

# GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

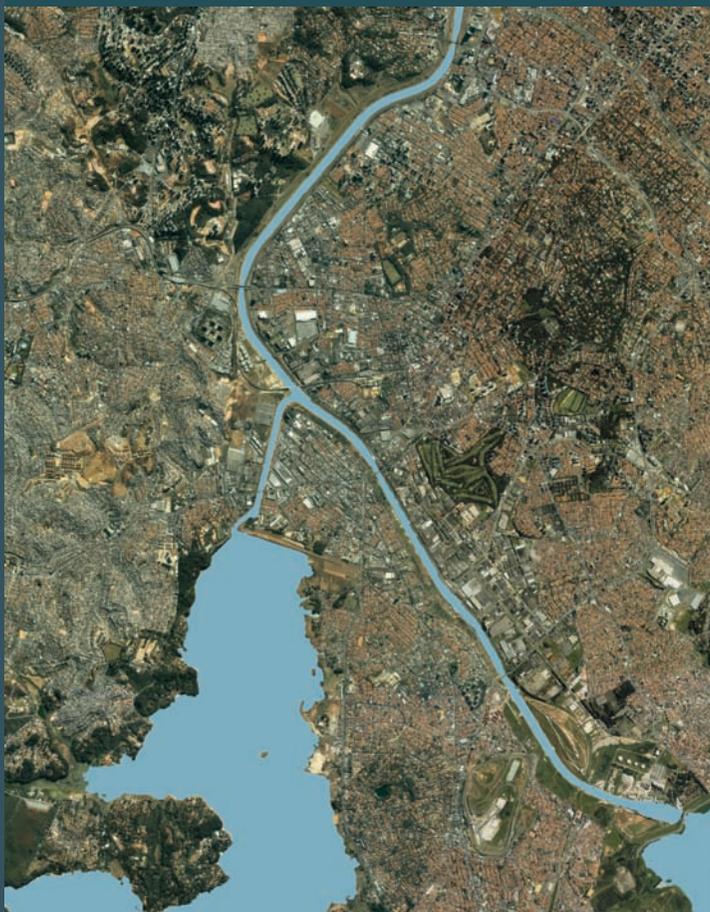
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE • SECRETARIA DE SANEAMENTO E ENERGIA

## CADERNOS DO PROJETO ESTRATÉGICO AQUÍFEROS

### Número 1

## PROJETO JURUBATUBA

RESTRIÇÃO E CONTROLE DE USO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA



São Paulo / 2009

**GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO**

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE • SECRETARIA DE SANEAMENTO E ENERGIA

**CADERNOS DO PROJETO ESTRATÉGICO AQUÍFEROS**

**Número 1**

**PROJETO JURUBATUBA**

RESTRIÇÃO E CONTROLE DE USO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

SERVMAR | DAEE | IG | PROJETO AQUÍFEROS

São Paulo / 2009

**Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca do Instituto Geológico**

---

São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente.  
Secretaria de Estado de Saneamento e Energia.

S63p Projeto Jurubatuba : restrição e controle de uso de água subterrânea / Departamento de Águas e Energia Elétrica, Instituto Geológico, Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Secretaria de Estado de Saneamento e Energia. – São Paulo : DAEE/IG, 2009.

109 p. : il. – (Cadernos do Projeto Estratégico Aquíferos; nº 01)

1. Águas subterrâneas – legislação. 2. Contaminação das águas subterrâneas. 3. Outorga e fiscalização – São Paulo. 4. Fundamentos Jurídicos. I. Título.

CDD 551.49

---

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Governador *José Serra*

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE

Secretário *Francisco Graziano Neto*

INSTITUTO GEOLÓGICO

Diretor *Ricardo Vedovello*

SECRETARIA DE SANEAMENTO E ENERGIA

Secretária *Dilma Seli Pena*

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA

Superintendente *Ubirajara Tannuri Felix*

## APRESENTAÇÃO

Esta publicação apresenta uma síntese da situação de contaminação na região do entorno do canal do Jurubatuba, na zona sul do município de São Paulo, e avança na proposição de um método para delimitar áreas de restrição da exploração das águas subterrâneas. Esta é uma das formas possíveis para reduzir o risco de contaminação de poços, proteger a saúde pública e minimizar o espalhamento de contaminantes nos aquíferos.

Aqui está o resultado do primeiro trabalho aplicado a uma das seis áreas críticas do Estado de São Paulo identificadas por estudos técnicos. O objetivo é contribuir para o gerenciamento do uso da água subterrânea e para a conservação da qualidade deste recurso.

A realização deste trabalho surgiu da necessidade de definição de um método que delimitasse as áreas de restrição e de controle do uso da água subterrânea, na região industrial do Jurubatuba, contaminada por compostos organoclorados que atingiram poços de produção de água subterrânea.

A partir de um novo método de identificação de áreas críticas, são propostas ações de gerenciamento do recurso subterrâneo baseado na co-responsabilidade entre Estado e usuário, equilibrando o uso seguro da água e a proteção do recurso.

Elaborada no âmbito do Projeto Ambiental Estratégico Aquíferos, esta publicação mostra o trabalho que representa um avanço importante na identificação de áreas críticas para o fornecimento de subsídios qualificados na proposição de políticas públicas, evitando a superexploração e a contaminação de águas subterrâneas. Contribui, também, para a disseminação de conhecimento e para a divulgação de informações.

Boa leitura.

FRANCISCO GRAZIANO NETO

Secretário do Meio Ambiente

DILMA PENA

Secretária de Saneamento e Energia

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	1
1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA .....	9
Localização da área .....	9
Uso e ocupação do solo e aspectos sócio-econômicos....	10
Infra-Estrutura Sanitária .....	12
Poços de Abastecimento Suplementar Privados.....	14
2. DISPONIBILIDADE E FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA...	19
Uso da Água Subterrânea e Vazão Explorada .....	19
Geologia .....	22
Geologia – Estrutural.....	24
Hidrogeologia .....	28
Modelo Hidrogeológico Numérico de Fluxo .....	40
3. CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA .....	49
Águas dos Sistemas Aquíferos Sedimentar e Cristalino.....	49
Vulnerabilidade dos Aquíferos à Contaminação .....	50
Compostos de Interesse .....	53
Áreas Contaminadas.....	56
Análises Químicas da Água.....	59
Caracterização da Contaminação.....	65

---

4. PROPOSTA DE RESTRIÇÃO E CONTROLE DE USO.....	71
5. LEGISLAÇÃO INCIDENTE.....	81
6. CONCLUSÕES.....	91
7. RECOMENDAÇÕES.....	97
8. REFERÊNCIAS.....	103
9. EQUIPE TÉCNICA.....	107
10. AGRADECIMENTOS.....	109

## FIGURAS

<b>Figura 1.1</b>	– Localização da área de estudo e os distritos que a englobam .....	9
<b>Figura 1.2</b>	– Uso e ocupação do solo.....	10
<b>Figura 1.3</b>	– Mudança de uso e ocupação do solo na área estudada .....	11
<b>Figura 1.4</b>	– Distribuição da rede de abastecimento de água .....	13
<b>Figura 1.6</b>	– Localização dos poços cadastrados .....	14
<b>Figura 1.5</b>	– Rede de coleta de esgoto.....	14
<b>Figura 1.7</b>	– Estado de funcionamento dos poços da área de estudos .....	15
<b>Figura 1.8</b>	– Exemplo de poço em bom estado de conservação (a) e de poço mal conservado (b), vistos durante a inspeção em campo .....	16
<b>Figura 2.1</b>	– Distribuição do número de poços e vazão de outorga ( $m^3/d$ ) em relação ao tipo de uso de água subterrânea na área de estudo .....	19
<b>Figura 2.2</b>	– Vazão de outorga dos poços.....	20
<b>Figura 2.3</b>	– Número de poços e vazão de outorga na área de estudo .....	20
<b>Figura 2.4</b>	– Sistema aquífero explorado por poço .....	21
<b>Figura 2.5</b>	– Geologia da área de estudos.....	23
<b>Figura 2.6</b>	– Seções geológicas.....	25
<b>Figura 2.7</b>	– Distribuição espacial dos poços ensaiados e amostrados em campo.....	27
<b>Figura 2.8</b>	– Fraturas de maior ângulo que predominam em maiores profundidades (poço 692) .....	27
<b>Figura 2.9</b>	– Hidrogeologia da área de estudos.....	29

Figura 2.10 – Espessura do sedimento .....	30
Figura 2.11 – Topo da rocha sã .....	31
Figura 2.12 – Evolução da construção de poços por décadas.....	31
Figura 2.13 – Carga hidráulica do Sistema Aquífero Sedimen- tar (SAS).....	32
Figura 2.14 – Carga hidráulica do Sistema Aquífero Cristalino (SAC) nas décadas de 60, 70 e 80 .....	33
Figura 2.15 – Carga hidráulica do Sistema Aquífero Cristalino (SAC) nas décadas de 90 e 2000 .....	33
Figura 2.16 – Poço 691. Tendência de fluxo ascendente em todos os testes com resultados confiáveis .....	36
Figura 2.17 – Modelo conceitual de circulação de água subterrânea na área de estudo de acordo com a seção construída ao longo do perfil F-F' .....	39
Figura 2.18 – Área de estudo com as drenagens e limites do modelo numérico .....	40
Figura 2.19 – Vazão de reação nos pontos do modelo com carga conhecida .....	41
Figura 2.20 – Comparação entre cargas hidráulicas calculadas (em vermelho) e as cargas hidráulicas observadas (em azul).....	42
Figura 2.21 – Visualização espacial da superfície potencio- métrica calculada pelo modelo com detalhe dos maiores cones de rebaixamento (azul) .....	43
Figura 2.22 – ZOCs para um período de 20 anos ao norte da área .....	43
Figura 2.23 – Cargas hidráulicas com poços ativos (a) e considerando a recuperação após a paralisação dos poços conhecidamente com organoclorados (b).....	45
Figura 3.1 – Vulnerabilidade natural dos aquíferos à polui- ção .....	51
Figura 3.2 – Classificação de atividades com carga potencial de contaminação .....	52
Figura 3.3 – Cadeia de degradação de etenos clorados.....	54
Figura 3.4 – Tipos de áreas contaminadas (a) e fontes de contaminação por solventes halogenados alifáticos em áreas industriais (b).....	56

<b>Figura 3.5</b>	– Áreas declaradas contaminadas.....	57
<b>Figura 3.6</b>	– Etapas de trabalhos, até 2007, nas áreas declaradas contaminadas.....	57
<b>Figura 3.7</b>	– Galeria com contaminação conectada à rede de galerias pluviais.....	59
<b>Figura 3.8</b>	– Número de análises químicas nos poços.....	60
<b>Figura 3.9</b>	– Concentração de parâmetros em diferentes profundidades amostradas.....	61
<b>Figura 3.10</b>	– Concentração de parâmetros em diferentes profundidades amostradas.....	62
<b>Figura 3.11</b>	– Concentração de parâmetros em diferentes profundidades amostradas.....	62
<b>Figura 3.12</b>	– Distribuição espacial dos poços onde foram coletadas amostras para análise de etenos e etanos clorados .....	63
<b>Figura 3.13</b>	– Detecção de parâmetros em 46 poços com análise completa.....	64
<b>Figura 3.14</b>	– Detecção de parâmetros em 44 poços com análise.....	64
<b>Figura 4.1</b>	– Critério de delimitação da área de restrição no entorno de células .....	72
<b>Figura 4.2</b>	– Distribuição de atividades nas grades de 500 m x 500 m .....	72
<b>Figura 4.3</b>	– Critério de classificação das áreas de restrição ..	73
<b>Figura 4.4</b>	– Áreas de restrição propostas para a área de estudo .....	74

## TABELAS

<b>Tabela 1</b>	– Histórico de contaminação da água subterrânea.....	4
<b>Tabela 2.1</b>	– Tipos de vazão média por hora (mínimo e máximo), por aquífero explorado.....	21
<b>Tabela 2.2</b>	– Cargas e tendências de direção de fluxo das zonas isoladas .....	34
<b>Tabela 2.3</b>	– Resultados de ensaios de bombeamento de 24 horas no Sistema Aquífero Cristalino, interpretado pelo método Cooper-Jacob .....	37
<b>Tabela 3.1</b>	– Características dos compostos de interesse e os efeitos toxicológicos .....	55
<b>Tabela 3.2</b>	– Poços que apresentam em sua análise compostos EEC e EAC ( $\mu\text{g/L}$ ).....	60
<b>Tabela 4.1</b>	– Medidas de Restrição e Controle para os poços de captação de água subterrânea.....	76

## LISTA DE SIGLAS

AEPC	– Atividades com elevado potencial de contaminação
ARC	– Área de Restrição e Controle
ARC-CO	– Áreas Confirmadas de Restrição e Controle
ARC-PO	– Áreas Potenciais de Restrição e Controle
ARC-PR	– Áreas Prováveis de Restrição e Controle
ATV	– <i>Acoustic televiewer</i>
BAT	– Bacia do Alto Tietê
CETESB	– Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CMSP	– Câmara Municipal de São Paulo
COVISA	– Coordenação de Vigilância em Saúde
CRH	– Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CV	– Cloreto de Vinila
DAEE	– Departamento de Águas e Energia Elétrica
DCA	– Dicloroetano
DCE	– Dicloroetano
EAC	– Etenos clorados
EEC	– Etenos clorados
EMPLASA	– Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A.
ETE	– Estação de Tratamento de Esgoto
IG	– Instituto Geológico
IPT	– Instituto de Pesquisas Tecnológicas
PCE	– Tetracloroetano
POSH	– <i>Pollutant origin, surcharge hydraulically</i>
PPP	– Perímetro de proteção de poço
PVC	– Polivinila cloreto

---

RMSP	– Região Metropolitana de São Paulo
SABESP	– Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SAS	– Sistema Aquífero Sedimentar
SAC	– Sistema Aquífero Cristalino
SEADE	– Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
SES/SERHS/SMA	– Secretaria de Estado de Saúde, de Recursos Hídricos e Saneamento; e do Meio Ambiente
SIG	– Sistema de Informação Geográfica
SNC	– Sistema Nervoso Central
SVMA	– Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente
TCA	– Tricloroetano
TCE	– Tricloroeteno
USP	– Universidade de São Paulo
VMP	– Valor Máximo Permitido
VOI	– Valores Orientadores de Intervenção
VOC	– Compostos orgânicos voláteis
ZOC	– Zona de captura de poço

## INTRODUÇÃO

Esta publicação apresenta uma síntese de resultados desenvolvidos por etapas, que constam em Relatórios Parciais, de 1 a 4, e Relatório Final; este último compreende o estudo completo, com a junção de todas as etapas e produtos. O trabalho foi executado pela empresa Servmar Serviços Técnicos Ambientais Ltda conforme contrato com o Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE (nº 2007/15/00031.00) e teve financiamento do FEHIDRO, conforme contrato nº 39/2005.

A região do Jurubatuba, zona sul do município de São Paulo, apresenta um histórico de contaminação da água subterrânea (**Tabela 1**) por fontes diversas. Do outro lado, a região é uma das que experimentam as maiores extrações de água subterrânea na Bacia do Alto Tietê (BAT) por, provavelmente, mais de mil poços. Assim, a água explorada na região é passível de sofrer contaminação, comprometendo a saúde dos usuários.

Além do histórico de contaminação na região, os municípios da BAT sofrem com problemas de abastecimento público. A operadora do sistema é limitada em fornecer 64 m<sup>3</sup>/s. O restante da demanda, de 72m<sup>3</sup>/s, é complementado por 12 mil poços tubulares privados, operados, em sua maioria (>70%), ilegalmente (FUSP, 2002). O descontrole e a perda de poços, por contaminação ou por superexploração, causariam o abandono desses poços e a migração desses usuários para a rede pública. Essa situação não é diferente do encontrado em Jurubatuba, na cidade de São Paulo. Adicionalmente, nessa área de 120 km<sup>2</sup>, as indústrias utilizam as águas de aquíferos quer porque a concessionária não tem como fornecer mais água, quer porque o sucesso comercial das atividades necessita de água de baixo custo.

Para o gerenciamento do problema, o DAEE baixou a Portaria nº 1594, de 05 de outubro de 2005, que delimita uma “área de restrição e controle temporário para os usos dos recursos hídricos subterrâneos” com 31,57 km<sup>2</sup>, onde se proíbe a perfuração de novos poços e restringe a exploração de dezenas de outros. Com essa situação tornou-se necessário o estudo detalhado na região, realizando um levantamento de dados e atividades específicas e caracterizando a contaminação existente para propor uma nova Área de Restrição e Controle (ARC) de uso da água subterrânea com a finalidade de proteger a água dos usuários e os aquíferos da região.

O projeto contou com o apoio da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e da Diretoria da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE/BAT ), que dispuseram dados de poços cadastrados, incluindo o perfil construtivo e litológico, análises de água e informações de fontes potenciais de contaminação.

Com a disponibilidade dos dados e informações hidrogeológicas e hidrogeoquímicas foi possível detalhar a área de estudos, estabelecer um modelo conceitual e numérico de fluxo e, assim, delimitar uma nova ARC de águas subterrâneas.

O trabalho aqui apresentado é uma síntese dos seguintes produtos e atividades:

1. caracterização do uso e ocupação do solo e socioeconomia;
2. caracterização da geologia e hidrogeologia da área;
3. perfilagem acústica em poços tubulares de produção de água;
4. ensaios hidráulicos e amostragens realizadas com o uso de obturadores pneumáticos em poços tubulares de produção de água;
5. ensaios de bombeamento, com amostragens de água em poços tubulares de produção de água;
6. bases cartográficas diversas;
7. perfis geológicos;

8. análise da vulnerabilidade à poluição dos aquíferos;
9. amostragem de água subterrânea;
10. modelo geológico-estrutural;
11. modelo conceitual de fluxo dos aquíferos;
12. modelo numérico de fluxo das águas subterrâneas;
13. análises químicas de 25 amostras e obtenção de informações preexistentes para parâmetros de interesse;
14. caracterização e classificação de fontes potenciais de contaminação de aquíferos;
15. definição de critérios de gerenciamento do uso de água subterrânea.

Elaborado por uma equipe técnica de 16 profissionais, esta publicação é uma ferramenta útil para os que se dedicam ao planejamento e gestão de recursos hídricos e ao planejamento ambiental e urbano. Este trabalho apresenta também um método inédito para o zoneamento da área, que permite distinguir as áreas críticas, onde a exploração deve ser restringida, de outras onde a mesma pode continuar a operar.

A robustez do método é apoiada no balanço entre a sua simplicidade e o uso de modernas técnicas de modelação numérica e de definição de modelos conceituais. A confirmação da eficácia do método foi atestada pelo cruzamento entre os resultados gerados.

Esta publicação destina-se a esclarecer os métodos utilizados para delimitar uma área de restrição de uso e captação da água subterrânea mediante descrições sucintas e ilustrações em cartogramas.

O **primeiro capítulo** dedica-se à caracterização geral da área, enquanto os **capítulos 2 e 3** descrevem a quantidade e qualidade de água subterrânea, respectivamente, através de dados de uso da água, modelos conceitual e numérico, análises de água, áreas declaradas contaminadas e vulnerabilidade do aquífero quanto à contaminação. O **capítulo 4** descreve os métodos utilizados para delimitar uma área de restrição de uso e captação da água subterrânea, através

da síntese e interpretação dos dados descritos nos capítulos anteriores, e apresenta a nova área proposta para tal restrição. O capítulo 5 descreve e faz uma análise das principais leis paulistas referentes ao caso em estudo. Por fim, os capítulos 6 e 7 discutem as conclusões e recomendações que foram obtidas.

Além dos produtos aqui ilustrados, também são apresentados no relatório original do projeto, que deu origem a esta publicação, os seguintes mapas:

1. Uso da água dos poços cadastrados
2. Elementos para definição de áreas de restrição
3. Foto aérea com áreas de restrição.

Os mapas foram elaborados em base digital utilizando como Sistema de Informação Geográfica (SIG) o programa ArcGIS versão 9.2. Os mapas em SIG foram georreferenciados em coordenadas UTM, Fuso 23, *datum* SAD 69, na escala 1:25.000, compatível com o Sistema Georreferenciado de Informações (GISAT) em desenvolvimento pelo DAEE.

Tabela 1 – Histórico de contaminação da água subterrânea.

Ano	Entidade	Ação
1981 a 1993		Origem conhecida de contaminação em indústria.
nov/01	CETESB	Recebe comunicação espontânea de indústria contaminada devido à resultados de investigação confirmatória na área.
2001	CETESB	Autuou indústria exigindo estudos.
jan/04		Confirmada contaminação em 3 poços de shopping center.
jan/04	CETESB	Comunicou os resultados de análises químicas à Vigilância Sanitária Estadual.
2005	DAEE/ COVISA <sup>1</sup>	Acompanhamento conjunto para controle da exploração de poços cadastrados no DAEE.
abr e mai/05	CETESB	Ampliou coleta de amostras e confirmou contaminação.
abr e mai/05	CETESB	Confirmou suspeita de contaminação ser por diversas fontes e comunicou à Vigilância Sanitária Municipal e Estadual e ao DAEE os resultados da qualidade da água.

Ano	Entidade	Ação
jun/05	Diversas empresas	Iniciou-se um processo de identificação de outras fontes potenciais e suspeitas de contaminação.
jun/05	CETESB	Emitiu ofício para a COVISA relatando a ocorrência de organoclorados em poços profundos nas adjacências da empresa atuada.
jun/05	COVISA	Interditou esses poços e sugeriu a não concessão de outorgas, provisoriamente, na área.
ago/05		O caso de contaminação na região é publicado nos principais jornais paulistas.
set/05	CETESB	Emitiu um ofício para a COVISA relatando a ocorrência de organoclorados em mais poços profundos nas adjacências da empresa atuada.
out/05	COVISA	Interdita mais poços.
out/05	DAEE	Baixou a Portaria DAEE nº 1594, que cria uma "Área de Restrição e Controle Temporário" da água subterrânea.
fev/06	CMSP <sup>2</sup>	Instaurou uma Comissão Parlamentar de Inquérito, para apurar responsabilidades pela poluição.
abr/05	CRH <sup>3</sup>	Instituiu diretrizes e procedimentos para a definição de áreas de restrição e controle da captação e uso das águas subterrâneas (Deliberação nº 52).
jun/06	SES/ SERHS/ SMA <sup>4</sup>	Publicam a Resolução conjunta nº 3.
2006	DAEE/ Servmar	Servmar foi habilitada pelo DAEE para executar o projeto.

<sup>1</sup> Covisa: Coordenação de Vigilância e Saúde

<sup>2</sup> CMSP: Câmara Municipal de São Paulo

<sup>3</sup> CRH: Conselho Estadual de Recursos Hídricos

<sup>4</sup> SES/SERHS/SMA: Secretaria de Estado da Saúde/Secretaria de Recursos Hídricos e Saneamento/Secretaria do Meio Ambiente



## Capítulo 1

# CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA



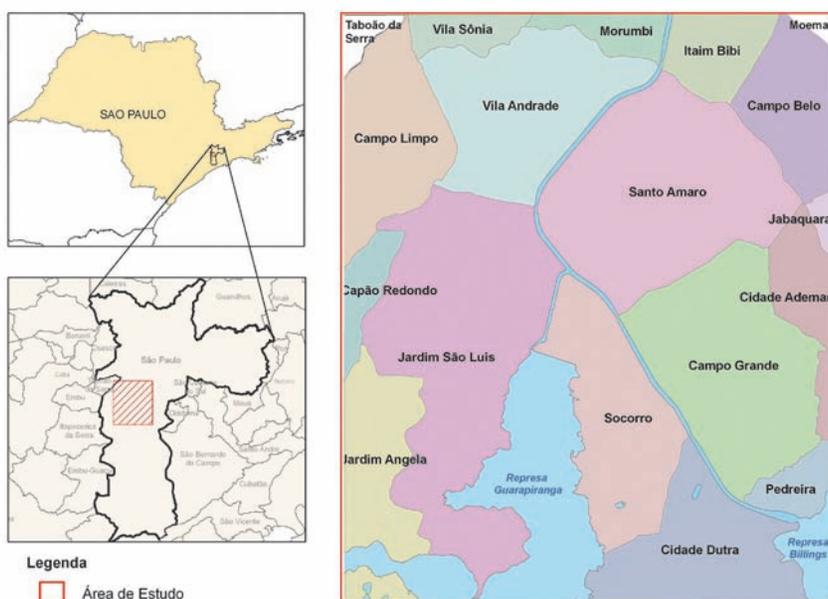
## 1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

Neste capítulo serão apresentadas as informações que caracterizam a área estudada nos mais diversos aspectos, tanto físicos como econômicos.

### Localização da área

A área de estudos possui 120 km<sup>2</sup> e está localizada entre as coordenadas UTM 7376 e 7388 km de latitude e 320 e 330 km de longitude, no município de São Paulo e de Taboão da Serra. O acesso à área pode ser feito pela Marginal do Pinheiros, seguindo pela Avenida das Nações Unidas, ou pela Rodovia dos Imigrantes seguindo pela Avenida dos Bandeirantes.

A área integra 17 distritos no município de São Paulo e parte do município de Taboão da Serra. Os distritos são as unidades territoriais da estrutura de gestão municipal onde os dados censitários estão organizados (Figura 1.1).



Fonte: Atlas Ambiental do Município de São Paulo (PMSP, 2002).

Figura 1.1 – Localização da área de estudo e os distritos que a englobam.

## Uso e ocupação do solo e aspectos socioeconômicos

A condição para a sustentação da integridade ambiental depende da preservação da qualidade do solo e de suas funções, das formas de uso e de ocupação que afetam diretamente a qualidade da água subterrânea. Neste trabalho foram verificados os diferentes usos e ocupação do solo na região (Figura 1.2), mapeados pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A. (EMPLASA), a partir da base cartográfica utilizada neste projeto, constituída de hidrografia e ocupação industrial.

A região de estudos é densamente urbanizada, preservando poucas áreas de mata e campo. O principal uso do solo que preocupa e afeta a qualidade da água é o industrial.

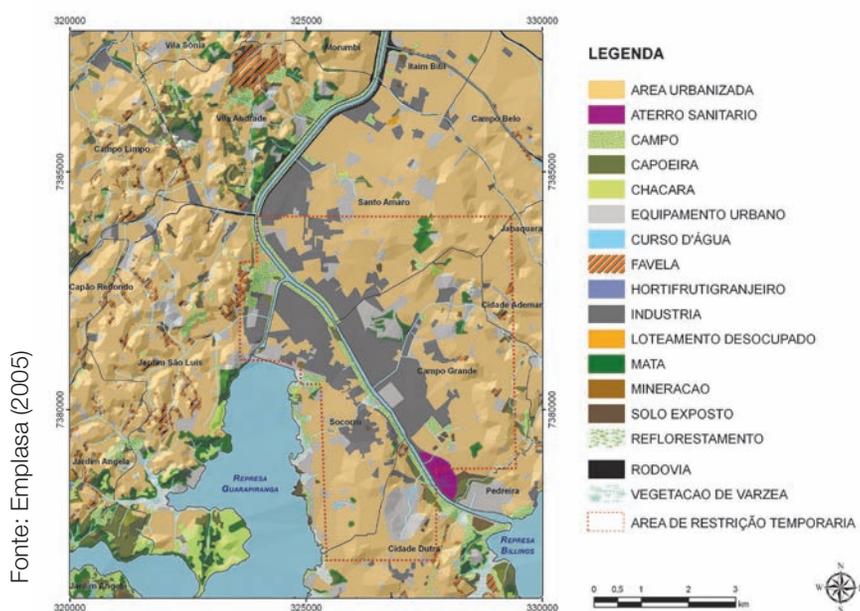


Figura 1.2 – Uso e ocupação do solo.

Segundo a Prefeitura de São Paulo, nas décadas de 50 e 60, o município viveu intenso processo de expansão industrial. Dentre os distritos que estão completamente inseridos na área de estudos, o desenvolvimento industrial teve grande influência em Socorro, Campo Grande e Santo Amaro. Esses distritos, a exemplo de outras regiões de São Paulo, tiveram parte de suas indústrias, a partir de 1996, mudando-se para o interior do Estado e desenvolveram um setor de comércio e de serviços (PMSP, 2007), que mais recentemente tem recebido também condomínios verticais (Figura 1.3).

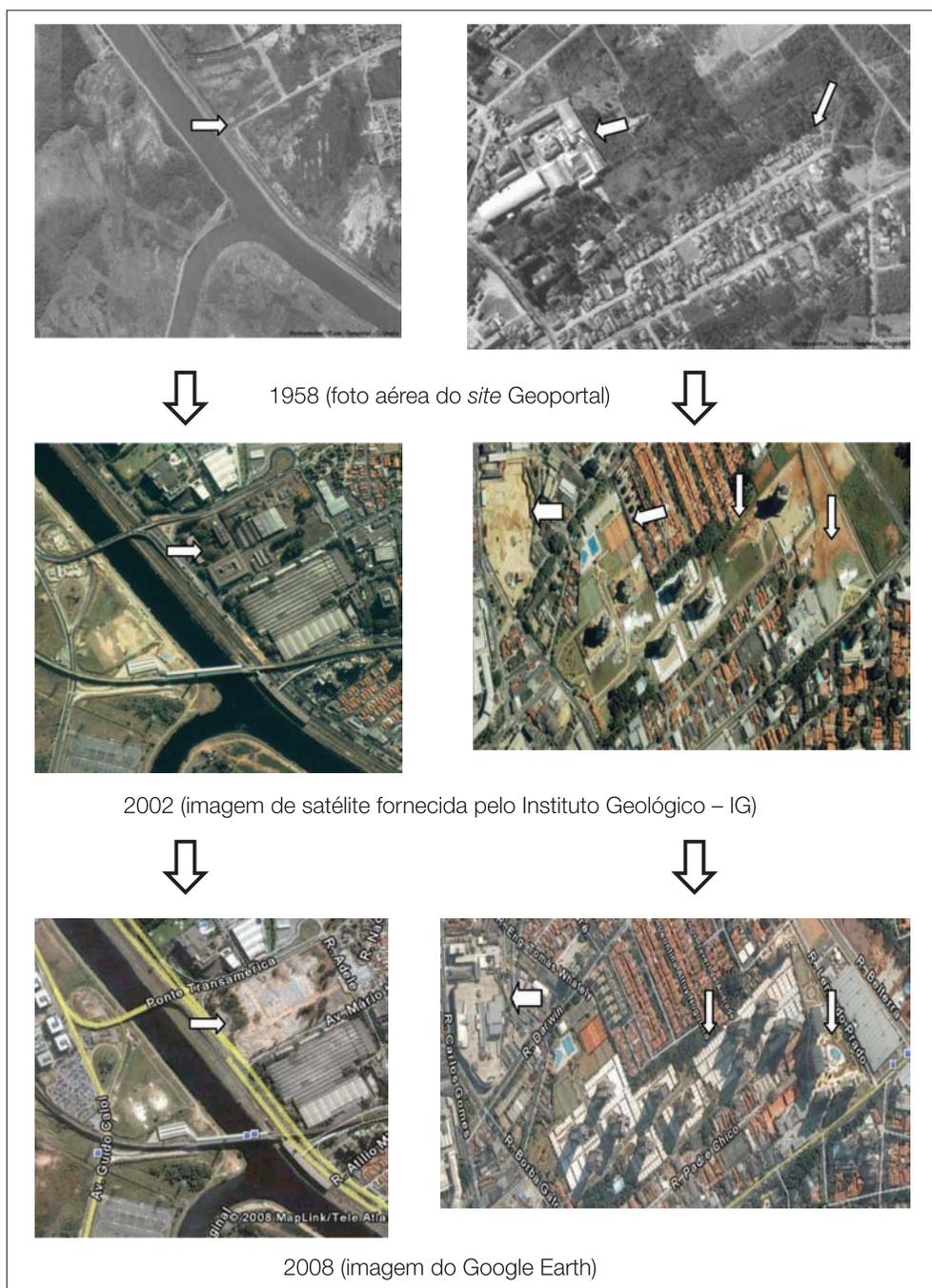


Figura 1.3 – Mudança de uso e ocupação do solo na área estudada. Evolução da concentração de indústrias no território e posterior instalação de novos empreendimentos e condomínios verticais (assinalado com setas).

As mudanças do uso e ocupação do território propiciam mudanças no aspecto demográfico. De acordo com a

Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados – Seade, a população total dos distritos localizados na área de estudo chegou a 2.364.305 de habitantes em 2004. As áreas mais populosas, dentre os distritos inseridos completamente na área de estudos são: Jardim São Luiz (247.692 hab.), a oeste e Campo Grande (932.96 hab.), a leste.

O perfil sócio econômico da população da área de estudos está diretamente relacionado com o uso e ocupação do território e foi avaliado por fatores com valores abaixo de -1,00 até acima de +1,00, considerando 7 variáveis (distribuição territorial, perfil etário, nível de renda, escolaridade, condições de saúde, condições de habitação e segurança).

O distrito Jardim São Luis, que se encontra na periferia, engloba grandes favelas distribuídas no território e é pouco industrializado. Este distrito apresenta o mais baixo padrão sócio-econômico, com -0,93, em relação aos outros distritos inseridos completamente na área de estudos, por exemplo, Santo Amaro, com +2,25. No município de São Paulo o maior índice é do distrito Jardim Paulista, com +2,48 e a média, no município, é de +0,02 (PMSP, 2007). Esses dados mostram o contraste social numa mesma região.

## Infra-Estrutura Sanitária

O abastecimento de água no município de São Paulo e a coleta de esgoto são realizados pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp, ligada à Secretaria de Estado de Saneamento e Energia.

A cobertura da rede de abastecimento de água abrange a maioria dos domicílios do município (**Figura 1.4**), com algumas exceções localizadas em favelas e loteamentos irregulares (PMSP, 2002). De acordo com os dados de abastecimento de água fornecidos apenas para os domicílios dos distritos da região, publicados pelo Seade (2000), 99,22% dos domicílios, em média, eram abastecidos pela rede geral.

O abastecimento por águas superficiais no município de São Paulo depende de quatro sistemas produtores: Cantareira, Guarapiranga, Alto Tietê e Rio Claro. Atualmente, a produção desses quatro sistemas é de 61 m<sup>3</sup>/s, com déficit de 13 m<sup>3</sup>/s (DAEE, 2007). Na região de estudos o sistema é o Guarapiranga com disponibilização atual de 10 m<sup>3</sup>/s (FUSP, 2002).

O Plano da BAT indica que há evidências de queda acentuada do uso de água na atividade industrial do Município, atribuída à queda da atividade e à saída da rede de abastecimento. Usuários comerciais também vêm optando por abandonar a rede de distribuição substituindo por poços de água subterrânea (FUSP, 2002).

Embora o sistema produtor de águas superficiais seja considerado o maior para o município de São Paulo, estima-se que sejam explorados mais de 315 Mm<sup>3</sup>/ano de águas subterrâneas, resultado de bombeamento de cerca de 9 mil poços em operação (Hirata e Ferreira, 2001). Somente cerca de 30% deste total estariam cadastrados ou fiscalizados.

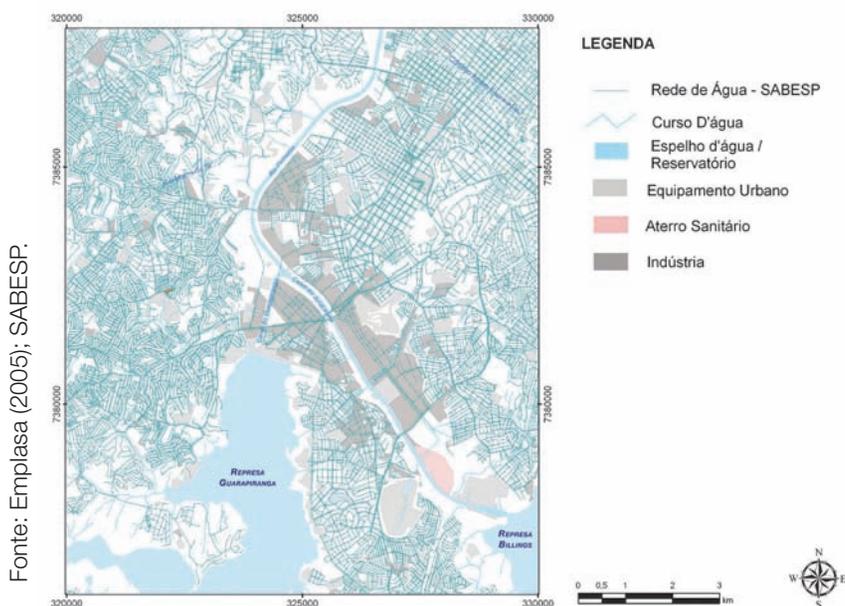


Figura 1.4 – Distribuição da rede de abastecimento de água.

A rede de coleta de esgoto, de acordo com o Plano da BAT (FUSP, 2002), é realizada nos distritos da região, e o esgoto é enviado para a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Barueri.

De acordo com as informações do Seade (2000), a rede de coleta de esgoto doméstico na região de estudos abrangia em média 86,4% dos domicílios particulares permanentes (Figura 1.5). Justamente na área à margem direita do canal do Jurubatuba, onde há a maior ocupação industrial, não há rede coletora de esgoto.

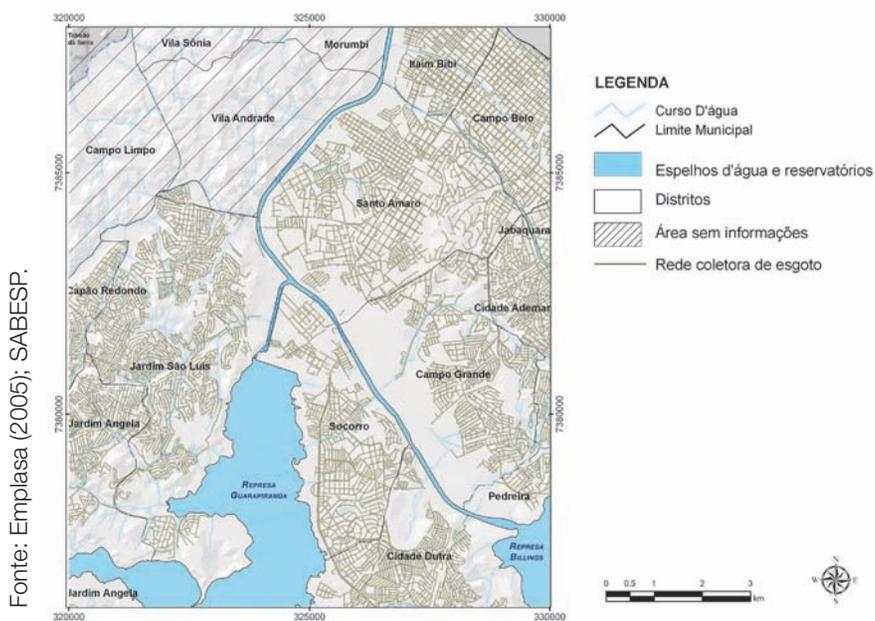


Figura 1.5 – Rede de coleta de esgoto.

## Poços de Abastecimento Suplementar Privados

Na área de estudo existem 513 poços cadastrados no DAE (Figura 1.6). Se a média de poços não cadastrados for a mesma que a observada na BAT, acredita-se que o total de poços existentes supere 1700 poços.

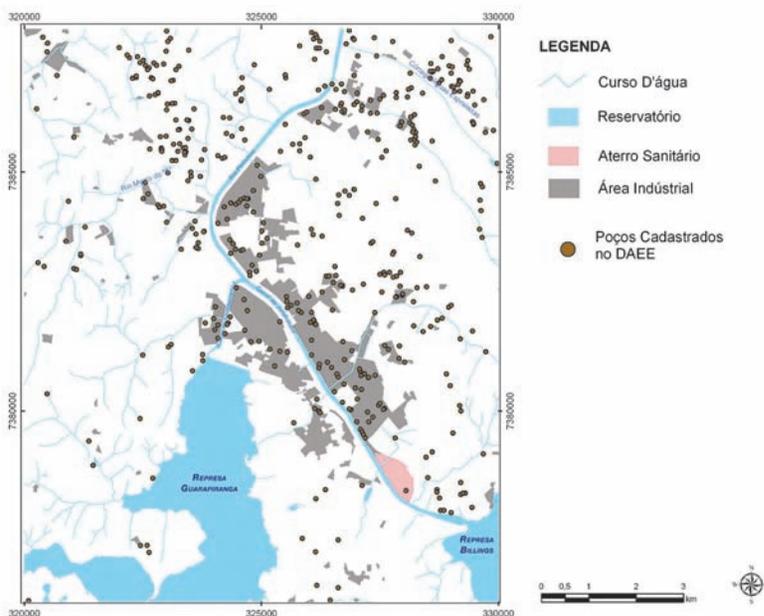


Figura 1.6 – Localização dos poços cadastrados.

Do total de poços cadastrados na área de estudo, 257 (50%) estão ativos, 68 (13%) estão desativados, 17 (4%) lacrados e 10 (2%) tamponados. Para os demais (157 ou 31%), não há informação sobre o estado do poço (Figura 1.7).

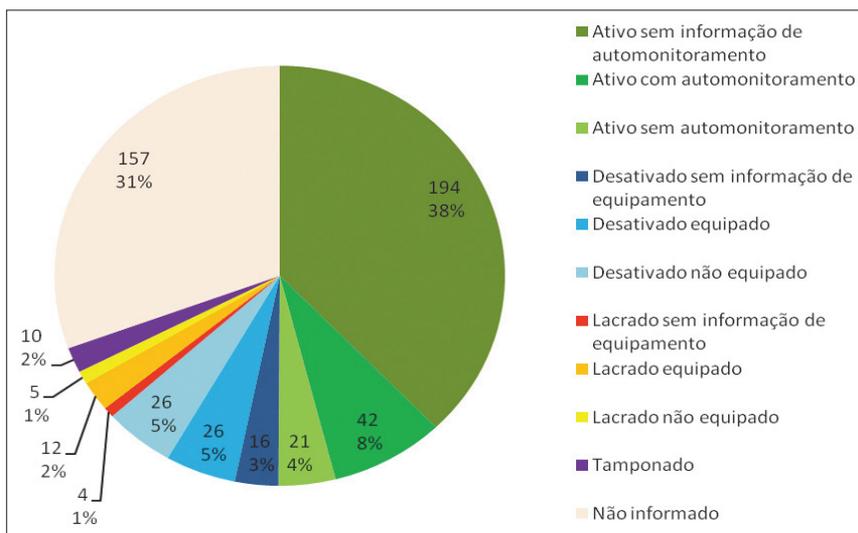


Figura 1.7 – Estado de funcionamento dos poços da área de estudos.

É previsto pelo Decreto 32.955/1991, que regulamenta a Lei 6.134 de 1988, no Capítulo III, Seção V, que não deve haver qualquer atividade no entorno do poço num raio mínimo de 10 m, a partir do ponto de captação, para prevenir a entrada ou penetração de poluentes. No entanto, ao inspecionar alguns poços em campo, observaram-se poços em estado precário de conservação, indicando risco de contaminação das águas subterrâneas (Figura 1.8), como por exemplo: existência de resíduos sólidos no entorno ou em cima do poço; poços desativados e sem tamponamento em área de indústria desativada; oxidação de tubos e tampa; tampa vedando parcialmente a entrada do poço; ausência de laje de proteção sanitária (cimento).

(a)



(b)



Figura 1.8 – Exemplo de poço em bom estado de conservação (a) e de poço mal conservado (b), vistos durante a inspeção em campo.

## Capítulo 2

# DISPONIBILIDADE E FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA



## 2. DISPONIBILIDADE E FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Neste capítulo serão apresentadas as informações que caracterizam a área estudada nos diversos aspectos para quantificação da água subterrânea, a caracterização da geologia estrutural e hidrogeologia, incluindo modelo conceitual e numérico.

### Uso da Água Subterrânea e Vazão Explorada

Na região estudada existem 513 poços cadastrados que exploram água subterrânea. A água explorada é utilizada para diversos fins, e conhecer os usuários da região é uma importante ferramenta de gerenciamento do recurso hídrico. A maioria dos poços classifica-se como uso doméstico (207 ou 40,4%); no entanto, a atividade industrial (uso em processo e uso sanitário) é a que mais extrai água da região, com aproximadamente 13,3 mil  $m^3$ /dia (39,5%) (Figura 2.1). Essa informação é a soma da vazão de outorga ( $m^3$ /h) multiplicada pelas horas de exploração, referente aos 306 poços que fornecem esses dados concomitantemente.

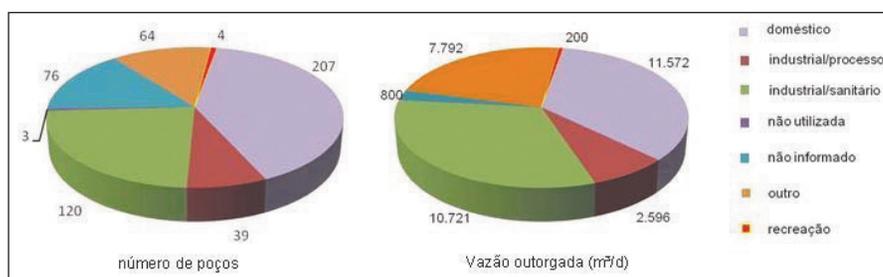


Figura 2.1 – Distribuição do número de poços e vazão de outorga ( $m^3$ /d) em relação ao tipo de uso de água subterrânea na área de estudo.

A distribuição de vazão de outorga ( $m^3$ /h) dos 323 poços que possuem esses dados é apresentada na Figura 2.2, permitindo identificar os poços com maior vazão em área predominantemente industrial. Observa-se também que a maioria dos poços apresenta as menores vazões (Figura 2.3).

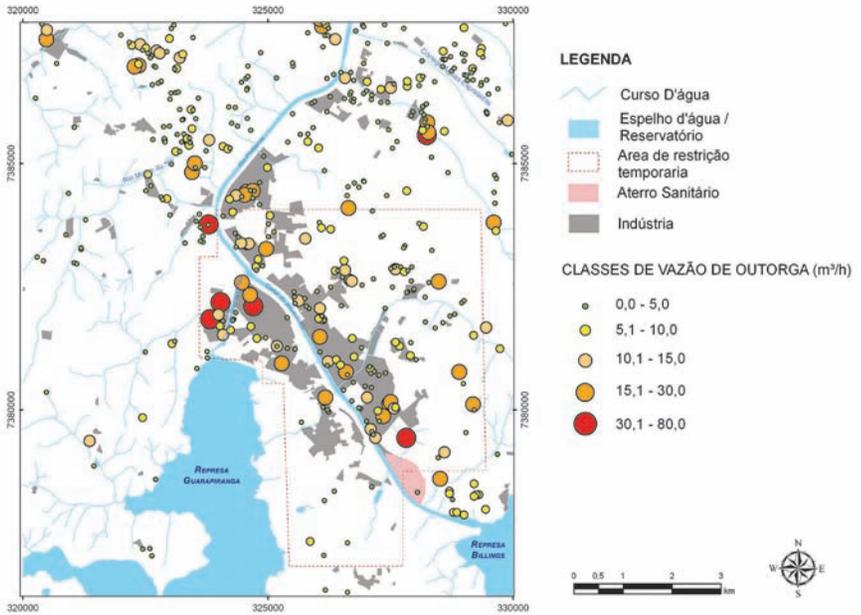


Figura 2.2 – Vazão de outorga dos poços.

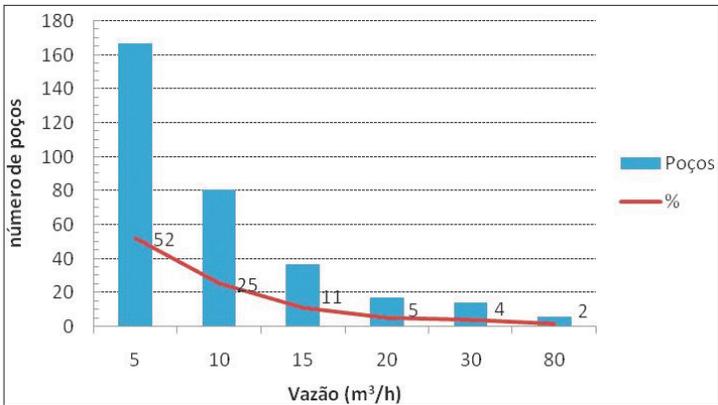


Figura 2.3 - Número de poços e vazão de outorga na área de estudo.

O maior número de poços e a maior mediana de vazão, obtida por testes de bombeamento, estão localizados no Sistema Aquífero Cristalino (SAC). Observa-se também que as vazões são muito variáveis (Figura 2.4 e Tabela 2.1).

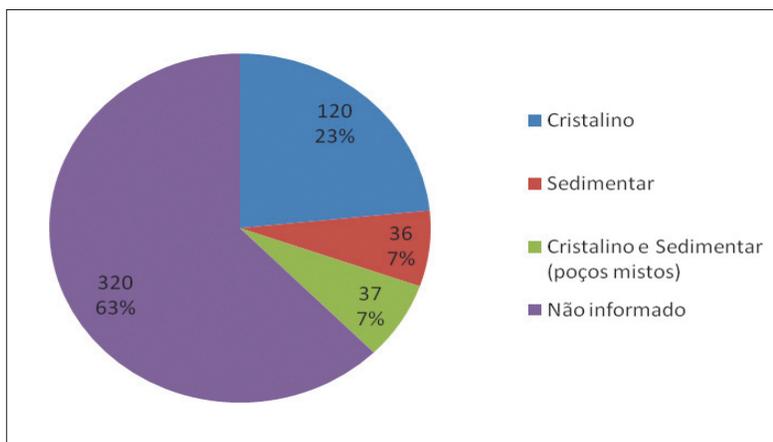


Figura 2.4 – Sistema aquífero explorado por poço.

Tabela 2.1 – Vazão média por hora (mínimo e máximo), por aquífero explorado.

Sistema Aquífero Explorado	Sedimentar			Cristalino			Misto		
	Vazão (m <sup>3</sup> /h)*	Vazão Específica (m <sup>3</sup> /h/m)*	Vazão Outorgada (m <sup>3</sup> /h)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)*	Vazão Específica (m <sup>3</sup> /h/m)*	Vazão Outorgada (m <sup>3</sup> /h)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)*	Vazão Específica (m <sup>3</sup> /h/m)*	Vazão Outorgada (m <sup>3</sup> /h)
mediana	4,2	0,6	3,3	7,75	0,153	6,4	9,6	0,204	9,1
média	7,4	0,704	6,5	9,5	0,196	9,1	13,1	0,424	6,3
mínimo	0,45	0,022	0,4	0,4	0,003	0,4	0,57	0,008	0,6
máximo	80	5,55	80	46,6	1,397	45	45	0,504	12,1
I	32	30	33	104	76	89	27	13	19
SI	4	6	3	16	44	31	9	23	17

\* Vazões obtidas nos testes de bombeamento

I = número de poços com informação

SI = número de poços sem informação

Para quantificar o uso de água subterrânea foi necessário assumir algumas premissas e aproximações, que seguem abaixo.

Os dados de vazão existentes no cadastro são valores outorgados. Para estimar a vazão de exploração foi necessário assumir a vazão de outorga como a vazão explorada durante uma carga horária no dia. A carga horária de outorga média é de 14 h/dia, entretanto, notou-se em campo que se utilizam cargas horárias de exploração maiores, principalmente em poços que exploram as vazões mais altas, portanto, as mais significativas. Para efeitos de cálculo total da vazão explorada por todos os poços, foi assumida uma carga horária de exploração de 20 h/dia e chegou-se ao valor de 50.619 m<sup>3</sup>/dia.

Mesmo para as vazões outorgadas, há uma limitação de informações, sendo que apenas 63% dos poços apresentam essa informação. Outra limitação para os cálculos é o número de poços clandestinos. Se as vazões desses poços fossem consideradas, a vazão total de água subterrânea calculada poderia variar proporcionalmente ao número de poços desconhecidos. Assim, considerando-se que o universo cadastrado de poços representa apenas 30% dos poços existentes, com as informações obtidas é possível que a vazão total explorada atinja valores de 168.730 m<sup>3</sup>/d.

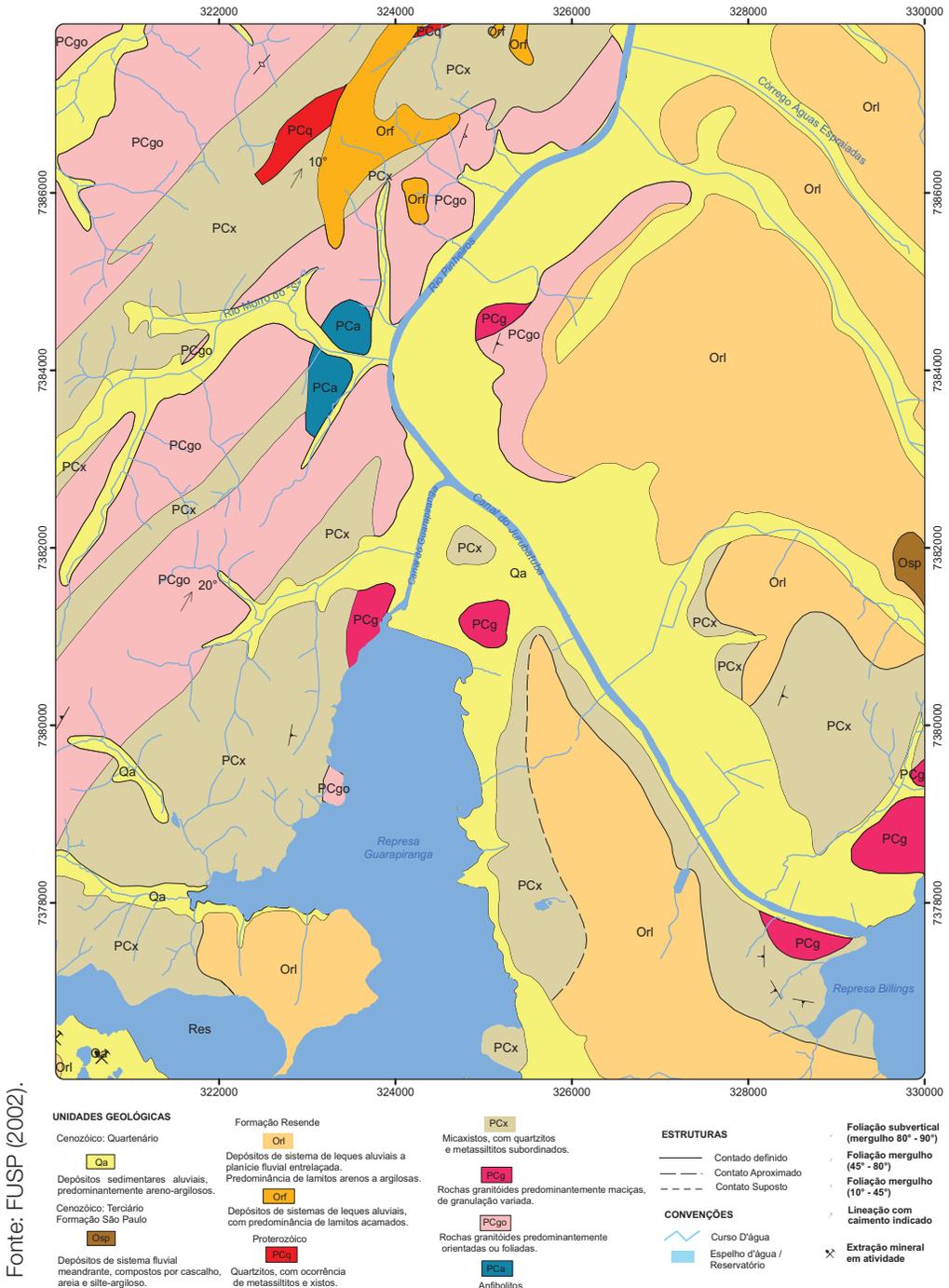
## Geologia

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) encontra-se desenvolvida sobre terrenos sedimentares de idade cenozóica da Bacia Sedimentar de São Paulo.

Segundo Ricomini e Coimbra (1992), a borda norte da Bacia de São Paulo é retilínea, controlada pela zona de cisalhamento Taxaquara-Jaguari, enquanto que ao sul os contatos com o embasamento cristalino são irregulares. Assim, a bacia é considerada um hemi-graben, basculado para NNW, desenvolvido sobre terrenos cristalinos pré-cambrianos representados por granitos sin e pós-tectônicos e por rochas metamórficas (migmatitos, gnaisses, xistos e metasedimentos em geral), relacionados a rochas graníticas e aos Grupos Açungui e São Roque.

As rochas graníticas (PCg) do embasamento cristalino apresentam-se distribuídas por toda a área de estudo, sendo que na área de afloramento da porção noroeste apresentam-se orientada ou com foliação (PCgo). O Grupo Açungui, composto pelo Complexo Embu e Complexo Pilar, que

constitui a mais extensa unidade do pré-cambriano paulista, atravessa todo o Estado de São Paulo em sua porção E-SE. Destacam-se ainda os micaxistos (PCx), conjunto litológico de grande expressão na área. A norte, o Grupo São Roque pode ser identificado por ocorrências locais de quartzitos (PCq) e anfibolitos (PCa) (Figura 2.5).



Fonte: FUSP (2002).

Figura 2.5 – Geologia da área de estudos.



A estratigrafia da Bacia de São Paulo é composta pelo Grupo Taubaté (Paleógeno), constituído, da base para o topo, pelas formações Resende, Tremembé e São Paulo; recoberto, de forma presumivelmente discordante, pela Formação Itaquaquecetuba (Neógeno) e por coberturas aluvionares fluviais do Quaternário (Qa) (Emplasa, 1980). A espessura média dos sedimentos da bacia é da ordem de 100 m e, em algumas áreas, as espessuras totais dos sedimentos chegam a atingir mais de 250 m (Bertolo, 1996).

Na área de estudo, a Bacia Sedimentar de São Paulo aflora na porção leste, predominando as duas litofácies da Formação Resende (Orf e Orl). A Formação São Paulo ocorre numa porção restrita (Osp). Ao longo do rio Pinheiros e canais do Jurubatuba e Guarapiranga afloram coberturas aluvionares fluviais do Quaternário (Qa). Já as Formações Tremembé e Formação Itaquaquecetuba não afloram na região de estudos.

## Geologia – Estrutural

A área de estudos está situada sobre terrenos sedimentares localizados a leste do rio Pinheiros e canal do Guarapiranga, com espessuras irregulares, sendo que as maiores ocorrem na região nordeste.

Na região oeste afloram rochas cristalinas com topo irregular. Essa configuração está relacionada às falhas menores normais, inversas e de empurrão associadas e à reativação normal de antigas zonas de cisalhamento do embasamento.

As seções geológicas traçadas na área de estudo permitem observar o comportamento das camadas sedimentares e cristalinas, identificando alguns blocos basculados com desníveis verticais de origem tectônica, a leste da área. Esses basculamentos podem ser estruturas rúpteis de falhas normais e inversas (Figura 2.6).

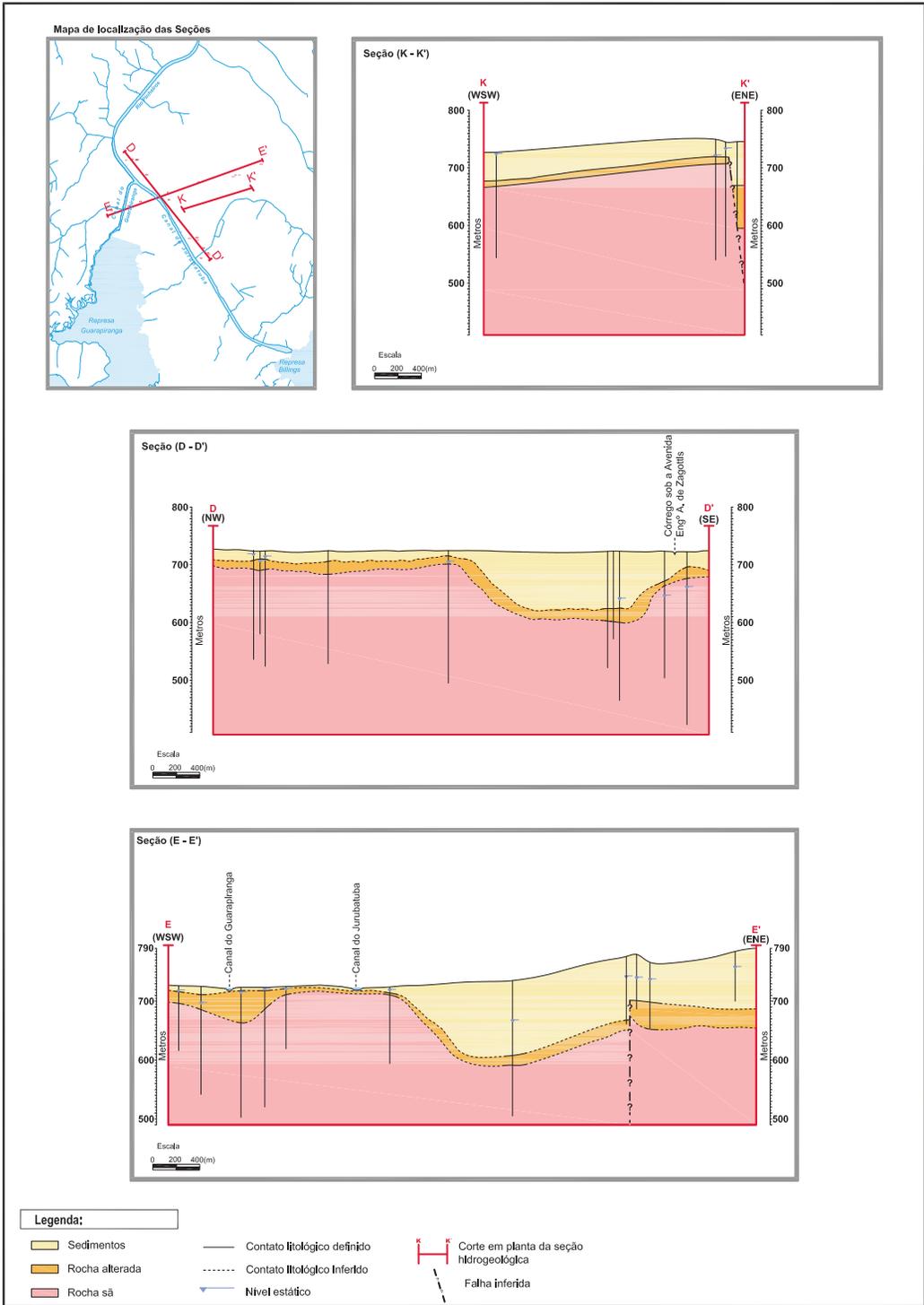


Figura 2.6 – Seções geológicas.

O detalhamento da geologia estrutural foi realizado com o imageamento acústico de seis poços: 691, 692, 1501, 1502, 1503 e 1249 (Figura 2.7). Esse detalhamento permitiu compreender como as estruturas (falhas) podem controlar o fluxo da água no SAC.

Os compartimentos estruturais observados ao longo do perfil do poço foram identificados pelas seguintes características:

- trends direcionais de fraturas;
- mergulhos de fraturas;
- paralelismo ou discordância das fraturas com relação à xistosidade ou
- bandamento identificados na imagem *acoustic televiewer* (ATV);
- densidade do fraturamento.

As fraturas na região estudada foram identificadas por feições, no imageamento acústico, com espessura de 1 mm até 10 cm. Essas feições, associadas a alterações da rocha a partir das superfícies de fraturas, podem indicar relações de maior ou menor abertura, porém não permitem definir tamanhos de abertura.

Associando-se imagens ATV com descrições de perfis litológicos, foi possível observar vários tipos de texturas: xistosa, foliada, maciça e bandada. A xistosidade caracteriza-se por grande variabilidade de direções, mas os mergulhos, em geral, são baixos, variando de 10° a 50°.

Em geral, nos trechos mais superficiais de cada poço há um claro predomínio de fraturas paralelas à xistosidade e, conseqüentemente, de baixo ângulo. No trecho inferior de cada poço, os mergulhos das fraturas tendem a ser intermediários (45° a 65°) a elevados (60° a 90°); no entanto, também se observam fraturas de baixo ângulo (Figura 2.8).

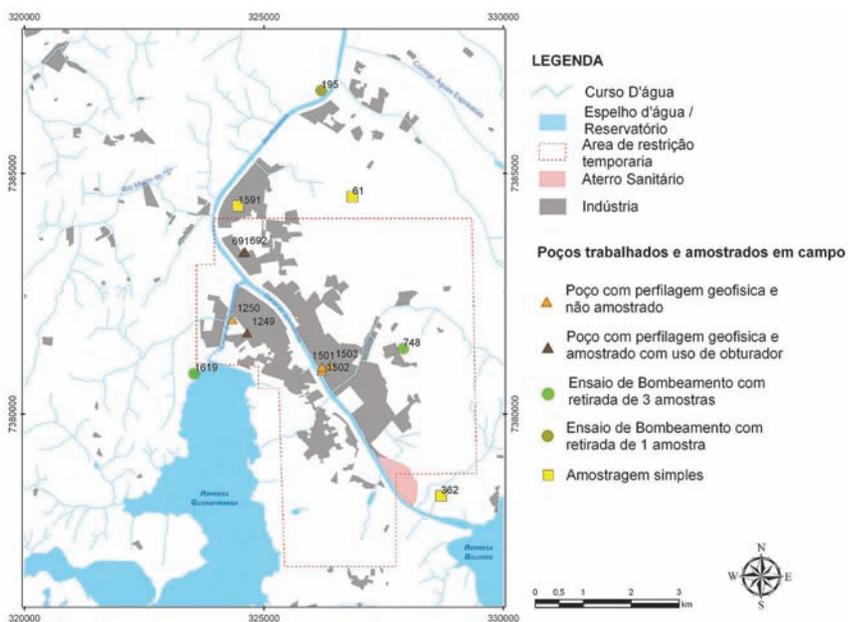


Figura 2.7 – Distribuição espacial dos poços ensaiados e amostrados em campo.

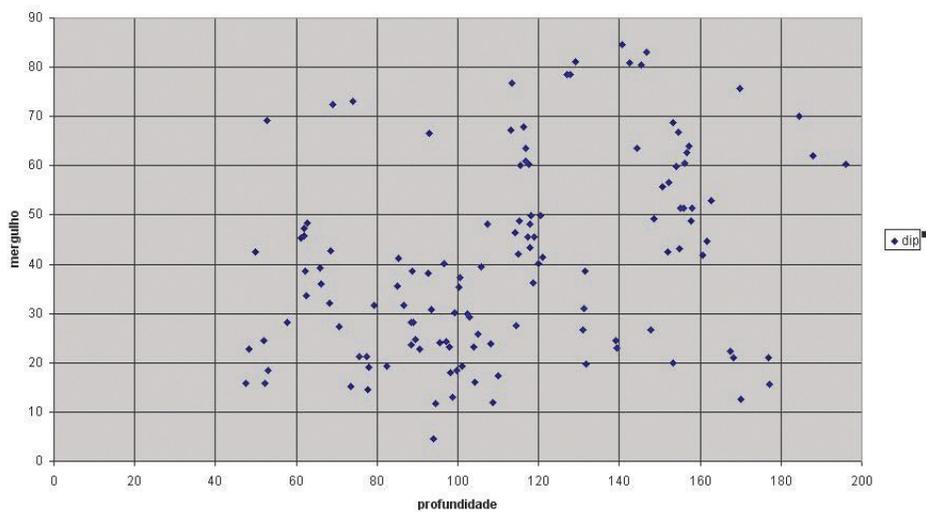


Figura 2.8 – Fraturas de maior ângulo que predominam em maiores profundidades (poço 692).

Deve-se considerar que próximo à superfície o alívio de carga também tende a destacar ou criar fraturas de baixo ângulo. O conhecimento dos *trends* dessas estruturas e de sua variação é importante, pois deve ter implicações para a anisotropia do fluxo.

Um aspecto estrutural importante, com prováveis consequências para um incremento no fluxo de água, é a bimodalidade dos mergulhos e direções observadas nos poços 691 (entre 110 m e 125 m = 10 a 30° e 50 a 75°) e 692 (entre 130 e 180m = 10 a 30° e 50 a 70°). Isso deve propiciar melhores condições para a circulação da água, pois provavelmente possibilita uma maior quantidade de intersecções de fraturas.

## Hidrogeologia

Na BAT ocorrem basicamente dois sistemas aquíferos (Figura 2.9): o Sistema Aquífero Cristalino (SAC) e o Sistema Aquífero Sedimentar (SAS). O SAS, de porosidade primária, subdivide-se em aquíferos Quaternário, São Paulo e Resende. Já o SAC, de porosidade secundária, subdivide-se em aquíferos A e B (Hirata e Ferreira, 2001).

O Aquífero Quaternário (Qa) engloba depósitos sedimentares aluviais, predominantemente areno-argilosos. Apresenta extensão e espessura (<10 m) muito limitadas, explorável através de poços cacimba (Hirata e Ferreira, 2001).

O Aquífero São Paulo (Osp) corresponde a depósitos de sistema fluvial meandrante, compostos por cascalho, areia e silte argiloso. Caracteriza-se por aquífero livre a semi-confinado, de extensão local e baixa produtividade. Vazão média individual por poço de 9,5 m<sup>3</sup>/h e capacidade específica de 0,5 m<sup>3</sup>/h/m (Hirata e Ferreira, 2001).

O Aquífero Resende é constituído por depósitos intercalados de lamitos arenosos e argilosos (Orl) e lamitos seixosos (Orf), oriundos de ambiente composto por sistemas de leques aluviais e planície fluvial. Caracteriza-se por aquífero de pequena extensão, livre a semiconfinado, apresentando produtividade média a baixa. A vazão média individual por poço é de 15,2 m<sup>3</sup>/h e capacidade específica de 0,9 m<sup>3</sup>/h/m (Hirata e Ferreira, 2001).

O Aquífero A, do SAC, corresponde à associação de unidades que incluem rochas granitóides (PCg e PCgo), rochas gnáissicas (PCgn), filitos e xistos subordinados (PCf). Caracteriza-se por aquífero livre onde as melhores vazões estão associadas às falhas e fraturas nas rochas, com baixa produtividade. Vazão média individual por poço de 9,1 m<sup>3</sup>/h e capacidade específica de 0,2 m<sup>3</sup>/h/m (Hirata e Ferreira, 2001).

O Aquífero B, do SAC, corresponde à associação de rochas predominantemente metassedimentares que incluem quartzitos (PCq), micaxistos (PCx), anfíbolitos (PCa) e rochas carbonáticas (PCc). Caracteriza-se por aquífero livre onde as melhores vazões estão associadas às falhas e fraturas nas rochas, com média a baixa produtividade. Vazão média individual por poço de 17,5 m<sup>3</sup>/h e capacidade específica de 1,4 m<sup>3</sup>/h/m (Hirata e Ferreira, 2001).

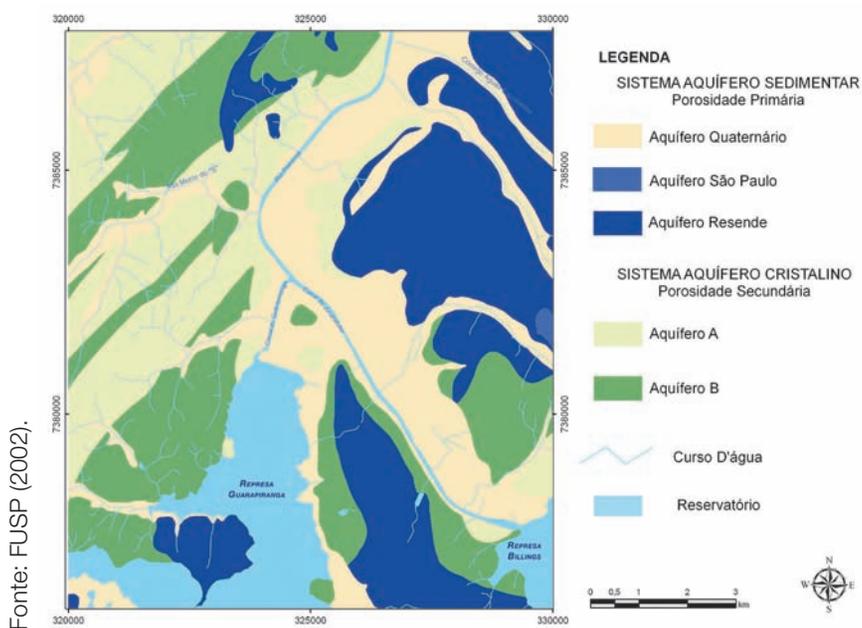


Figura 2.9 – Hidrogeologia da área de estudos.

No SAC é comum encontrar poços próximos com vazões muito diferentes devido à variação no número, tipo, abertura e conexão das fraturas (Rocha, 2005).

Na região de estudos, o Aquífero Resende aflora a leste da área, predominando sobre o Aquífero São Paulo, que ocorre numa porção restrita, e o Quaternário, que ocorre ao longo do rio Pinheiros e canais do Jurubatuba e Guarapiranga. Na porção oeste da área aflora o SAC.

Com base em informações nos cadastros fornecidos pelo DAEE, de perfil litológico e construtivo dos poços que exploram a região de estudo, é possível diferenciar os poços que exploram os diferentes sistemas aquíferos (Sedimentar e Cristalino) e poços que exploram ambos os sistemas (poços mistos). A diferenciação de poços que exploram os aquíferos dentro das unidades do SAC, como A ou B, ou SAS, como Quaternário, São Paulo ou Resende, não é possível devido à insuficiência de dados.

Com os dados de informações de descrições litológicas dos poços foram identificados três meios com diferentes características hidráulicas: o meio sedimentar, na parte superior; a rocha alterada, em posição intermediária; e a rocha sã, na base.

O SAS, que aflora em grande parte na porção leste da área, possui espessuras maiores de 100 m (Figura 2.10).

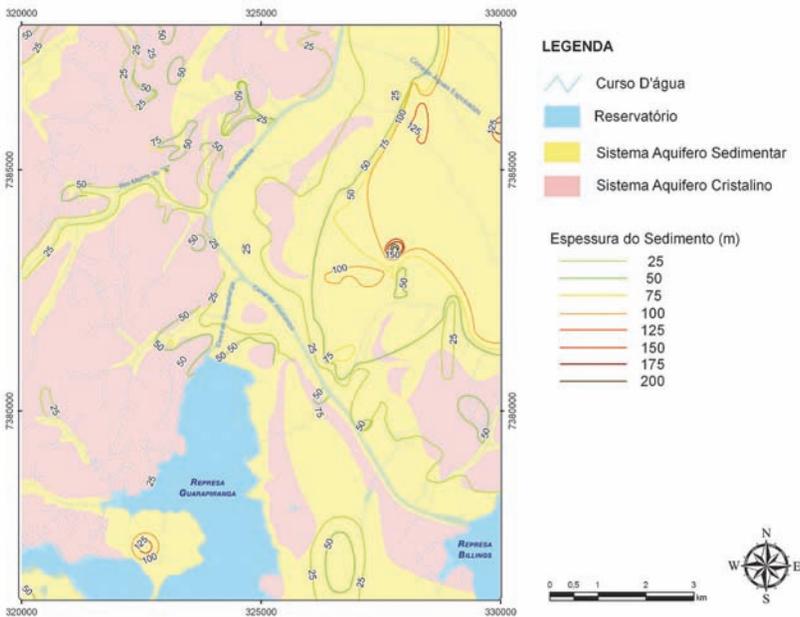


Figura 2.10 – Espessura do sedimento.

O SAC, que aflora na porção oeste da área, apresenta sua superfície de embasamento cristalino pré-cambriano sob os sedimentos da bacia bastante irregular, com desníveis que podem chegar a mais de 100 m (Figura 2.11). As cotas mais baixas encontram-se no lado leste da área. A porção alterada da rocha cristalina possui espessura variável de 10 m até 70 m na porção leste da área.

Para efeitos de interpretações conceituais e aplicação à modelagem numérica foi assumido que a cerca de 400 m de profundidade o SAC perde permeabilidade por fraturamento e descontinuidades rúpteis. A indicação dessa profundidade foi baseada nas profundidades limites dos poços que exploram o aquífero.

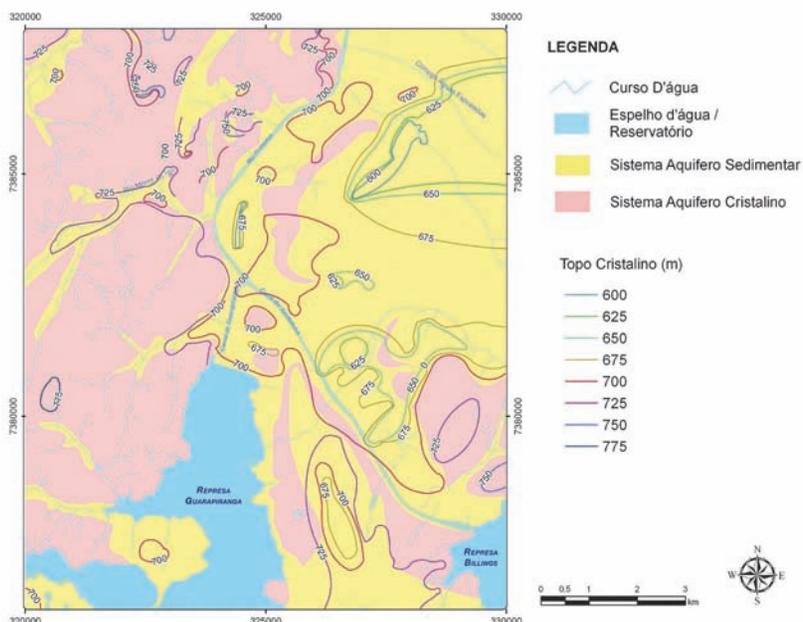


Figura 2.11 – Topo da rocha sã.

Dentre os 513 poços cadastrados na região, foi observado que o maior número de poços com informações explora o SAC. Sobretudo nas décadas de 90 e 2000 houve aumento do número de poços na região (Figura 2.12), fato que interferiu na potentiometria da área.

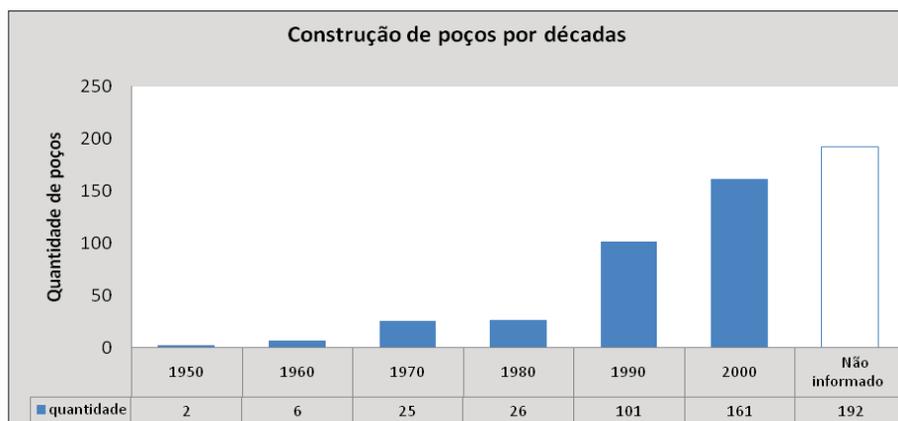


Figura 2.12 – Evolução da construção de poços por décadas.

OSAS apresenta uma grande variação relacionada às descon continuidades e espessuras das camadas de argila e areia. Essa variação permite classificar o aquífero como livre a semiconfinado, heterogêneo e anisotrópico. Isso indica diferentes cargas hidráulicas e ocorrência de aquíferos locais. Embora existam poucos poços explorando o SAS com informações litológico-constructivas confiáveis (7% do total), foi elaborado um mapa de carga hidráulica (Figura 2.13).

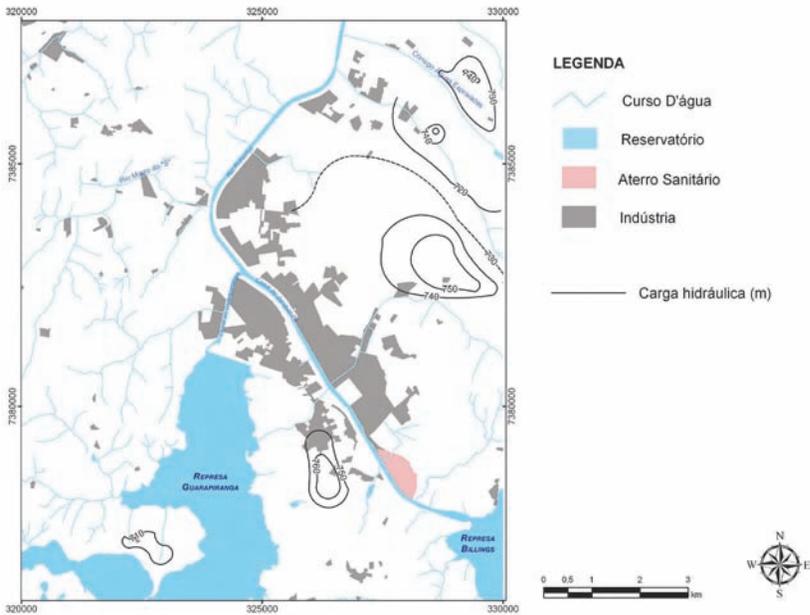


Figura 2.13 – Carga hidráulica do Sistema Aquífero Sedimentar (SAS).

Para visualizar o comportamento dos níveis d'água no SAC ao longo do tempo foram construídos os mapas de carga hidráulica com os dados dos poços instalados em diferentes décadas (23% do total de poços) (Figura 2.14 e 2.15).

Devido ao aumento de poços construídos na década de 90 e 2000 é possível perceber, no mapa de carga hidráulica do SAC, que a região do canal Jurubatuba, local de maior exploração e com as menores cargas hidráulicas dos poços, a exploração se expandiu. Com a restrição do uso da água e paralisação de alguns poços, conforme estabelecido na Portaria 1594/2005 do DAEE, houve uma recuperação do nível estático.

De modo geral, esses dados e os mapas indicam que a maior parte da área exibe condições de recarga do aquífero superficial, por infiltração de águas pluviais e perdas da rede

pública, e a descarga dos fluxos de água segue em direção às drenagens principais: rio Pinheiros e canal do Jurubatuba. As áreas com maior tendência de rebaixamento de carga hidráulica são aproximadamente coincidentes com as áreas com maior exploração.

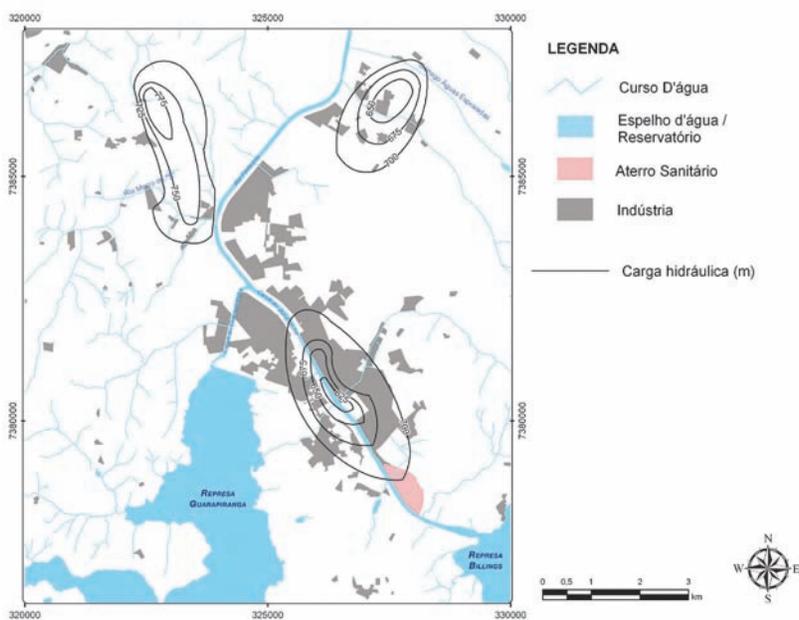


Figura 2.14 – Carga hidráulica do Sistema Aquífero Cristalino (SAC) nas décadas de 60, 70 e 80.

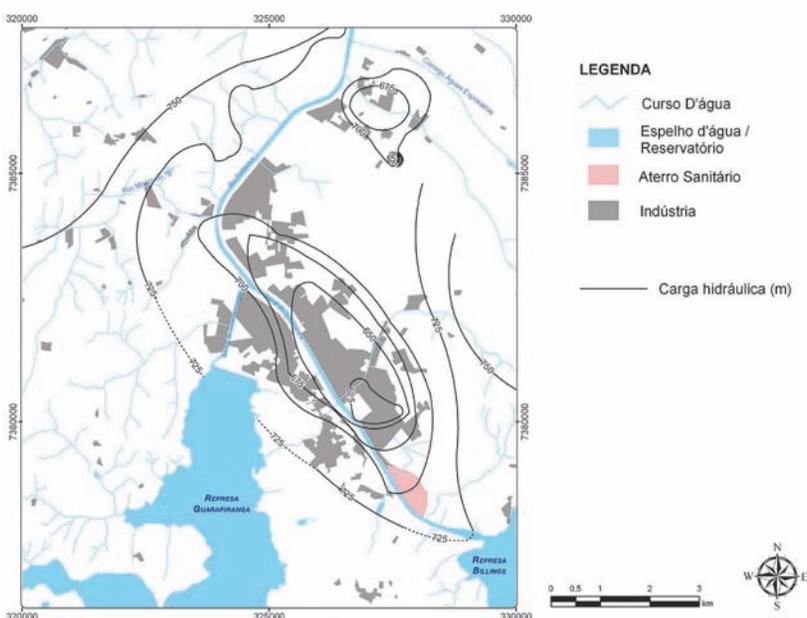


Figura 2.15 – Carga hidráulica do Sistema Aquífero Cristalino (SAC) nas décadas de 90 e 2000.

## Ensaio com uso de obturadores

Os ensaios de bombeamento com o uso de obturadores pneumáticos, realizados em quatro poços instalados no SAC (691, 692, 1249 e 1502) (Figura 2.7), permitiram identificar diferentes sentidos de fluxo nas diferentes porções obturadas (Tabela 2.2), estimar valores de parâmetros hidrodinâmicos dessas porções e compreender o comportamento hidráulico do SAC, além de amostrar a água em determinadas porções do aquífero.

Tabela 2.2 – Cargas e tendências de direção de fluxo das zonas isoladas.

Poço	Teste	Profundidade obturada (m)	*Diferença de carga hidráulica, obturador superior (m)	*Diferença de carga hidráulica, obturador inferior (m)	Estabilização do nível da água	Direção de fluxo
691	1	47,3 para cima	-	0,37	não	provavelmente descendente
	2c	51,4 para cima	-	-1,07	sim	ascendente
	3	96,0 para cima	-	-4,65	não	ascendente
	4	95,3 para baixo	-3,42	-	não	ascendente
	5	97,1 a 98,2	-3,4	-1,9	não	ascendente
	6	110,5 para baixo	-4,84	-	não	ascendente
	7	115,6 a 116,7	-5,41	0	não	ascendente
692	1	48,3 para cima	-	-0,2	não	ascendente
	2b	95,2 a 96,3	-0,16	0,1	não	não conclusivo
	3i	49,2 para baixo	-0,2	-	sim	ascendente
1249	1	38,2 para cima	-	0,61	sim	não conclusivo
	2	46,0 para baixo	0,49	-	sim	não conclusivo
	3	45,0 para cima	-	0,58	sim	não conclusivo
	4	87,0 para baixo	0,36	-	sim	descendente
	5	119,0 para baixo	0,61	-	sim	descendente
1502	1	105,6 para cima	-	0,37	não	Provavelmente descendente

\* Diferença de carga obturada: carga do nível acima do obturador menos a carga do nível abaixo do obturador; - apenas um obturador utilizado ou sem leitura de diferença de nível.

2c - indica terceiro reposicionamento do conjunto de obturadores com obturação da parte superior

2b - indica segunda reposição com obturação em fratura

3i - nona reposição com obturação inferior

Os diferentes sentidos de fluxo foram determinados pela diferença de altura manométrica máxima observada acima e abaixo de cada obturador, identificada nas colunas de diferença de carga. Valores negativos indicam fluxo ascendente, pois a carga inferior é maior que a superior, e positivos indicam fluxo descendente.

Quando o nível da água não atingiu a estabilização, assumiu-se que a diferença de carga medida era menor do que a carga existente, porém, em geral, o dado é suficiente para determinar o sentido vertical de fluxo.

Nos quatro poços avaliados foi possível determinar o sentido do fluxo natural:

- poço 1249: descendente;
- poço 1502: descendente;
- poço 691: ascendente, com pequena porção descendente próximo ao revestimento do poço;
- poço 692: ascendente.

As tendências de fluxo foram medidas durante o mês de maio de 2008. Variações sazonais podem alterar e até inverter as direções registradas neste trabalho.

A **Figura 2.16** ilustra, para o poço 691, os resultados alcançados com os testes realizados, onde se observa o perfil construtivo esquemático do poço e o nível d'água, profundidade do tubo de boca, profundidade total e posição dos obturadores para cada teste.

As faixas verticais azuis mostram os intervalos bombeados em cada teste, com as flechas vermelhas indicando a tendência natural do fluxo no poço. Estão apresentadas as perfilagens de condutividade elétrica e de temperatura da água.

Esses testes foram realizados até o máximo de 100 m de profundidade devido à limitação do comprimento dos cabos do equipamento.

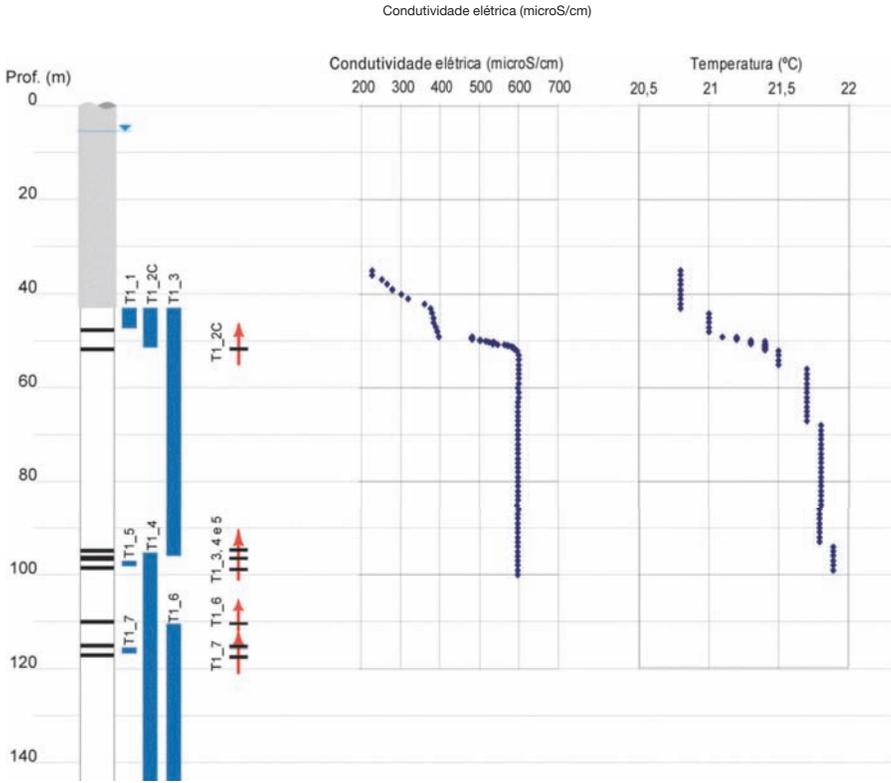


Figura 2.16 – Poço 691. Tendência de fluxo ascendente em todos os testes com resultados confiáveis. Os aumentos abruptos da condutividade elétrica e temperatura da água em 43 e 50 m indicam a presença de feições hidráulicamente ativas nestas profundidades. A porção estável da condutividade indica a existência de uma porção de água constantemente homogênea, denotando fluxo constante. Por uma limitação do equipamento não foi possível localizar uma feição hidráulicamente ativa na porção inferior do poço.

## Ensaio de bombeamento de 24 horas

A interpretação de ensaios de bombeamento de poços cadastrados no DAEE e realizados em três poços pela Servimar (Figura 2.7) permitiu medir parâmetros hidrodinâmicos do aquífero ou porção do aquífero como a transmissividade (T) e a condutividade hidráulica (K).

Os resultados de ensaios de bombeamento de 24 horas foram obtidos com o método de Cooper-Jacob (Cooper e Jacob, 1946, *apud* Feitosa e Filho, 1997). A condutividade hidráulica média estimada para o SAC foi de  $7,24 \times 10^{-5}$  cm/s (Tabela 2.3).

Para a rocha alterada, segundo Valejo e Mendes (*apud* Costa Filho e Vargas Júnior, 1985), os valores de condutividade para solos residuais de gnaisses e um migmatito estão predominantemente entre  $10^{-4}$  e  $10^{-3}$  cm/s.

Segundo o DAEE (1975), para o SAS são informados valores de transmissividade médios de 50 m<sup>2</sup>/dia, variando de 15 a 70 m<sup>2</sup>/dia. Assim, o valor médio da condutividade hidráulica é de 0,16 m/d (ou  $1 \times 10^{-4}$  cm/s).

Tabela 2.3 – Resultados de ensaios de bombeamento de 24 horas no Sistema Aquífero Cristalino, interpretado pelo método Cooper-Jacob.

Poço		T	T	Profundidade do poço (m)	K	K	K
	Fonte	(m <sup>2</sup> /s)	(m <sup>2</sup> /d)		(m/d)	(cm/d)	(cm/s)
194	DAEE	2,52E-04	21,75	109	2,00E-01	2,00E+01	2,31E-04
1664	DAEE	2,87E-06	0,25	200	1,24E-03	1,24E-01	1,44E-06
1619	DAEE	1,56E-05	1,35	146	9,24E-03	9,24E-01	1,07E-05
1430	DAEE	4,44E-06	0,38	222	1,73E-03	1,73E-01	2,00E-06
1346	DAEE	6,52E-06	5,63	184	3,06E-02	3,06E+00	3,54E-05
1683	DAEE	7,40E-04	64	150	4,30E-01	4,30E+01	4,98E-04
386	DAEE	6,90E-06	0,59	120	5,00E-03	5,00E-01	5,79E-06
1481	DAEE	7,70E-06	0,66	180	3,70E-03	3,70E-01	4,28E-06
1491	DAEE	1,22E-04	10,5	122	8,61E-02	8,61E+00	9,96E-05
1512	DAEE	1,70E-06	0,15	300	4,90E-04	4,90E-02	5,67E-07
1635	DAEE	2,74E-05	2,37	150	1,58E-02	1,58E+00	1,83E-05
1426	DAEE	2,77E-05	2,39	258	9,27E-03	9,27E-01	1,07E-05
195	Servmar	7,33E-06	0,63	276	2,30E-03	2,30E-01	2,66E-06
1618	Servmar	9,46E-06	0,82	198	4,13E-03	4,13E-01	4,78E-06
748	Servmar	2,70E-04	23,32	171	1,36E-01	1,36E+01	1,60E-04
Média							7,24E-05
Mediana							4,28E-06

## Modelo Hidrogeológico Conceitual de Fluxo

Após o levantamento, compilação e interpretação dos dados da litologia, geologia e hidrogeologia da área de estudos foi construído o modelo hidrogeológico conceitual. O modelo mostra, portanto, três compartimentos com diferentes características hidráulicas: o meio sedimentar, na parte superior; a rocha alterada, em posição intermediária; e a rocha sã, na base (**Figura 2.17**).

A recarga do aquífero superficial ocorre por infiltração de águas pluviais e perdas da rede pública. Algumas drenagens podem também contribuir para o aquífero. Da mesma forma, as áreas onde não há rede de esgoto, essas águas servidas infiltram incrementando a recarga do aquífero. A área de descarga dos fluxos de água se dá principalmente nos rios e represas e, atualmente, pelo bombeamento dos poços.

Neste modelo observa-se que o fluxo de água subterrânea no SAS deve fazer parte de um sistema de fluxo local e mais raso, com isso, possui uma relação direta com as fontes primárias e secundárias de contaminação. O fluxo de água no SAC se dá principalmente por entre as fraturas e também fluxo horizontal, associado a um sistema de fluxos mais regionais.

Há dois níveis de água para a região de estudo (sobretudo para a parte central da área, próximo ao canal Jurubatuba). O primeiro nível, mais raso, está associado ao SAS, concordante com os níveis das drenagens locais; e o segundo nível, mais profundo, é resultado do forte bombeamento do aquífero cristalino (nível dinâmico).

De acordo com as informações, referentes à geologia estrutural da área de estudo, no trecho superficial de cada poço predominam fraturas de baixo ângulo e no trecho inferior, os mergulhos das fraturas tendem a ser intermediários a elevados. Em termos hidráulicos, isto pode implicar em que, até as profundidades de 90m a 110m, o fluxo deve se dar preferencialmente ao longo de estruturas de ângulo baixo, implicando em uma anisotropia para o aquífero fraturado neste setor.

Para ambos os sistemas, as discussões sobre as características estruturais, hidrogeológicas e os parâmetros hidrodinâmicos apresentados permitem concluir que o fluxo é predominantemente horizontal, mas há um fluxo vertical mais lento que o fluxo horizontal. Isto ocorre principalmente no que se refere à transmissão vertical de água da porção superior do aquífero (sedimento e rocha alterada) para a porção inferior (rocha sã), fazendo com que o bombeamento do SAC provoque a ocorrência de um nível dinâmico mais profundo, aparentemente “deslocado” (ou com grande atraso de resposta) do SAS. Como dito, esse efeito transiente é causado pela forte anisotropia (vertical x horizontal) dos sistemas aquíferos SAC e SAS. Assim, entre a base do SAS e o nível de água do SAC há uma zona não saturada (ou onde o aquífero é quase saturado).

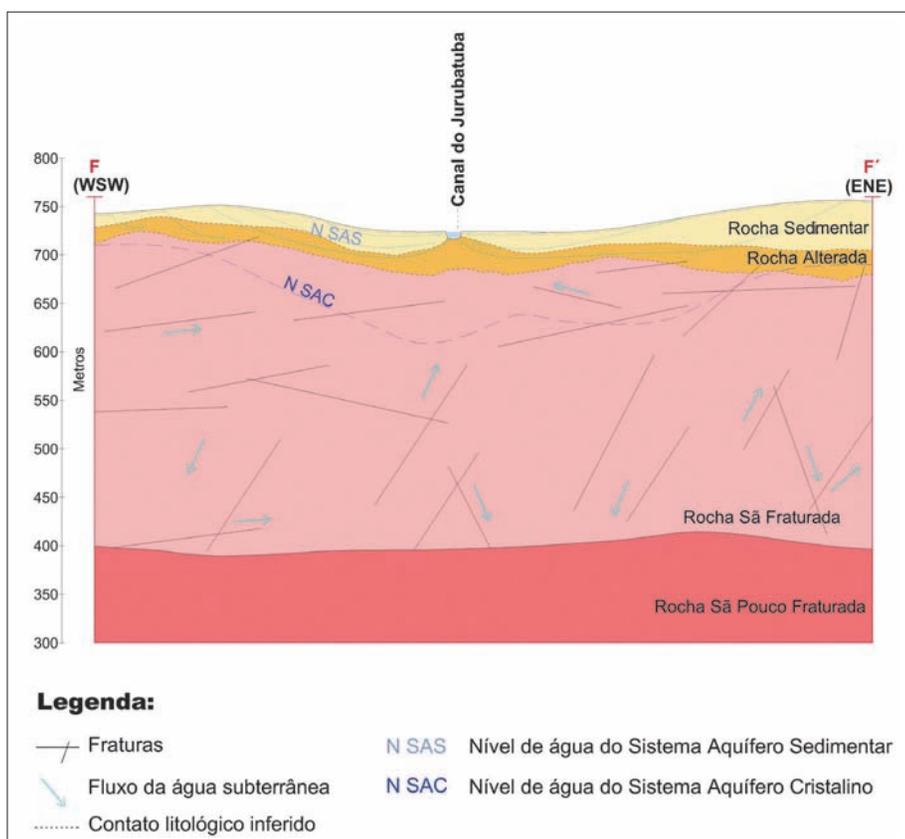


Figura 2.17 – Modelo conceitual de circulação de água subterrânea na área de estudo de acordo com a seção construída ao longo do perfil F-F’.

## Modelo Hidrogeológico Numérico de Fluxo

A área modelada foi delimitada pelo córrego Águas Espraíadas a nordeste, pelas represas Guarapiranga e Billings ao sul, por divisores de águas superficiais a leste e a oeste (Figura 2.18). Para a simulação de fluxo foi utilizado o Programa SPA desenvolvido pelo Laboratório de Hidráulica Computacional da Escola de Engenharia de São Carlos (Universidade de São Paulo – USP).

O modelo foi construído em duas dimensões adotando condutividades hidráulicas verticais médias para cada um dos meios: sedimentar, rocha alterada e rocha sã.

A construção do modelo numérico iniciou pela definição dos contornos e a correspondente geração da malha, considerando os poços cadastrados na região e as principais drenagens. Os nós apresentam espaçamento médio de 100 m, com refinamento da malha no entorno dos poços (distância mínima de 10 m). A condição de contorno para os contornos naturais do modelo é do primeiro tipo ou de Dirichlet (carga hidráulica conhecida). Ao longo dos divisores de águas superficiais, a condição de contorno é do segundo tipo ou de Neuman (fluxo nulo através do contorno).



Fonte: Google Earth, 2008

Figura 2.18 – Área de estudo com as drenagens e limites do modelo numérico.

A Figura 2.19 mostra os cursos d'água alternando as condições de efluentes (drenagem em vermelho) – incluindo parte dos córregos Águas Espriadas e Cordeiro – e influentes (recarga em preto). Os círculos azuis, representados pelos canais do Jurubatuba e Guarapiranga, rio Pinheiros e parte dos córregos Águas Espriadas e Cordeiro, indicam a recarga do aquífero em trechos com condição de drenança. Nas regiões topograficamente mais baixas, onde a concentração de poços de bombeamento é maior, os cursos d'água alimentam o aquífero.

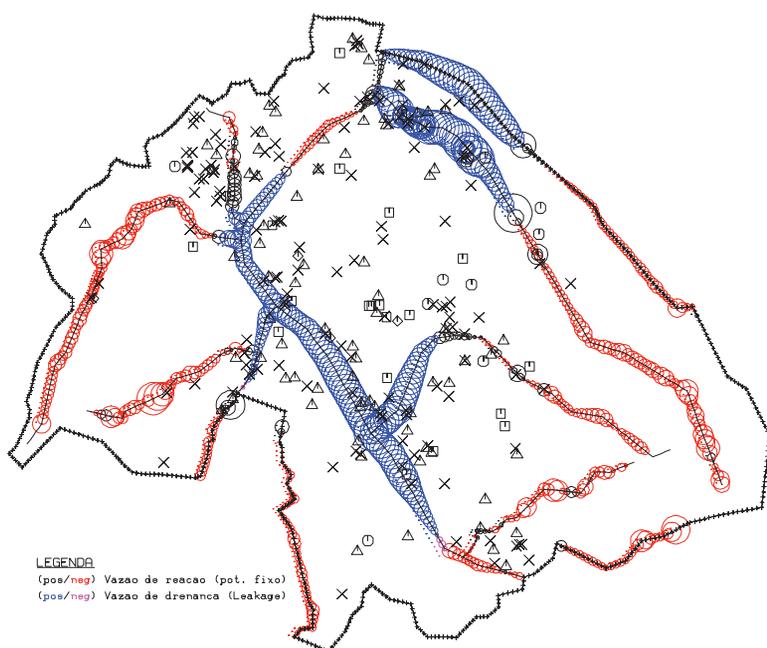
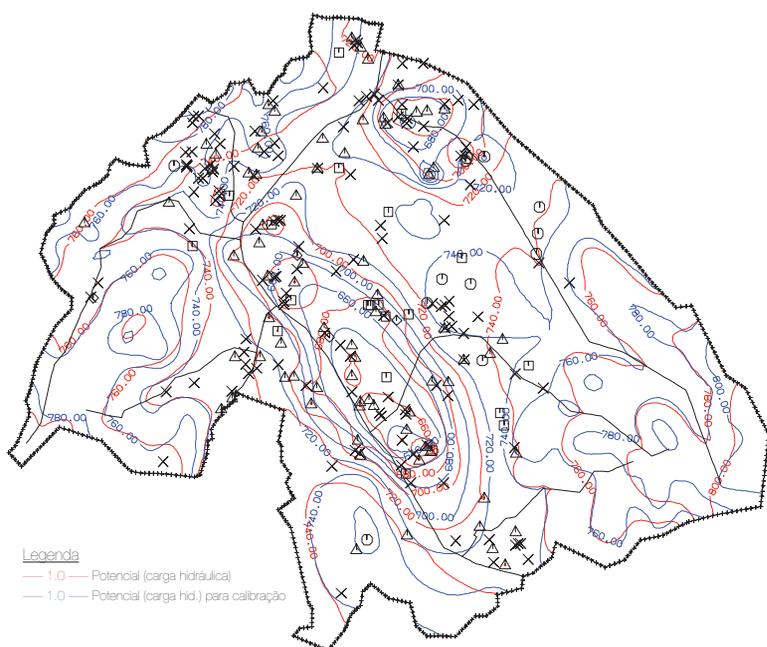


Figura 2.19 – Vazão de reação nos pontos do modelo com carga conhecida.

A vazão anual foi calculada a partir das informações (vazão horária, horas diárias e dias mensais de operação) disponíveis no cadastro de poços. Para os poços sem informação, foi considerada a operação do poço em 20 h/d, 30 d/m e 12 m/a.

Para a região de domínio do SAC fraturado, os valores de condutividade hidráulica foram limitados entre  $K_{MAX} = 6,0 \cdot 10^{-7}$  m/s e  $K_{MIN} = 9,0 \cdot 10^{-8}$  m/s. Onde ocorre a contribuição do escoamento em rocha alterada e SAS, a calibração foi realizada entre os limites  $K_{MAX} = 6,0 \cdot 10^{-6}$  m/s e  $K_{MIN} = 6,0 \cdot 10^{-7}$  m/s.

Na calibração consideraram-se as cargas hidráulicas existentes e recarga variando de 130 mm/ano a 300 mm/ano, sendo menor na área mais impermeabilizada. A comparação entre cargas hidráulicas calculadas pelo modelo numérico (em vermelho) e o mapa potenciométrico construído a partir de cargas hidráulicas observadas em campo (em azul) é apresentada na **Figura 2.20**. Pode-se observar que o modelo numérico reproduz o sistema de fluxo esperado pelo modelo conceitual.



**Figura 2.20** – Comparação entre cargas hidráulicas calculadas (em vermelho) e as cargas hidráulicas observadas (em azul).

A superfície potenciométrica (em 3D) calculada pelo modelo calibrado é apresentada na **Figura 2.21**, ilustrando o rebaixamento causado pelos poços, principalmente na área central.

Outro resultado interessante são as ilustrações das zonas de captura dos poços (ZOC) ativos, importante para avaliar os perímetros de proteção de poços (PPP). As ZOCs foram calculadas considerando horizontes temporais de 1, 10 e 20 anos para abranger as dimensões de curto e longo prazo das zonas de influência.

As ZOCs, para a maioria dos poços com menor vazão, tendem a alcançar aproximadamente 100 m para um tempo de caminhamento de 20 anos. Para os poços com maior

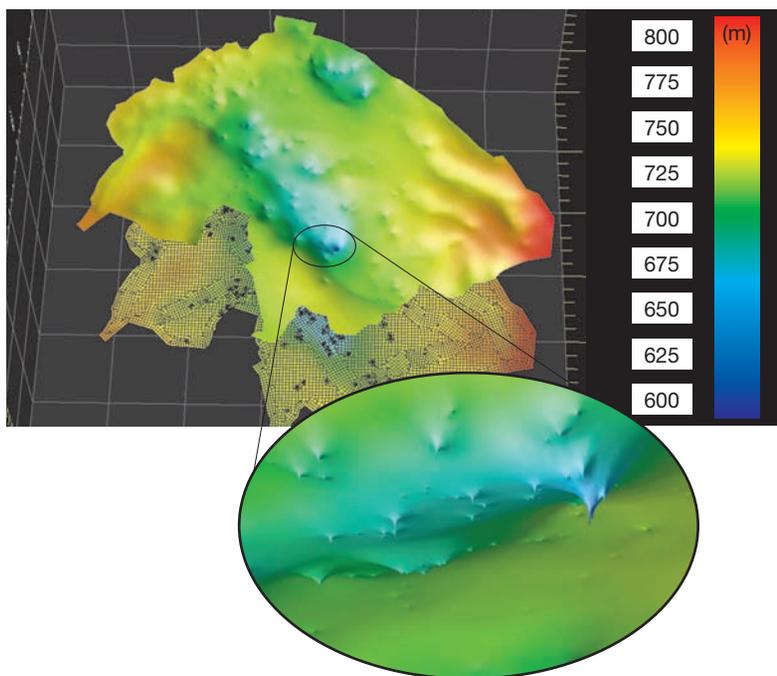


Figura 2.21 – Visualização espacial da superfície potenciométrica calculada pelo modelo com detalhe dos maiores cones de rebaixamento (azul).

vazão ou aglomerados de poços, as ZOCs tendem a se alongar, alcançando 1.000 m em alguns casos, para o tempo de trânsito de 20 anos (Figura 2.22).

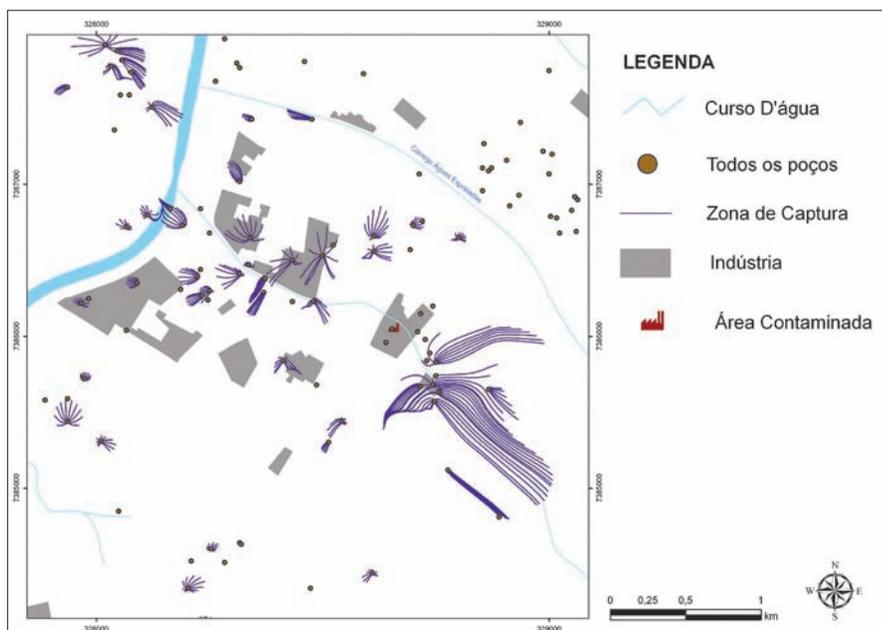


Figura 2.22 – ZOCs para um período de 20 anos ao norte da área.

Os resultados apresentados foram simulados de acordo com as condições de calibração, adotando uma taxa de recarga na área central, ao longo das principais drenagens, de 130 mm/ano e adequando-a à demanda conhecida de água subterrânea. No entanto, estima-se que exista uma quantidade significativa de poços que não foram considerados nesse modelo. Assim, é muito provável que a taxa de recarga ao longo das principais drenagens seja maior do que 130 mm/ano. Com a recarga maior é provável que o tempo de caminhamento ilustrado pelas ZOCs estimadas no modelo também seja alterado, limitando a indicação do potencial de arrastar contaminantes dissolvidos nas distâncias previstas no modelo.

A configuração ilustrada a partir da aplicação do modelo não contempla o comportamento de fraturas, que pode definir anisotropias e propiciar modificações nessa configuração. Para ter resultados confiáveis para as tomadas de decisão baseando-se em modelagem numérica, é necessário conhecer a condição de operação de todos os poços existentes na região, com o maior número possível de informações confiáveis.

Uma segunda condição foi modelada considerando a paralisação de 41 poços da região, presentes na área do modelo, contaminados por compostos etenos ou etanos clorados (EEC ou EAC) (Figura 2.23b). Esses poços exploram uma vazão em torno de 430 m<sup>3</sup>/h. Nesse caso, a condição de contorno ao longo do canal do Jurubatuba foi alterada para condição do 1º tipo (carga hidráulica conhecida, correspondendo ao nível da água no canal).

Os resultados com essa segunda condição podem ser comparados à primeira condição modelada. No primeiro caso, os valores de carga hidráulica superavam 810 m na região oriental, enquanto na região central eram mais baixas, chegando a aproximadamente 610 m junto aos poços de maior vazão (Figura 2.23a).

No segundo caso, a modelagem mostra a recuperação dos níveis estáticos e o canal atuando como uma drenagem com contato hidráulico pleno. A recuperação máxima foi alcançada pontualmente nos poços de maior vazão. A recuperação resulta basicamente da redução de bombeamento na região e da alteração da condição de contorno ao longo do canal do Jurubatuba. Deve-se ainda levar em conta que a recuperação calculada nesse modelo não considera a presença de poços clandestinos perfurados na região.

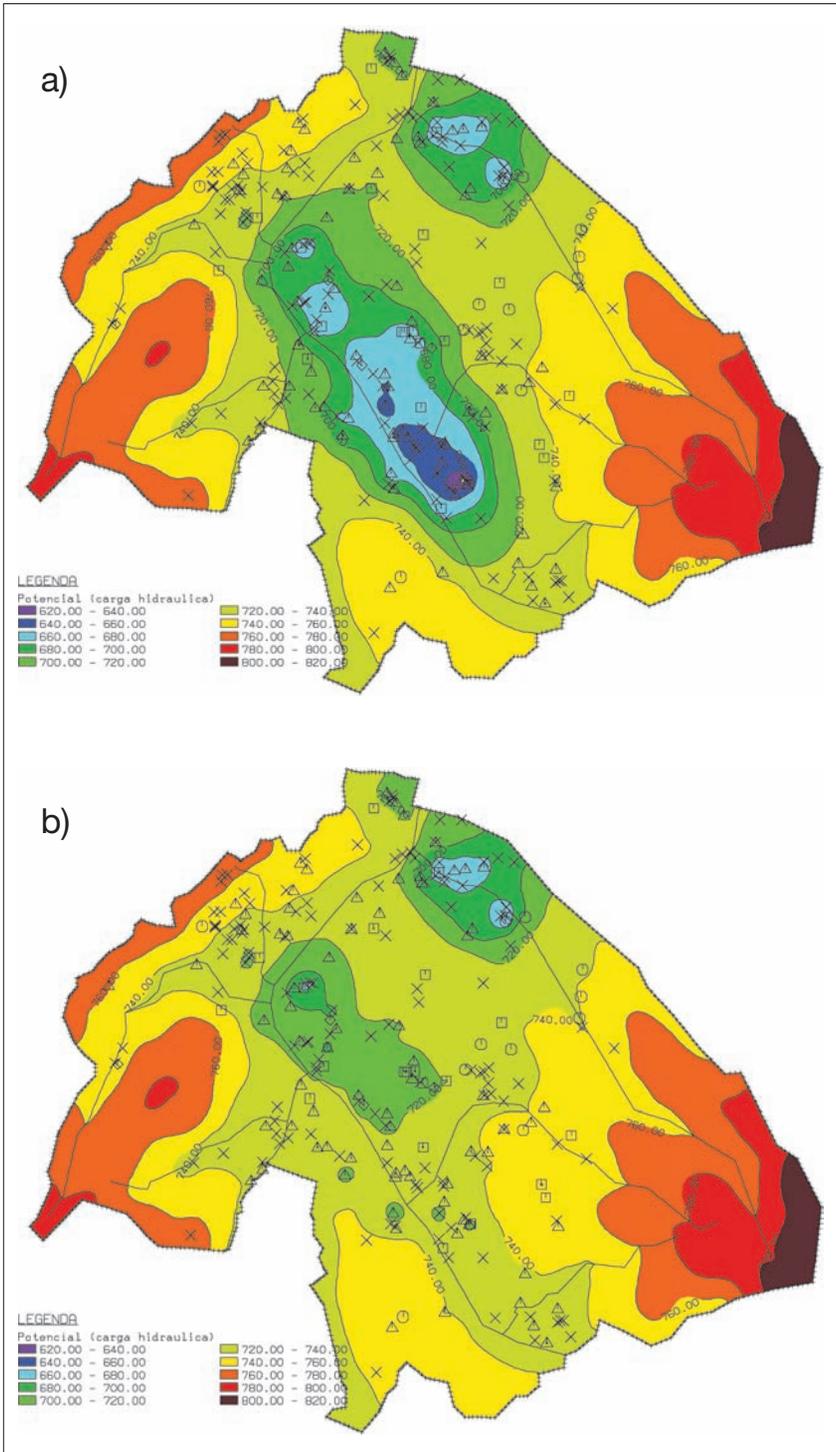


Figura 2.23 – Cargas hidráulicas com poços ativos (a) e considerando a recuperação após a paralisação dos poços conhecidamente com organoclorados (b).



## Capítulo 3

# CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA



### 3. CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Neste capítulo serão apresentadas as informações que caracterizam a área estudada nos diversos aspectos para entender a qualidade da água subterrânea, como a vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação, análises químicas, áreas declaradas contaminadas na região e, por fim, a caracterização da contaminação.

#### Águas dos Sistemas Aquíferos Sedimentar e Cristalino

A qualidade das águas subterrâneas está diretamente relacionada às características físico-químicas e geológicas do aquífero, bem como à vulnerabilidade às contaminações externas. De acordo com Campos (1993), as águas subterrâneas do território paulista se caracterizam por:

- baixa salinidade, com resíduo seco a 180° C, inferior a 250 mg/l;
- bicarbonatadas, secundariamente sulfatadas e cloretadas;
- quanto ao conteúdo catiônico, são essencialmente cálcicas, seguidas das sódicas e das cálcicas magnesianas.

Estudos realizados pelo DAEE (1975) mostram que a qualidade natural das águas subterrâneas do Aquífero São Paulo tem baixa salinidade. Segundo Matos (2001 *apud* Campos *et. al.*, 2002), predominam as águas bicarbonatadas.

A qualidade natural do SAC caracteriza-se por águas bicarbonatadas cálcicas, secundariamente sódicas (Hirata *et al.*, 1997).

Esses trabalhos confirmam que, no geral, a qualidade natural da água subterrânea desses aquíferos é adequada ao consumo para diversos tipos de uso ou atividades. No entanto, na região em estudo, os aquíferos estão expostos a uma progressiva deterioração, decorrente da ocupação urbana e da expansão industrial, provocando limitações devido à presença de compostos inorgânicos e organoclorados especificados nos próximos itens.

## Vulnerabilidade dos Aquíferos à Contaminação

A vulnerabilidade de um aquífero à contaminação se refere à acessibilidade de contaminantes relacionada com as características intrínsecas dos estratos que separam o aquífero saturado da superfície do solo e as fontes potenciais de cargas contaminantes (Foster *et al.*, 2006).

O índice que indica a vulnerabilidade natural das águas subterrâneas na região de Jurubatuba, segundo as suas características hidrogeológicas, foi determinado pelo método GOD (Foster, 1987; Foster e Hirata, 1988) e o resultado pode ser observado na **Figura 3.1**. Esse método considera o Grau de confinamento hidráulico, Ocorrências de substrato litológico e Distância do nível d'água ou teto de aquífero confinado.

Ambos os sistemas aquíferos classificados são não-confinados. A distância até o nível freático foi definida conforme a correlação de dados disponíveis de níveis de água, a partir de informações de campo, medidos em poços de monitoramento rasos e cacimbas, e a topografia. Comparando-se os dados de campo com as cotas topográficas notou-se que as cotas topográficas mais elevadas apresentam os níveis freáticos mais profundos, e as cotas mais baixas, níveis rasos. Pode-se afirmar, assim, que o nível freático acompanha, de forma aproximada, a topografia em toda a região. Na porção central e leste da área, predominam os níveis rasos, e na porção oeste, níveis profundos.

Aplicando-se os passos indicados na metodologia GOD, foram determinados os seguintes índices de vulnerabilidade para cada aquífero:

O *Aquífero Quaternário* apresenta índice de vulnerabilidade alto por conter porções areno-argilosas associadas à baixa profundidade do nível freático, entre 1 a 5 m.

O *Aquífero São Paulo* apresenta um índice de vulnerabilidade médio devido às porções de silte-argila e ao fato de o nível freático ser mais profundo, entre 5 a 20 m.

O *Aquífero Resende* é dividido em duas fácies. Sendo assim, os depósitos em que predominam lamitos areno-argilosos e níveis freáticos rasos (entre 1 a 5 m) possuem um índice de

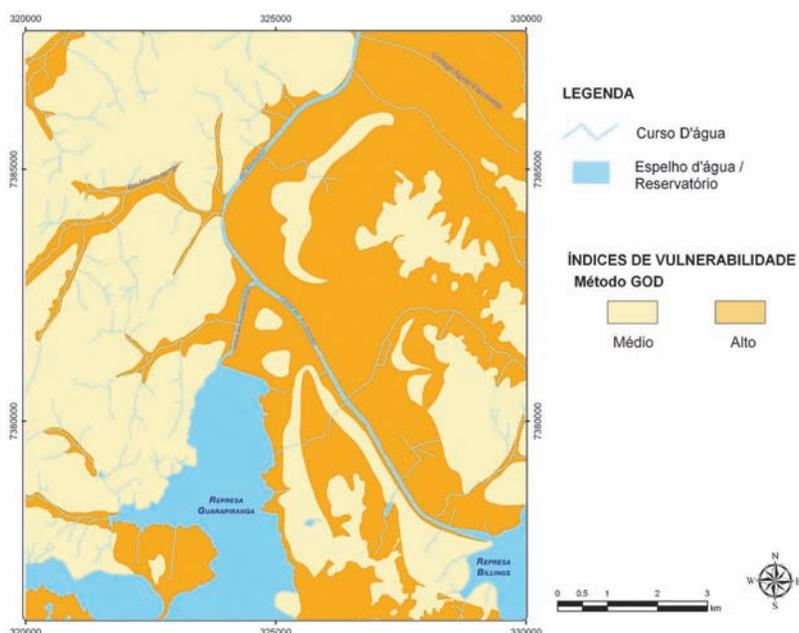


Figura 3.1 – Vulnerabilidade natural dos aquíferos à poluição.

vulnerabilidade alto, e a mesma fácies com predominância de nível freático mais profundo, maior que 5 m, apresenta índice médio. A camada em que há predominância de lamitos acamados e níveis freáticos maiores que 5 m também apresenta um índice de vulnerabilidade médio.

O SAC apresenta grande heterogeneidade hidráulica e baixa densidade de dados, dificultando a determinação da vulnerabilidade do aquífero. Na região, o estrato de cobertura, caracterizado pelo intemperismo de rochas metamórficas e ígneas e por níveis freáticos de médio (entre 5 a 20 m) a profundo (maiores de 20 m), permitiu classificar o sistema como índice de vulnerabilidade médio.

Em termos gerais, qualquer atividade industrial pode contaminar o solo ou subsolo em decorrência da emissão de efluentes líquidos, do despejo inadequado de resíduos sólidos e vazamentos de produtos químicos perigosos (Pankow *et al.*, 1984; Bernardes *et al.*, 1991; Sax, 1984).

Uma das formas simplificadas de classificar as fontes potenciais de carga contaminante no subsolo, de acordo com o método POSH (acrônimo em inglês de *pollutant origin, surcharge hydraulically*) (Foster *et al.*, 2006), é avaliar

a probabilidade da presença de substância poluente associada com o tipo de atividade humana e a provável sobrecarga hidráulica com base no uso da água.

O perigo de contaminação da água subterrânea na região foi identificado com base no cadastro de 3.905 atividades potencialmente contaminantes, fornecido pela CETESB (Figura 3.2).

A principal atividade antrópica que ocorre na área em estudo é a industrial, e a partir desta foi possível identificar 2.490 atividades com índice elevado de potencial de poluição, conforme as características químicas e índices de risco, que manuseiam substâncias tóxicas ou nocivas, como hidrocarbonetos, solventes orgânicos sintéticos, metais pesados e outros. Em todos esses casos, o índice de potencial de contaminação do subsolo deve ser elevado (Foster *et al.*, 2006).

Produtos químicos tóxicos ou nocivos, se despejados no solo sem tratamento adequado, podem provocar extensas plumas de contaminação e de difícil remediação, por isso são classificados como tendo potencial elevado de conta-

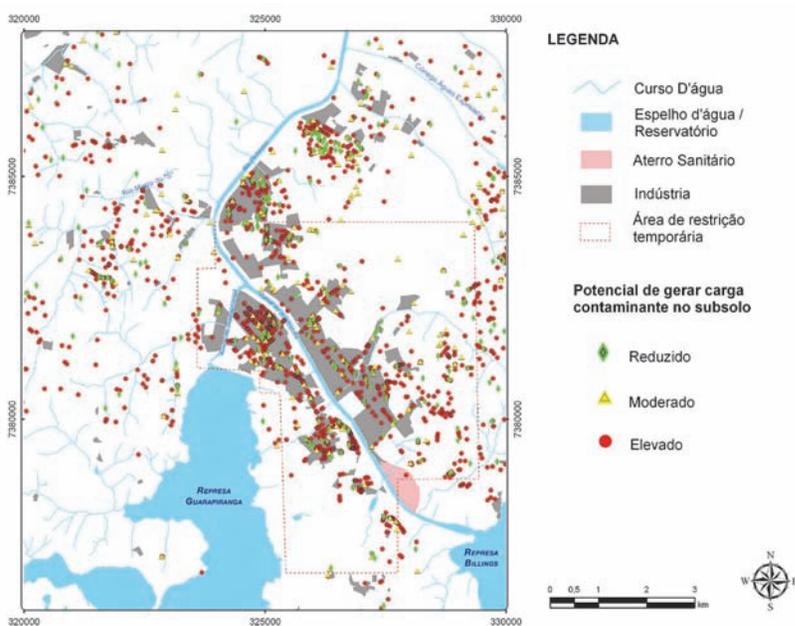


Figura 3.2 – Classificação de atividades com carga potencial de contaminação.

minação. O principal tipo de atividade industrial que ocorre na área é a manufatura de produtos químicos orgânicos, eletroeletrônicos, farmacêuticos e produtos plásticos.

## Compostos de Interesse

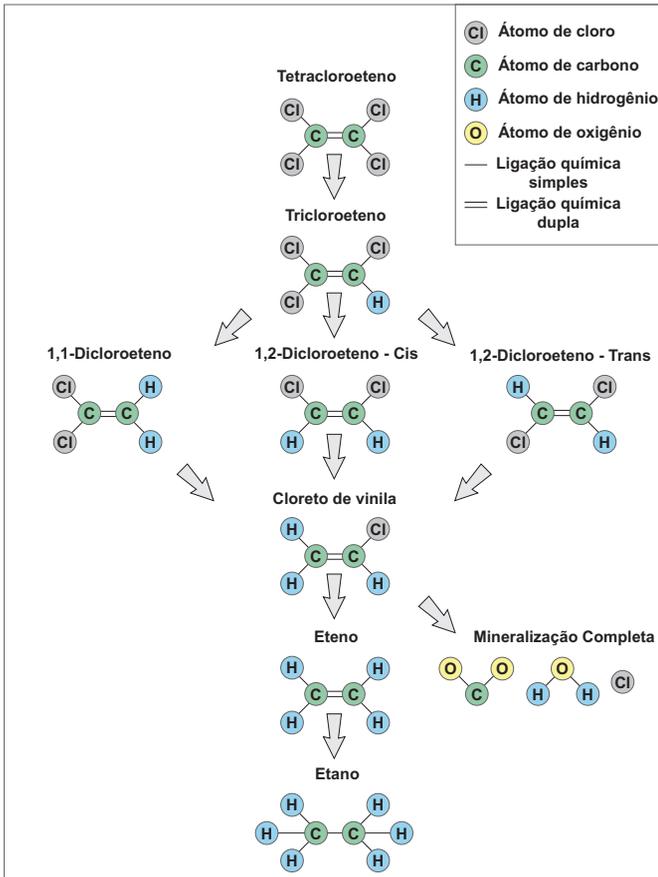
Considerando-se o histórico de contaminação da área estudada e os parâmetros exigidos pela Portaria 518 do Ministério da Saúde (2004), para todas as amostras de água coletadas, foram analisados os parâmetros das tabelas 1, 3 e 5, exceto microcistinas, e a varredura complementar de orgânicos voláteis que constam da lista da CETESB (2005). As tabelas 1, 3 e 5 abrangem os compostos químicos orgânicos e inorgânicos e parâmetros bacteriológicos. As análises complementares para compostos orgânicos voláteis (VOC) foram acrescidas, visto que, pela Portaria 518, os compostos orgânicos não abrangem parte dos principais compostos organoclorados de interesse neste trabalho.

Os compostos EEC e EAC são hidrocarbonetos clorados alifáticos, caracterizados como orgânicos voláteis, e compõem o grupo químico dos solventes halogenados. Esses compostos foram selecionados para delimitar a área de restrição conforme a frequência da ocorrência de concentrações observadas nos resultados das análises dos poços distribuídos na área. Com isso, essa contaminação é caracterizada como de abrangência regional na área de estudo.

Os hidrocarbonetos clorados alifáticos se submetem a biodegradação em três diferentes circunstâncias: por processos de acepção de elétrons, doação de elétrons, cometabolismo e pela conjugação de dois ou mais desses processos. Após o consumo de oxigênio do meio, os microorganismos anaeróbicos utilizam o  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{FeOOH}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e, finalmente,  $\text{CO}_2$ , nessa ordem preferencialmente.

O principal processo de biodegradação desses compostos é a de-halogenação redutiva, em que ocorre a perda de cloro dos compostos que são substituídos por átomos de hidrogênio (**Figura 3.3**). Em geral, esse processo ocorre na sequência de perda de cloro do tetracloroetano (PCE) para o tricloroetano (TCE), este para o dicloroetano (DCE), cloreto de vinila (CV) e eteno. Segundo a USEPA (1998), normalmente a degradação de TCE para DCE é mais comum para cis-DCE, seguido de trans-DCE e 1,1-DCE.

Com relação à degradação de EAC, em geral, esse processo ocorre na sequência de perda de cloro do tetracloroetano (PCA) para o tricloroetano (TCA), este para o 1,1- dicloroetano (1,1-DCA) e etano. Já para o 1,2-DCA não existem fontes naturais conhecidas. A emissão desse composto para o ambiente decorre da fabricação, uso, armazenamento, distribuição e disposição final.



Fonte: USEPA, 1998

Figura 3.3 – Cadeia de degradação de etenos clorados.

Os VOCs são compostos químicos orgânicos que se caracterizam pela alta pressão de vapor em condições normais, ou seja, pela maior tendência da substância passar de seu estado sólido ou líquido para o estado de vapor (fase livre). E mesmo muito tempo após a conclusão de uma atividade, concentrações elevadas podem persistir no ar. Portanto, são considerados compostos perigosos e deve-se obter um maior controle ao manuseá-los. Se usados de forma incorreta, podem acarretar efeitos adversos para a saúde (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Características dos compostos de interesse e os efeitos toxicológicos.

Parâmetro	D. (g/cm <sup>3</sup> )	S. (mg/L)	Pressão de vapor (mmHg)	Uso <sup>1</sup>	Tipo de exposição <sup>1</sup>	Efeitos no ser humano <sup>1</sup>
PCE	1,62 <sup>2</sup>	150 <sup>2</sup>	5,95 <sup>1</sup>	limpeza a seco de tecidos, desengraxante de metais, matéria-prima para produção de compostos químicos artificiais.		afeta o sistema nervoso central (SNC)
TCE	1,46 <sup>1</sup>	1100 <sup>1</sup>	57,8 <sup>1</sup>	removedor de graxas		afeta o SNC e provoca danos ao rim e fígado.
1,1-DCE	1,2 <sup>2</sup>	400 <sup>2</sup>	-	intermediário químico na síntese de organoclorados e produção de embalagens		dor de cabeça, fadiga com alterações nervosas, irritações nos olhos; em contato com a pele, leva a secura; quando ingerido causa danos ao sistema gastro-intestinal
1,2-DCE	1,2 <sup>2</sup>	Cis (3500) <sup>2</sup> Trans (6300) <sup>2</sup>	-	intermediário químico na síntese de organoclorados, solvente, resinas, corantes	inalação, contato	
CV	0,91 <sup>1</sup>	4270 <sup>1</sup>	2560 <sup>1</sup>	produção do PVC* e copolímeros	dérmico e ingestão	câncer de fígado
1,1-DCA	1,175 <sup>2</sup>	5500 <sup>2</sup>	-	intermediário químico na síntese de organoclorados, na fabricação de polimento e aerossol de inseticidas		depressão do SNC e irritação do trato respiratório e do tecido cutâneo
1,2-DCA	1,253 <sup>2</sup>	8690 <sup>2</sup>	-	síntese de outros compostos químicos envolvidos na produção de plásticos, como PVC; borrachas e fibras têxteis sintéticas.		danos sobre o SNC, pulmões, rins, fígado e sangue. A exposição crônica pode causar aparecimento de cancro
1,1,1-TCA	1,325 <sup>2</sup>	4500 <sup>1</sup>	19 <sup>1</sup>	limpeza de metais, em aerossóis, adesivos, revestimentos, limpeza a seco e em processos têxteis e eletrônicos.		náuseas, vômito, diarreia, queimaduras na pele, depressão respiratória e arritmia cardíaca

Fonte: <sup>1</sup>Salgado e Marona (2004); <sup>2</sup>USEPA (1991)

D.: densidade

S.: solubilidade

\*Polivinila cloreto

Os demais compostos estudados na área, como substâncias inorgânicas e orgânicas, podem ser de origem natural ou resultante de atividade antrópica.

Alguns parâmetros como cor, turbidez, odor e gosto são relacionados a efeitos diversos de caráter estético que, em consequência, causam repulsa ao consumo da água. Esses demais parâmetros ocorrem de forma pontual e não caracterizam o foco de interesse para delimitação da área de restrição.

## Áreas Contaminadas

Segundo a CETESB, em dados atualizados até 2007, há 84 áreas declaradas contaminadas na área de estudos, sendo 29 (35%) áreas industriais e 55 (65%) postos de combustível (Figura 3.4a e Figura 3.5). Levando-se em conta apenas as áreas industriais, pode-se observar que os contaminantes mais comuns são os metais e os solventes halogenados alifáticos, ambos presentes em 14 indústrias (48%). Esse número não reflete o real cenário de contaminação por organoclorados, objeto deste trabalho, pois sabe-se que há várias atividades industriais ainda em fase de estudos e muitas outras com alto potencial de contaminação, mas que ainda não iniciaram os estudos preliminares. O elevado número proporcional de postos de combustível se deve a que suas investigações estão mais adiantadas que as das indústrias.

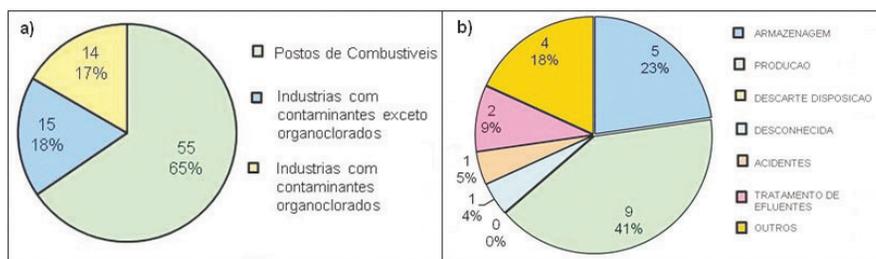


Figura 3.4 – Tipos de áreas contaminadas (a) e fontes de contaminação por solventes halogenados alifáticos em áreas industriais (b).

As fontes de contaminação nas indústrias da área de estudo são as áreas de armazenagem (32%) e produção (31%). Entretanto, ao se considerarem apenas as contaminações por organoclorados, a área de produção eleva-se para 41%, enquanto a área de armazenagem se reduz a 23% (Figura 3.4b).

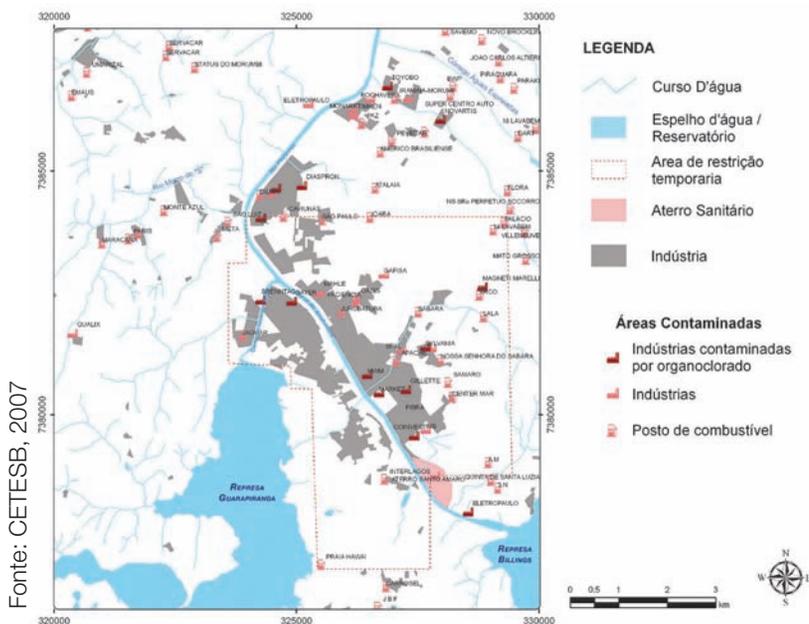


Figura 3.5 – Áreas declaradas contaminadas.

As principais ações tomadas são o monitoramento ambiental e a remoção de materiais. Das etapas desenvolvidas para o entendimento e a recuperação das 14 áreas contaminadas por solventes halogenados alifáticos, as principais consistiram em investigações confirmatórias e detalhadas (Figura 3.6).

Não houve informações sobre avaliações preliminares. Aproximadamente 50% estão com remediação em andamento.

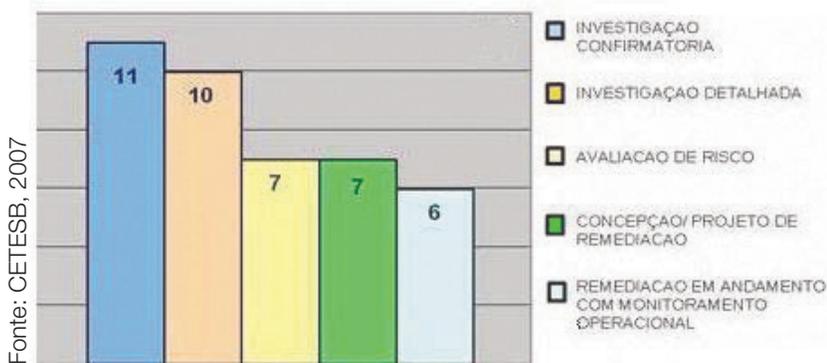


Figura 3.6 – Etapas de trabalhos, até 2007, nas áreas declaradas contaminadas.

Foi verificado que, em cada uma dessas áreas declaradas contaminadas, há concentrações de etenos clorados (EEC) dissolvidos na água dos poços de monitoramento da ordem de dezenas e até centenas de miligramas por litro.

Para a tomada de decisões no gerenciamento do problema, uma verificação relevante nos relatórios acessados é que, numa projeção horizontal, observando-se as plumas de contaminação, nota-se que as contaminações observadas extrapolam os limites da propriedade do contaminador, o que requer uma ação conjunta por parte dos contaminadores, mediados pelo órgão gestor.

Outra abordagem sobre as áreas contaminadas está relacionada às fontes secundárias de contaminação. Ao observar o mapa de rede de coleta de esgotos, nota-se que a área industrial no bairro de Campo Grande é coincidente com a área não servida pela rede de esgoto.

Conforme mencionado anteriormente, há diversos fatores que contribuem para a contaminação do aquífero nessa região. Entretanto, a ausência de práticas ambientalmente adequadas para o uso e descarte de solventes halogenados, em uma área sem coleta de esgoto, aponta para a possibilidade de terem ocorrido descartes em galerias pluviais.

As galerias de drenagem de efluentes nas propriedades são conectadas às galerias pluviais da rede pública que, em geral, têm como destino córregos e canais, como Jurubatuba. Nesse caminho, a existência de rachaduras nas galerias pode criar múltiplos pontos de infiltração de contaminantes para o aquífero.

Considerando-se as propriedades de densidade dos EEC originais (PCE e TCE) quando em fase livre, estes atingem o aquífero e afundam até encontrar uma barreira física ou até que sua massa seja insuficiente para vencer a tensão água-solvente pela força da gravidade. Para o caso de encaminhamento desses efluentes para fossas sépticas, podem-se considerar ocorrências similares a essas no processo de contaminação.

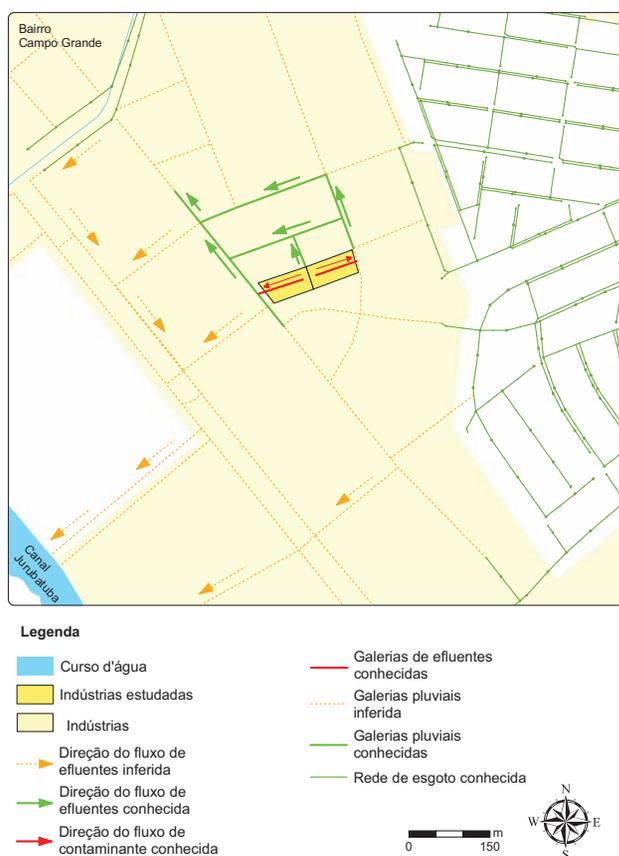
Em umas das áreas declaradas contaminadas, no bairro de Campo Grande a leste do canal do Jurubatuba, observaram-se sedimentos em galerias, com concentração de PCE da ordem de 56.000 mg/kg (56 g/kg). Também foram observadas concentrações da ordem de g/kg de TCA; 1,1-DCE

e 1,1-DCA. Outros compostos em menores concentrações foram os produtos de degradação do PCE, TCE, cis-DCE e CV, além de compostos comuns na gasolina (BTXE) e mercúrio, atestando que uma avaliação sistemática permitiria encontrar tais contaminantes em muitas áreas.

A **Figura 3.7** apresenta a ocorrência de galeria contaminada conectada à rede de galerias pluviais, sem a rede coletora de esgoto, representando fontes secundárias, no intuito de ilustrar um modelo de disseminação da contaminação que deve ser investigado.

### Análises Químicas da Água

Na área em estudo, dos 513 poços conhecidos, foi possível obter dados preexistentes de análise química da água de 134 poços, totalizando 300 análises em diferentes datas. Esses poços com análises preexistentes são todos outorgados e localizados dentro da área de restrição temporária.



**Figura 3.7** – Galeria com contaminação conectada à rede de galerias pluviais.

De 134 poços com análises, 86 (64%) indicaram que o tipo de análise realizada foi a Portaria 518 e/ou VOC varredura; desse total, 46 (53%) poços possuem resultados de análises que apresentam compostos EEC e EAC acima ou abaixo dos Valores Orientadores de Intervenção (VOI) (Figura 3.8 e Tabela 3.2).

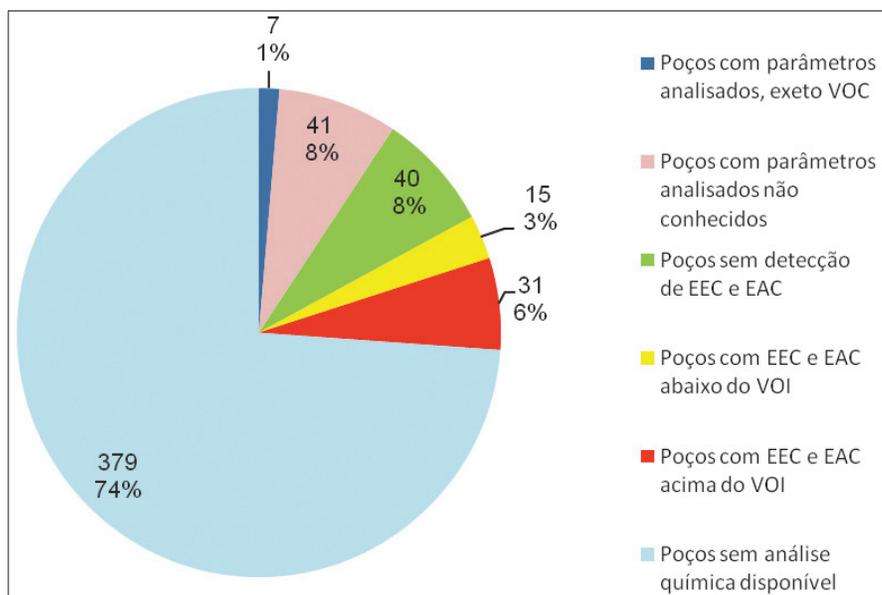


Figura 3.8 – Número de análises químicas nos poços.

Tabela 3.2 – Poços que apresentam em sua análise compostos EEC e EAC ( $\mu\text{g/L}$ ).

Parâmetro Estatística	CV	1,2-DCA	1,1-DCA	1,1-DCE	Cis-1,2-DCE	Trans-1,2-DCE	PCE	TCE
Mínimo	2	0,2	2,64	2,8	4,3	2,87	1,9	1,3
Média	53,2	5,55	17,96	141,27	698,04	9,9	271,88	308,79
Mediana	14	5,55	6,75	14	302	6,76	46,25	49
Máxima	234	10,9	72,6	1534	3340	21,9	1830	2200
Número de ocorrência	25	2	6	17	25	6	26	29

Além das análises disponibilizadas em estudos prévios, foram coletadas 25 amostras, conforme edital, em 9 poços distribuídos dentro e fora da área de restrição temporária. Desse total, 5 apresentaram em suas análises EEC e EAC com tanto valores acima como abaixo do VOI (Figuras 3.9 a 3.11).

O uso de obturadores na coleta de amostras permitiu a obtenção de amostras discretas ao longo do poço. Essa coleta permitiu detalhar ocorrências verticais de contaminação em três poços (poços 691, 692 e 1249). Incluindo-se as demais coletas, confirmaram-se novos poços contaminados por etenos clorados (poço 1249, 1591 e 1618), totalizando, portanto, 46 poços conhecidos com essas substâncias acima e abaixo do VOI na área em estudo (Figura 3.12).

Os resultados de análise obtidos com uso de obturadores pneumáticos permitiram observar tendências de concentração conforme a profundidade amostrada. No poço 1249, a maior concentração dos compostos ocorre na porção de 45 m para cima, devido à grande porção amostrada. Em porções mais profundas, essa concentração diminui. Além disso, o PCE ocorre em baixas concentrações, e o CV, em maiores concentrações, em todas as profundidades. Isso indica que a contaminação está rasa e que houve um processo de degradação do PCE para o CV com fluxos descendentes (Figura 3.9).

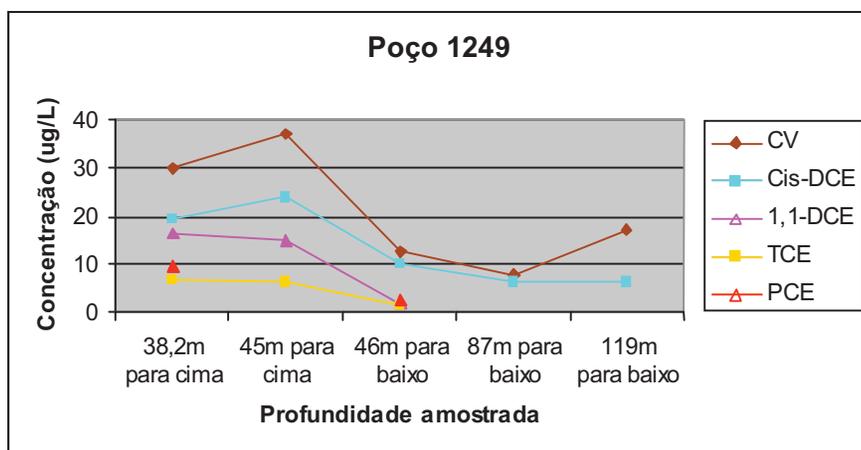


Figura 3.9 – Concentração de parâmetros em diferentes profundidades amostradas.

No poço 691, as concentrações são muito baixas em rasas profundidades, aumentando conforme aumenta a profundidade. Observa-se que ocorrem altas concentrações ao longo do restante do poço para toda a cadeia de degradação do PCE. A porção amostrada a 96 m para cima apresenta as maiores concentrações; a partir dessa profundidade, a concentração diminui, sendo menor ainda na fratura amostrada isoladamente. Isso indica que a contaminação não é local e provavelmente venha de fluxos laterais horizontais (Figura 3.10).

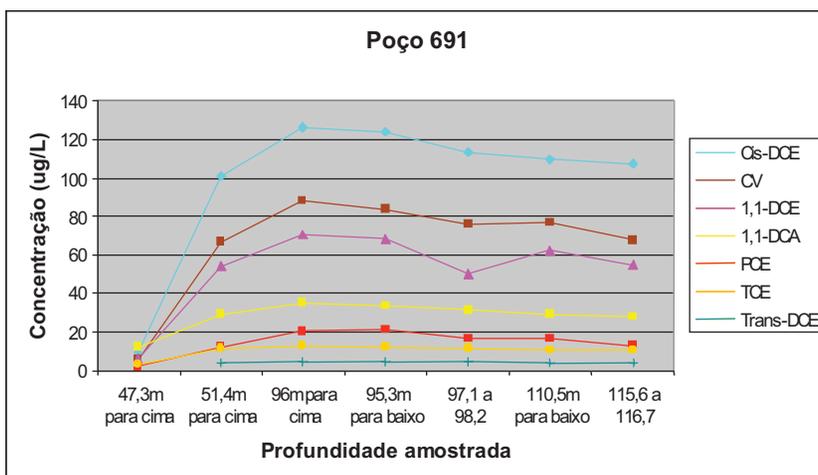


Figura 3.10 – Concentração de parâmetros em diferentes profundidades amostradas.

No poço 692, foram realizadas apenas três amostragens em diferentes profundidades, o que dificulta uma interpretação de amostras na vertical. Mas pode-se observar que as concentrações dos parâmetros de interesse analisados são mais altas na maior profundidade amostrada (49,2 m para baixo) e diminuem na fratura (95,2 a 96,3 m) (Figura 3.11).

Cabe observar ainda que, nesse poço, foi detectado o TCA, que não havia ocorrido em todo o histórico de análises preexistentes, apesar da ocorrência do 1,1-DCA, seu produto de degradação. Além disso, o TCA foi detectado apenas na porção superior, enquanto o 1,1-DCA foi detectado principalmente na porção inferior. Isso é indicativo de proximidade da área fonte.

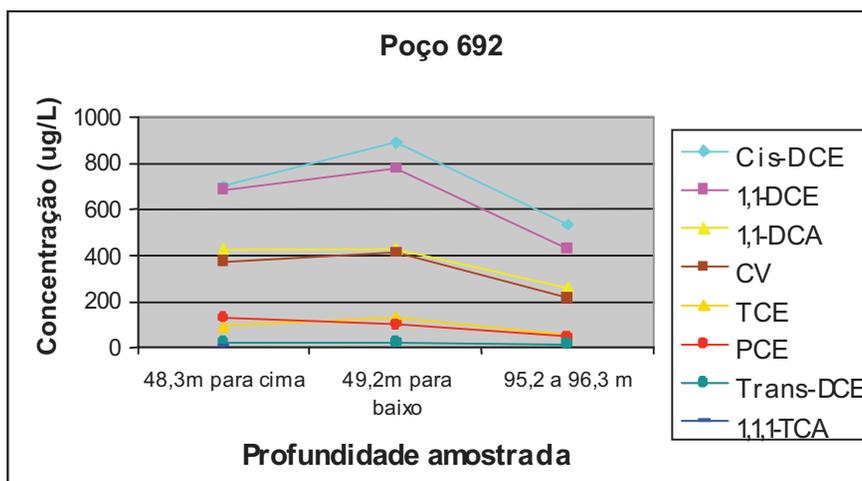


Figura 3.11 – Concentração de parâmetros em diferentes profundidades amostradas.

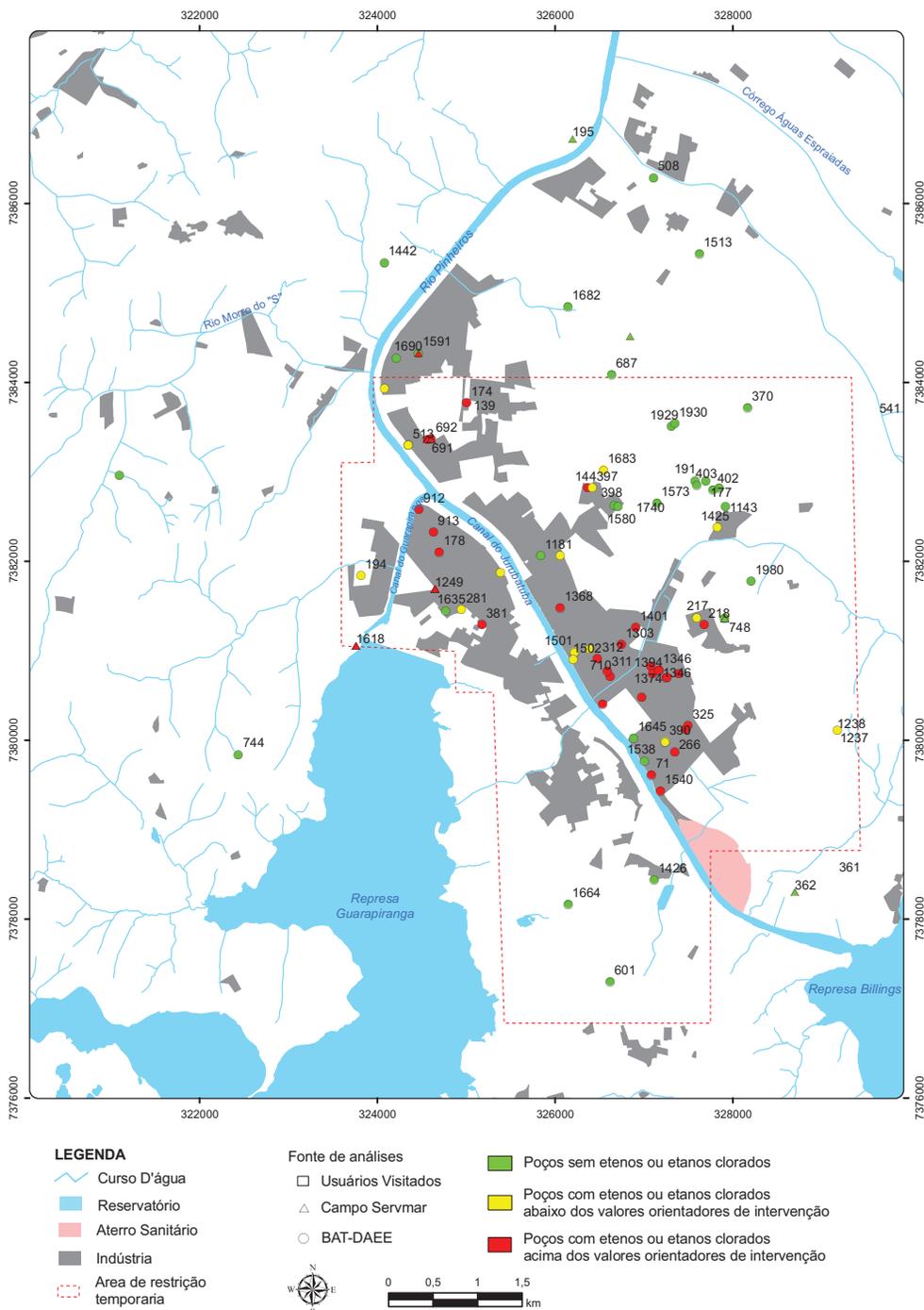


Figura 3.12 – Distribuição espacial dos poços onde foram coletadas amostras para análise de etenos e etanos clorados

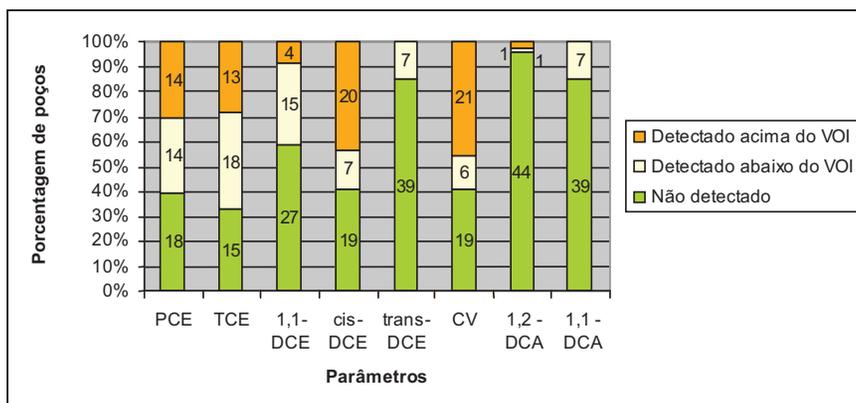


Figura 3.13 – Detecção de parâmetros em 46 poços com análise completa.

Além dos compostos de interesse discutidos anteriormente, aparecem outros compostos fora dos padrões de referência nas análises em geral. Os parâmetros inorgânicos ocorrentes com valores acima e abaixo dos valores de referências foram, principalmente, ferro e manganês e, pontualmente, alumínio, chumbo, arsênio, nitrato, bário, zinco, amônia e sulfato.

O manganês e o ferro ocorrem, com valores acima do Valor Máximo Permitido (VMP), em 46% e 43% dos poços com análise conhecida, respectivamente (Figura 3.14). Esses parâmetros são naturais e estão associados aos litotipos da área, caracterizados por ambientes redutores, associados aos sedimentos terciários e quaternários. No entanto, alguns valores anômalos de Fe (acima de 2 mg/L) e de Mn (acima de 1 mg/L) podem ser causados por ação antrópica, devido a suas altas concentrações.

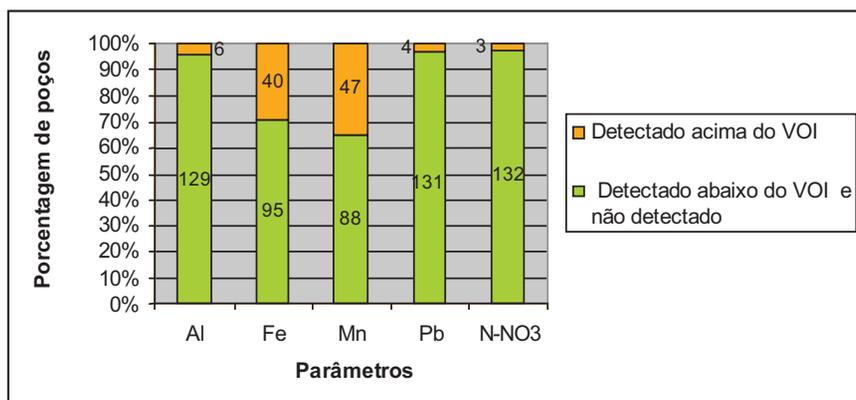


Figura 3.14 – Detecção de parâmetros em 44 poços com análise.

Os demais parâmetros verificados que ocorrem em concentrações acima dos valores de referência foram: radiatividade alfa e beta, bacteriológicos, benzeno, tetracloreto de carbono e tri-halometanos.

## Caracterização da Contaminação

O histórico de contaminação por organoclorados na área de estudo destaca-se, inicialmente, pela presença de uma indústria contaminadora; no entanto, a contaminação provém de múltiplas fontes. Isto é comprovado pela ampla, porém dispersa, distribuição das áreas declaradas contaminadas pela CETESB e pelas ocorrências de poços profundos contaminados.

Foram observadas ao menos cinco localidades com ocorrências de PCE ou TCE em poços de produção a 2 km de distância de áreas declaradas contaminadas. Considerando-se a cadeia de degradação e os produtos originais utilizados na indústria, o PCE ou TCE devem estar relacionados a uma fonte de contaminação ainda não identificada, uma vez que se espera que uma fonte esteja próxima do poço e não a quilômetros de distância. Por outro lado, deve-se atentar que determinadas condições de fraturamento podem favorecer a propagação de contaminantes por distâncias de unidades de quilômetros, uma vez que o poço de produção recebe água em uma fratura e perde em outra.

As fontes de contaminação ainda não identificadas podem ser evidenciadas pela maior densidade de ocorrência de atividades com elevado potencial de contaminação (AEPC), o que pode prejudicar a qualidade dos aquíferos, conforme foi observado ao se aplicar a metodologia POSH (Foster *et al.*, 2006).

O manuseio de substâncias químicas de alta toxicidade associado a uma rede de coleta de esgoto precária ou ausente propicia a contaminação do solo e da água subterrânea. Na área de estudo, as zonas de ocorrência de poços contaminados acima e abaixo do VOI são coincidentes com as áreas de ocorrência de maior densidade de AEPC. Isso intensifica a importância de se investigarem os locais em que se encontram essas atividades.

A extensão da contaminação conhecida, associada a fontes múltiplas, é coincidente com a direção do canal do Juruba-

tuba e ocorre às margens do canal, desde as imediações do Aterro Santo Amaro (ao sul) até os primeiros quilômetros do rio Pinheiros (ao norte), alargando-se também às margens do canal da Guarapiranga.

A contaminação ocorre ao longo de 6 km de comprimento e 3,5 km de largura. Entretanto, não se pode afirmar sobre possíveis fragmentações ou continuidades nessa extensão, uma vez que: não há estudos de detalhe que delimitem localmente as ocorrências de contaminantes; essa ocorrência de contaminantes considera grupos de EEC ou EAC (e não cada composto individualmente); e os poços analisados apresentam diferentes profundidades, perfis construtivos e regimes de bombeamento. Esse detalhamento poderá ser melhorado com o aumento da rede de monitoramento.

Deve-se destacar que a área de restrição temporária, referente à Portaria DAEE 1594, condicionou o universo de poços amostrados para os parâmetros de interesse e os dados fora dela são restritos. Assim, é preciso considerar que a escassez de dados às margens do rio Pinheiros não permite definir com segurança onde estão os limites da contaminação. Das cinco amostras que a Servmar gerou fora dos limites de restrição provisória, duas detectaram os compostos de interesse.

A maior concentração de poços contaminados ao longo da Avenida Eusébio Steveux pode estar relacionada justamente ao fato de ser a região onde há o maior número de poços analisados. E também pelo fato de a contaminação ter sido observada inicialmente naquelas imediações.

A profundidade da contaminação é também um dado difícil de obter pelo fato de estar vinculada à profundidade perfurada dos poços, uma vez que os poços podem ser os próprios propagadores da contaminação para outras zonas mais profundas do aquífero. Isso pôde ser observado pelos ensaios realizados com obturadores pneumáticos, que mostraram fluxos descendentes, predominantemente, nos poços ensaiados.

Com o bombeamento dos poços, ocorre o rebaixamento do nível d'água, formando o cone de depressão, o que propicia uma inversão do fluxo subterrâneo e o aumento da infiltração de água em direção ao poço e em profundidade.

De acordo com os dados estruturais, os contaminantes tendem a ser transportados para distâncias mais longas na horizontal e acompanhando o mergulho da foliação, xistosidade ou bandamento, ou seja, das estruturas mais antigas, pré-cambrianas.

Outra questão é que a contaminação se dilui ao longo de toda a coluna d'água de um poço. Comparando-se as concentrações de EEC dissolvidos na água dos poços de monitoramento nas áreas contaminadas declaradas, da ordem de dezenas e até centenas de miligramas por litro, com as detectadas em poços de produção, verificam-se detecções cerca de cem vezes maiores nos poços de monitoramento. Isso porque os poços de produção possuem profundidades maiores e, por isso, captam vários níveis do aquífero, contaminados e não contaminados, diluindo a contaminação. A diluição também pode ocorrer pela própria migração da pluma de contaminação.

Considerando a carga contaminante potencial, apontada neste estudo, e a necessidade de conhecer as origens das contaminações que atingem os poços de produção, é recomendável que novos estudos sejam direcionados tanto à investigação das áreas fontes primárias e secundárias, quanto à expansão do monitoramento e, conseqüentemente, à tomada de ações para a recuperação e o controle da contaminação existente. Acredita-se que o uso do resultado gerado pelo método POSH pode nortear os estudos futuros, como discutido no próximo capítulo.



## Capítulo 4

# PROPOSTA DE RESTRIÇÃO E CONTROLE DE USO



## 4. PROPOSTA DE RESTRIÇÃO E CONTROLE DE USO

A proposta de delimitação da área de restrição e controle de uso das águas subterrâneas da região drenada pelo canal Jurubatuba, canal Guarapiranga e rio Pinheiros foi elaborada, neste projeto, com base nas diretrizes e procedimentos instituídos na Deliberação nº 52 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, de 15 de abril de 2005 e visa redefinir o traçado determinado na Portaria nº 1.594, de 05 de outubro de 2005, do DAEE.

O objetivo de se estabelecerem áreas de restrição e medidas de controle de uso das águas subterrâneas é proteger a saúde pública e preservar as condições naturais do aquífero ou minimizar a continuidade de espalhamento de contaminantes, principalmente dos EEC e EAC.

Para atingir esse objetivo, foram executadas as seguintes atividades: estudos hidrogeológicos; compilação de análises químicas preexistentes e execução de análises químicas complementares das águas subterrâneas; identificação de AEPC, segundo o método POSH, e identificação das áreas declaradas contaminadas pela CETESB, considerando apenas áreas industriais com solventes halogenados.

A combinação dessas informações permitiu estabelecer o método utilizado para delimitar a área de restrição. Inicialmente a área total foi dividida em células de 500 m x 500 m. A divisão de células nessa escala espacial é concordante tanto com a Resolução nº 3 da SES/SERHS/SMA de 2006, Art. 3º, quanto com a distância verificada aplicando-se o tempo de trânsito de 10 anos, observado neste projeto, conforme a Lei de Darcy e os resultados de modelação numérica.

Em cada célula foram identificados os poços com contaminação por EEC e EAC, as áreas declaradas contaminadas, a densidade de AEPC, a direção de fluxo de água e a mudança de direção e sentido de fluxos quando da existência de poços bombeando (Figura 4.1).

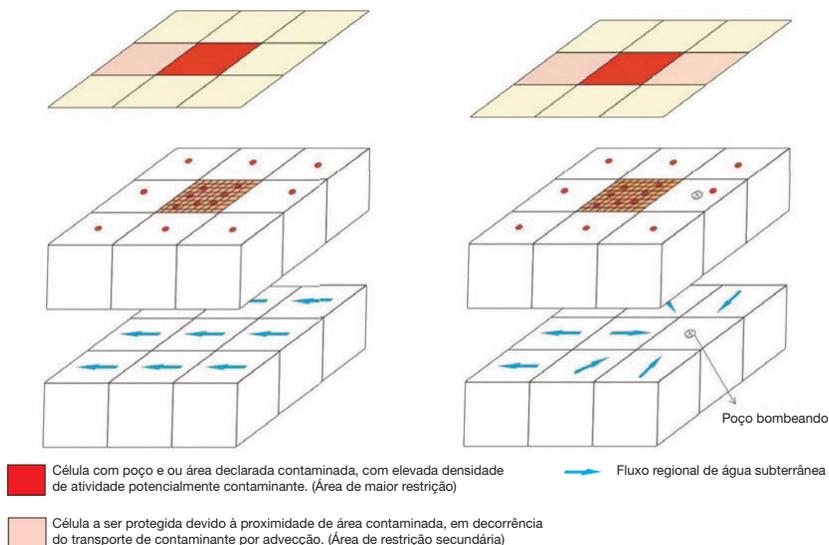


Figura 4.1 – Critério de delimitação da área de restrição no entorno de células.

De acordo com a distribuição espacial das AEPC nas grades, observou-se que 52% das células apresentaram nenhuma atividade; 32% apresentaram de 1 a 5; 12% apresentaram de 6 a 15; e 4% apresentaram de 16 a 58 atividades (Figura 4.2). Dessa forma, as células foram classificadas, quanto à densidade, em menores, intermediárias e maiores.

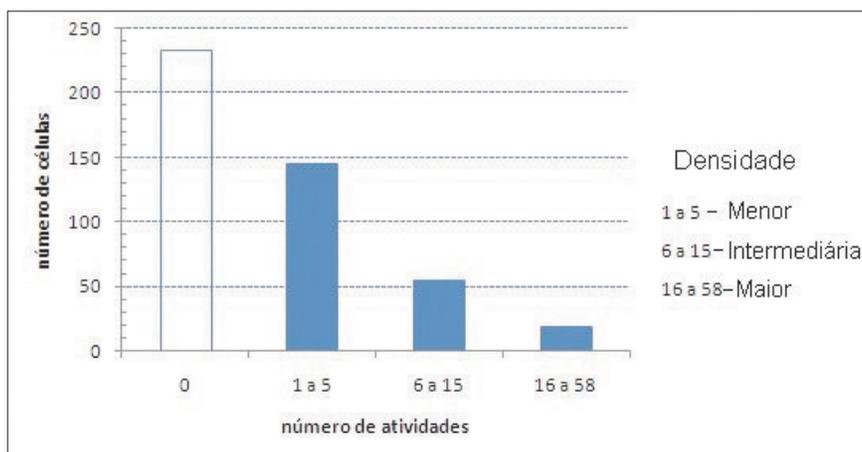
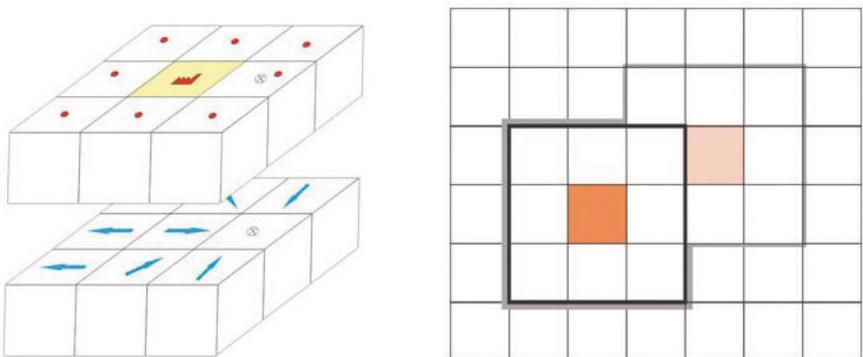


Figura 4.2 – Distribuição de atividades nas grades de 500 m x 500 m.

A partir dessa distribuição e dos critérios adotados foi possível distinguir, na área de estudo, três áreas de restri-

ção de uso e captação da água subterrânea, como segue abaixo:

1. A área com Alta Restrição é representada pelo contorno vermelho (**Figura 4.3**), onde são identificadas as seguintes condições:
  - maior densidade de AEPC;
  - poço com EEC ou EAC acima e abaixo do VOI;
  - áreas contaminadas declaradas pela CETESB, considerando-se apenas áreas industriais contaminadas com solventes halogenados.
2. A área com Média Restrição, representada pelo contorno preto (**Figura 4.3**), é definida considerando-se o modelo conceitual de fluxo e transporte de contaminantes por advecção, para proteger as áreas representadas pelas células em torno da área de Alta Restrição.
3. A área de Baixa Restrição, representada pelo contorno cinza (**Figura 4.3**), é definida para proteger as células com intermediária densidade de AEPC e as células em torno.



- 1 – Célula com características que permitem delimitar a Alta Restrição  
 2 – Célula com características que permitem delimitar a Baixa Restrição
- Alta Restrição  
 — Média Restrição  
 — Baixa Restrição

Figura 4.3 – Critério de classificação das áreas de restrição.

A área com Alta Restrição se concentra ao redor do rio Pinheiros e canais do Jurubatuba e Guarapiranga, abrangendo uma área de 10,75 km<sup>2</sup>; e as áreas de Média e de Baixa Restrição se estendem em torno da Alta, com 31 km<sup>2</sup> e 18 km<sup>2</sup>, respectivamente (**Figura 4.4**).

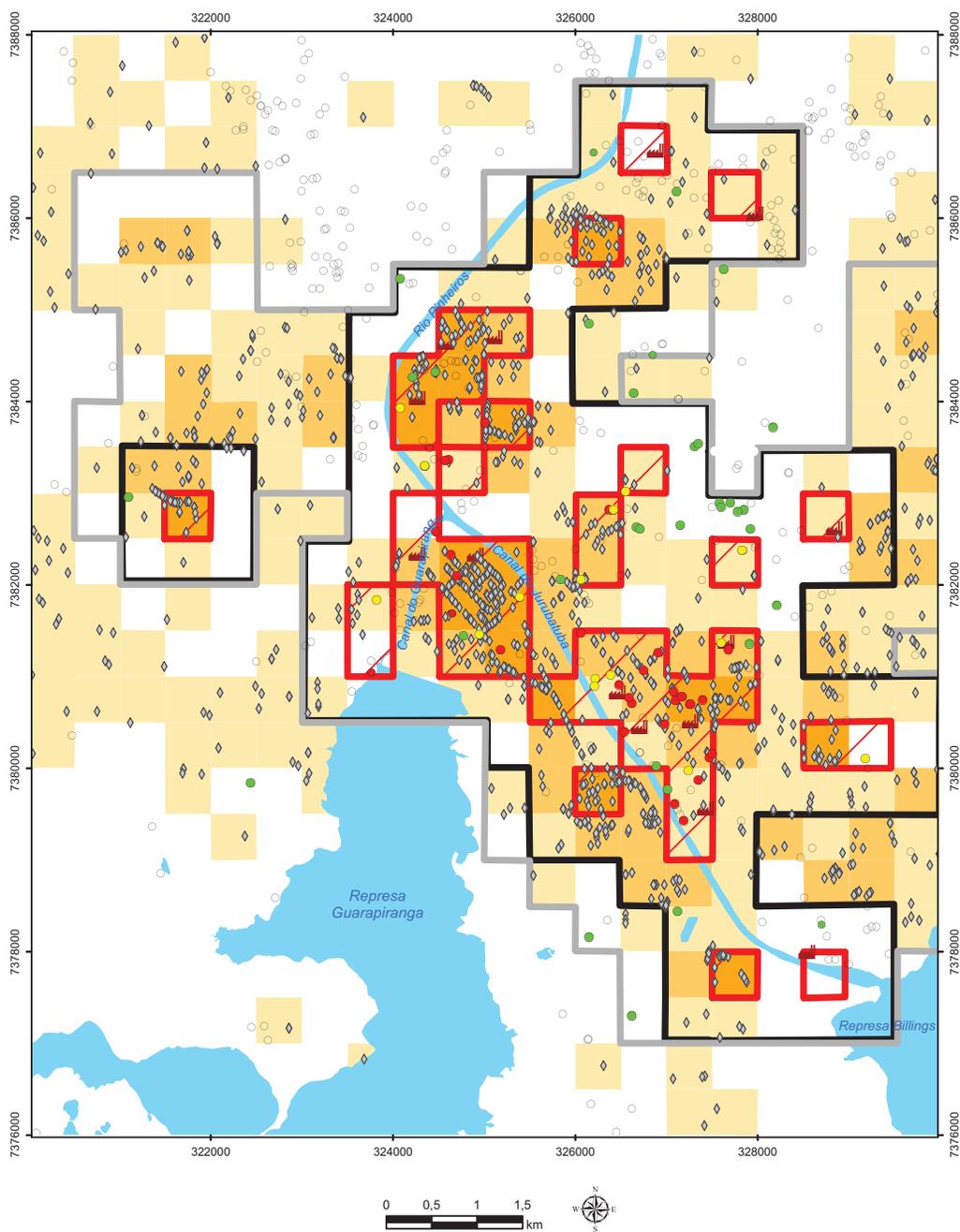


Figura 4.4 – Áreas de restrição propostas para a área de estudo.

## LEGENDA

-  Curso D'água
-  Reservatório
-  Indústria

### Densidade de atividades com índice elevado

-  Menor
-  Intermediária
-  Maior

### Área de restrição

-  Alta
-  Média
-  Baixa
  
-  Todos os poços
-  Atividades com elevado potencial de contaminação
-  Poços sem etenos ou etanos clorados
-  Poços com etenos ou etanos clorados abaixo dos valores orientadores de intervenção
-  Poços com etenos ou etanos clorados acima dos valores orientadores de intervenção
-  Indústria declarada contaminada por solventes halogenados

Para essas três áreas foram propostas medidas de restrição e controle diferentes conforme o nível em que se enquadram (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Medidas de Restrição e Controle para os poços de captação de água subterrânea.

Poços atuais	RESTRIÇÃO		
	ALTA	MÉDIA	BAIXA
Com etenos clorados ou etanos clorados acima dos Valores Orientadores de Intervenção <sup>(1)</sup>	Tamponamento	Torna-se Alta Restrição	Torna-se Alta Restrição
Com etenos clorados ou etanos clorados abaixo dos Valores Orientadores de Intervenção	Tamponamento	Torna-se Alta Restrição	Torna-se Alta Restrição
Sem detecção de etenos clorados ou etanos clorados	Monitoramento trimestral para etenos clorados ou etanos clorados. Uso da água é permitido, exceto para os Usos Preponderantes <sup>(2)</sup>	Monitoramento trimestral de etenos clorados ou etanos clorados	Monitoramento semestral de etenos clorados ou etanos clorados.
Sem conhecimento de análise de etenos clorados ou etanos clorados	Monitoramento trimestral para etenos clorados ou etanos clorados. Uso da água é permitido, exceto para os Usos Preponderantes	Monitoramento trimestral de etenos clorados ou etanos clorados.	Monitoramento semestral de etenos clorados ou etanos clorados.
Clandestinos	Outorga. Monitoramento trimestral de etenos clorados ou etanos clorados. Uso da água é permitido, exceto para os Usos Preponderantes	Outorga. Monitoramento trimestral de etenos clorados ou etanos clorados.	Outorga. Monitoramento semestral de etenos clorados ou etanos clorados.
Abandonados	Tamponamento	Tamponamento	Tamponamento
<b>Poços futuros</b>	Não permitido	Não permitido	Permitido

<sup>(1)</sup> Valores Orientadores de Intervenção (VOI) para a água subterrânea (Cetesb, 2005)

<sup>(2)</sup> Usos Preponderantes: consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação (Lei Nº 9.433/97)

A área de Alta Restrição impõe o tamponamento adequado de poços caso seja detectada a presença de EEC ou EAC acima ou abaixo do VOI.

A confirmação da ocorrência de EEC ou EAC nos poços deve obedecer ao Critério para Interpretação de Determinações Analíticas de Monitoramento de Água Subterrânea (ESS – 15.08.2008), da CETESB.

Essa medida é proposta porque, com o bombeamento dos poços, ocorre o rebaixamento do nível d'água, formando o cone de depressão. Com isso, há uma inversão do fluxo subterrâneo em direção ao poço. Assim, poços próximos a fontes de águas poluídas estão sujeitos a contaminarem-se.

Assim sendo, é necessário interromper a migração desses compostos organoclorados dissolvidos na água na direção vertical no aquífero. Para evitar a continuidade dessa propagação e proteger o aquífero em suas porções mais profundas, propõe-se a paralisação e o tamponamento adequado dos poços que apresentam ou vierem a apresentar, em análises químicas futuras, concentrações de EEC ou EAC. Uma opção para possibilitar a continuação dos estudos seria tornar esse poço de produção em poço de monitoramento com filtros em posições estratégicas, isolando-se os vários níveis do poço e evitando-se o fluxo vertical através dele.

Caso não haja detecção de EEC ou EAC, ou não se conheça a análise de água do poço, propõe-se automonitoramento trimestral. Esse intervalo é sugerido devido ao rápido movimento da água que o bombeamento dos poços provoca, propagando a contaminação. Esses poços podem continuar com a exploração e uso da água, exceto para usos preponderantes (consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação).

Entende-se por poços que deverão ser monitorados todos aqueles existentes na área de restrição delimitada, independentemente do seu estado de funcionamento, ou seja, estando em uso ou não.

Os poços que se encontram nas áreas de Média e de Baixa Restrição devem ser monitorados a intervalo trimestral ou semestral, respectivamente. Esse intervalo é adequado

ao nível de restrição em que o poço se encontra e está de acordo com a ESS de 15 de agosto de 2008, da CETESB.

Caso seja detectado EEC ou EAC nas análises dos poços, devem-se respeitar as mesmas medidas propostas pela Alta Restrição. E caso não haja detecção de EEC ou EAC, esses poços podem continuar com a exploração e uso da água.

Os poços clandestinos, ou seja, que não possuem outorga nem, muitas vezes, foram perfurados e instalados segundo técnica adequada exigida pela lei, e têm causado a exploração desordenada, representam sérios problemas ao recurso hídrico, pondo em risco a saúde da população. Estes poços devem, portanto, serem colocados em conformidade com a lei, fazendo as adequações necessárias, além da solicitação de outorga para regularizações. Devem ser respeitadas as medidas de restrições, segundo seu enquadramento, independentemente do processo de regularização de outorga.

Os poços abandonados, isto é, aqueles que estão fora de uso, às vezes em condições precárias de preservação, devem ser tamponados adequadamente, independentemente da área em que se encontram, pois representam riscos ao aquífero. Muitos não são devidamente tampados, facilitando a contaminação direta, já que não há barreiras para impedir a chegada da água de chuva, entulhos e lixo para os aquíferos.

Os poços futuros só poderão ser permitidos na área de Baixa Restrição. Essa medida tem como finalidade evitar a continuidade da propagação da contaminação e proteger o aquífero, restringindo o uso. No entanto, esses poços não estão isentos das medidas de restrição e controle.

## Capítulo 5

### LEGISLAÇÃO INCIDENTE



## 5. LEGISLAÇÃO INCIDENTE

O arcabouço legal deve sempre ser observado para que não haja danos, como os demonstrados neste trabalho, comprometendo os recursos hídricos subterrâneos. Por outro lado, o ordenamento legislativo também deve ser adequado à realidade local para efetividade da prevenção/precaução<sup>1</sup> buscada.

Numa discussão legal, devemos iniciar a análise dos ordenamentos vigentes a partir do Texto Constitucional para uma visão sistêmica de todo o arcabouço.

A Constituição Federal de 1988, em seu artigo 225, *caput*, encerra princípios que regem a questão ambiental. Dentre eles, o mais importante diz respeito à prevenção/precaução. Tem-se certo que, após as constatações técnicas no local de estudo, é imprescindível prevenir danos maiores dos já ocorridos. Por isso, as áreas de restrições propostas cumprem esse papel.

Ainda no âmbito federal, destaca-se a Lei n.º 6938/81, a lei da Política Nacional de Meio Ambiente, que oferece, de forma ampla, a devida proteção ao meio ambiente, agregando conceitos das ciências ao normativo jurídico.

No tocante aos recursos hídricos, a Lei Federal n.º 9433/97, lei da Política Nacional de Recursos Hídricos, dita as regras gerais, e as resoluções e portarias dos diversos órgãos federais buscam regulamentá-la. Porém, quanto aos recursos hídricos subterrâneos, cabe aos Estados membros legislar sobre sua gestão, e é através dos órgãos estaduais que se tem a regulamentação dos diplomas estaduais e, por que não dizer, a efetividade da proteção legal almejada.

No Estado de São Paulo, de forma pioneira, a Lei n.º 6134/88 dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas, sendo regulamentada pelo Decreto n.º 32955/91.

---

<sup>1</sup> Usa-se a expressão **prevenção** quando se conhecem as consequências dos danos/impactos ambientais, e **precaução** quando não se conhecem tais consequências.

No estudo, onde houve a proposta de delimitação de restrição e controle de uso das águas subterrâneas da região drenada pelos canais Jurubatuba e Guarapiranga e rio Pinheiros, redefinindo o traçado determinado pela Portaria n.º 1594/05 do DAEE, encontra-se a efetivação do artigo 9º da Lei n.º 6134/88, ora regulamentada pelo artigo 19 do Capítulo III do Decreto n.º 32955/91.

O artigo 9º da Lei n.º 6134/88 determina que “*sempre que necessário o Poder Público instituirá áreas de proteção aos locais de extração de águas subterrâneas, a fim de possibilitar a preservação e conservação dos recursos hídricos subterrâneos*”.

No Capítulo III do Decreto n.º 32955/91 dá-se o estabelecimento de áreas de proteção. Conforme art. 20 e seguintes do referido Decreto, as áreas de proteção podem ser classificadas como:

- I. Área de Proteção Máxima: compreendendo zonas de recarga de aquíferos altamente vulneráveis à poluição e que se constituam em depósitos de águas essenciais para abastecimento público;
- II. Área de Restrição e Controle (ARC): caracterizada pela necessidade de disciplina das extrações, controle máximo das fontes poluidoras já implantadas e restrição a novas atividades potencialmente poluidoras;
- III. Área de Proteção de Poços e Outras Captações: incluindo a distância mínima entre poços e outras captações e o respectivo PPP, subdividido em:
  - Perímetro Imediato de Proteção Sanitária: abrangendo um raio de dez metros, a partir do ponto de captação, cercado e protegido com telas;
  - Perímetros de Alerta contra poluição: estabelecido através da simulação de uma zona de captura de partículas com até 50 dias de trânsito.

Este estudo visa delimitar, portanto, a ARC como descrita no item II, focando apenas a extração de água subterrânea, controlando seu uso na região.

Com o objetivo de efetivar os citados diplomas legais, a Deliberação do CRH n.º 052, de 15 de abril de 2005, insti-

tui diretrizes e procedimentos para a definição de áreas de restrição e controle da captação e uso das águas subterrâneas em regiões do Estado de São Paulo onde ocorrem problemas relacionados à superexploração da água e constatação ou riscos de contaminação.

Buscando efetivar a Deliberação 52/05, a Portaria DAEE nº 1594, de 05 de outubro de 2005 (ref.: Autos DAEE nº 49.559/2005), em razão da constatação de áreas contaminadas, delimitou uma Área de Restrição e Controle Temporária na área de estudo.

Nesse período foi estabelecido que o DAEE não poderá emitir novas outorgas, e as captações existentes na referida área deverão ser restringidas e reguladas, podendo o DAE vir a revogar as outorgas já emitidas ou estabelecer o regime máximo a ser extraído e o regime de operação.

A apreciação de novos pedidos de outorga nessa área só será reiniciada após a conclusão dos estudos “Delimitação de Áreas de Restrição e Controle das Captações e Usos das Águas Subterrâneas”, objeto da Deliberação CRH n.º 52, de 15/04/2005, que irá examiná-las, quando então se estabelecerão normas e diretrizes específicas (art. 3º). Somente quando da publicação dos resultados dos estudos descritos acima, poderá o DAEE permitir novamente o uso das águas subterrâneas, de forma controlada, com monitoramento da qualidade e quantidade das águas para as diversas finalidades.

A referida Deliberação estabelece que os órgãos gestores de recursos hídricos, controle ambiental e saúde proporão, de forma integrada, a delimitação das áreas de controle e restrição, levando em conta os planos de bacias hidrográficas, os relatórios de situação dos recursos hídricos, os programas de monitoramento da qualidade da água e o atendimento à potabilidade, que evidenciem os efeitos negativos de contaminação e exploração.

As ARCs de captação e uso das águas subterrâneas são classificadas conforme segue:

- a. Áreas Potenciais de Restrição e Controle (ARC-PO) – aquelas em que a densidade de poços tubulares e o volume de água extraído indicam superexploração, ou

aquelas em que estão sendo ou foram desenvolvidas atividades potencialmente contaminadoras de solo e águas subterrâneas;

- b. Áreas Prováveis de Restrição e Controle (ARC-PR)
  - aquelas em que são observados indícios de superexploração e interferência entre poços, ou que apresentem indícios de contaminação no solo e nas águas subterrâneas; e
- c. Áreas Confirmadas de Restrição e Controle (ARC-CO)
  - aquelas em que foi constatada a superexploração ou a contaminação das águas subterrâneas.

Este estudo está de acordo com os métodos e procedimentos propostos por essa Deliberação, porém, detalha alguns conceitos ao delinear uma área de restrição que, além de incluir a diferenciação proposta na Deliberação, como ARC-PO, ARC-PR e ARC-CO, subdivide-se em Alta, Média e Baixa, conforme o nível de restrição.

A divisão em níveis de restrição foi definida conforme o modelo conceitual de fluxo de água subterrânea e a influência de poços em bombeamento, tornando necessária a proteção de células onde há confirmação de contaminação ou perigo de contaminação, bem como as células em torno.

A investigação realizada na área de estudo do Jurubatuba confirma a presença de substâncias EEC e EAC acima e abaixo do VOI. Essas células podem ser classificadas como ARC-CO, conforme artigo 9º da citada Deliberação, e estão inseridas na área de Alta Restrição.

De acordo com o artigo 11, a investigação confirmatória sobre a qualidade das águas subterrâneas foi efetuada com base na comparação das concentrações determinadas em amostras de água com os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria 518/04 do Ministério da Saúde e suas alterações.

Essas áreas, assim classificadas devido à contaminação das águas subterrâneas, são delimitadas em conformidade com os dados disponíveis no cadastro de áreas contaminadas sob investigação da CETESB.

Ainda na área definida como Alta Restrição há células que podem ser classificadas como ARC-PO, por ter atividades potencialmente contaminadoras de solo e águas subterrâneas; e ARC-PR, por ter indícios de contaminação, segundo a análise de poços que detectou EEC e EAC abaixo do VOI.

As áreas de Média e Baixa Restrição podem ser definidas como ARC-PO, por serem áreas que desenvolvem atividades potencialmente contaminadoras.

Feito isso e conforme dispõe o artigo 15 da Deliberação 52/05, sobre as ARCs, caberá ao DAEE, à CETESB e à Secretaria de Saúde, de acordo com suas respectivas atribuições: proibir novas captações até que o aquífero se recupere ou venha a ser superado o fato que determinou a restrição do uso da água; restringir e regular a captação de água subterrânea, estabelecendo o volume máximo a ser extraído, o regime de operação e os tipos de usos admissíveis; revogar a outorga do direito de uso; controlar as fontes de poluição existentes, mediante programa específico de ações, incluindo monitoramento; e restringir a implantação de novas atividades potencialmente poluidoras.

Destacando-se que, nas ARC, as restrições de uso devem respeitar as prioridades definidas nos Planos de Bacia ou, na falta destes, no Plano Estadual de Recursos Hídricos. E, na ausência de priorização, caberá ao DAEE estabelecer as restrições de direito de uso das águas subterrâneas.

Para complementar o disposto nos ordenamentos legais citados, a Resolução Conjunta SMA/SERHS/SES nº 3, de 21 de junho de 2006, que dispõe sobre procedimentos integrados para controle e vigilância de soluções alternativas coletivas de abastecimento de água para consumo humano proveniente de mananciais subterrâneos, estabelece procedimentos entre os órgãos e entidades dos Sistemas Estaduais do Meio Ambiente, Saúde e Recursos Hídricos para compatibilização das autorizações, das licenças ambientais, do cadastro e monitoramento com as outorgas de recursos hídricos subterrâneos.

Para requerer a Outorga de Autorização de Implantação de Empreendimento junto ao DAEE, o interessado, além das exigências estabelecidas na Portaria DAEE nº 717, de 12 de

dezembro de 1996, deverá indicar a localização do poço, descrevendo o uso e a ocupação do solo e indicando as fontes pontuais com potencial de contaminação do solo e das águas subterrâneas ou áreas já declaradas contaminadas pela CETESB, abrangendo um raio de 500 m do ponto de perfuração. Nos casos em que houver área declarada contaminada em um raio de 500m do ponto da perfuração, o usuário deverá apresentar ao DAEE Parecer Técnico<sup>2</sup> da CETESB, referente à qualidade ambiental.

Da mesma maneira deve-se proceder quando o poço estiver em ARC declarada pelo CRH.

Merece destaque ainda o artigo 10 desta Resolução conjunta, ao prever que para fins de monitoramento da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, além das exigências descritas na Portaria nº 518, do Ministério da Saúde, de 26 de março de 2004, o usuário deverá apresentar à autoridade sanitária competente: laudos analíticos anuais da água com os parâmetros constantes das tabelas 1, 3 e 5, exceto o parâmetro microcistinas, constantes na mesma Portaria, em locais onde existam fontes pontuais com potencial de contaminação do solo e das águas subterrâneas em um raio de até 500 m do ponto de perfuração do poço; e laudos analíticos da água conforme os parâmetros e frequência determinados pelo órgão ambiental em locais onde existam áreas contaminadas em um raio de até 500 m do ponto de perfuração do poço.

Sendo que, a critério dos órgãos ambientais e de saúde, poderá ser exigida uma amostragem mais rigorosa, em termos de periodicidade e de parâmetros analisados, em decorrência das características e do histórico de uso e ocupação do solo da região; e que, para soluções alternativas de abastecimento coletivo do tipo II, aplica-se a Resolução nº 48 da Secretaria Estadual da Saúde, de 31 de março de 1999, ou outra que venha a substituí-la.

---

<sup>2</sup> O Parecer Técnico da CETESB consiste em um relatório ou manifestação da Companhia de Saneamento Ambiental para instruir os processos de obtenção de outorgas em tramitação no DAEE, para os casos de poços localizados até uma distância de 500 m de uma área já declarada contaminada pela CETESB.

É importante destacar que os mecanismos legais existentes permanecem inalterados para os poços que estiverem fora dos limites das áreas de restrições.

Da citada Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, de 25 de março de 2004, que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências, ressalta-se que toda água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade e está sujeita à vigilância da qualidade da água, ressalvada as águas envasadas e outras, cujos usos e padrões de qualidade são estabelecidos em legislação específica.

Numa análise legal integrada e sistêmica, traz-se à colação a recente Resolução CONAMA 396, de 03 de abril de 2008, que dispõe sobre a classificação e as diretrizes ambientais para enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

De acordo com a legislação vigente, o presente estudo identificou e delimitou, então, as áreas de restrição do uso e captação das águas subterrâneas devido à contaminação presente no local. Para tanto estabeleceu três áreas de restrições, para as quais foram propostas medidas de restrição e controle diferentes, conforme o nível em que se enquadram.

Outrossim, do exposto acima, depreende-se que os dispositivos legais vigentes são capazes de oferecer a devida proteção às águas subterrâneas da área em estudo, e que, para sua real efetividade, se faz necessário intensificar a fiscalização, no sentido de coibir condutas e atividades que comprometam a qualidade do manancial hídrico subterrâneo existente.



## Capítulo 6

# CONCLUSÕES



## 6. CONCLUSÕES

A importância da água subterrânea para a região do Juruatuba é evidenciada ao se verificar que a área estudada apresenta 513 poços outorgados. Estima-se que existam mais de mil poços clandestinos, produzindo a uma estimativa superior a 150 mil m<sup>3</sup>/dia. Uma demanda que dificilmente poderia ser atendida por outras formas de produção do recurso hídrico.

A área está seriamente degradada, com 84 áreas declaradas contaminadas pela CETESB, 14 delas por etenos clorados (EEC) ou etanos clorados (EAC), substâncias que caracterizam um cenário preocupante dada a toxicidade desses contaminantes. Os EEC e EAC atingiram 46 poços de produção, sendo que em 31 deles ocorreram em concentrações acima dos Valores Orientadores de Intervenção (VOI).

O levantamento de atividades econômicas na área, realizado utilizando-se a base de dados do Sistema de Fontes de Poluição (SIPOL), da CETESB, identificou 3.905 atividades humanas de interesse ambiental. Aplicando-se o método *Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically* (POSH), que classifica as fontes potenciais de contaminação aos aquíferos, foram identificadas 2.490 atividades com índice Elevado Potencial de Contaminação (AEPC).

Em agravo à potencialidade dessa contaminação, destaca-se que os aquíferos locais apresentaram, sob análise pela metodologia GOD, vulnerabilidades de grau médio e alto, associadas ao tipo litológico permeável e aos níveis de água rasos. O principal sistema aquífero local, o Cristalino, apresenta uma porosidade do tipo fissural que pode favorecer a propagação de uma contaminação a longas distâncias, por caminhos preferenciais. Além disso, os contaminantes de interesse, quando em fase livre, são mais densos do que a água, tendendo a atingir horizontes profundos do aquífero, deixando, portanto, poucas alternativas para a sua recuperação.

O reconhecimento detalhado da hidrologia, que envolveu provas hidráulicas com teste de bombeamento em aquíferos, experimentos com obturadores, além de uma mode-

lação numérica dos sistemas aquíferos, e o levantamento do cenário de contaminação existente propiciaram uma segurança maior na definição de critérios e métodos para o estabelecimento de áreas de restrição e controle do uso da água subterrânea.

A metodologia criada neste estudo e que permitiu delimitar essas áreas de restrição tem as seguintes características:

- é embasada em critérios simples, porém com alta significância ambiental em relação aos elementos que a compõe, para propiciar uma compreensão imediata por gestores e tomadores de decisão;
- apresenta uma boa representação gráfica, constituída dos elementos de interesse controlados pela CETESB, pela COVISA e pelo DAEE, facilitando, portanto, o gerenciamento integrado por esses órgãos gestores;
- permite a definição de novos traçados conforme a alteração do cenário de interesse;
- pode ser replicada em outras regiões com potencial de contaminação.

Aplicando-se essa metodologia na região do Jurubatuba foram traçadas três áreas de restrição, classificadas como de Alta, Média e Baixa restrição ao uso da água subterrânea.

A área de Alta Restrição proposta com essa metodologia apresenta limitações de exploração da água semelhantes aos determinados pelo DAEE através da Portaria 1594. Propõe-se para a Alta Restrição o tamponamento de poços contaminados e abandonados, exploração condicionada ao uso e análises trimestrais. Entretanto, a nova área de restrição é significativamente menor, com 10,75 km<sup>2</sup>, comparada à anterior (Portaria 1594), com 31,57 km<sup>2</sup>.

As áreas de Baixa e Média restrição, para as quais se propõe a possibilidade de utilizar a água subterrânea, somam juntas 49 km<sup>2</sup>, o que corresponde a cerca de 80% da área total de restrição proposta, de 59,75 km<sup>2</sup>. Nessas áreas também é proposto o tamponamento de poços contaminados e abandonados e análises trimestrais e semestrais, respectiva-

mente. Apenas é permitida a perfuração de novos poços na área de Baixa restrição.

A versatilidade dessa ferramenta para uma gestão personalizada do uso de água em cada zona de restrição, por um lado, evita a exposição da população, minimiza a propagação da contaminação e protege o aquífero. Por outro lado, propicia que a água do aquífero seja utilizada nas zonas menos críticas, atendendo à necessidade de abastecimento na região do Jurubatuba.



## Capítulo 7

# RECOMENDAÇÕES



## 7. RECOMENDAÇÕES

Considerando os estudos realizados e as conclusões obtidas, recomenda-se:

- Continuar a atualização do banco de dados desenvolvido neste projeto, realizada pelas instituições com interesse no gerenciamento da área, a destacar DAEE, CETESB, COVISA e Secretaria do Verde e do Meio Ambiente (SVMA). Esta ação permitirá o gerenciamento integrado, visando controlar conjuntamente o uso da água, poluição, saúde e planejamento urbano, visando agilidade e priorização nas decisões dos gestores públicos.
- Implantar medidas adicionais de fiscalização do uso da água subterrânea visando atualizar informações de usuários outorgados e, principalmente identificar usuários clandestinos. Um exemplo de ação poderia ser o envio de uma solicitação de respostas a um questionário sobre o uso da água e informações sobre poços, com periodicidade anual de atualização. Tais informações poderiam ser solicitadas em formato de declaração para eventuais cumprimentos de mecanismos de fiscalização administrativa.
- Criar medidas efetivas e atrativas aos usuários para o cadastro e a outorga de poços tubulares que exploram água subterrânea.
- Utilizar a ferramenta de gerenciamento desenvolvida neste projeto para direcionar a fiscalização de áreas com elevado potencial de contaminação e, deste modo, intensificar o mapeamento de fontes primárias e secundárias existentes e o subsequente gerenciamento das áreas contaminadas.
- Realizar adequações construtivas dos poços existentes tais como a instalação de tubos-guia com diâmetro maior do que uma polegada para permitir uso de transdutores, para monitoramento contínuo de nível da água; regularizações de tampas, higienização de entorno, regularização de áreas de proteção, instala-

ção de saída de água no cavalete do poço para amostragem de água do aquífero, antes de processos de tratamento da água.

- Viabilizar, no contexto financeiro-administrativo, a transformação de poços tubulares de produção abandonados e contaminados em poços de monitoramento multinível, com a locação de filtros em posições estratégicas, isolando-se os vários níveis do poço e evitando-se o fluxo vertical através do poço, para possibilitar a obtenção de dados de quantidade e qualidade do aquífero e continuar os estudos;
- Estender estudos desse tipo a outras áreas da Bacia do Alto Tietê e do Estado de São Paulo, uma vez que há o conhecimento da existência de diversas regiões com problemas de contaminação da água subterrânea similares ao Jurubatuba, tais como antigos centros industriais da Lapa, Ipiranga e Moca, considerando a eficácia obtida com a metodologia proposta no cumprimento do objetivo deste trabalho.



## REFERÊNCIAS



## 8. REFERÊNCIAS

- BERTOLO, R. A. 1996. Relação entre rios e o Aquífero Sedimentar da Bacia de São Paulo em Área de Exploração Intensiva de Água Subterrânea. Tese de Mestrado. 8-18p.
- BERNARDES, Jr. C.; HIRATA, R.; MENDES, J.; CLEARY, R. 1991. "Remedial action for an industrial open dump-proposed activities and prospectives." *Water Science and Technology* 24(11): 271–281.
- CAMPOS H.C.N.S. 1993. Caracterização e cartografia das províncias hidrogeoquímicas do Estado de São Paulo. São Paulo. Tese de Doutorado, IG/USP 177p. e 1 mapa.
- CAMPOS, J. E. et al. 2002. Síntese do conhecimento hidrogeológico da Bacia Sedimentar de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. ABAS. Florianópolis, Anais... Florianópolis.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. <http://www.cetesb.sp.gov.br/>
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Decisão de diretoria nº 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005.
- COSTA FILHO, L.M. & VARGAS JÚNIOR, E. 1985. *Mechanical and Hydraulic Properties of Tropical Residual and Lateritic Soils*. IN: Relatório do Comitê sobre solos tropicais da Associação Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE [www.dae.gov.br/](http://www.dae.gov.br/)
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE, 1975. Estudo de águas subterrâneas. Região Administrativa 2 – Grande São Paulo. São Paulo: DAEE, 1975. v1, v2 e v3.
- EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO S.A. – EMPLASA. 2005. Mapa de uso e ocupação do solo da Região Metropolitana de São Paulo.
- FEITOSA, F.A.C. & FILHO, J.M. 1997. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. Fortaleza: CPRM / REFO, LABHID-UFPE. 2ª ed. 389 p.

- FOSTER, S. 1987. *Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. Proc. Interl Conf. "Vulnerability of soil and groundwater to pollutants"* Noordwijk, The Netherlands.
- FOSTER, S. & HIRATA, R. 1988. *Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data*. WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual, Lima, Peru. 81p.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. 2006. *Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais*. Banco Mundial, Washington, 104p.
- FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – FUSP. 2002. *Plano de Bacia Hidrográfica do Alto Tietê – Caderno Técnico Institucional*.
- HIRATA, R.; ROCHA, G.; BASTOS, C. (Coord.) 1997. *Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo*. São Paulo: IG-SMA, DAEE, CETESB. 2 vol.
- HIRATA, R.C.A. & FERREIRA, L.M.R. 2001. Os aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição. *Revista Brasileira de Geociências* 31(1), p 43-50.
- PANKOW, J.; JOHNSON, R.; HOUCK, J.; BRILANTE, S.; BRYAN, W. 1984. *"Migration of chlorophenolic compounds at the chemical waste disposal site at Alkali Lake, Oregon. 1, Site description and groundwater flow."* *Ground Water* 22(5): 593–601.
- PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO – PMSP. 2002. *Atlas Ambiental do Município de São Paulo*. Outorgada por Harumi Takiya. Secretaria do Meio Ambiente, Secretaria de Planejamento Urbano.
- RICOMINI, C. & COIMBRA, A.M. 1992. *Geologia da Bacia de São Paulo*. In: Mesa redonda sobre aspectos geológicos e geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo, São Paulo. Anais...São Paulo, ABMS. 59p. (no prelo).
- ROCHA, G. 2005. *Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo*. DAEE, IG-SMA, IPT, CPRM. São Paulo, 119p.
- SABESP/CEPAS-IG-USP 1994. *Diagnóstico Hidrogeológico da RMSP – Relatório Final*. São Paulo. 115 p.

- SALGADO, P.E.T & MARONA, H.R.N 2004. Informações Gerais e Ecotoxicológicas de Solventes Clorados. Série Cadernos de Referência Ambiental. v.15. Salvador, 509p.
- SAX, N. 1984. *Dangerous properties of industrial materials*, sixth edition. Nova York: Van Nostrand Reinhold.
- SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados: [www.seade.gov.br](http://www.seade.gov.br).
- SOUZA, L.C. de. 2005. Mudanças de paradigmas no uso e ordenação do solo em face da necessária proteção da qualidade das águas subterrâneas. São Paulo. Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 370p.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA 1991. *Ground water issue. Dense nonaqueous phase liquids*. Washington D.C. EPA 540/4-91-002, 21p.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA 1998. *Technical Protocol for Evaluating Natural Attenuation of Chlorinated Solvents in Ground Water*. Ada, Oklahoma. EPA 600/R-98/128. 248 p.

## 9. EQUIPE TÉCNICA

Gerente de Contrato

→ Mateus Simonato – Geólogo

Coordenador Técnico Geral

→ Dr. Edson Wendland – Engenheiro

Consultor Sênior 1

→ Dr. Ricardo Hirata – Geólogo

Consultora Sênior 2

→ Dra. Luciana Cordeiro de Souza – Advogada

Chefe de Projeto

→ Emanuel L'Apicciarella – Geólogo

Equipe de Execução

→ Dra. Célia Surita – Física

→ Ana Maciel de Carvalho – Geóloga

→ Bruno Pirilo Conicelli – Geógrafo

→ Marcio Costa Abreu – Geólogo

→ Alessandra Escarante – Desenhista

→ Cassia Nascimento – Desenhista

→ Rodrigo Borges – Técnico de Campo

→ Alexandre Silva – Técnico de Campo

→ André Pillon – Estagiário de Eng. Ambiental

→ Vitor Campos – Estagiário de Geografia

Imagem da Capa

→ Instituto Geológico – IG (2002)

Projeto Gráfico e Capa

→ Cármine Mário Santangelo

Revisão

→ Silvana Vieira

CTP, Impressão e Acabamento

→ Imprensa Oficial do Estado de São Paulo

## 10. AGRADECIMENTOS

A realização deste documento representa o resultado de extenso diagnóstico e caracterização hidrogeológica, em busca da proteção da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos e contou, principalmente, com a contribuição dos órgãos gestores dos recursos hídricos, do controle ambiental e da saúde pública.

Desde a concepção do projeto, na Câmara Técnica de Águas Subterrâneas do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo - CRH, houve excelente integração dos diversos órgãos gestores e de entidades sociais voltada a promover ações para o gerenciamento conjunto das águas subterrâneas e as consequências de uma condição crítica do recurso hídrico.

A Servmar agradece à Diretoria de Recursos Hídricos (DAEE-DRH), responsável pelo projeto, à Divisão de Áreas Contaminadas da CETESB, ao Centro de Vigilância Sanitária (Secretaria de Estado da Saúde), à COVISA (Prefeitura do Município de São Paulo), à Diretoria da Bacia do Alto Tietê (DAEE-BAT), à Diretoria de Procedimento de Outorga e Fiscalização (DAEE-DPO), ao FEHIDRO e ao IPT na qualidade de Agente Técnico do FEHIDRO. A realização de reuniões multidisciplinares com estes grupos propiciou uma visão integrada da situação na área de estudo, direcionou decisões de execução do projeto e permitiu que fossem cedidas as informações e os dados fundamentais para o desenvolvimento do projeto.

### **Secretaria de Estado do Meio Ambiente**

Avenida Frederico Hermann Jr., 345

São Paulo SP 04549 900

Fonel: 11 3133 3000

[www.ambiente.sp.gov.br](http://www.ambiente.sp.gov.br)

### **Secretaria de Estado de Saneamento e Energia**

Rua Bela Cintra, 847

Fone: 11 3218 6000

São Paulo SP 01415

[www.saneamento.sp.gov.br](http://www.saneamento.sp.gov.br)

### **Instituto Geológico**

Avenida Miguel Stéfano, 3900

São Paulo SP 04301 903

Fone: 11 5073 5511

[www.igeologico.sp.gov.br](http://www.igeologico.sp.gov.br)

### **Departamento de Águas e Energia Elétrica**

Rua Boa Vista, 170 11 ° andar

Fone: 11 3293-8200

São Paulo - SP 01014-000

[www.dae.sp.gov.br](http://www.dae.sp.gov.br)



SECRETARIA DE  
SANEAMENTO E ENERGIA

SECRETARIA DO  
MEIO AMBIENTE

