



**ELABORAÇÃO DO
PLANO DE MONITORAMENTO
QUALI-QUANTITATIVO DAS
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
DAS BACIAS PCJ.**

PRODUTO 04

TOMO I (RESUMO DE RESULTADOS)

Dezembro de 2019

Realização:



APRESENTAÇÃO

Este documento consiste no Tomo I do Plano de Implementação da Rede de Monitoramento, da Empresa Profill Engenharia e Ambiente SA para a execução técnica da ELABORAÇÃO DO PLANO MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DAS BACIAS PCJ, objeto do Contrato 047/2018.

O documento tem por base os Termos de Referência do Processo Licitatório, as informações levantadas ao longo do desenvolvimento do estudo, e demais discussões técnicas desenvolvidas em reuniões do Grupo Técnico de Acompanhamento.

Dezembro de 2019

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS.....	7
3. OBJETIVOS DA REDE DE MONITORAMENTO	11
4. A ÁGUA SUBTERRÂNEA NAS BACIAS PCJ.....	13
5. SISTEMAS AQUÍFEROS DAS BACIAS PCJ.....	17
5.1. Sistema Aquífero Cristalino.....	19
5.2. Sistema Aquífero Tubarão	20
5.3. Aquitardo Passa Dois.....	21
5.4. Sistema Aquífero Guarani.....	21
5.5. Sistema Aquífero Serra Geral	22
5.6. Sistema Aquífero Itaqueri.....	23
5.7. Sistema Aquífero Coberturas Indiferenciadas	23
6. POTENCIALIDADES DOS SISTEMAS AQUÍFEROS DAS BACIAS PCJ	24
7. POTENCIOMETRIA DOS AQUÍFEROS SUPERFICIAIS DAS BACIAS PCJ	27
8. MAPA HIDROGEOLÓGICO DAS BACIAS PCJ	29
9. VULNERABILIDADE NATURAL DOS AQUÍFEROS LIVRES	31
10. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL.....	36
11. ÁREAS DECLARADAS CONTAMINADAS	41
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA – Agência Nacional de Águas
ART – Anotação de Responsabilidade Técnica
ATLAS RM – Atlas das Regiões Metropolitanas – Abastecimento Urbano de Água
BACIAS PCJ – Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá
CEPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNARH – Cadastro Nacional dos Usuários de Recursos Hídricos
CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COMITÊS PCJ – Comitês das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRM – Serviço Geológico Nacional
CSV – *Comma-separated values*
CT – Câmara Técnica
CT-AS – Câmara Técnica de Águas Subterrâneas dos Comitês PCJ
CTH/DAEE – Centro Tecnológico de Hidráulica do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do Governo do Estado de São Paulo
DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral
FEHIDRO – Fundo Estadual de Recursos Hídricos Paulista
GPS – *Global Positioning System*
GTA – Grupo Técnico de Acompanhamento
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IG – Instituto Geológico
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia IQR - Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO – *International Organization for Standardization*
JPEG – *Joint Photographic Experts Group*
MHC – Modelo Hidrogeológico Conceitual
N-NW – Norte-noroeste
NA – Nível de Água
NBR – Norma Brasileira
ND – Nível Dinâmico
NE – Nível Estático
PCJ – Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá
PDC – Programa de Duração Continuada
PDF – *Portable Document Format*
PNG – *Portable Network Graphics*
PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos
Q – Vazão
Qs – Capacidade específica
SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SAG – Sistema Aquífero Guarani
SIBH-DAEE – Sistema Integrado de Bacias Hidrográficas DAEE
SIG – Sistema de Informação Geográfica
SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SP – Estado de São Paulo

Realização:



SSD-PCJ – Sistema de Suporte a Decisão para Análise Quantitativa e Qualitativa de Corpos d'Água das Bacias PCJ

STD – Sólidos Totais Dissolvidos

TDR – Termo de Referência

UGRHI – Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SP)

UGRHI 05 – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá

UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

UTM – *Universal Transversa de Mercator*

USP – Universidade de São Paulo

1. INTRODUÇÃO

O projeto “**PLANO DE MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DAS BACIAS PCJ**” foi elaborado pela Profill - Engenharia e Ambiente Ltda., no âmbito do Contrato 047/2018, firmado com a Fundação Agência das Bacias PCJ, tendo em vista a necessidade de implementação de um plano de controle da extração e da qualidade das águas subterrâneas dos aquíferos das Bacias PCJ.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, preconiza em seus fundamentos que “a água é um bem de domínio público e um recurso natural limitado, dotado de valor econômico”, e determina no Artigo 2º que “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”, constitui um dos objetivos dessa política. Promover estudos necessários para a gestão dos recursos hídricos em sua área de atuação é uma das competências da Agência PCJ, conforme determinado no inciso IX do Artigo 44º da Lei 9.433. O monitoramento da quantidade e qualidade das águas subterrâneas, por sua vez, é uma atividade contemplada no Artigo 4º da Resolução nº 22/2002, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, que estabelece diretrizes complementares para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH.

Em razão da intensificação do uso das águas subterrâneas e de potenciais conflitos que poderiam se estabelecer entre usuários, e considerando que o conhecimento hidrogeológico atual ainda é insuficiente para a gestão efetiva dos recursos hídricos subterrâneos no âmbito das Bacias PCJ, a Agência PCJ justificou a elaboração do plano de monitoramento como um documento de grande importância que reunirá informações qualitativas e quantitativas que permitirão avaliar os impactos das atividades antrópicas nos sistemas aquíferos, bem como a aplicação de medidas de proteção e conservação dos recursos hídricos subterrâneos.

As atividades realizadas para desenvolvimento e conclusão do projeto, apresentadas sob a forma de relatórios parciais e documentos anexos, foram avaliadas e aprovadas pelo Grupo Técnico de Acompanhamento (GTA) designado pela Agência PCJ.

Este relatório resume os principais resultados obtidos na consolidação do levantamento e análise de dados que permitiram subsidiar a proposição da rede de monitoramento das águas subterrâneas das Bacias PCJ.

2. DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS

Os estudos realizados para elaboração do Plano de Monitoramento Quali-quantitativo das Águas Subterrâneas das Bacias PCJ foram apresentados em três relatórios parciais e um final, conforme discriminados a seguir.

O Relatório Parcial 1 compreendeu o Plano de Trabalho, contendo a apresentação e descrição das atividades a serem realizadas, objetivos, caracterização, metodologia de execução, produtos esperados, equipe técnica envolvida, cronograma e fluxograma de atividades.

O Relatório Parcial 2 compreendeu o Diagnóstico Hidrogeológico das Bacias PCJ. Neste relatório foram descritas as atividades de:

- Levantamento de dados técnicos de poços perfurados nas Bacias PCJ cadastrados no banco SIDAS – Sistema de Informação de Águas Subterrâneas do DAEE; no banco de outorgas do DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo); e no banco SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas do Serviço Geológico do Brasil (CPRM).
- Elaboração da estrutura do Banco de Dados em formato “gdb”, de modo a armazenar tanto os atributos descritivos como as geometrias dos diferentes tipos de dados geográficos, e possibilitar a realização de consultas.
- Síntese do arcabouço geológico das Bacias PCJ com base recorte do mapa geológico do Estado de São Paulo na escala de 1:750.000, derivado do Projeto Carta do Brasil ao Milionésimo – Sistema de Informações Geográficas (SIG), com incorporação de informações atualizadas no projeto, elaborado pela CPRM. Foram caracterizadas as unidades geológicas e simplificadas as nomenclaturas de modo a atender os objetivos do estudo.
- Caracterização hidrogeológica com identificação e descrição dos principais sistemas aquíferos e aquíferos confinados das Bacias PCJ, compreendendo a distribuição em área, características hidrodinâmicas, natureza livre a confinada, continuidade, heterogeneidade, anisotropia e vazões de extração. Os sistemas aquíferos foram distinguidos com base nas unidades litoestratigráficas reconhecidas nas Bacias PCJ

por CPRM (2005; 2007) e em nomes consagrados, casos dos sistemas aquíferos Guarani e Tubarão, e do Aquitardo Passa Dois.

- Determinação das potencialidades dos sistemas aquíferos a partir da análise dos dados de vazões e capacidades específicas de poços cadastrados no banco de dados do projeto “Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo: Diretrizes de Utilização e Proteção (DAEE/UNESP, 2013).
- Determinação da potenciometria dos aquíferos rasos pelo método da interpolação de cargas hidráulicas definidas no terreno, recomendado para áreas de grandes dimensões, geologicamente complexas e com variações topográficas expressivas.
- Elaboração do mapa hidrogeológico das Bacias PCJ conforme a Convenção Internacional para Mapas Hidrogeológicos (STRUCKMEIR & MARGAT, 1995). Foram representados os sistemas hidrogeológicos com distinção entre arcabouço de porosidade granular e porosidade fissural, potencialidades e potenciometria dos aquíferos livres aflorantes.
- Elaboração do mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos livres das Bacias PCJ pelo método GOD (FOSTER *et al.*, 2006), que leva em consideração parâmetros como ocorrência de água subterrânea (*Groundwater occurrence*), classificação do aquífero (*Overall aquifer class*) e profundidade do topo do aquífero (*Depth to groundwater table*).
- Definição dos modelos hidrogeológicos conceituais dos aquíferos das Bacias PCJ com descrição do comportamento do fluxo subterrâneo nas porções superficiais (livres) e profundas (confinadas), considerando a geometria dos reservatórios, presença de aquitardos, conexões hidráulicas com corpos de água superficiais, zonas de recarga e descarga, características hidrodinâmicas etc.
- Avaliação dos usos das águas subterrâneas nas Bacias PCJ com base em duas fontes de informação: (a) cadastro da Cobrança Paulista, fornecido pela Agência PCJ, ano base 2018; e (b) banco de dados de poços outorgados do DAEE, disponível no *site* do DAEE (<http://www.aplicacoes.dae.sp.gov.br/usuarios/fchweb.html>).

- Estimativa da projeção do crescimento populacional e de demandas atuais e futuras de água subterrânea das Bacias PCJ, com base no relatório de atualização do Plano das Bacias PCJ (PROFILL-RHAMA, 2018).
- Estudos climáticos da área das Bacias PCJ. Para a caracterização do regime de precipitações pluviométricas foram utilizados dados do Plano de Bacia revisado (PROFILL/RHAMA, 2018) e de estações de monitoramento do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE, 2019). O comportamento da temperatura foi baseado em dados de estações inseridas na bacia e nas proximidades, obtidos do banco de dados do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (AGRITEMPO, 2019).
- Caracterização hidrológica com base na Revisão do Plano das Bacias PCJ (PROFILL/RHAMA, 2018), no qual as áreas de contribuição das Bacias PCJ foram obtidas a partir do agrupamento das Áreas de Contribuição Ottocodificadas, elaboradas pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2013). O método utilizado para cálculo das disponibilidades hídricas superficiais foi o da regionalização de vazões com base em séries de dados com duração de 30 anos, anteriores a 1975.
- Avaliação de áreas declaradas contaminadas com base na “Relação das Áreas Contaminadas e Reabilitadas do Estado de São Paulo”, disponíveis de 2002 a 2017, e no “Relatório da Situação dos Recursos Hídricos” para a UGRHI 5, elaborado anualmente pelo Comitê de Bacias PCJ, usando como base os parâmetros indicados na Deliberação CRH n° 146/2012.

O Relatório Parcial 3 apresentou os subsídios técnicos que embasaram a proposta da rede de monitoramento das águas subterrâneas, bem como as diretrizes para disponibilização de dados a partir da interligação com a Sala de Situação PCJ. As atividades compreendidas neste relatório foram:

- Configuração e proposição da rede de monitoramento com base nas características dos aquíferos a serem monitorados e nos critérios para definição da rede, que incluíram análise de dados cadastrais de poços, delimitação de áreas com base na intensidade de exploração das águas subterrâneas e estresse hídrico, localização das estações hidrometeorológicas, localização da rede de monitoramento quali-quantitativa existente e nas áreas declaradas contaminadas pela CETESB. Nesta

etapa foram selecionados poços existentes, em operação ou desativados, e propostos novos locais para perfuração de poços rasos e profundos, para monitoramento dos aquíferos livres e confinados.

- Priorização da implementação dos poços na rede das Bacias PCJ com utilização combinada dos critérios de saldo hídrico (diferença entre os volumes de água subterrânea disponíveis para uso e os volumes extraídos por poços), uso e ocupação do terreno (considerando o potencial de contaminação associado) e a vulnerabilidade natural dos reservatórios subterrâneos (face à susceptibilidade de contaminação). As informações espacializadas referentes a cada critério foram reclassificadas e ponderadas em função de sua relevância.
- Estabelecimento do Plano de Monitoramento Quali-quantitativo com definição do propósito do monitoramento, seleção dos pontos de amostragem quali-qualitativa, definição de parâmetros a serem mensurados e estabelecimento da frequência de amostragem.
- Descrição dos procedimentos para consistência e divulgação dos dados do monitoramento. Esses dados serão visualizados na Sala de Situação do PCJ por meio de um sistema WEB. O sistema deverá possuir um gerenciador de conteúdo do tipo CMS (*Content Management System*) e um portal para divulgação de conteúdo do tipo Portal Web. O Portal Web permitirá a visualização dos dados armazenados no banco de dados e a geração de informação útil para usuários. As informações serão disponibilizadas em forma de gráficos, tabelas e relatórios analíticos.

O Relatório Final (Relatório 4) foi subdividido em três tomos. O Tomo I apresenta uma compilação dos resultados obtidos nos relatórios anteriores que subsidiaram a seleção dos pontos de monitoramento. O Tomo II apresenta o cronograma de implantação da rede conforme priorização definida e os custos estimados para implantação da estrutura física e dos poços de monitoramento, incluindo perfuração, instrumentação, manutenção e operação da rede. E o Tomo III apresenta os Termos de Referência para contratação de empresa que irá executar o plano de implantação da rede de monitoramento quali-quantitativa das águas subterrâneas das Bacias PCJ.

3. OBJETIVOS DA REDE DE MONITORAMENTO

Os objetivos principais da rede de monitoramento de água subterrânea das Bacias PCJ são promover a ampliação do conhecimento hidrogeológico, sobretudo dos aquíferos Tubarão e Cristalino, e auxiliar na aplicação de medidas de proteção e conservação dos recursos hídricos subterrâneos. A integração com a rede hidrometeorológica irá auxiliar na gestão conjunta com os recursos hídricos superficiais e subterrâneos da bacia.

São objetivos específicos da rede integrada de monitoramento quali-quantitativa das águas subterrâneas das Bacias PCJ:

- Contribuir para o maior entendimento da dinâmica dos aquíferos frente à sua exploração e ao uso e ocupação do solo;
- Avaliar a distribuição espacial da qualidade natural da água e/ou relacionada à presença de contaminantes;
- Identificar o início da contaminação e/ou a extensão de eventuais danos ou plumas de contaminação;
- Fazer prognósticos sobre a chegada de águas contaminadas a fontes importantes de abastecimento;
- Diagnosticar e controlar a qualidade das águas subterrâneas para a classificação e enquadramento conforme usos preponderantes;
- Fornecer subsídios para orientar a responsabilidade legal dos incidentes de contaminação;
- Avaliar a interferência entre poços;
- Avaliar o rebaixamento dos níveis de água estáticos (NE) e dinâmicos (ND);
- Compor uma série histórica para avaliar a evolução temporal do NE;
- Avaliar os níveis piezométricos regionais e as flutuações de níveis locais;
- Estabelecer condições de exploração sustentáveis.

Realização:



De acordo com a Agência PCJ, para consecução dos objetivos acima referidos, a implementação da rede permitirá:

- Calcular o balanço hídrico integrado, superficial e subterrâneo, de forma consistente;
- Estimar a recarga e as reservas renováveis dos aquíferos rasos;
- Estimar os tempos de residência e as taxas de recarga das águas subterrâneas a partir da integração dos registros de variações dos níveis d'água e de vazões superficiais;
- Determinar as relações entre águas subterrâneas e superficiais, e de que maneira elas podem afetar a disponibilidade dos recursos hídricos.

4. A ÁGUA SUBTERRÂNEA NAS BACIAS PCJ

As Bacias PCJ abrangem território de 15.378 km², subdividido em 7 sub-bacias principais (Tabela 4.1), assim ordenadas de acordo com sua representatividade em área: Piracicaba (3.776 km²), Jaguari (3.304 km²), Atibaia (2.816 km²), Corumbataí (1.719 km²), Capivari (1.568 km²), Jundiá (1.155 km²) e Camanducaia (1.040 km²).

Tabela 4.1 – Áreas das sub-bacias PCJ

Áreas das sub-bacias PCJ			
Nome Bacia	Nome sub-bacia	Sigla sub-bacia	Área (km ²)
Piracicaba	Camanducaia	CMDC	1.040
Jundiá	Jundiá	JUNA	1.155
Capivari	Capivari	CPIV	1.568
Piracicaba	Corumbataí	CRUM	1.719
Piracicaba	Atibaia	ATIB	2.816
Piracicaba	Jaguari	JAGR	3.304
Piracicaba	Piracicaba	PCBA	3.776

A maior parte do território das Bacias PCJ (92,5%) encontra-se no Estado de São Paulo (14.217 km²) e uma pequena parte (7,5%) no Estado de Minas Gerais (1.161 km²). Inseridos total ou parcialmente nessa bacia encontram-se 71 municípios paulistas e 5 municípios mineiros, cuja população total alcançava quase pouco mais de 5 milhões de pessoas, segundo o Censo IBGE 2010. A maior concentração populacional encontra-se na sub-bacia Piracicaba, com 1.685.575 habitantes, correspondendo a 33,1% da população total das Bacias PCJ (Figura 4.1).

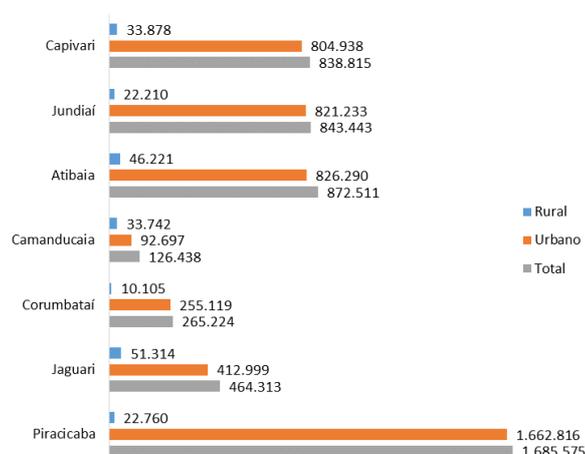


Figura 4.1 – População das sub-bacias segundo Censo IBGE 2010 (PROFILL-RHAMA, 2018).

Realização:

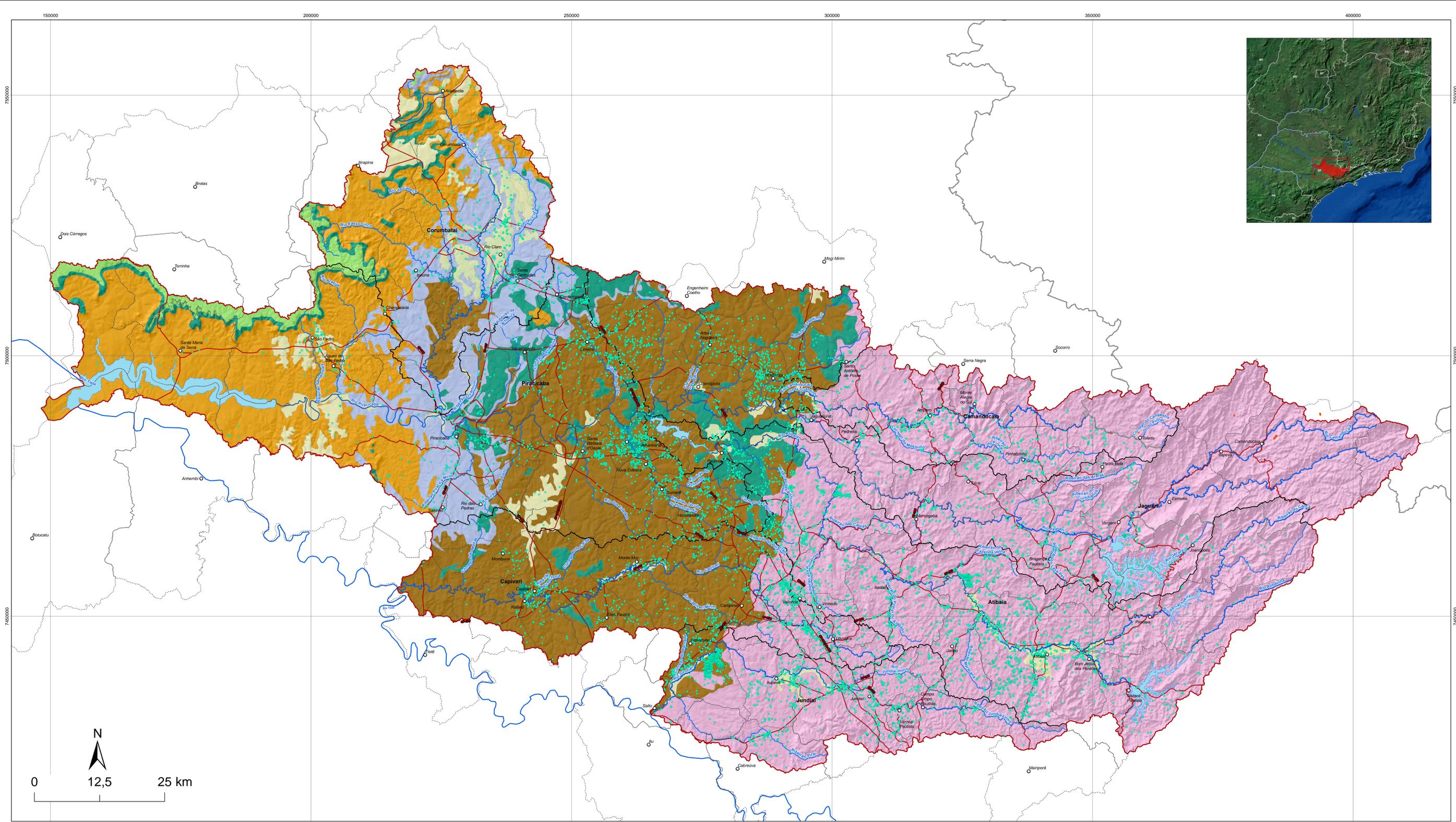


Essa grande população, aliada ao vigoroso crescimento econômico regional, requer demanda considerável e crescente de recursos hídricos, sejam superficiais ou subterrâneos. Segundo dados fornecidos pelo sistema de outorgas do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – DAEE (base 2018), na porção paulista das Bacias PCJ estão outorgadas 11.667 captações subterrâneas (Mapa 4.1), entre poços rasos e profundos, que extraem o total de 350,5 milhões de m³ anuais ou 13,3 m³/s de água subterrânea dos aquíferos existentes.

Dentre estes, os sistemas aquíferos Cristalino (172 milhões de m³/ano) e Tubarão (143 milhões de m³/ano) respondem por quase 90% dos volumes de água subterrânea extraídos da porção paulista das Bacias PCJ (Tabela 4.2 e Figura 4.2).

Na porção mineira das Bacias PCJ, dados do IGAM apontam a existência de 71 poços com vazão total outorgada de 392,35 m³/h (0,11 m³/s ou 2,8 milhões de m³/ano), retirada exclusivamente do Sistema Aquífero Cristalino. Comparada com a porção paulista, esta vazão representa menos de 1% do total extraído da bacia.

Com base nesses dados, são extraídos no total 13,41 m³/s de água subterrânea dos aquíferos das Bacias PCJ.



LEGENDA

- Sede municipal
- Poços outorgados DAEE
- Poços SIAGAS na porção mineira
- ~ Hidrografia Principal
- Rodovia
- Limite Municipal
- Limite Estadual
- ⊞ Limite das Bacias PCJ
- ⊞ Sub-bacia

- Hidrogeologia**
- Sistemas Aquíferos**
- Coberturas Cenozóicas
 - Rio Claro
 - Itaqueri
 - Serra Geral
 - Guarani
 - Passa Dois
 - Tubarão
 - Cristalino



PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO
ELABORAÇÃO DO PLANO MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO
DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DAS BACIAS PCJ



Sistema de Coordenadas UTM
 Datum SIRGAS2000
 Zona 23S
 Escala: 1:250.000

Mapa 4.1 – Distribuição dos poços outorgados pelo DAEE e do cadastro mineiro do SIAGAS nas Bacias PCJ

Fonte de dados:
 - Sede municipal: IBGE, 2010
 - Limite municipal: IBGE, 2010
 - Limite estadual: IBGE, 2010
 - Hidrografia: ANA, 2013
 - Limite da bacia: Adaptado de ANA, 2013
 - Limite sub-bacia: Adaptado de ANA, 2013
 - Hidrogeologia: CPRM, 2007
 - Poços outorgados: DAEE, 2018
 - Poços SIAGAS: SIAGAS, 2019

Tabela 4.2 – Vazões outorgadas por aquífero na porção paulista das Bacias PCJ

AQUÍFERO	VAZÃO (m ³ /ano)	PORCENTAGEM
ALUVIAO	27.930	0,01
BAURU	51.408	0,01
RIO CLARO	588.139	0,17
N.I.	1.874.643	0,53
PASSA DOIS	1.969.399	0,56
GUARANI	2.893.690	0,83
SERRA GERAL	6.194.686	1,77
FREATICO	22.094.008	6,30
TUBARÃO	142.610.852	40,69
CRISTALINO	172.135.242	49,12
TOTAL	350.439.996	100,00

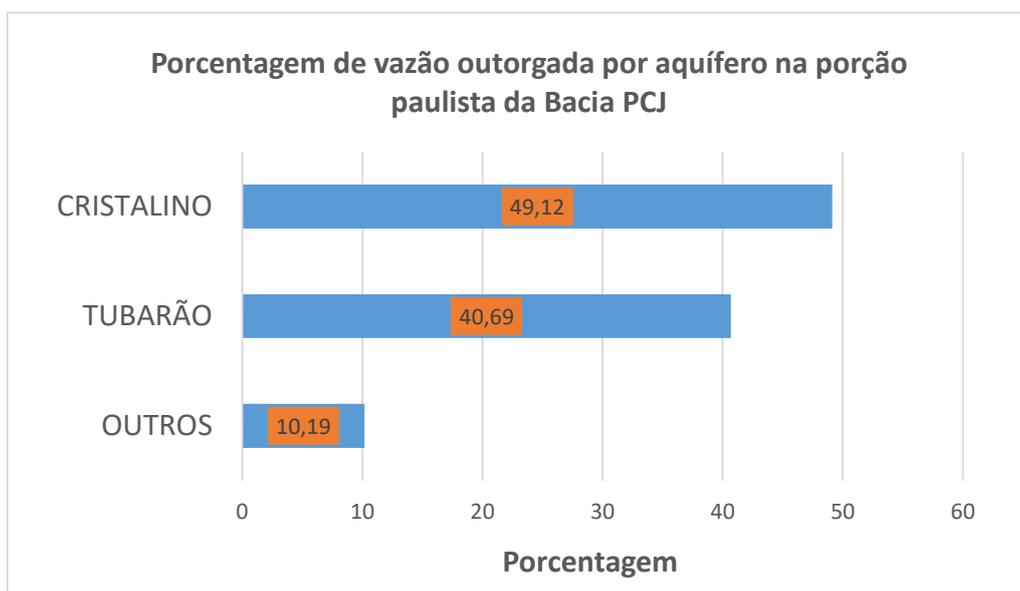


Figura 4.2 – Porcentagem de vazão outorgada por aquífero na porção paulista das Bacias PCJ.

5. SISTEMAS AQUÍFEROS DAS BACIAS PCJ

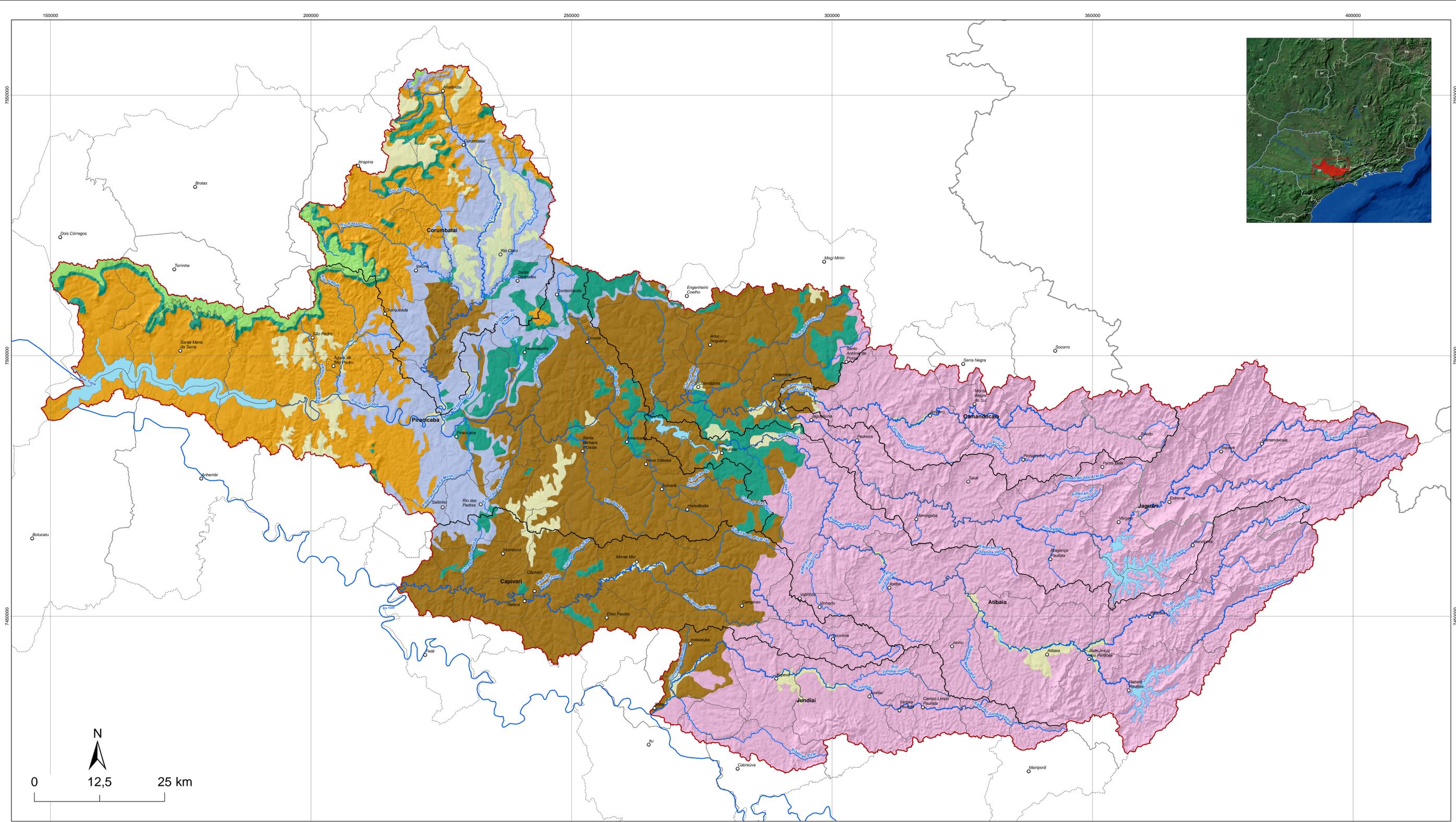
As águas subterrâneas das Bacias PCJ estão armazenadas em reservatórios de porosidade granular ou fissural contidos nas formações geológicas, discriminados em termos de sistemas aquíferos com base em suas características litológicas e de permoporosidade.

Dois domínios hidrogeológicos principais são distinguidos nas Bacias PCJ: o domínio de porosidade fissural predominante, representado pelos sistemas aquíferos Cristalino e Serra Geral, com área de ocorrência em superfície de 7.868 km²; e o domínio de porosidade predominante granular, representado pelos sistemas aquíferos integrantes da Bacia do Paraná e coberturas cenozoicas indiferenciadas, com área de ocorrência de 7.509 km².

Os sistemas aquíferos representam conjunto de aquíferos e aquíferos enfeixados em uma ou mais unidades litoestratigráficas contíguas, admitidas como hidraulicamente conectadas. Esses sistemas foram distinguidos nas Bacias PCJ com base nas unidades litoestratigráficas reconhecidas na Bacia PCJ por CPRM (2005; 2007) e em nomes consagrados, casos dos sistemas aquíferos Guarani e Tubarão, e do Aquífero Passa Dois, como mostrado no Mapa 5.1 e Tabela 5.1. As rochas das unidades geológicas aluviões e coberturas indiferenciadas foram reunidas no Sistema Aquífero Coberturas Indiferenciadas. As rochas básicas da Formação Serra Geral e intrusivas associadas foram reunidas no Sistema Aquífero Serra Geral.

Tabela 5.1 – Sistemas Aquíferos adotados para a Bacia PCJ

Sistemas Aquíferos adotados para a Bacia PCJ				
Unidades litoestratigráficas	Sistemas Aquíferos	Tipo	Área (km ²)	%
Aluviões	Coberturas indiferenciadas	Sedimentar	513	3,3%
Coberturas indiferenciadas				
Rio Claro	Rio Claro	Sedimentar	135	0,9%
Itaqueri	Itaqueri	Sedimentar	176	1,1%
Serra Geral	Serra Geral	Fissural	837	5,4%
Intrusivas básicas				
Botucatu	Guarani	Sedimentar	2016	13,1%
Piramboia				
Corumbataí	Passa Dois	Sedimentar	1185	7,7%
Irati	(Aquífero regional)			
Tatuí	Tubarão	Sedimentar	3484	22,7%
Itararé				
Cristalino	Cristalino	Fissural	7031	45,7%



LEGENDA

- | | |
|-------------------------|---------------------------|
| ○ Sede municipal | Hidrogeologia |
| — Hidrografia Principal | Sistemas Aquíferos |
| - - - Limite Municipal | ■ Coberturas Indif. |
| □ Limite Estadual | ■ Rio Claro |
| ⊞ Sub-bacia | ■ Itaqueri |
| ⊞ Limite das Bacias PCJ | ■ Serra Geral |
| | ■ Guarani |
| | ■ Passa Dois |
| | ■ Tubarão |
| | ■ Cristalino |



**PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO
ELABORAÇÃO DO PLANO MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO
DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DAS BACIAS PCJ**



Sistema de Coordenadas UTM
Datum SIRGAS2000
Zona 23S
Escala: 1:250.000

Mapa 5.1 - Sistemas Aquíferos da Bacia PCJ

Fonte de dados:
- Sede municipal: IBGE, 2010
- Limite municipal: IBGE, 2010
- Limite estadual: IBGE, 2010
- Hidrografia: ANA, 2013
- Limite da bacia: Adaptado de ANA, 2013
- Limite sub-bacia: Adaptado de ANA, 2013
- Hidrogeologia: CPRM, 2007

Em relação à distribuição dos sistemas aquíferos por sub-bacia (Tabela 5.2), os reservatórios subterrâneos de porosidade fissural integrantes dos sistemas aquíferos Cristalino e Serra Geral distribuem-se amplamente nas bacias Camanducaia (96%), Atibaia (93%), Jundiaí (87%) e Jaguari (73%). Por outro lado, os reservatórios de porosidade granular são preponderantes nas bacias dos rios Corumbataí (92%), Piracicaba (91%) e Capivari (77%)

Tabela 5.2 – Distribuição dos sistemas aquíferos nas sub-bacias PCJ

Distribuição dos sistemas aquíferos nas sub-bacias PCJ (km ²)							
Sistema Aquífero	Atibaia	Camanducaia	Capivari	Corumbataí	Jaguari	Jundiaí	Piracicaba
Coberturas indif.	79	10	24	145	16	37	203
Itaqueri	0	0	0	52	11	0	125
Rio Claro	6	3	0	114	0	0	0
Serra Geral	114	0	52	0	185	0	353
Guarani	0	0	0	575	0	0	1441
Passa Dois	0	0	41	580	20	0	544
Tubarão	126	33	1149	121	834	112	1109
Cristalino	2491	994	302	133	2238	1005	0
Total	2816	1040	1568	1720	3304	1154	3775

5.1. Sistema Aquífero Cristalino

O Sistema Aquífero Cristalino (SAC) é a unidade aquífera de maior extensão na Bacia PCJ, distribuindo-se por 7.031 km². Designadas genericamente de cristalinas, as rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas podem constituir reservatórios eventuais de água subterrânea em presença de zonas fraturadas, falhadas e de outras descontinuidades, uma vez que a porosidade e permeabilidade primárias dessas rochas são extremamente baixas.

O SAC, embora de extensão regional, não é homogêneo, nem contínuo e nem isotrópico, podendo apresentar grandes variações nas características de permeabilidade em áreas contíguas. Em geral, sua zona de saturação encontra-se à pressão atmosférica, ou seja, em condições freáticas, mas pode eventualmente exibir caráter semiconfinado (PAULA E SILVA, 2017a).

A permeabilidade primária das rochas cristalinas é extremamente reduzida, oscilando em torno de 10⁻³ m/d a 10⁻⁴ m/d. A permeabilidade secundária, devido ao fraturamento, pode ser aumentada em 10³ a 10⁴ vezes. Por outro lado, verifica-se uma diminuição da permeabilidade com incremento da profundidade, explicada pelo fechamento das fraturas sob condição de elevada pressão litostática.

Solos de alteração formados pelos processos intempéricos que atuam nas rochas cristalinas, quando espessos, constituem reservatórios potenciais para armazenamento de água subterrânea, tendo comportamento hidráulico similar ao de reservatórios granulares. Na zona de contato, a desagregação parcial dos minerais da rocha dá origem a microfissuras que favorecem a infiltração e percolação da água, incrementando a permeabilidade do reservatório.

As águas subterrâneas do SAC são predominantemente bicarbonatadas cálcicas, com tipologias locais como bicarbonatadas sódicas, sulfatadas, cloretadas e outras menos expressivas (CHANG *et al.*, 2003; JESUS, 2005; ESAKI *et al.*, 2014; DAEE, 1981).

5.2. Sistema Aquífero Tubarão

O Sistema Aquífero Tubarão (SAT), com área de ocorrência de 3.484 km², é o principal aquífero sedimentar e o segundo maior aquífero das Bacias PCJ, ficando atrás somente do Sistema Aquífero Cristalino. Em subsuperfície, estende-se por sob as coberturas mais jovens ao longo de toda a bacia PCJ, alcançando área de 4.767 mil km². É composto pelas unidades estratigráficas Tatuí e Itararé, depositadas no Permocarbonífero.

Condutividades hidráulicas entre 0,002 m/d e 0,7 m/d (DIOGO *et al.* 1981) e transmissividades entre 0,3 m²/dia e 40 m²/dia, localmente de até 150 m²/dia (DAEE, 1981; 1982), permitem classificá-lo como um aquífero de características hidráulicas regulares a medianas. As porosidades efetivas são normalmente baixas em arenitos argilosos, mas podem atingir até 30% em arenitos com baixo conteúdo de argila (FRANÇA & POTTER, 1989). A porosidade e a permeabilidade deste reservatório são controladas, principalmente, pela granulometria e seleção dos grãos, e secundariamente pela cimentação carbonática, que atua mais intensamente em maiores profundidades (VIDAL, 2002). Altas taxas de subsidência da bacia durante a deposição dos sedimentos componentes do SAT também afetaram as características de permoporosidade do aquífero pela ação da compactação química, resultante do aumento das condições de pressão e temperatura devido ao soterramento progressivo (BOCARDI *et al.*, 2008).

Em geral, à pequena profundidade, o SAT apresenta comportamento de aquífero livre (DAEE, 1981). Na zona de afloramentos, o aquífero recebe recarga direta proveniente das precipitações atmosféricas onde os sedimentos expostos são permeáveis e descarrega para a rede fluvial, evidenciando o controle do escoamento subterrâneo pelas bacias hidrográficas. A

heterogeneidade e a descontinuidade do aquífero, em profundidades maiores, confirmam a natureza confinada a semiconfinada da superfície potenciométrica.

As águas do Sistema Aquífero Tubarão são fracamente salinas, com valores médios de sólidos totais dissolvidos variando de 100 mg/L a 200 mg/L, e classificadas como bicarbonatadas sódicas ou bicarbonatadas cálcicas (DAEE, 1984). Quando confinado ou em profundidades superiores a 400 metros, as águas deste aquífero podem apresentar concentrações salinas elevadas e elementos com teores acima dos limites de potabilidade, razão pela qual não é intensamente explorado nessas condições.

5.3. Aquitardo Passa Dois

Em razão de suas características litológicas, o Grupo Passa Dois assume, regionalmente, o comportamento de um aquitardo, ainda que localmente possa apresentar zonas aquíferas (DAEE, 1981; CETESB, 1997). Nas Bacias PCJ, o Aquitardo Passa Dois é representado pelas formações Corumbataí e Irati e compreende um conjunto de rochas predominantemente pelíticas, de baixa permeabilidade, distribuídas em 1.185 km². Assenta-se sobre o Aquífero Tubarão e, regionalmente, é recoberto pelo Sistema Aquífero Guarani. Sua espessura pode atingir 250 metros na região de Rio Claro (SP) e encontra-se, frequentemente, entrecortado por rochas intrusivas básicas em vários níveis, em forma de soleiras e de diques.

Zonas aquíferas eventuais podem se formar no Aquitardo Passa Dois, em calcários e arenitos finos intercalados aos sedimentos pelíticos, e ainda em zonas fissuradas junto a lineamentos estruturais (DAEE, 1981). As zonas de contato entre sedimentos e intrusões de diabásio também podem, localmente, constituir porções armazenadoras de água. Segundo o DAEE (1981), as transmissividades desta unidade situam-se abaixo de 10 m²/dia.

As águas contidas no Aquitardo Passa Dois apresentam, em geral, teores salinos elevados, com condutividade elétrica superior a 200 µS/cm, podendo atingir até 2.000 µS/cm, com concentrações elevadas de sulfatos e de cloretos, e com pHs superiores a 8. Em alguns casos, as águas extraídas desta unidade apresentam concentrações elevadas de elementos nocivos à saúde (DAEE, 1981), principalmente quando provenientes da Formação Irati.

5.4. Sistema Aquífero Guarani

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) é reservatório subterrâneo de maior potencial das Bacias PCJ. Distribui-se por 2.016 km² e assenta-se em praticamente toda sua área de

ocorrência sobre unidades permianas bastante espessas e de baixa permeabilidade, integrantes do Aquitardo Passa Dois. É constituído pelo conjunto de rochas sedimentares mesozoicas continentais clásticas presentes na Bacia do Paraná, estando representado pelas unidades litoestratigráficas Piramboia e Botucatu, no Estado de Paulo.

Nas Bacias PCJ, o SAG encontra-se quase totalmente aflorante e parcialmente erodido, com espessuras preservadas variando de poucas dezenas até cerca de duas centenas de metros no limite oeste da bacia hidrográfica, onde localmente está recoberto por rochas vulcânicas e sedimentares.

Os arenitos do SAG mostram porosidades médias entre 20% e 30% para os sedimentos eólicos, mas podem apresentar valores maiores ou menores para os sedimentos de origem fluvial (OEA, 2009). A condutividade hidráulica do aquífero, como um todo, foi estimada em 2,6 m/dia para a área confinada e 3,0 m/dia para a área livre (DAEE, 2005), e a transmissividade foi estimada em 260 m²/dia para a área aflorante e até mais de 1.200 m²/dia para a área confinada (DAEE, 2005). O coeficiente de armazenamento varia entre 10⁻³ e 10⁻⁵ (DAEE, 1974).

Nas áreas de afloramento, o SAG comporta-se como um típico aquífero livre. A potenciometria da zona livre do aquífero mostra fluxos subterrâneos locais e fluxos regionais. Os fluxos locais são governados pelas bacias hidrográficas que descarregam a água subterrânea na rede de drenagem superficial. Os fluxos regionais se dirigem das áreas de afloramento para o interior da bacia, onde o aquífero mergulha por sob camadas mais jovens, transformando-se em fluxos confinados.

A hidroquímica das águas do SAG apresenta padrões característicos para as áreas de afloramento e para as áreas confinadas. A faixa de afloramentos é caracterizada por águas principalmente bicarbonatadas cálcicas, com baixas condutividades elétricas. A zona confinada apresenta águas principalmente bicarbonatadas sódicas, com maior grau de mineralização (OEA, 2009).

5.5. Sistema Aquífero Serra Geral

O Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) é constituído por derrames de lavas basálticas mesozoicas e por rochas intrusivas básicas reunidas na unidade litoestratigráfica Serra Geral, distribuídas descontinuamente por área de 837 km² da Bacia PCJ. Recoberto parcialmente por sedimentos do Aquífero Itaqueri na borda oeste da bacia, esse aquífero de porosidade fissural

alcança entre 60 m a 180 m de espessura em rochas basálticas; em diabásios, as espessuras conhecidas variam entre 50 m e 260 m.

O armazenamento e a circulação de água no SASG ocorrem segundo as discontinuidades físicas da rocha, como fraturas, falhas e superfícies interderrames, que constituem meio heterogêneo, anisotrópico e descontínuo (REBOUÇAS, 1978). A transmissividade desta unidade hidroestratigráfica, obtida em ensaios de bombeamento de poços pelo DAEE (1981), variou de 0,25 m²/d a 28 m²/d, salientando-se que tais valores não representam a transmissividade do pacote rochoso, e sim, a média geométrica das transmissividades das fraturas interceptadas pelos poços.

As águas do SASG são predominantemente bicarbonatadas cálcicas e, secundariamente, bicarbonatadas cálcica-magnesianas e bicarbonatadas sódicas, com teores salinos inferiores a 250 mg/L (CAMPOS, 2004).

5.6. Sistema Aquífero Itaqueri

O Aquífero Itaqueri ocupa faixa bastante reduzida no extremo oeste, onde cobre área de 176 km², correspondente a pouco mais de 1% das Bacias PCJ. Sua importância relativa na bacia é pequena, mas possui espessura da ordem de 120 m e bom potencial para armazenamento de água. Suas características hidrodinâmicas ainda são pouco conhecidas.

5.7. Sistema Aquífero Coberturas Indiferenciadas

Os sedimentos aluvionares, depósitos colúvio-eluvionares e coberturas detríticas indiferenciadas foram agrupados no Sistema Aquífero Coberturas Indiferenciadas. Esse sistema compreende aquíferos rasos, de baixo potencial hídrico, que ocupam área descontínua de 513 km² nas Bacias PCJ e jazem sobre diferentes tipos de rochas, tanto sedimentares como cristalinas. Apesar de sua espessura normalmente pequena, inferior a 30 m, as rochas desse sistema apresentam boa condutividade hidráulica e favorecem a percolação de água das chuvas e a recarga para os aquíferos subjacentes.

6. POTENCIALIDADES DOS SISTEMAS AQUÍFEROS DAS BACIAS PCJ

A potencialidade é aqui definida como a vazão explotável ou recomendada de extração dos aquíferos, ou seja, a vazão que pode ser extraída de forma sustentável por longos períodos e com rebaixamentos moderados da espessura saturada (DAEE, 2005).

A potencialidade dos aquíferos foi avaliada em termos de vazão (Q) e de capacidade específica (q/s) para cada uma das unidades aquíferas, a partir da análise dos dados de 2.107 poços selecionados do cadastro SIDAS – Sistema de informações de Águas Subterrâneas do DAEE, disponíveis no banco de dados do projeto “Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo: Diretrizes de Utilização e Proteção (DAEE/UNESP, 2013). Os dados de vazão específica de cada sistema aquífero foram interpolados no *software* ArcGis e as isocurvas resultantes foram classificadas como mostrado na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Classes de valores de q/s adotadas

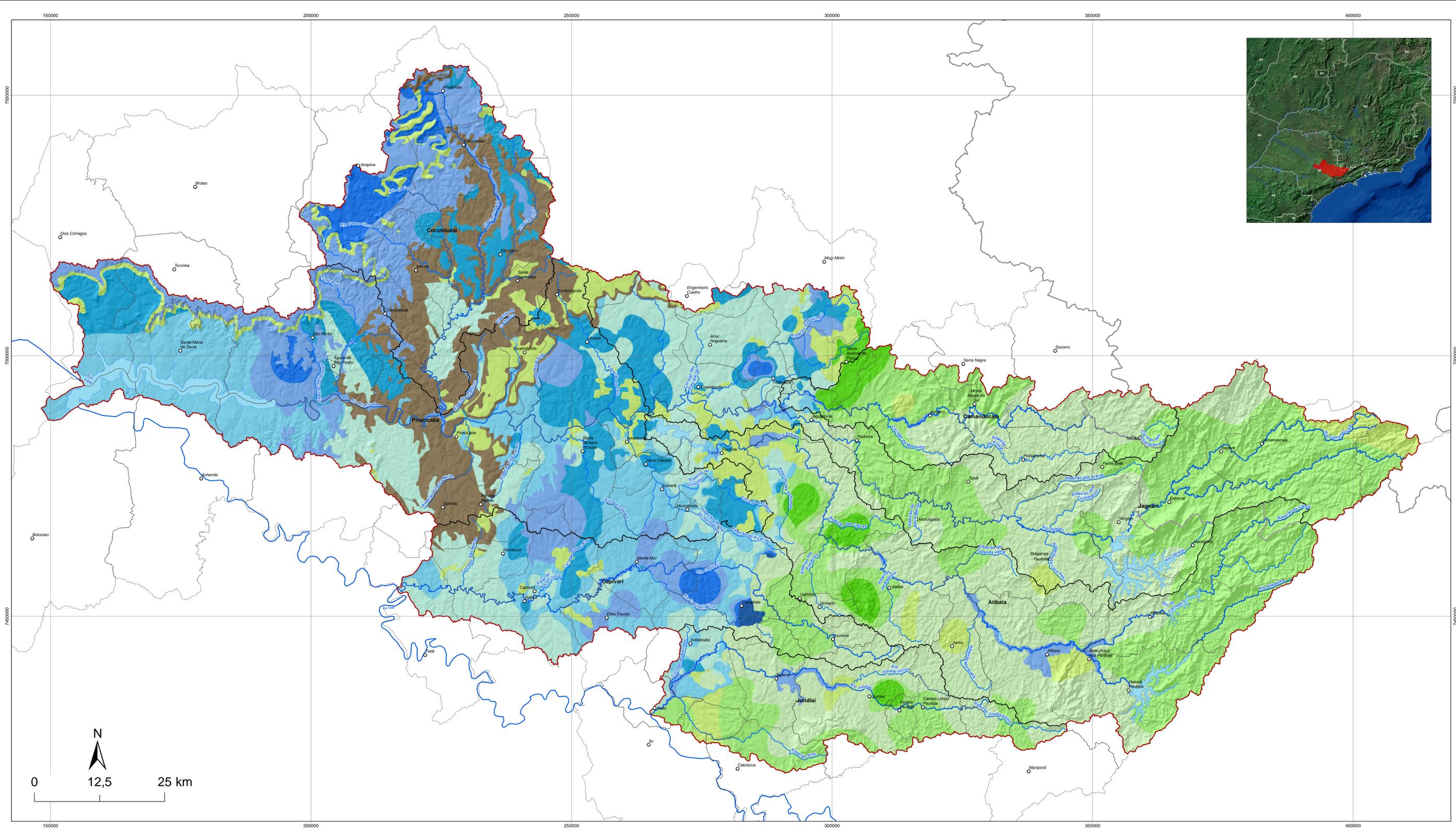
Classes q/s (m ³ /h/m)	
De	A
0,0	0,1
0,1	0,2
0,2	0,5
0,5	1,0
1,0	2,0
2,0	>2,0

Para estimativa das vazões potenciais dos aquíferos, o método utilizado consistiu em estimar as faixas de vazão (Q) considerando as classes de vazões específicas (q/s) da Tabela 6.1 e um rebaixamento (s) máximo admitido de 30 m, de modo que:

$$Q \text{ (m}^3\text{/h)} = q/s \text{ (m}^3\text{/h/m)} * s \text{ (m)}$$

Onde: Q= vazão potencial (m³/h); s = rebaixamento (m)

O Mapa 6.1 mostra a distribuição potencialidades dos aquíferos sedimentares e fissurais das Bacias PCJ, elaborado conforme descrito acima. A Tabela 6.2 mostra as faixas de vazão dos aquíferos por sub-bacia do PCJ.



LEGENDA

- Sede municipal
- Hidrografia Principal
- Limite Municipal
- Limite Estadual
- ⊞ Sub-bacia
- ⊞ Limite das Bacias PCJ
- Aquitardo Passa Dois

Potencialidade dos aquíferos fissurais

q/s (m³/h/m)	Q (m³/h)
0,1	3
0,2	6
0,5	15
1	30
2	60
>2	>60

Potencialidade dos aquíferos sedimentares

q/s (m³/h/m)	Q (m³/h)
0,1	3
0,2	6
0,5	15
1	30
2	60
>2	>60



**PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO
ELABORAÇÃO DO PLANO MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO
DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DAS BACIAS PCJ**



Sistema de Coordenadas UTM
Datum SIRGAS2000
Zona 23S
Escala: 1:250.000

Mapa 6.1 - Mapa de potencialidades dos aquíferos das Bacias PCJ

Fonte de dados:
- Sede municipal: IBGE, 2010
- Limite municipal: IBGE, 2010
- Limite estadual: IBGE, 2010
- Hidrografia: ANA, 2013
- Limite da bacia: Adaptado de ANA, 2013
- Limite sub-bacia: Adaptado de ANA, 2013
- Potencialidades: elaborado a partir de poços SIDAS/DAEE

Tabela 6.2 – Faixas de vazão dos aquíferos por sub-bacia do PCJ.

Sub-bacia Camanduvaia						
Aquíferos	Vazões (m³/h)					
	3	6	15	30	60	>60
Coberturas indiferenciadas				█		
Rio Claro				█		
Serra Geral		█				
Tubarão	█	█	█			
Cristalino	█	█	█	█		
Sub-bacia Jundiá						
Aquíferos	Vazões (m³/h)					
	3	6	15	30	60	>60
Coberturas indiferenciadas				█		
Tubarão	█	█	█			
Cristalino	█	█	█	█		
Sub-bacia Capivari						
Aquíferos	Vazões (m³/h)					
	3	6	15	30	60	>60
Coberturas indiferenciadas				█		
Serra Geral		█				
Tubarão	█	█	█	█	█	█
Cristalino	█	█	█	█		
Sub-bacia Corumbataí						
Aquíferos	Vazões (m³/h)					
	3	6	15	30	60	>60
Coberturas indiferenciadas				█		
Rio Claro				█		
Itaqueri				█		
Serra Geral		█				
Guarani			█	█	█	
Tubarão	█	█				
Sub-bacia Atibaia						
Aquíferos	Vazões (m³/h)					
	3	6	15	30	60	>60
Coberturas indiferenciadas				█		
Rio Claro				█		
Serra Geral		█				
Tubarão	█	█	█			
Cristalino	█	█	█	█		
Sub-bacia Jaguari						
Aquíferos	Vazões (m³/h)					
	3	6	15	30	60	>60
Coberturas indiferenciadas				█		
Rio Claro				█		
Serra Geral		█				
Tubarão	█	█	█	█	█	
Cristalino	█	█	█	█		
Sub-bacia Piracicaba						
Aquíferos	Vazões (m³/h)					
	3	6	15	30	60	>60
Coberturas indiferenciadas				█		
Rio Claro				█		
Serra Geral		█				
Guarani	█	█	█	█	█	
Tubarão	█	█	█	█		
Cristalino	█	█	█			

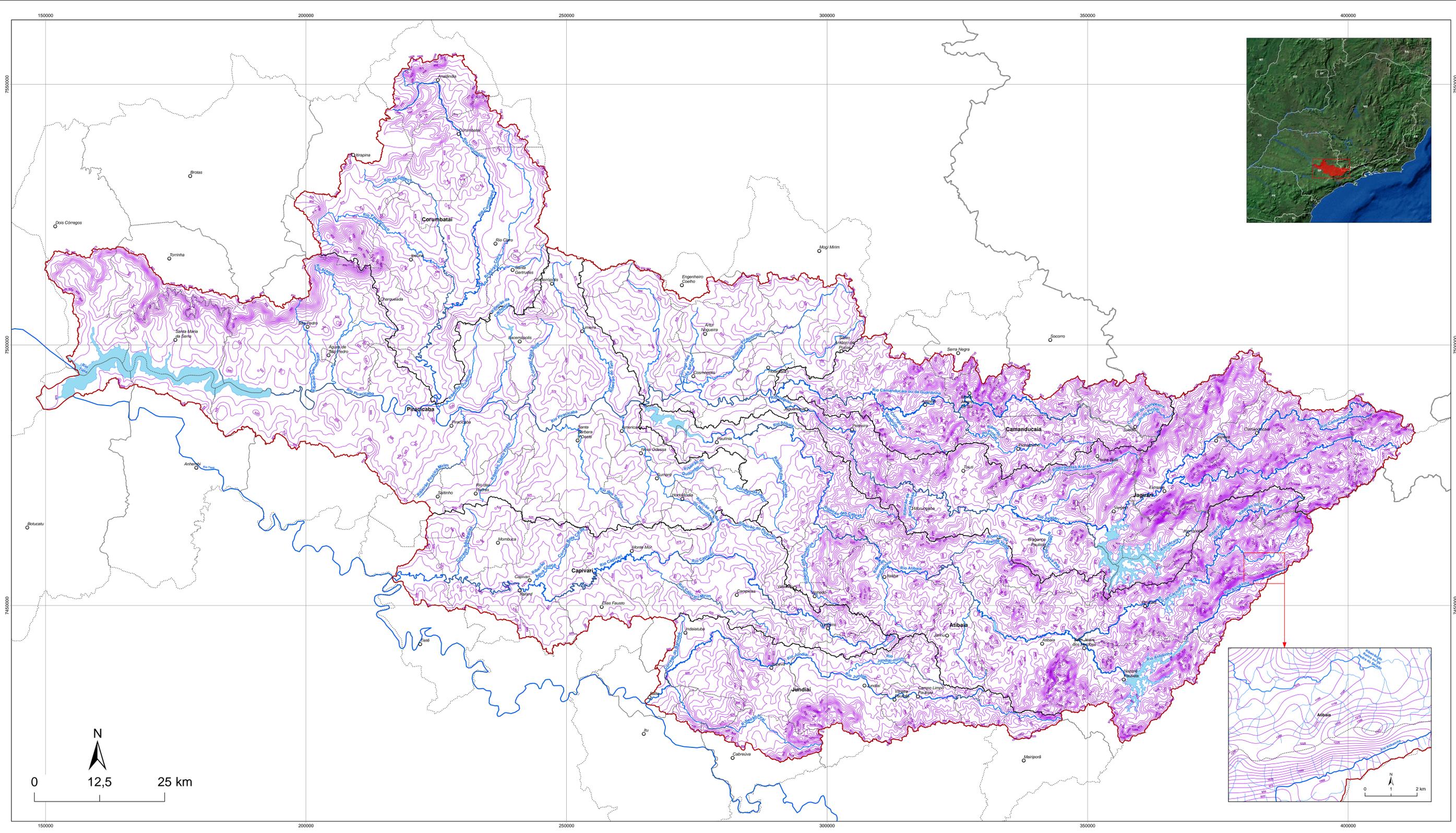
7. POTENCIOMETRIA DOS AQUÍFEROS SUPERFICIAIS DAS BACIAS PCJ

As camadas superiores dos terrenos abrigam aquíferos rasos, de natureza livre, que por infiltração direta armazenam água proveniente das precipitações atmosféricas e, naturalmente, a descarregam para a rede de drenagem das bacias hidrográficas na forma de escoamento de base. O escoamento de base, portanto, é o processo físico de drenagem natural dos aquíferos e os rios que descarregam suas águas são distinguidos como efluentes.

Muitos estudos têm demonstrado que, em regiões úmidas, a superfície livre dos aquíferos superficiais normalmente apresenta a mesma conformação da superfície topográfica (FETTER, 2001). No estudo regional de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, o DAEE (1974) mostrou que a superfície potenciométrica dos aquíferos livres possui uma configuração muito semelhante à superfície topográfica, de modo que em termos práticos, o fluxo subterrâneo natural se dá das altitudes mais altas para as mais baixas. Assim, a configuração do fluxo subterrâneo dos aquíferos superficiais deve mostrar tendência de escoamento no sentido das drenagens, e das porções mais elevadas para as menos elevadas do terreno.

O traçado da potencimetria dos aquíferos superficiais das Bacias PCJ foi elaborado pelo método de interpolação de cargas hidráulicas definidas no terreno. Este método seleciona e interpola as cargas hidráulicas definidas pelo cruzamento das drenagens com as curvas de nível do terreno e foi aplicado no estudo “Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo: Diretrizes de utilização e proteção” (DAEE/UNESP, 2013).

Uma vez definidas no terreno, as cargas hidráulicas foram interpoladas no programa ArcGis, e as isocurvas resultantes foram filtradas e suavizadas, dando origem ao mapa potenciométrico dos aquíferos superficiais das Bacias PCJ (Mapa 7.1) .



LEGENDA

- Sede municipal
- Hidrografia Principal
- Equipotenciais
- Limite Municipal
- Limite Estadual
- ⊂ Sub-bacia
- ⊂ Limite das Bacias PCJ



**PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO
ELABORAÇÃO DO PLANO MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO
DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DAS BACIAS PCJ**



Sistema de Coordenadas UTM
Datum SIRGAS2000
Zona 23S
Escala: 1:250.000

**Mapa 7.1 - Mapa potenciométrico dos
aquéferos superficiais da Bacia PCJ**

Fonte de dados:
- Sede municipal: IBGE, 2010
- Limite municipal: IBGE, 2010
- Limite estadual: IBGE, 2010
- Hidrografia: ANA, 2013
- Limite da bacia: Adaptado de ANA, 2013
- Limite sub-bacia: Adaptado de ANA, 2013
- Equipotenciais: elaborado a partir de dados SRTM e hidrografia das Bacias PCJ

8. MAPA HIDROGEOLÓGICO DAS BACIAS PCJ

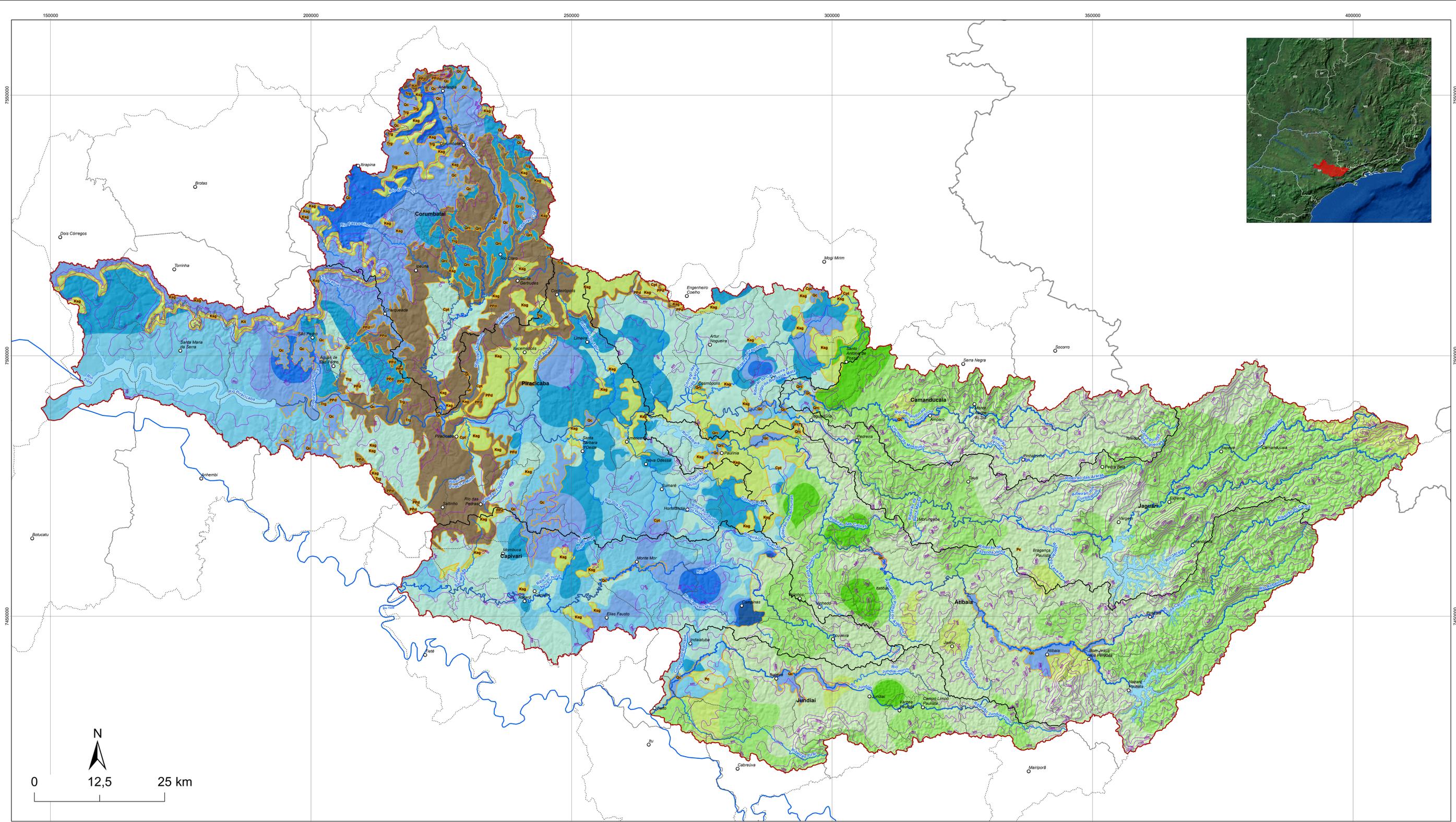
Mapas hidrogeológicos são representações gráficas que descrevem a distribuição dos aquíferos ou sistemas aquíferos numa determinada região, suas potencialidades ou produtividade em termos de vazões exploráveis e a distribuição de suas cargas hidráulicas. As formações predominantemente pouco permeáveis ou impermeáveis, que constituem unidades semiconfinantes ou confinantes, são representadas nos mapas como aquíferos ou aquíclides, respectivamente.

Os sistemas aquíferos adotados neste estudo foram definidos com base nas unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná e nas rochas cristalinas ígneas e metamórficas do embasamento pré-cambriano, conforme delimitação apresentada em mapas produzidos pela CPRM nos estados de São Paulo e Minas Gerais. Apesar da ocorrência de zonas aquíferas entremeadas às rochas sedimentares impermeáveis ou pouco permeáveis do Grupo Passa Dois, esta unidade comporta-se, regionalmente, como um Aquífero.

A legenda do mapa hidrogeológico foi concebida conforme a Convenção Internacional para Mapas Hidrogeológicos (STRUCKMEIR & MARGAT, 1995), sendo utilizada a cor azul com variações de tonalidade para classificação das potencialidades dos aquíferos porosos, verde com variações de tonalidade para classificação das potencialidades dos aquíferos fraturados ou fissurais, e marrom para as rochas pouco permeáveis a impermeáveis dos aquíferos/aquíclides.

As cargas hidráulicas dos aquíferos rasos (potenciometria), de natureza livre, situados nas camadas superiores das unidades geológicas ocorrentes na Bacia PCJ, foram representadas pela cor vinho, segundo a legenda internacional. A potenciometria dos aquíferos confinados não foi traçada em razão da insuficiência de dados consistentes e confiáveis.

O Mapa 8.1 representa o mapa hidrogeológico das Bacias PCJ, elaborado conforme concepção adotada.



LEGENDA

<ul style="list-style-type: none"> ○ Sede municipal ~ Hidrografia Principal ▭ Limite Municipal ▭ Limite Estadual ⊞ Sub-bacia ⊞ Limite das Bacias PCJ ⊞ Limite dos aquíferos ⊞ Equipotenciais ■ Aquífero Passa Dois 	<p>Potencialidade dos aquíferos fissurais q/s (m³/h/m) - Q (m³/h)</p> <table border="0"> <tr><td>0,1</td><td>3</td></tr> <tr><td>0,2</td><td>6</td></tr> <tr><td>0,5</td><td>15</td></tr> <tr><td>1</td><td>30</td></tr> <tr><td>2</td><td>60</td></tr> <tr><td>>2</td><td>>60</td></tr> </table>	0,1	3	0,2	6	0,5	15	1	30	2	60	>2	>60	<p>Potencialidade dos aquíferos sedimentares q/s (m³/h/m) - Q (m³/h)</p> <table border="0"> <tr><td>0,1</td><td>3</td></tr> <tr><td>0,2</td><td>6</td></tr> <tr><td>0,5</td><td>15</td></tr> <tr><td>1</td><td>30</td></tr> <tr><td>2</td><td>60</td></tr> <tr><td>>2</td><td>>60</td></tr> </table>	0,1	3	0,2	6	0,5	15	1	30	2	60	>2	>60
0,1	3																									
0,2	6																									
0,5	15																									
1	30																									
2	60																									
>2	>60																									
0,1	3																									
0,2	6																									
0,5	15																									
1	30																									
2	60																									
>2	>60																									



**PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO
ELABORAÇÃO DO PLANO MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO
DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DAS BACIAS PCJ**



Sistema de Coordenadas UTM
Datum SIRGAS2000
Zona 23S
Escala: 1:250.000

Mapa 8.1 - Mapa hidrogeológico das Bacias PCJ

Fonte de dados:
- Sede municipal: IBGE, 2010
- Limite municipal: IBGE, 2010
- Limite estadual: IBGE, 2010
- Hidrografia: ANA, 2013
- Limite da bacia: Adaptado de ANA, 2013
- Limite sub-bacia: Adaptado de ANA, 2013
- Potencialidades: elaborado a partir de dados SIDAS/DAEE
- Equipotenciais: elaborado a partir de dados SRTM e hidrografia das Bacias PCJ
- Aquíferos: Adaptado de DAEE e CPRM

9. VULNERABILIDADE NATURAL DOS AQUÍFEROS LIVRES

O termo vulnerabilidade à contaminação é usado para representar as características intrínsecas que determinam a susceptibilidade de um aquífero ser adversamente afetado por uma carga contaminante (FOSTER, 1987 *apud* FOSTER & HIRATA, 1993). A CPRM (1997) define vulnerabilidade como o menor ou maior grau de disponibilidade que o aquífero apresenta de sofrer uma contaminação.

Dentre os métodos de avaliação da vulnerabilidade natural, o GOD (FOSTER, 1987) é o que apresenta maior simplicidade e exige poucos dados técnicos, sendo por isso mesmo o método eleito para o mapeamento da vulnerabilidade dos aquíferos das Bacias PCJ. O método GOD se baseia em metodologia empírica proposta por Foster & Hirata (1993) e com modificações posteriores (FOSTER *et al.*, 2006), que leva em consideração parâmetros como ocorrência de água subterrânea (*Groundwater occurrence*), classificação do aquífero (*Overall aquifer class*) e profundidade do topo do aquífero (*Depth to groundwater table*) (Figura 9.1).

O produto dos três parâmetros, avaliados subjetivamente com base nos índices estabelecidos na Figura 9.1, é expresso em termos relativos numa escala de 0 a 1, que permite uma classificação em cinco classes principais (insignificante, baixa, média, alta e extrema) e subdivisão em subclasses menores.

O parâmetro “modo de ocorrência da água subterrânea ou condição do aquífero” considera a existência de aquíferos livres nas porções superficiais dos terrenos. Para essa condição, foi definido o índice de 0,9 para os sistemas aquíferos Coberturas Indiferenciadas, Rio Claro, Itaqueri e Guarani; para os sistemas aquíferos Tubarão, Passa Dois, Serra Geral e Cristalino foi adotado o índice 0,8.

O parâmetro “substrato litológico” foi baseado no estudo publicado pelo Instituto Geológico do Estado de São Paulo (IG, 1977), conforme mostrado na Tabela 9.1.

O terceiro parâmetro de avaliação refere-se à profundidade de ocorrência do nível de água do aquífero livre, para o qual o método GOD estabelece quatro intervalos (Figura 9.1). Para determinação da profundidade do nível de água dos aquíferos superficiais da Bacia PCJ foi empregado o método da subtração dos grids do modelo digital de terreno (MDT) e do mapa de cargas hidráulicas (Figura 9.2).

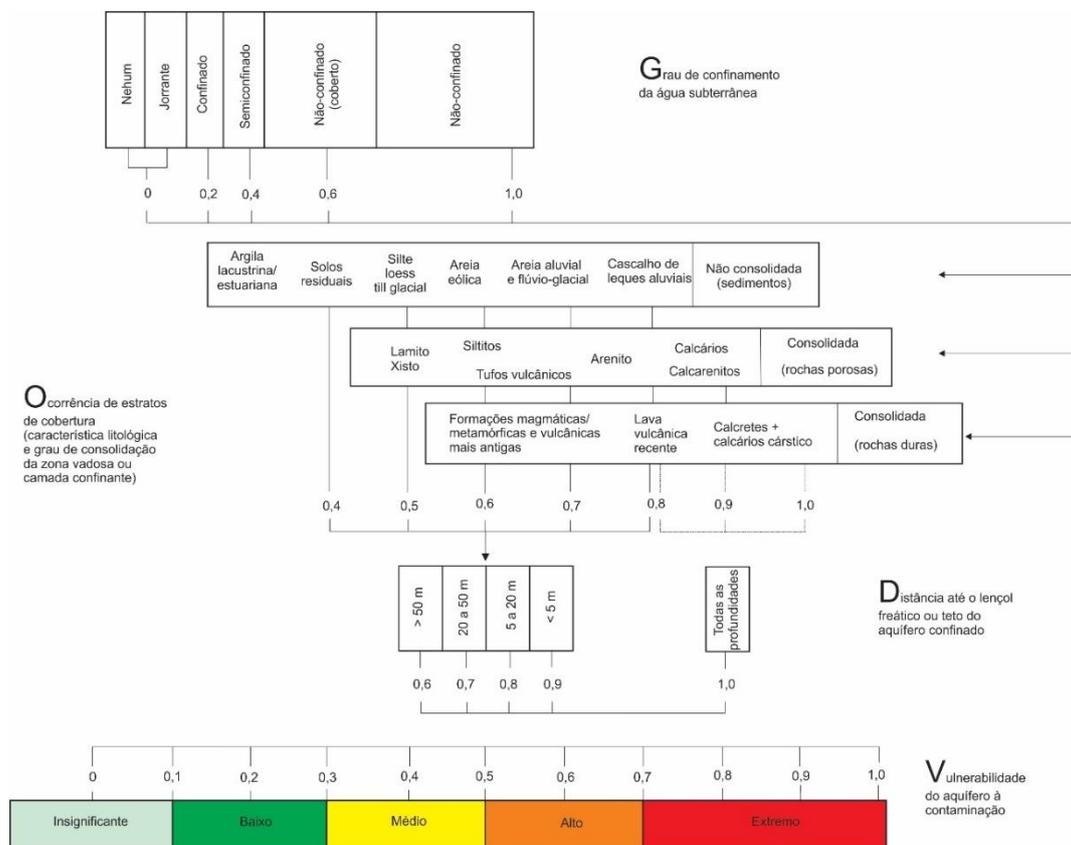


Figura 9.1 – Índices de vulnerabilidade GOD (FOSTER *et al.*, 2006).

Tabela 9.1 – índices do substrato litológico para estimativa da vulnerabilidade pelo método GOD

Índices do substrato litológico para estimativa da vulnerabilidade pelo método GOD			
Unidades litoestratigráficas	Sistemas Hidroestratigráficos	Características litológicas	Índice GOD
Aluviões	Coberturas indiferenciadas	Areia, argila, silitito, cascalho	0,75
Coberturas indiferenciadas	Rio Claro	Cascalho, areia, argila, lamito	0,75
Rio Claro	Itaqueri	Arenito, arenito conglomerático	0,75
Itaqueri	Serra Geral	Basalto, diabásio	0,50
Serra Geral	Intrusivas básicas		
Botucatu	Guarani	Arenito fino a médio, arenito heterogêneo, argilito, arenito conglomerático	0,80
Piramboia	Passa Dois	Siltito, argilito, folhelho, calcário	0,25
Corumbatai	Irati		
Irati	Tubarão	Arenito, diamictito, folhelho, ritmito, silito	0,60
Tatui	Itarare		
Itarare	Cristalino	Granito, gnaiss, filito, xisto, quartzito, granitóides	0,70
Cristalino			

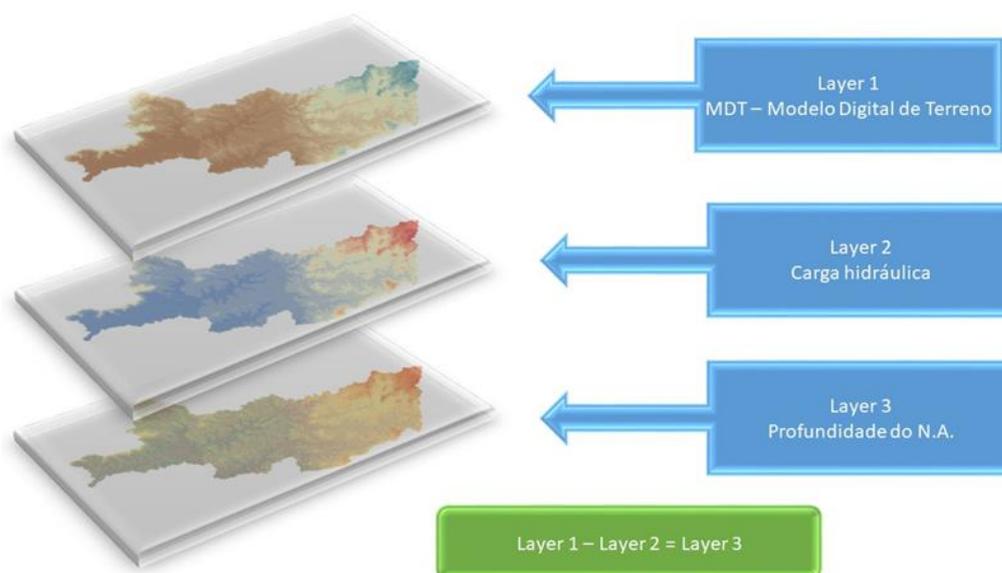


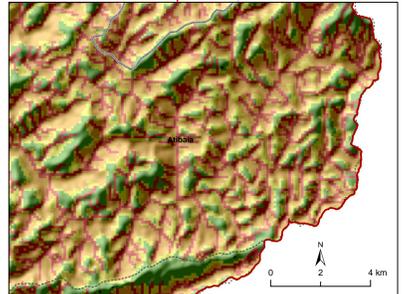
Figura 9.2– Método de subtração de grids para determinação da profundidade do N.A. dos aquíferos superficiais da Bacia PCJ.

A subtração de *grids* entre o *raster* do MDT e o *raster* do mapa potenciométrico gerou um mapa preliminar de profundidade do nível de água (N.A.) dos aquíferos superficiais. Esse mapa foi então retrabalhado, ajustado e aprimorado com a aplicação de ferramentas específicas de geoprocessamento, até alcançar a configuração final mostrada no Mapa 9.1, no qual a profundidade do N.A. resultante foi classificada de acordo com as quatro classes estabelecidas pelo método GOD.

O produto obtido pelo cruzamento dos mapas simbolizando as condições dos aquíferos, os substratos dos aquíferos e a distribuição das profundidades do nível de água resultou no Mapa 9.2, que mostra a distribuição da vulnerabilidade dos aquíferos superficiais das Bacias PCJ, segundo as subclasses identificadas na Tabela 9.2.

Tabela 9.2 – Subclasses de vulnerabilidade do método GOD adotadas para a Bacia PCJ

Classificação da vulnerabilidade dos aquíferos superficiais da Bacia PCJ				
Índice GOD		Classes	Subclasses	Classificação GOD
0,1	0,2	Baixo	Baixo	Baixo-Baixo
0,2	0,3		Alto	Baixo-Alto
0,3	0,4	Médio	Baixo	Médio-Baixo
0,4	0,5		Alto	Médio-Alto
0,5	0,6	Alto	Baixo	Alto-Baixo
0,6	0,7		Alto	Alto-Alto



LEGENDA

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| ○ Sede municipal | Nível de água |
| — Hidrografia Principal | Profundidade (m) |
| - - - Limite Municipal | Até 5 m |
| — Limite Estadual | de 5 m a 20 m |
| ⊞ Sub-bacia | De 20 m a 50 m |
| ⊞ Limite das Bacias PCJ | maior do que 50 m |



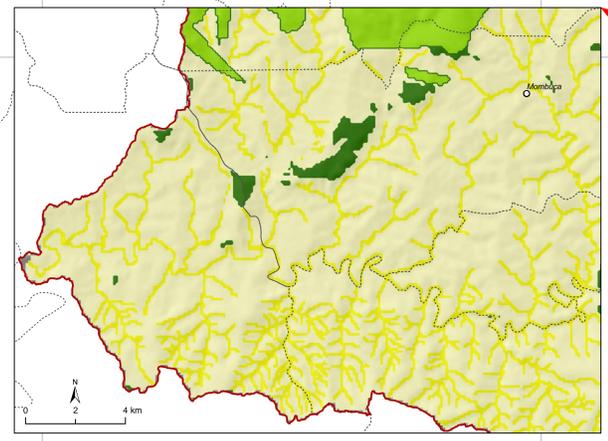
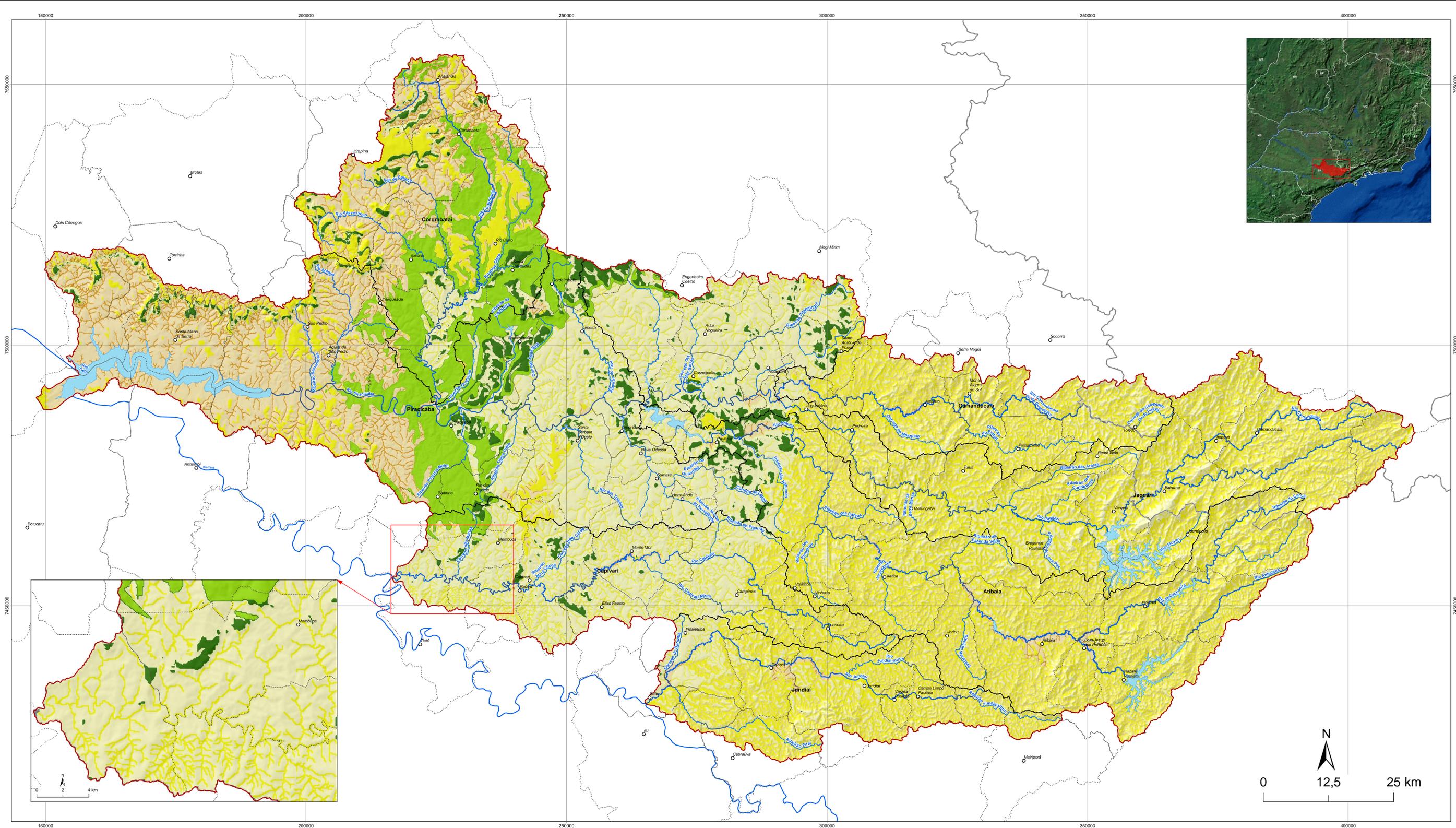
**PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO
ELABORAÇÃO DO PLANO MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO
DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DAS BACIAS PCJ**



Sistema de Coordenadas UTM
Datum SIRGAS2000
Zona 23S
Escala: 1:250.000

Mapa 9.1 - Mapa de profundidade do nível de água dos aquíferos superficiais das Bacias PCJ

Fonte de dados:
- Sede municipal: IBGE, 2010
- Limite municipal: IBGE, 2010
- Limite estadual: IBGE, 2010
- Hidrografia: ANA, 2013
- Limite da bacia: Adaptado de ANA, 2013
- Limite sub-bacia: Adaptado de ANA, 2013
- Equipotenciais: elaborado a partir de dados SRTM e do mapa potenciométrico



LEGENDA

- Sede municipal
 - Hidrografia Principal
 - Limite Municipal
 - Limite Estadual
 - Sub-bacia
 - Limite das Bacias PCJ
- Classificação GOD (Groundwater occurrence, Overall aquifer class e Depth to groundwater table)**
- Subclasses**
- Baixo-Baixo
 - Baixo-Alto
 - Médio-Baixo
 - Médio-Alto
 - Alto-Baixo
 - Alto-Alto



**PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO
ELABORAÇÃO DO PLANO MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO
DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DAS BACIAS PCJ**



Sistema de Coordenadas UTM
Datum SIRGAS2000
Zona 23S
Escala: 1:250.000

Mapa 9.2 - Mapa de vulnerabilidade dos aquíferos superficiais das Bacias PCJ

Fonte de dados:
- Sede municipal: IBGE, 2010
- Limite municipal: IBGE, 2010
- Limite estadual: IBGE, 2010
- Hidrografia: ANA, 2013
- Limite da bacia: Adaptado de ANA, 2013
- Limite sub-bacia: Adaptado de ANA, 2013
- Vulnerabilidade: Elaborado a partir dos índices litológicos, índices de natureza do aquífero e índices de profundidade do N.A.

10. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL

O Modelo Hidrogeológico Conceitual é uma representação simplificada do comportamento do fluxo subterrâneo nos sistemas aquíferos, considerando a geometria dos reservatórios, presença de aquíferos, conexões hidráulicas com corpos de água superficiais, zonas de recarga e descarga, características hidrodinâmicas etc.

Os sistemas aquíferos são abastecidos direta e continuamente por águas pluviais que se infiltram nas formações geológicas e formam os reservatórios subterrâneos. Nas Bacias PCJ, os terrenos recebem precipitações médias plurianuais que variam de 1.195 mm a pouco mais de 1.600 mm anuais, com precipitações mais intensas no extremo leste, na região da Serra da Mantiqueira, e menores na porção centro sul, na região da Depressão Periférica Paulista.

A maior parte da água das precipitações atmosféricas evapora ao atingir o solo; uma pequena parcela se transforma em escoamento superficial das bacias hidrográficas da região; e uma parcela menor infiltra-se no terreno pelas camadas superiores do solo e alcança os aquíferos em profundidade. Para a parte paulista da Bacia PCJ, Liazzi *et al.* (2007) estimaram, pelo método hidrológico, evapotranspiração em 72% da precipitação atmosférica média de 1.382 mm anuais (442 m³/s), escoamento superficial em 21% (129 m³/s) e recarga dos aquíferos em 7% (43 m³/s). A maior parte dessa recarga corresponde à reserva renovável anual dos aquíferos, sendo que uma parcela diminuta se infiltra através de camadas semiconfinantes (aquíferos), indo alimentar os reservatórios mais profundos.

As águas subterrâneas movem-se lentamente de acordo com o gradiente hidráulico e as propriedades de permeabilidade do terreno, quase horizontalmente, da região de maior potencial para a de menor potencial hidráulico. Quase toda a água infiltrada nos aquíferos, exceção àquelas que alcançam os reservatórios profundos, é descarregada para a rede de drenagem das bacias hidrográficas na forma de escoamento de base, em ciclos anuais que se repetem continuamente.

Assim, o que distingue o comportamento do fluxo subterrâneo nos diferentes aquíferos são as características litológicas do arcabouço (que controlam os parâmetros hidrodinâmicos condutividade hidráulica, transmissividade, porosidade efetiva e coeficiente de armazenamento), a natureza (livre, semiconfinado ou confinado) e a geometria (área de ocorrência e espessura) dos reservatórios.

Dois domínios hidrogeológicos principais são reconhecidos nas Bacias PCJ: o domínio de porosidade fissural predominante, representado pelos sistemas aquíferos cristalino e Serra Geral, e o domínio de porosidade predominante granular, representado pelos sistemas aquíferos integrantes da Bacia do Paraná e coberturas cenozoicas indiferenciadas.

O armazenamento e circulação de água subterrânea no sistema fissural ocorre nas fendas, fraturas, falhas e outras descontinuidades, visto que as porosidades e permeabilidades primárias das rochas cristalinas são praticamente nulas. A porosidade é meramente função das fissuras, não se distribuindo de modo homogêneo, mas variando bastante de um ponto a outro do sistema. Do mesmo modo, a condutividade hidráulica depende do grau e características do fraturamento. Essas características infligem aos sistemas fissurais forte heterogeneidade, anisotropia e descontinuidade.

Em geral, um espesso manto de alteração com espessura que varia desde duas até mais de seis dezenas de metros recobre as rochas cristalinas. Esse manto de porosidade granular é relativamente mais permeável que a rocha sã e possui melhores condições de armazenamento de água, fato que favorece a recarga do sistema fissural subjacente por drenança vertical. No caso de rochas basálticas, os solos de alteração extremamente argilosos são praticamente impermeáveis, dificultando a recarga do aquífero.

Normalmente, a zona de saturação dos aquíferos fissurais encontra-se à pressão atmosférica, ou seja, em condições freáticas, mas pode eventualmente exibir caráter semiconfinado. As fraturas saturadas de água podem apresentar diferentes cargas hidráulicas e o nível de água medido no poço representa uma combinação dessas cargas. Os níveis de água do aquífero, em condições freáticas, oscilam para cima em resposta às precipitações e para baixo em resposta à descarga natural, evapotranspiração e bombeamento. A Figura 10.1 representa o modelo conceitual de fluxo subterrâneo no Sistema Aquífero Cristalino, compreendido por uma cobertura de solo e de rocha alterada sobrejacente ao um domínio fissural.

O Sistema Aquífero Tubarão é um reservatório subterrâneo com arcabouço litológico e estrutural bastante complexo, formado por alternância entre sedimentos mais grossos e mais finos, com espessura variada e rápidas variações laterais e verticais de fácies. Normalmente encontra-se entrecortado por diversas intrusões de diabásio, em níveis estratigráficos distintos, que interrompem sua continuidade. Suas características hidrodinâmicas, por conta de sua diversidade litofaciológica, são extremamente variáveis e lhe conferem grande

heterogeneidade hidráulica. Esse arcabouço litológico complexo condiciona as características locais de permoporosidade e taxas de infiltração. O sistema reúne aquíferos livres nas porções aflorantes e semiconfinados a confinados nas porções mais profundas. Esse arranjo dificulta o traçado das equipotenciais visto que cada zona aquífera enfeixada por aquitardos locais possui uma potenciometria distinta. A Figura 10.2 representa o modelo conceitual de fluxo subterrâneo no Sistema Aquífero Tubarão, composto de um aquífero raso sobrejacente a um sistema de reservatórios profundos de natureza semiconfinada a confinada.

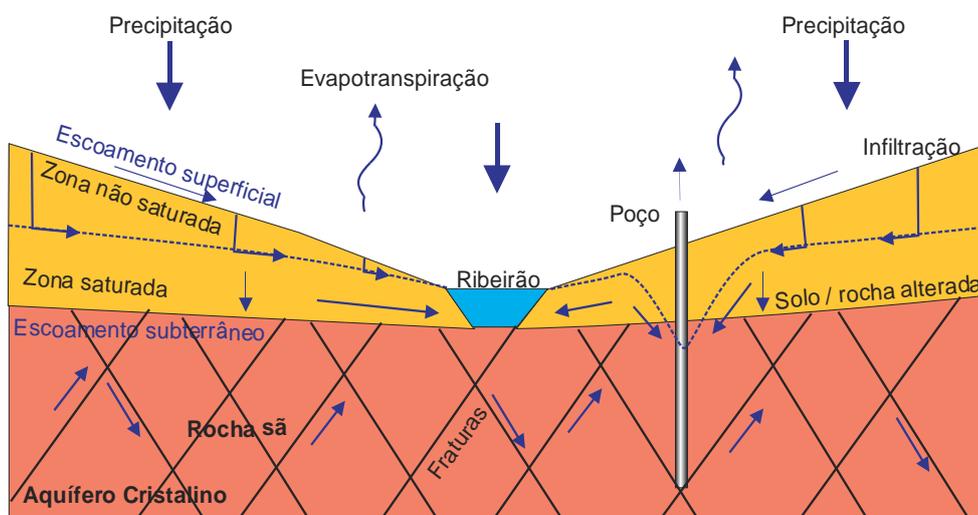


Figura 10.1 - Modelo conceitual de fluxo subterrâneo no Sistema Aquífero Cristalino (Paula e Silva, 2017a).

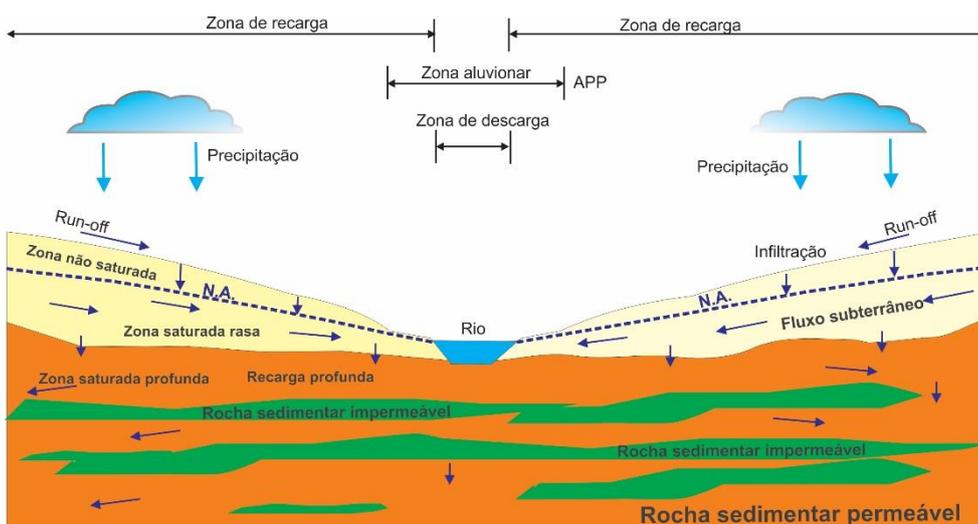


Figura 10.2 - Modelo conceitual de fluxo subterrâneo no Sistema Aquífero Cristalino (Paula e Silva, 2017b).

O Sistema Aquífero Guarani está representado nas Bacias PCJ quase que exclusivamente pela unidade hidroestratigráfica Piramboia. Este aquífero mostra predominância de sedimentos arenosos, permeáveis, ao longo de toda sua área de ocorrência, fato que favorece a infiltração de água das chuvas e, conseqüentemente, o processo de recarga. Apresenta natureza livre nas porções rasas superiores e semiconfinada em maior profundidade devido a intercalações de sedimentos argilosos. A Figura 10.3 representa o modelo conceitual de fluxo no Sistema Aquífero Guarani.

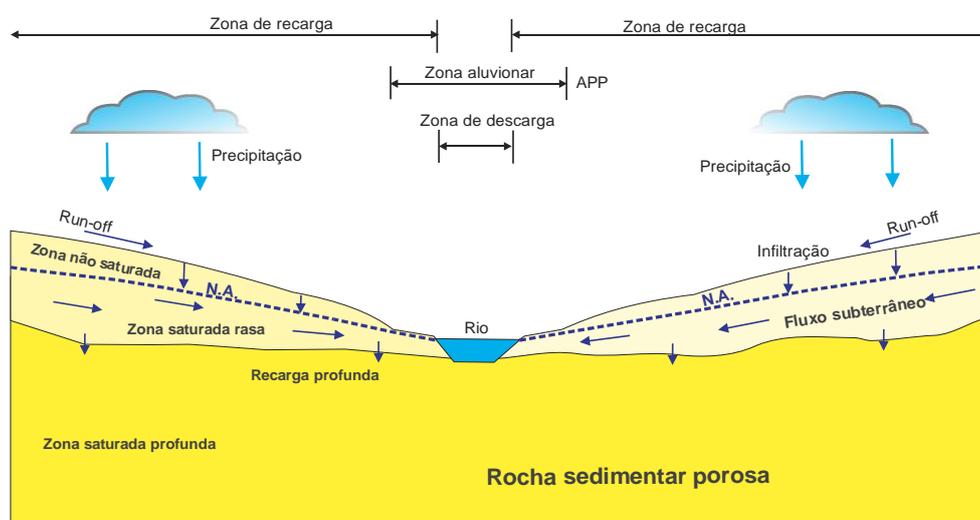


Figura 10.3 - Modelo conceitual de fluxo no Aquífero Guarani aflorante (Paula e Silva, 2017b).

Os demais sistemas aquíferos sedimentares distribuídos na Bacia PCJ, representados pelas unidades Itaqueri, Rio Claro e Coberturas Indiferenciadas, compreendem reservatórios clásticos distribuídos localizadamente e de pequena espessura, exceção à unidade Itaqueri. Boa parte dessas coberturas e depósitos cenozoicos distribuem-se em pequenas manchas isoladas, hidráulicamente desconectadas, podendo ser consideradas reservatórios particularizados. Constituem reservatórios de extensão local, natureza livre e heterogêneos, e cumprem importante papel na recarga de aquíferos subjacentes, quando não assentados sobre os pelitos do Aquitardo Passa Dois. Já os sedimentos aluvionares mantem estreita conexão hidráulica com os cursos de água superficiais, sendo importantes para manutenção do escoamento de base dos rios.

Embora ocorram zonas aquíferas em arenitos entremeados aos siltitos e folhelhos constituintes do Grupo Passa Dois, esta unidade constitui um aquitardo regional que isola os sistemas aquíferos mesozoicos, acima, e os sistemas paleozoicos, abaixo. As águas desta unidade costumam apresentar salinidade elevada e teores de sulfato e cloreto elevados.

(DAEE, 1981). A cobertura de solo que capeia o aquífero é responsável por absorver parte das águas das chuvas e atuar como regulador do fluxo subterrâneo que alimenta os pontos de descarga, representados pelos corpos hídricos superficiais. O reservatório subterrâneo formado por este solo (Figura 10.4) é descontínuo e possui pequena capacidade de armazenamento de água em razão da baixa porosidade efetiva e, normalmente, pequena espessura, insuficiente para manter o escoamento de base ao longo de todo ciclo anual (Paula e Silva & Chang, 2017).

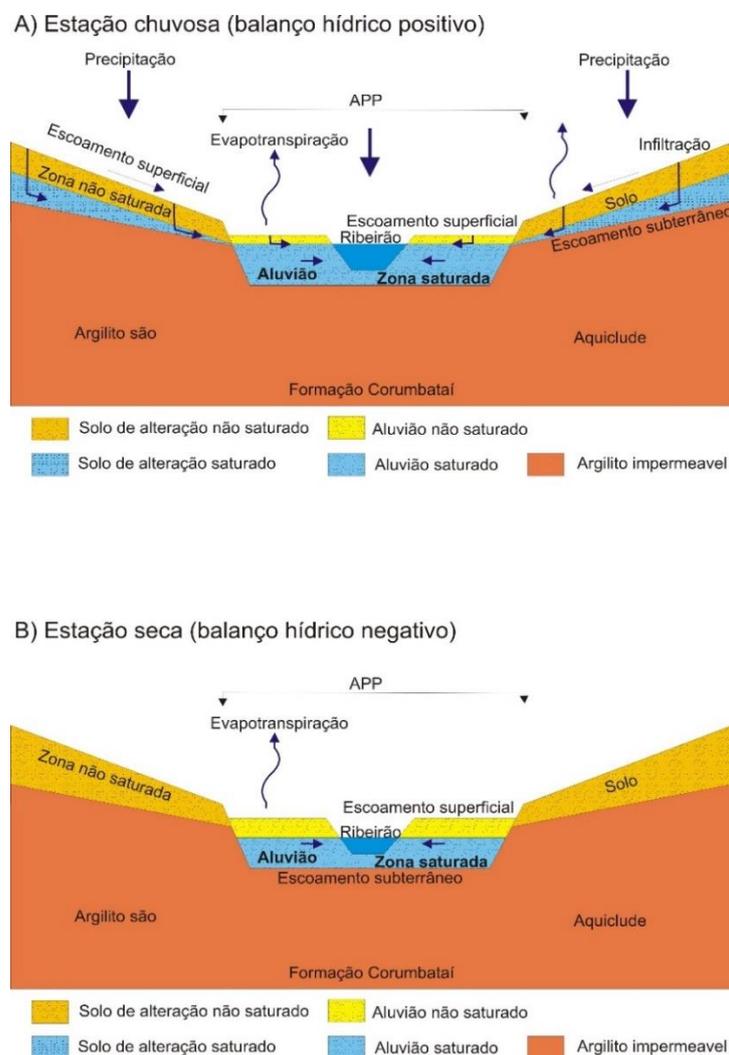


Figura 10.4 - Modelo conceitual de fluxo no Aquífero Passa Dois, nas estações chuvosa e seca (PAULA E SILVA, 2017c).

11. ÁREAS DECLARADAS CONTAMINADAS

Área contaminada é definida como área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria que contenha quantidades ou concentrações de matéria em condições que causem ou possam causar danos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger, segundo a Lei nº 13.577.

O gerenciamento e atualização contínua do cadastro de áreas contaminadas e reabilitadas é de responsabilidade da CETESB, no Estado de São Paulo, que estabeleceu procedimentos de proteção da qualidade do solo e das águas Subterrâneas, de gerenciamento de áreas contaminadas e diretrizes para gerenciamento de áreas contaminadas no âmbito do licenciamento ambiental.

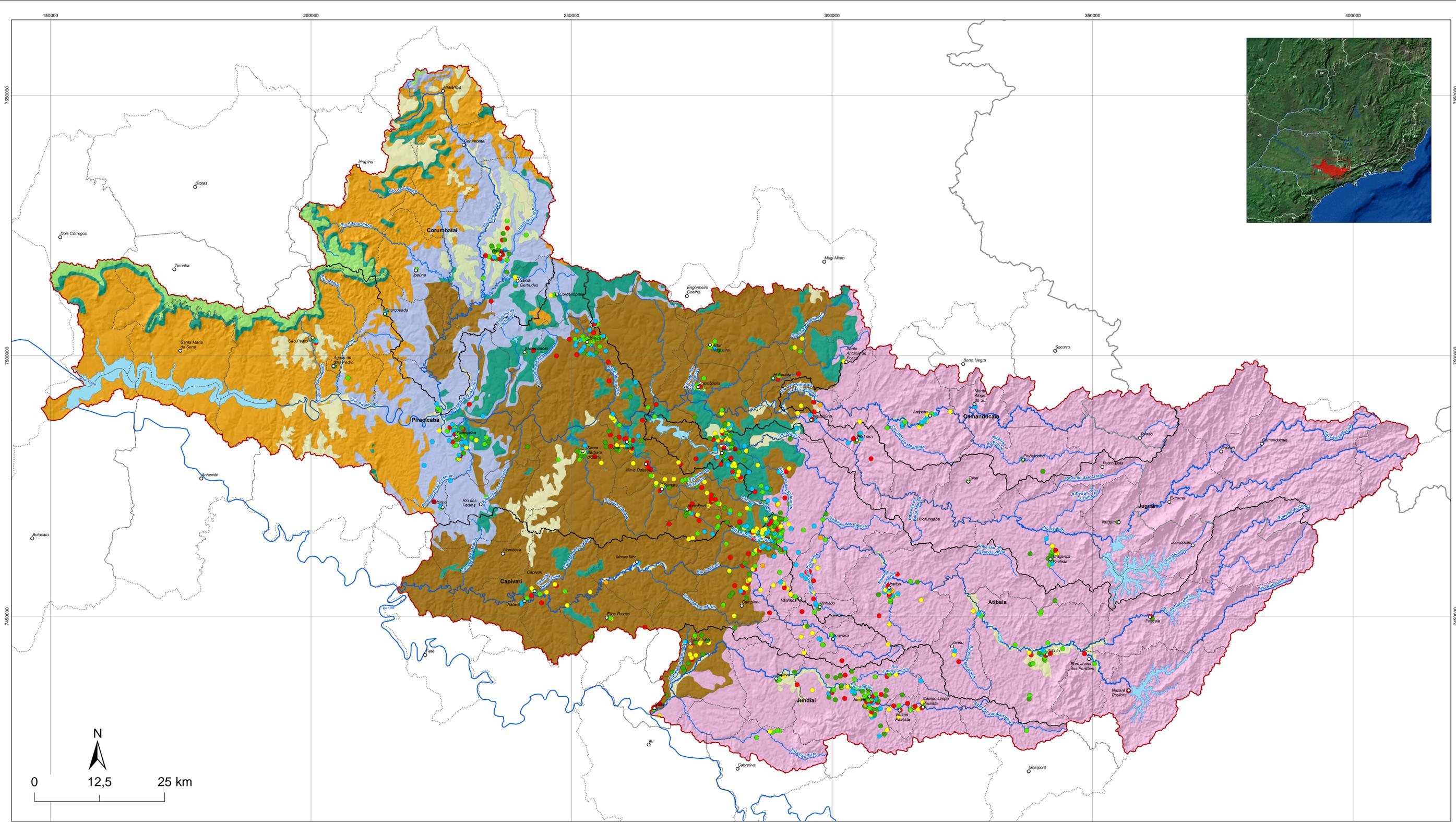
De acordo com cadastro fornecido pela CETEB, há um total de 864 áreas declaradas contaminadas na UGRHI 5 – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos das bacias Piracicaba/Capivari/Jundiá (Mapa 11.1). A Tabela 11.1 mostra a classificação dessas áreas e o número de processos, de acordo com critérios estabelecidos pela CETESB.

Tabela 11.1 – Número de processos com base na classificação das áreas declaradas contaminadas das Bacias PCJ

Classificação das áreas contaminadas	Número de processos
contaminada com risco confirmado (ACRi)	149
contaminada em processo de reutilização (ACRu)	14
contaminada sob investigação (ACI)	158
em processo de monitoramento para encerramento (AME)	200
em processo de remediação (ACRe)	174
reabilitada para o uso declarado (AR)	169
Total Geral	864

Segundo a CETESB, essas classes são assim definidas:

- Área Contaminada sob Investigação (ACI): área onde foram constatadas por meio de investigação confirmatória concentrações de contaminantes que colocam, ou podem colocar, em risco os bens a proteger;



LEGENDA

- Sede municipal
- Áreas Contaminadas e Reabilitadas**
- Contaminada com risco confirmado (ACRi)
- Contaminada em processo de reutilização (ACRu)
- Contaminada sob investigação (ACI)
- Em processo de monitoramento para encerramento (AME)
- Em processo de remediação (ACRe)
- Reabilitada para o uso declarado (AR)
- Hidrografia Principal
- - - Limite Municipal
- Limite Estadual
- Sub-bacia
- Limite das Bacias PCJ
- Hidrogeologia**
- Sistemas Aquíferos**
- Coberturas cenozoicas
- Rio Claro
- Itaqueri
- Serra Geral
- Guarani
- Passa Dois
- Tubarão
- Cristalino



**PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO
ELABORAÇÃO DO PLANO MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO
DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DAS BACIAS PCJ**



Sistema de Coordenadas UTM
Datum SIRGAS2000
Zona 23S
Escala: 1:250.000

Mapa 11.1 - Localização das Áreas Contaminadas e Reabilitadas

Fonte de dados:
- Sede municipal: IBGE, 2010
- Limite municipal: IBGE, 2010
- Limite estadual: IBGE, 2010
- Hidrografia: ANA, 2013
- Limite da bacia: Adaptado de ANA, 2013
- Limite sub-bacia: Adaptado de ANA, 2013
- Hidrogeologia: CPRM, 2007
- Áreas Contaminadas e Reabilitadas: CETESB, 2018

- Área Contaminada com Risco Confirmado (ACRi): área onde foi constatada, por meio de investigação detalhada e avaliação de risco, contaminação no solo ou em águas subterrâneas, a existência de risco à saúde ou à vida humana, ecológico, ou onde foram ultrapassados os padrões legais aplicáveis;
- Área Contaminada em Processo de Remediação (ACRe): área onde estão sendo aplicadas medidas de remediação visando à eliminação da massa de contaminantes ou, na impossibilidade técnica ou econômica, sua redução ou a execução de medidas contenção e/ou isolamento;
- Área em Processo de Monitoramento para Encerramento (AME): área na qual não foi constatado risco ou as metas de remediação foram atingidas após implantadas as medidas de remediação, encontrando-se em processo de monitoramento para verificação da manutenção das concentrações em níveis aceitáveis;
- Área Reabilitada para o Uso Declarado (AR): área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria anteriormente contaminada que, depois de submetida às medidas de intervenção, ainda que não tenha sido totalmente eliminada a massa de contaminação, tem restabelecido o nível de risco aceitável à saúde humana, ao meio ambiente e a outros bens a proteger;
- Área Contaminada em Processo de Reutilização (ACRu): área contaminada onde se pretende estabelecer um novo uso do solo, com a eliminação, ou a redução a níveis aceitáveis, dos riscos aos bens a proteger, decorrentes da contaminação;
- Área Contaminada Crítica (ACcrítica): são áreas contaminadas que, em função dos danos ou riscos, geram risco iminente à vida ou saúde humana, inquietação na população ou conflitos entre os atores envolvidos, exigindo imediata intervenção pelo responsável ou pelo poder público, com necessária execução diferenciada quanto à intervenção, comunicação de risco e gestão da informação.

A CETESB também classificou como Áreas Contaminadas Críticas a chamada Mansões de Santo Antônio (Concima), no município de Campinas, e os Aterros Industriais Mantovani e Central Técnica de Tratamento e Disposição de Resíduos Industriais (CETRIN), no município de Santo Antônio de Posse, localizados na UGRHI 5.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRITEMPO – Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br/agritempo/links.jsp>. Último acesso em março de 2019.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Base Hidrográfica Ottocodificada das Bacias Hidrográficas do Piracicaba, Capivari e Jundiá. ANA. 2013

BOCARDI, L.B.; ROSTIROLLA, S.P.; DEGUCHI, M.G.F.; MANCINI, F. História de soterramento e diagênese em arenitos do Grupo Itararé – implicações na qualidade de reservatórios. Rev. Bras. Geoc., 38:207-216. 2008.

CAMPOS, H.C.S. Águas subterrâneas na Bacia do Paraná. Geosul, Florianópolis, v. 19, n. 37, p 47-65. 2004.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Qualidade das águas subterrâneas no estado de São Paulo [recurso eletrônico]:boletim 2017 / CETESB ; Equipe técnica Rosângela Pacini Modesto ... [et al.]. – São Paulo : CETESB, 2018.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Uso das águas subterrâneas para abastecimento público no Estado de São Paulo. São Paulo. 48 p. 1997.

CHANG, H.K.; TEIXEIRA, A.J.; VIDAL, A.C. Aspectos Hidrogeológicos e Hidroquímicos das Regiões dos Municípios de Mogi Mirim, Mogi Guaçu e Itapira. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 22, n. especial, p. 63-73. 2003.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 2 ed. Coordenadores Feitosa, F. A .C. e Manoel Filho, J. M. LABHID-UFPE, Fortaleza 2000. 412 p.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil. Escala 1:2.500.000. Mapa e anexos. CD-ROM. 2007.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Programa Geologia do Brasil. Mapa Geológico do Estado de São Paulo na escala 1.750.000. Mapa e anexos. CD-ROM. 2005.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo. Escala 1:100.000. Coordenação geral Gerônimo Rocha. DAEE, IGSM, IPT, CPRM. São Paulo, 119 p. 2005.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Caracterização dos recursos hídricos no Estado de São Paulo. São Paulo, SP. DAEE, 175p. 1984.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/>. Último acesso em março de 2019.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Estudo de Águas Subterrâneas - Região Administrativa 5 - Campinas. São Paulo: DAEE. 2 v. 1981.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Pesquisa de Dados dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo: (<http://www.aplicacoes.daee.sp.gov.br/usuarios/fchweb.html>).

DAEE/UNESP: Águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Diretrizes de Utilização e Proteção / Departamento de Águas e Energia Elétrica, Instituto Geociências e Ciências Exatas. Laboratório de Estudo de Bacias. - São Paulo : DAEE/LEBAC, 2013

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. Estudo de Águas Subterrâneas - Região Administrativa 4 - Sorocaba. São Paulo: DAEE, 1982. 2 v.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. Estudo de águas subterrâneas – Região Administrativa 6 - Ribeirão Preto. São Paulo: DAEE, 1974. 4 v.

DIOGO A.; BERTACHINI A.C.; CAMPOS H.C.N.S.; ROSA, R.B.G.S. Estudo preliminar das características hidráulicas e hidroquímicas do Grupo Tubarão no estado de São Paulo. In: SBG, Simp. Reg. Geol., 3, Curitiba, Atas, 1:359-368. 1981.

EZAKI, S.; ODA, G.H.; IRITANI, M.A.; VEIGA, C.; STRADIOTO, M.R. Hidroquímica dos aquíferos Tubarão e Cristalino na região de Indaiatuba-Rafard, Estado de São Paulo. Geociências, 41 (1): 65-79. 2014.

FETTER, C. W. Applied Hydrogeology. 4ª ed. Prentice-Hall, Inc., USA, 2001. 598 p.

- FOSTER, S. S. D. & HIRATA, R. Determinação de Riscos de Contaminação das Águas Subterrâneas: um método baseado em dados existentes. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. (Boletim n.º 10).
- FOSTER, S; HIRATA, R; GOMES, D; D'ELIA, M; PARIS, M. Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. São Paulo, Servmar. 104p. 2006.
- FRANÇA, A.B.; POTTER, P.E. Estratigrafia, ambiente deposicional do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (Parte 2). Boletim Geociências Petrobras,3:17-28. 1989.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010. (www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010)
- IG – INSTITUTO GEOLÓGICO. Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE. São Paulo: IG/ Cetesb/ DAEE. 2 v. mapas. (Série Documentos). 1997.
- JESUS, I. P.S. Caracterização dos aquíferos em meio cristalino da porção oeste da Bacia do Alto Tietê. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. Tese de Doutorado. 2005.
- LIAZI, A.; MANCUSO, M. A., CAMPOS, J. E. & ROCHA, G. A. 2007. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo. Anais...17 p.
- OEA – ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS. Aquífero Guarani: programa estratégico de ação - PEA. OEA: Brasil; Argentina; Paraguai; Uruguai, 2009. 424 p.
- PAULA E SILVA, F. & CHANG, H. K. Interferências da atividade minerária argileira nos recursos hídricos da bacia do Ribeirão Santa Gertrudes / SP. Estudo de caso. 2017b.
- PAULA E SILVA, F. Estudo hidrogeológico em área de mineração para determinação das interferências em nascentes decorrentes das atividades de extração mineral, Santa Gertrudes (SP). Relatório Técnico. 18 p. 2017c.

PAULA E SILVA, F. Estudos hidrogeológicos para estabelecimento da área de proteção da Fonte Nossa Senhora da Conceição, Morungaba (SP). Consórcio Geodata/Geomagna. Relatório Técnico. 50 p. 2017a.

PROFILL/RHAMA. Relatório Final da Revisão e Atualização do Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2010 a 2020. Piracicaba, abril de 2018.

REBOUÇAS, A.C. Potencialidades hidrogeológicas dos basaltos da Bacia do Paraná no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, Recife, Anais..., v.6, Recife: SBG. p.2963-2976. 1978.

STRUCKMEIR, W.F. & MARGAT, J. Hydrogeological maps: a guide and a standard legend. IAH International Contributions to Hydrogeology Vol 17, 1995. International Association of Hydrogeologists.

VIDAL, A.C. Estudo Hidrogeológico do Aquífero Tubarão na Área de Afloramento da Porção Central do Estado de São Paulo. IGCE/UNESP, Rio Claro SP. 109 p. (Tese de Doutorado). 2002.