramento está discriminada em cada unidade de gestão na figura 7.

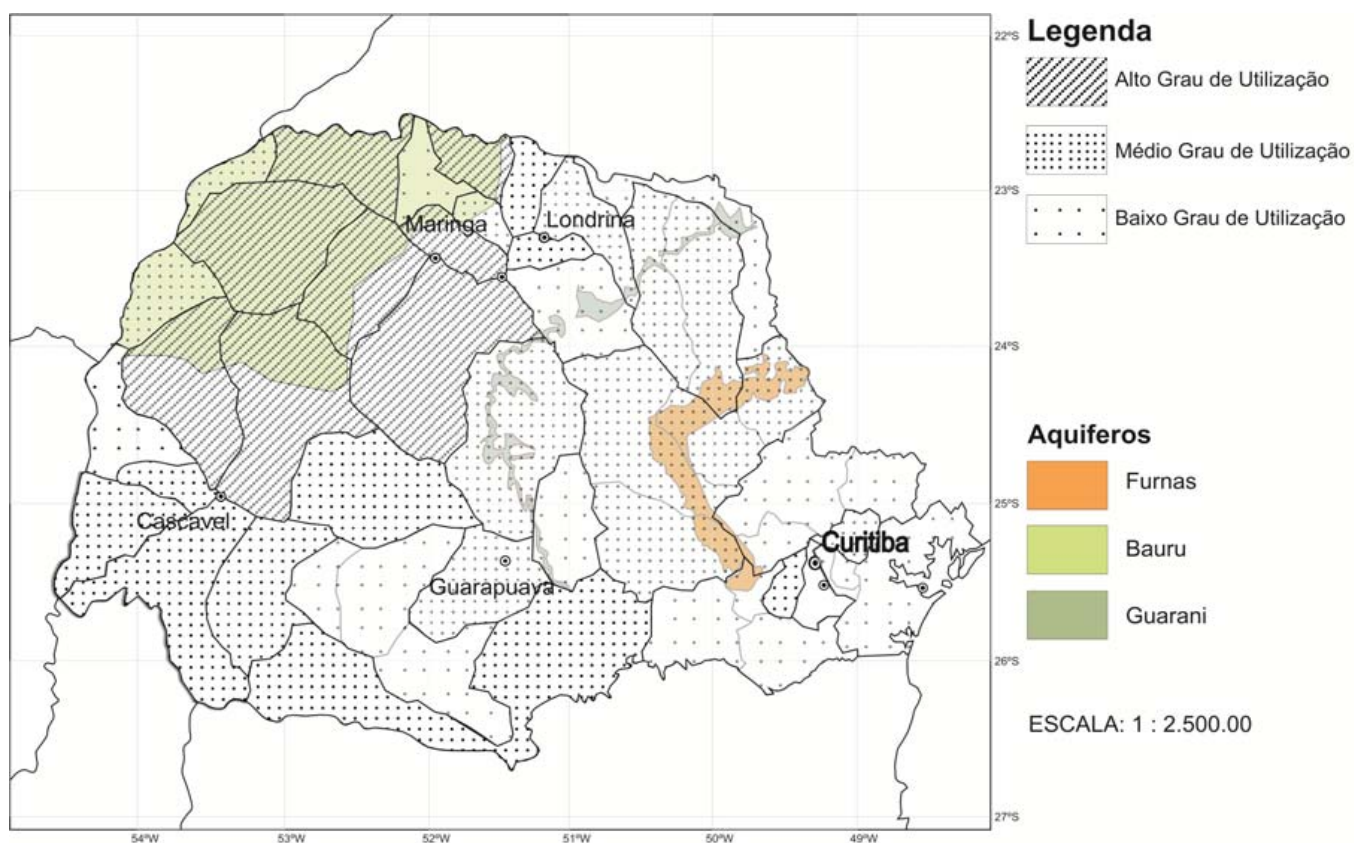


Figura 6. Grau de utilização das águas subterrâneas no Paraná  
 Fonte: SUDERHSA (2009)



Tabela 4. Intensidade de uso das águas subterrâneas no estado do Paraná

BACIA HIDROGRÁFICA	UNID. GESTÃO	POÇOS ABASTECIMENTO PÚBLICO				CAPTAÇÃO INDUSTRIAL  >500 m <sup>3</sup> /H	CAPTAÇÃO IRRIGAÇÃO  >30 m <sup>3</sup> /H	DESSEDENTAÇÃO ANIMAL
		QUANTIDADE		VAZÃO OUTORGADA (m <sup>3</sup> /h)				
		>100	>40<100	>3000	>1000 <3000			
Ivaí	IVA3	X		X		X	X	X
Ivaí	IVB1	X			X	X	X	X
Ivaí	IVB2	X			X	X	X	X
Paranapanema3	PN3.02		X		X	X		X
Paranapanema4	PN4.01		X		X	X	X	X
Paraná3	Pr3.01	X		X		X		X
Piqueri	PQ2	X			X	X	X	X
Piqueri	PQ3	X			X	X	X	X
Pirapó	PI1		X		X	X	X	X
Cinzas	CZ1		X		X			X
Cinzas	CZ2				X	X		
Iguaçu	IGA3		X	X		X		
Iguaçu	IGA4					X		X
Iguaçu	IGM1		X			X		X
Iguaçu	IGM2					X		X
Iguaçu	IGB2		X			X		X
Iguaçu	IGB4		X					X
Iguaçu	IGB5	X			X			X
Itararé	IT1					X		X
Ivaí	IVA2		X		X			X
Paraná1	PR1.01						X	X
Paraná2	PR2..01		X		X			X
Paraná3	Pr3.2				X	X		X
Paraná3	Pr3.3	X						X
Piquiri	PQ01		X					X
Pirapó	PI2					X		X
Ribeira	RB3		X	X				X
Tibagi	TIA1		X			X		X
Tibagi	TIA2					X	X	X
Tibagi	TIA3					X		X
Tibagi	TIB2				X			X
Tibagi	TIB3		X		X			X
Iguaçu	IGA1							X
Iguaçu	IGA.2							
Iguaçu	IGA5							X
Iguaçu	IGA6		X					
Iguaçu	IGA7							X
Iguaçu	IGM3							
Iguaçu	IGB1							
Iguaçu	IGB3							
Itararé	IT2							
Ivaí	IVA1							
Litorânea	BL1					X		
Paranapanema1	PN1.01							X
Paranapanema2	PN2.01							
Paranapanema3	PN3.01							X
Pirapó	PI3							X
Ribeira	RB1				X			
Ribeira	RB2							
Ribeira	RB4							
Tibagi	TIB1				X			

	Alto		Médio		Baixo
--	------	--	-------	--	-------

Fonte: SUDERHSA (2009 e 2010)

Tabela 5. Unidades de gestão com número de poços propostos para o monitoramento do Paraná

BACIA HIDROGRÁFICA	ÁREA ESTRATÉGICA DE GESTÃO	SUPERFÍCIE (Km <sup>2</sup> )	Nº DE POÇOS PROPOSTOS (ORIGINAL)	ACRÉSCIMO DE POÇOS (ÁREA ESTRATÉGICA/Nº POÇOS)
Iguaçu	IGA 2	341,10	1	IGA04/1, IGA07/1, IGM01/2, IGM02/2, IGB01/1, IGB02/2,
Iguaçu	IGA3	1217,78	4	
Iguaçu	IGB5	5872,00	20	
Ivaí	IVA3	10452,47	35	IVA01/1 e IVA02/2
Ivaí	IVB2	5329,58	18	
Ivaí	IVB1	8169,25	27	
Paranapanema3	PN3.02	1966,48	7	
Paranapanema4	PN4.01	4168,58	14	
Parana3	PR3.01	3238,68	11	
Parana3	PR3.03	4078,69	14	
Piquiri	PQ02	9679,89	32	
Piquiri	PQ03	6810,00	23	
Pirapó	PI01	2204,99	7	
Tibagi	TIB02	1157,18	4	
Tibagi	TIB03	3108,31	10	
Ribeira				RB2/2 e RB4/1
Tibagi				TIA01/2 e TIB01/2
Itararé	IT01			1
Cinzas				CZ01/1 e CZ02/1
Litorânea	BL01			7
<b>TOTAL</b>			<b>227</b>	<b>25</b>

Fonte: SUDERHSA (2009)

De acordo com CETESB (1997), no estado de São Paulo eram monitorados em termos qualitativos, cerca de 90 poços implantados em função da vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação. Esta rede, atualmente, é composta por 170 poços e nascentes distribuídos em uma malha regular (CETESB, 2012). A seleção dos poços teve por base o aspecto construtivo e a exploração restrita a um único aquífero. A rede de monitoramento do nível de água encontra-se em

fase inicial de implantação e será operada pela CETESB e pelo CTH/DAEE, com recursos do FEHIDRO. Deverá ser constituída de poços rasos especialmente destinados ao monitoramento do nível d'água e da qualidade.

Para o estado de Mato Grosso do Sul, SANESUL (2008) tece considerações sobre a produção de cada poço, quando monitorado, mas sem a preocupação com a profundidade dos níveis de água.

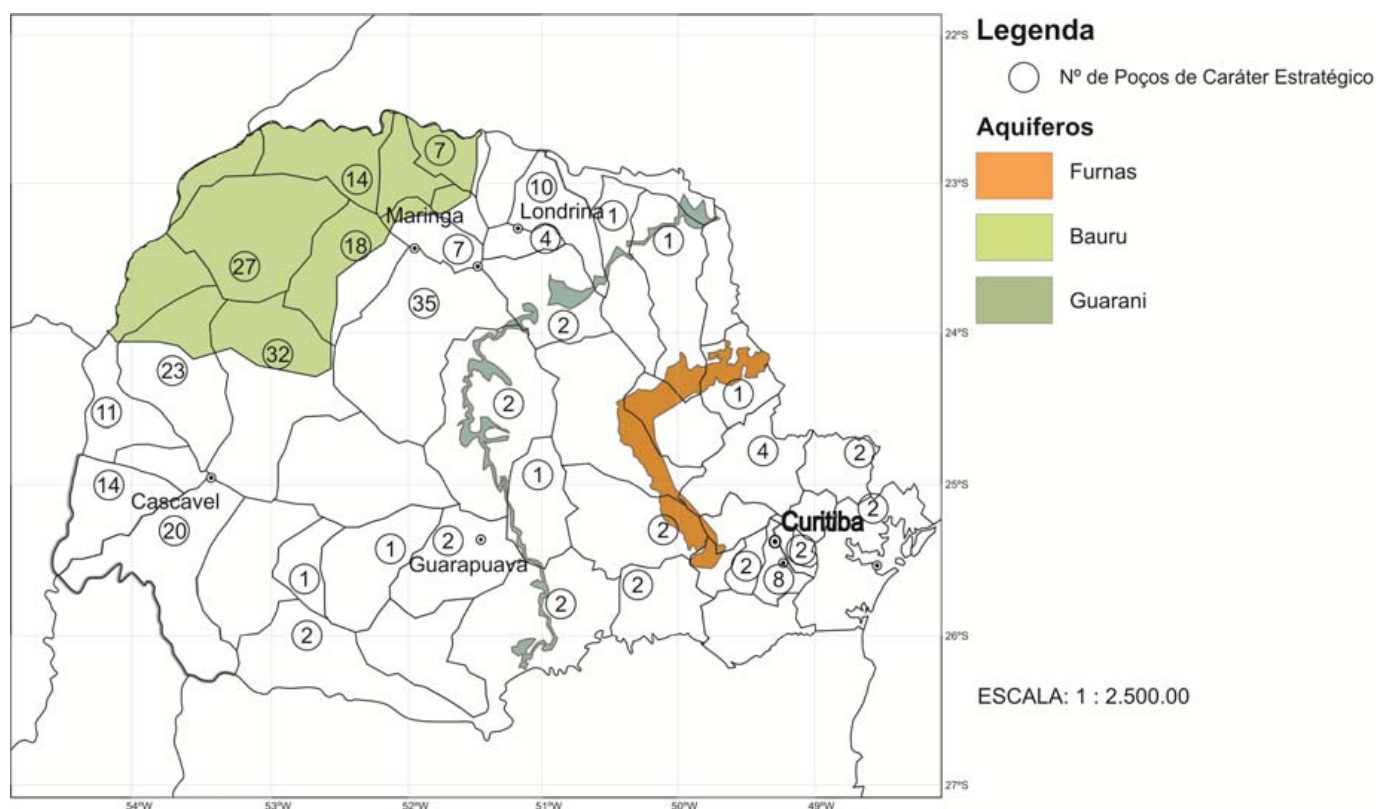


Figura 7. Rede estratégica para o estado do Paraná: Áreas prioritárias e número de poços de monitoramento  
Fonte: SUDERHSA (2009)

### **3.1. Substâncias analisadas nas redes de monitoramento existentes**

O sistema aquífero Guarani será monitorado nas áreas estratégicas de gestão do estado do Paraná CZ01, CZ02, IGM01, IGM02, IGB01, IGB02, IGB03, IGB05, IVA01, IVA02, IVA03, IVB01, IVB02, PR3.01, PR3.03, PQ02, PQ03, PI01, TIB01, TIB02 e TIB03. Os parâmetros a serem determinados são os seguintes (SUDERHSA, 2009):

a) Parâmetros de campo: pH, condutividade elétrica, nível d'água, temperatura da água, vazão, tempo de bombeamento e coordenadas geográficas;

b) Íons maiores e indicadores: Ca, Mg, Na, K, SO<sub>4</sub>, Cl, alcalinidade, fluoreto e dureza total;

c) Nutrientes: nitrato, nitrito, amônia, nitrogênio Kjeldhal e fósforo;

d) Indicadores microbiológicos: coliformes totais e *estericha colli*;

e) elementos traço: ferro (filtrado e não filtrado), manganês (filtrado e não filtrado), Al, Sb, As, Ba, Bo, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg e Se;

f) Compostos orgânicos voláteis: benzeno, etilbenzeno, tolueno, xileno, tetracloroetileno, tricloroetileno, 1,2 dicloroetano, cloreto de vinila e clorofórmico;

g) Pesticidas: alaclor, eldrin e dieldrin, atrazina, bentazona, clordano, 2,4 D, DDT(Isômeros), endossulfan, eldrin, glifosato, heptacloro, hexaclorobenzeno, lindano (gBHC), metolacloro, metoxicloro, molinato, pendimetalina, pentaclorofenol, permetrina, propanil, simazina e trifuralina;

Na rede de monitoramento do estado de São Paulo são analisados (CETESB, 1996): cloretos, magnésio, cálcio, dureza total, dureza de Ca, dureza de Mg, nitrato, potássio, sódio, sólidos totais dissolvidos, resíduo seco a 180 oC, condutividade elétrica, carbono orgânico dissolvido, contagem de bactérias, coliforme total, alcalinidade ao bicarbonato, alcalinidade ao carbonato, alcalinidade ao hidróxido, alumínio, arsênio, bário, cádmio, cromo, fluoreto, ferro total, manganês, mercúrio, amônio, nitrogênio total, sulfato, temperatura, nitrito e oxigênio consumido.

### **3.2. A Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas - RIMAS**

O projeto RIMAS prevê a realização de perfurações de poços para o monitoramento do sistema aquífero Guarani nos estados do Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul.

Para suporte à interpretação da variação do nível d'água serão utilizados dados pluviométricos. Os três estados contam com uma rede densa de estações cujos dados foram consistidos pela Superintendência Regional de São Paulo e mostram séries históricas de longa duração com dados confiáveis dentro da área aflorante do SAG. O número de estações pluviométricas no domínio do aquífero, nos estados do Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo são respectivamente de 3, 4 e 13 (Figura 8).

#### **3.2.1. Poços de Monitoramento Implantados na Rede RIMAS**

Até o momento (agosto/2012) foram perfurados e instalados 11 piezômetros no sistema aquífero Guarani nos estados de São Paulo, do Paraná e de Mato Grosso do Sul. As principais características dos poços de monitoramento implantados encontram-se apresentadas na tabela 6.

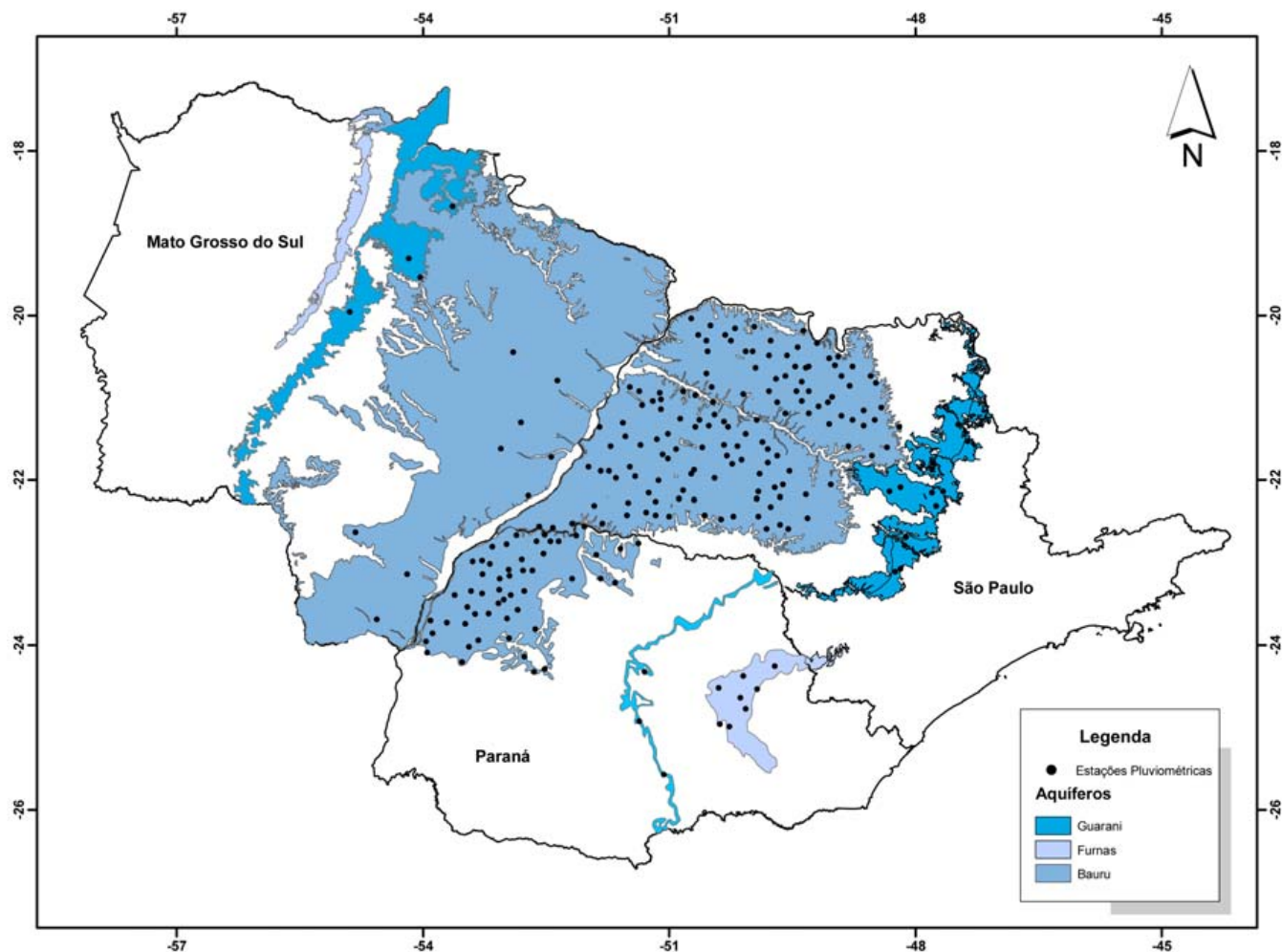


Figura 8 . Localização das estações pluviométricas existentes na área de domínio dos aquíferos Guarani, Furnas e Bauru

Tabela 6. Principais características dos poços de monitoramento implantados no sistema aquífero Guarani

MUNICÍPIO	LOCALIDADE	LAT	LONG	ESTADO	PROPRIETÁRIO	NE	PROFUNDIDADE	VAZÃO
Nioaque	Armazém da CONAB	-21.160	-55.820	MS	CPRM	6.83	50	7.03
Camapuã	BR 060 Antigo Terreno Frigorífico	-19.638	-54.082	MS	CPRM	36.9	62	4.7
Rochedo	E.M Rural Desativada	-19.988	-54.788	MS	CPRM	34.44	66	5.09
São Simão	Estação Exp. de Bento Quirino	-21.453	-47.589	SP	CPRM	8.34	46	11.5
São Gabriel do Oeste	Fazenda São João	-19.407	-54.691	MS	CPRM	1.51	60	8.9
União da Vitória	Pq. De Exp. Jayme Ernesto Bertaso	-26.198	-51.095	PR	CPRM	4,6	16.85	
São Gabriel do Oeste	SAAE Areado	-19.255	-54.327	MS	CPRM	23.44	68	8.4
Bofete	Sítio Dona Maria	-23.079	-48.254	SP	CPRM	18.33	60	4.8
Boa Esperança do Sul	Sítio Sobradinho	-21.970	-48.393	SP	CPRM		16.4	6.5
Brotas	Sítio Sr. Dirceu Mauro Sgorlan	-22.309	-48.107	SP	CPRM	20.16	33	1.38
Jacarezinho	Sítio Sr. Milton	-23.006	-49.915	PR	CPRM	10.79	60	8.74



## **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os princípios básicos para um estudo hidrogeológico no tocante ao planejamento e à gestão da água são o correto dimensionamento de oferta e a demanda dos recursos hídricos. Porém, na hidrogeologia nem sempre é fácil definir o dimensionamento da oferta, ou seja, o cálculo de reservas e disponibilidades, pois envolvem aspectos geológicos e o uso e ocupação do solo, que quase sempre resulta em interferência antrópica sobre a quantidade (e também qualidade) das águas armazenadas em sub-superfície.

O monitoramento dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos é fundamental para definir qualquer situação no planejamento e gestão das águas.

Para a implantação de monitoramento de águas subterrâneas é necessário que haja uma estrutura de caracterização hidrogeológica a partir da integração, análise e interpretação dos dados existentes e ampla pesquisa bibliográfica.



## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.R.; MELO, M.S. & BISTRICHI, C.A. 1981. *Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000. V. I - Nota explicativa*. IPT -DMGA, 126p. (Monografia 6)
- ARAÚJO L. M., FRANÇA A. B., POTTER P. E. *Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai*: Mapa Hidrogeológico das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. Curitiba: UFPR e PETROBRAS. 1995. 16p. Il.
- CAMPOS, H.C.N.S. 1993. *Caracterização e cartografia das províncias hidrogeoquímicas do Estado de São Paulo*. 1993. 177 f. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo. São Paulo. 1993.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB *Águas Subterrâneas. Pontos da Rede de Monitoramento de Qualidade*. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/Programa-de-Monitoramento/7-Pontos-de-Rede-de-Monitoramento-de-Qualidade>>. Acesso em: 10 jun. 2012.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB- *Relatório de Qualidade de Águas Subterrâneas*. São Paulo: CETESB, 1996. 95p. il. (Série Relatórios).
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. *Uso das Águas Subterrâneas para Abastecimento Público no Estado de São Paulo*. São Paulo: CETESB, 1997. 1v.,48p.,il.
- CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. *Plano Estadual de Recursos Hídricos:2.004/2007*. São Paulo: DAEE, 2006. 92p. il.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTOS – DAEE. *Relatório Técnico de Gestão da Qualidade de águas subterrâneas*. Resultado. Ribeirão Preto. sem data. 2 vol. il.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). *Estudo de águas subterrâneas, região administrativa 6*: Ribeirão Preto / São Paulo, São Paulo: DAEE. 1974. 4v.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). *Estudo de águas subterrâneas, região administrativa 7,8 e 9*: Bauru, São José do Rio Preto e Marília / São Paulo, São Paulo: DAEE. 1976. 2v.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). *Estudo de águas subterrâneas, região administrativa 10 e 11*/ São Paulo, São Paulo: DAEE. 1979. 2v.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). *Estudos de Águas Subterrâneas- Região Administrativa 5*. Campinas/SP.2. São Paulo: DAEE. 1981. v.1.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA- DAEE, INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO - IGC –. *Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo -UGRHI*. São Paulo: DAEE/IGC, 2005.1 mapa.
- EMPRESA DE SANEAMENTO DE MATO GROSSO DO SUL S/A- SANESUL 2008- *Relatório de Hidrogeologia do Estado de Mato Grosso do Sul*. Campo Grande: Tahal Consulting Enginneers Ltd. 2008. 5 v. il.
- INSTITUTO GEOLÓGICO. *Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição de águas subterrâneas no Estado de São Paulo*. São Paulo: Instituto Geológico,CETESB, DAEE.1997.v.1, 144p. v.2. mapas.
- REBOUÇAS, A.C. *Recursos hídricos subterrâneos da Bacia do Paraná: análise de pré-viabilidade*. 1976. Tese (Livre docência). Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo. São Paulo. 1976.
- SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE, DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. *Plano Estadual de Recursos Hídricos*. Campo Grande: SEMAC, 2010.189p. il.
- SILVA, R. B. G. *Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do aquífero Botucatu no estado de São Paulo*. 1983. 133p. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo. São Paulo.1983.
- SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL – SUDERHSA. *Plano Estadual de Recursos Hídricos*. Avaliação e Proposição da Rede de Monitoramento Hidrometeorológica e de Qualidade da Água: volume II, águas subterrâneas. Curitiba: SUDERHSA, Parte C, Revisão 5. 2009.
- SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL – SUDERHSA. *Plano Estadual de Recursos Hídricos*. Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas Subterrâneas. Curitiba: SUDERHSA. Revisão Final. 2010. 48p. il.



[www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br)

**PAC** PROGRAMA DE  
ACELERAÇÃO DO  
CRESCIMENTO

 **CPRM**  
Serviço Geológico do Brasil

Secretaria de  
**Geologia, Mineração e  
Transformação Mineral**

Ministério de  
**Minas e Energia**

GOVERNO FEDERAL  
**BRASIL**  
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA