

# **AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBSUPERFICIAIS EM ÁREAS URBANAS COMO FERRAMENTA DE GESTÃO**

Zeide Nogueira de C. Furtado<sup>1</sup>; Jose Augusto de Lollo<sup>2</sup>, Jefferson Nascimento de Oliveira<sup>3</sup>.

## **RESUMO**

A intensificação da ocupação do solo e dos usos múltiplos dos recursos hídricos subterrâneos em áreas urbanas vem comprometendo a qualidade natural das águas subterrâneas. Na zona central urbana do município de Araçatuba (SP), área de estudo do presente trabalho, a exploração dessas águas para abastecimento humano por meio de poços rasos é elevada e apresenta um acréscimo acentuado em virtude do aumento populacional e desenvolvimento econômico da região. Localmente o recurso hídrico subsuperficial de interesse é representado pelo Aquífero Bauru que se comporta como um aquífero livre, cujo lençol freático encontra-se nos sedimentos inconsolidados da formação Adamantina. Com a utilização do método GOD (Foster et al, 2002) foi possível determinar os índices de vulnerabilidade natural para o aquífero, classificando-o como de Extrema Vulnerabilidade nos fundos dos vales das drenagens locais e de Alta Vulnerabilidade nas áreas mais elevadas, situadas ao longo dos divisores de água entre bacias. Desta forma foi possível elaborar a Carta de Vulnerabilidade Natural à Contaminação dos Recursos Hídricos Subsuperficiais da área, a qual reúne informações que podem subsidiar políticas públicas de prevenção, controle e restrições do uso e ocupação do solo local, em defesa de sua qualidade.

Palavras chave: Água Subterrânea, Contaminação, Vulnerabilidade Natural .

<sup>1</sup> UNESP – Campus de Ilha Solteira. Alameda Bahia, 550-Norte, Caixa postal 31, 15385-000, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil- 55 18 3743 1215 - zeide@oesteengenharia.com.br

<sup>2</sup> UNESP – Campus de Ilha Solteira. Alameda Bahia, 550-Norte, Caixa postal 31, 15385-000, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil- 55 18 3743 1215 - lolloja@dec.feis.unesp.br

<sup>3</sup> UNESP – Campus de Ilha Solteira. Alameda Bahia, 550-Norte, Caixa postal 31, 15385-000, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil- 55 18 3743 1215 - jeffno@dec.feis.unesp.br

## **1. INTRODUÇÃO**

Araçatuba é hoje um pólo de desenvolvimento regional no noroeste paulista, apresentando grande crescimento urbano e desenvolvimento econômico. A atividade agroindustrial ligada ao açúcar e álcool esta em crescimento acelerado e as plantações de cana-de-açúcar começam a dominar o cenário rural. Devido ao desenvolvimento econômico, outras atividades têm crescido no município como a prestação de serviços e outros ramos da indústria como a metalúrgica. Esse desenvolvimento tem ocasionado o aumento populacional na área urbana do município, onde atualmente se concentra cerca de 97,1 % do total de 180.000 habitantes em uma área correspondente à apenas 6,3% da área total do município. Essa tendência de ocupação leva a necessidades e exigências crescentes, pois ampliam a demanda por alimentos, produção de energia, abastecimento de água e outros insumos.

Na área urbana, verifica-se a intensificação da exploração dos recursos hídricos subsuperficiais através da captação das águas subterrâneas em poços rasos para abastecimento privado, bem como o aumento de atividades comerciais e industriais onde são gerados resíduos e efluentes com potencial para contaminar os diferentes sistemas do meio ambiente, tais como, o solo e as águas subterrâneas.

A inexistência de estudos científicos e publicações técnicas de caracterização do meio físico, o incentivo ao incremento no adensamento da área com a garantia da diversidade de usos, a existência de áreas contaminadas (CETESB, 2006) e impactadas que estão sendo ocupadas por empreendimentos habitacionais e comerciais, justificam a análise da Vulnerabilidade Natural à Contaminação dos Recursos Hídricos Subsuperficiais como uma ferramenta importante para o planejamento urbano e ambiental do local, visando a proteção das águas subterrâneas e da saúde humana.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho foi elaborar uma Carta de Vulnerabilidade Natural à Contaminação dos Recursos Hídricos Subsuperficiais, na Bacia do Ribeirão Baguaçu e Bacia do Córrego Machado de Mello, zona urbana central do município de Araçatuba.

## **3. ÁREA DE ESTUDO**

### **3.1. Localização**

O município de Araçatuba está localizado na porção noroeste do Estado de São Paulo, coordenadas geográficas: Latitude: 21°11'51 "S, Longitude: 50°25'52" W e altitude de 405

metros acima do nível do mar. As principais rodovias que cortam o município são: a Rodovia Marechal Rondon (SP300) e a Rodovia Elyeser Montenegro Magalhães (SP310).

A área urbana está inserida em quatro (4) bacias hidrográficas: Bacia do Ribeirão Baguaçu, Bacia do Córrego Machado de Mello, Bacia do Córrego Pavan e a Bacia do Córrego dos Espanhóis; e sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê.

A região de interesse, objeto do estudo de pesquisa, engloba o centro do município com altitude de 405 metros e a área circundante composta por parte das bacias do Ribeirão Baguaçu e Córrego Machadinho (porção sul da área urbana) e Córrego Machado de Mello (porção norte da área urbana) como mostra a Figura 1.

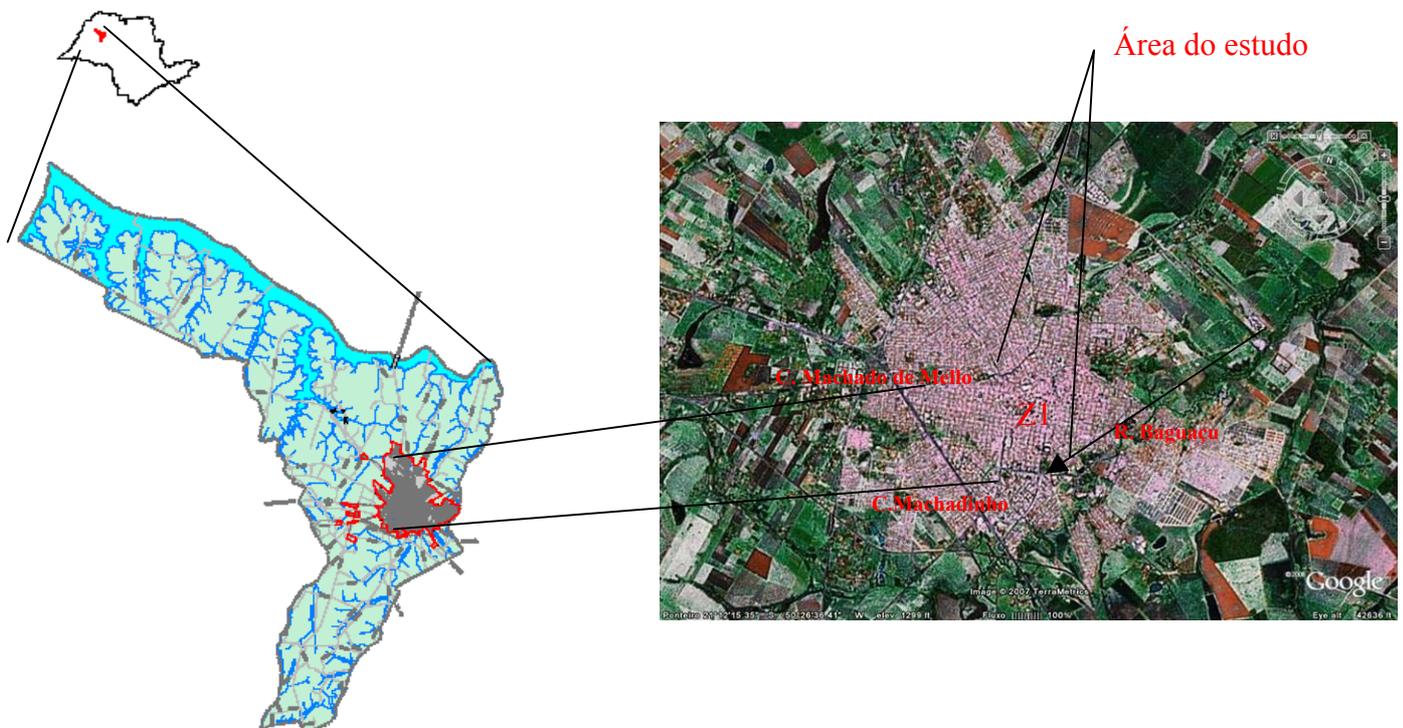


Figura 1 - Localização da área de estudo no Estado e no Município

### 3.2. Uso e ocupação do solo

A ocupação da área de interesse apresenta as seguintes características: a área é de uso misto, com predominância de atividades comerciais e de serviços na área central e nas avenidas principais e residências no restante da área; concentração de imóveis de interesse histórico e cultural na área central e existência de lotes não ocupados ao longo das avenidas marginais altamente valorizados.

### **3.3. Fontes potenciais de contaminação dos recursos hídricos**

O desenvolvimento urbano na região está ocupando gradualmente parte do vale das drenagens locais, principalmente sua planície de inundação, propiciando o desenvolvimento de alagamentos, processos erosivos e de assoreamento. Ainda existem outros problemas potenciais de contaminação de suas águas superficiais e subterrâneas devido a derrames e vazamentos de produto (óleo diesel e gasolina) em postos de combustíveis, fugas das redes de esgotos, vazamentos de emissores de esgoto que atravessam os leitos dos córregos, deposição de resíduos domiciliares e entulhos de construção civil nas margens dos corpos d'água, entre outros. Evidências desses processos podem ser observadas em diferentes locais nos vales dos córregos Machadinho, Baguaçu e Machado de Mello. O vale do Ribeirão Baguaçu, cujas águas na região estão classificadas como Classe 4, além de constituir uma fonte potencial de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos, apresenta extensas áreas com ecossistema alterado e degradado por atividades antrópicas tais como: indústria alimentícia que dispõe efluentes nas águas do córrego, construções nas áreas de APP (Área de Proteção Permanente) e as áreas minerárias de lavra de basalto abandonada, cujas cavas estão sendo ocupadas por entulho e lixo urbano, expondo o lençol freático à contaminação. Essas áreas já comprometidas estão sendo parceladas e ocupadas por assentamentos populares e favelas (bairro Umuarama) destituídas de infra-estrutura básica, pondo em risco a saúde da população do entorno.

## **4. METODO GOD**

Neste trabalho, o método de mapeamento da vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos utilizado é o Método GOD (Groundwater hydraulic confinement, Overlaying strata, Depth to groundwatertable) proposto por FOSTER et al. (2002).

O método utiliza dois fatores hidrogeológicos básicos que controlam a vulnerabilidade à contaminação de aquíferos:

- O grau de inacessibilidade hidráulica do aquífero;
- A capacidade de atenuação dos estratos (zona não saturada ou capas confinantes sobre a zona saturada dos aquíferos).

Esses fatores dependem da combinação dos parâmetros:

- G: - Grau de confinamento hidráulico;
- O: - Ocorrência de estratos geológicos e grau de consolidação da zona não saturada ou camadas confinadas.

- D: - Distância da água como profundidade do nível d'água em aquíferos não confinados ou a profundidade até a superfície dos aquíferos confinados;

A integração desses atributos tem como produto final o Índice de Vulnerabilidade GOD.

A estimativa do índice de vulnerabilidade GOD envolve 03 etapas (fases) concretas;

Na 1ª etapa deve-se identificar o grau de confinamento hidráulico do aquífero e atribuindo-lhe um índice (G) a este parâmetro na escala de 0,0 a 1,0.

Na 2ª etapa deve-se identificar índice (O): em função das características litológicas do substrato que recobre a zona saturada em termos de: (a) grau de consolidação-destituição do tamanho dos grãos e fissuras e (b) tipo de litologia (mineralogia) atribuindo valores em uma escala de 0,4 a 1,00.

Na 3ª etapa identifica-se o índice (D): em função da profundidade (m) do nível d'água subterrâneo, atribuindo a este parâmetro valores que variam em uma escala de 0,6 a 1,0.

A quantificação da vulnerabilidade é realizada por meio da multiplicação desses três índices resultando no Índice Final Integrado de Vulnerabilidade GOD.

A figura 3 ilustra esta avaliação.

#### **4. MATERIAIS**

Os materiais utilizados no presente trabalho para determinar o índice de vulnerabilidade GOD foram

- Perfis de sondagens de subsolo (151);
- Perfis de poços de monitoramento (45) de aquífero freático;
- Perfis e dados hidrogeológicos de poços de abastecimento de água (12);
- Estudos de Caracterização Hidrogeológica e de Avaliação de Passivos Ambientais (7) realizados em Postos de Combustíveis.

- Análise dos trabalhos prévios;
- Observação "in loco" dos solos, da rocha decomposta e do embasamento rochoso em áreas de pedreiras e de cortes de terraplenagem.

A figura 3 ilustra a distribuição dos pontos de investigação na área de estudo.

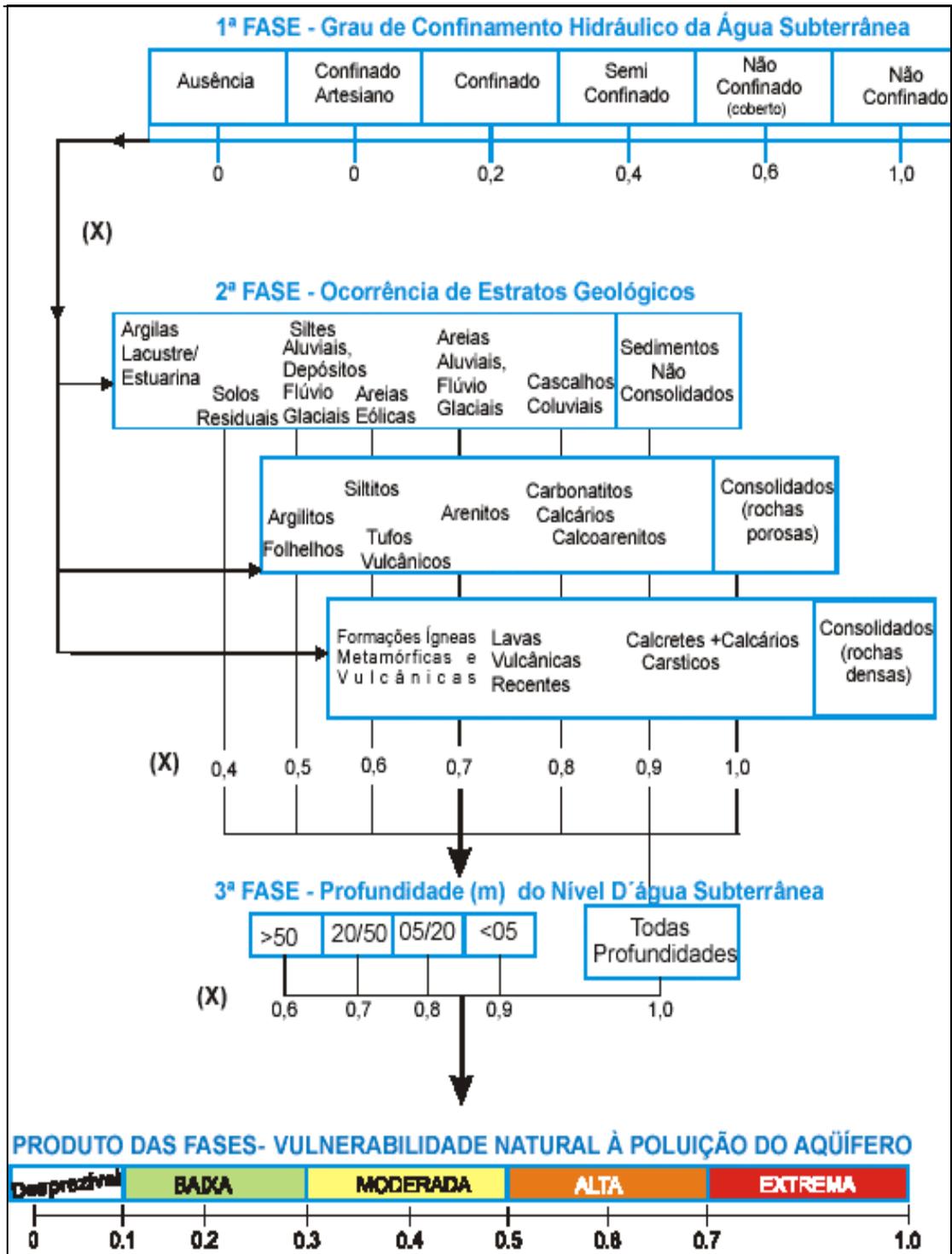


Figura 2- Sistema de Avaliação do Índice de Vulnerabilidade GOD

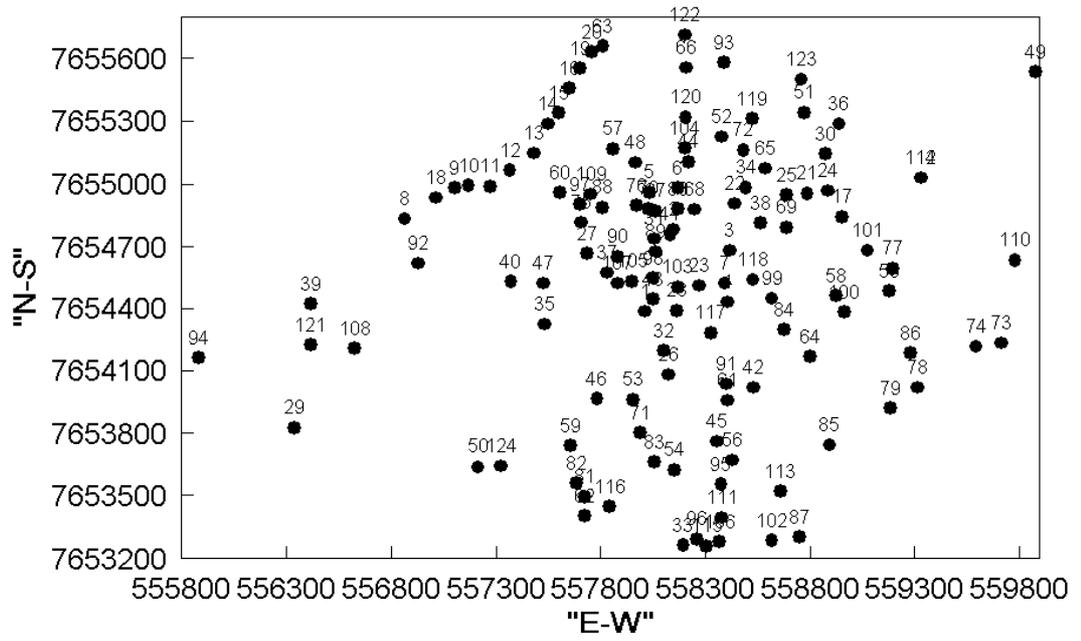


Figura 3- Mapa com a distribuição de dados

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Etapa 1- Caracterização do grau de Confinamento do Aquífero – Determinação do índice (G)- 1a. Etapa: Índice (G):

Nesta etapa é identificado o grau de confinamento do aquífero sendo atribuído um índice a esse parâmetro na escala de 0,0 a 1,0

Os recursos hídricos de interesse para o estudo de pesquisa são representados na área pelo Aquífero Bauru. Localmente, o sistema Aquífero Bauru comporta-se como um aquífero não confinado, livre ou freático, assentado sobre um substrato impermeável formado pelo topo dos derrames basálticos da formação Serra Geral, como mostra a Figura 4.



**Figura 4:** Arenito Argiloso da Formação Adamantina sobreposto ao Basalto da Formação Serra Geral, na calha do Córrego Machadinho.

As principais características hidrogeológicas dessa unidade aquífera estão descritas na Tabela 1.

**Tabela 1** - Características Hidrogeológicas do Aquífero Bauru.

Unidade Geológica	Características Hidrogeológicas do Aquífero	Litologia
	Tipos e Ocorrências	
Formação Adamantina (Aquífero Bauru)	Livre a localmente semiconfinado, porosidade granular, contínuo e não uniforme.	Arenitos finos intercalados por argilitos e siltitos.

O Aquífero Bauru é classificado como um aquífero poroso, por ocorrer em rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados e solos residuais. Este tipo de aquífero, devido à sua porosidade granular predominantemente distribuída de forma homogênea, propicia o fluxo da água para qualquer direção, em função apenas das diferenças de pressão hidrostáticas existentes. Os estudos demonstram que a espessura saturada desses arenitos varia desde poucos metros, nos fundos dos vales das drenagens locais próximo ao contato com o basalto sotoposto até pouco mais de 40 metros nas áreas mais elevadas, situadas próximas aos divisores de água entre bacias. A recarga natural deste aquífero é direta pela superfície a partir das precipitações pluviais que ocorrem na própria bacia.

## 5.2. Etapa 2- (Caracterização do substrato geológico) - Índice (O)

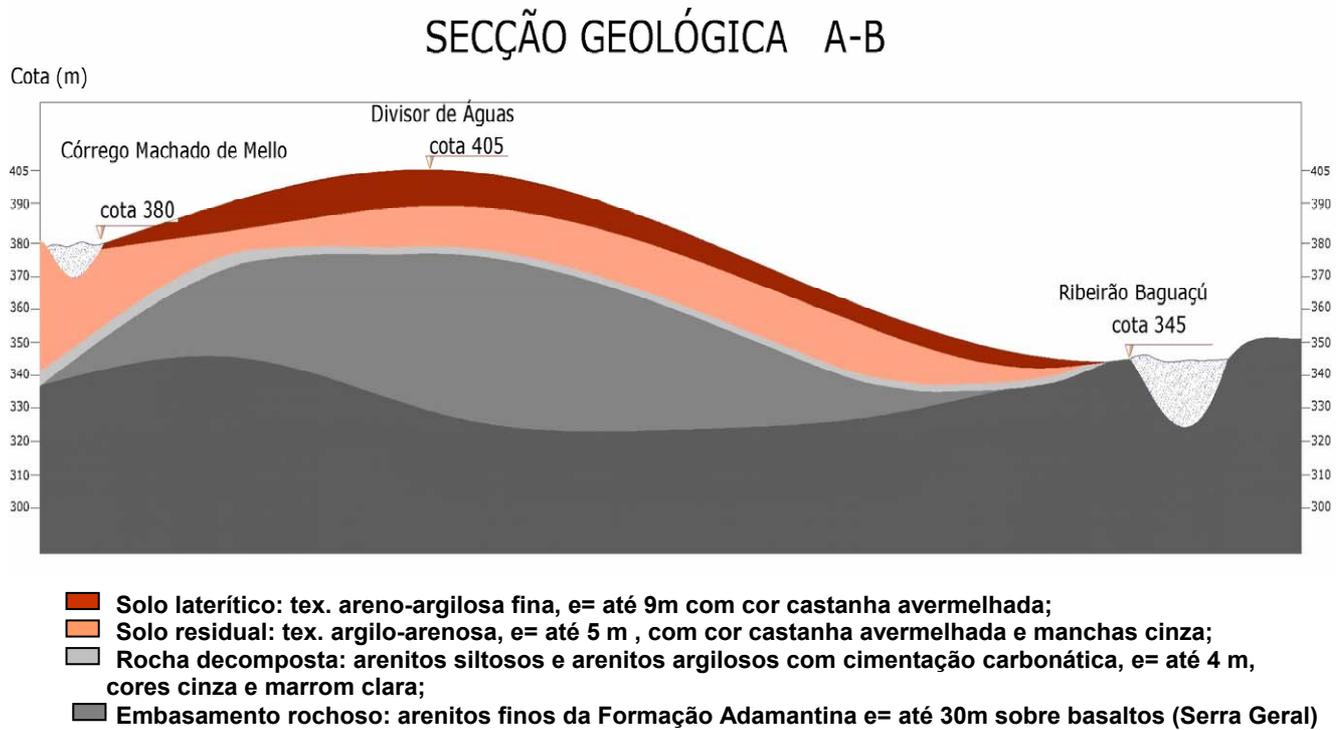
Nesta etapa é necessária a identificação das características do substrato da zona não saturada (litologia e grau de consolidação) para atribuir um índice a esse parâmetro escala de 0,4 a 1,0.

Pode-se concluir por meio dos trabalhos de campo, das sondagens, dos poços e ensaios de caracterização de solos da área, que o perfil litopedológico médio local tem a seguinte forma de distribuição:

- Solo laterítico: de textura areno-argilosa fina, espessura da ordem de até 9m com cor castanha avermelhada;
- Solo residual: de textura argilo-arenosa, espessura da ordem de até 5 m, com cor castanha avermelhada e manchas cinzas;
- Rocha decomposta: arenitos siltosos e arenitos argilosos com cimentação carbonática, espessura da ordem de até 4 m, com cores cinza e marrom clara;

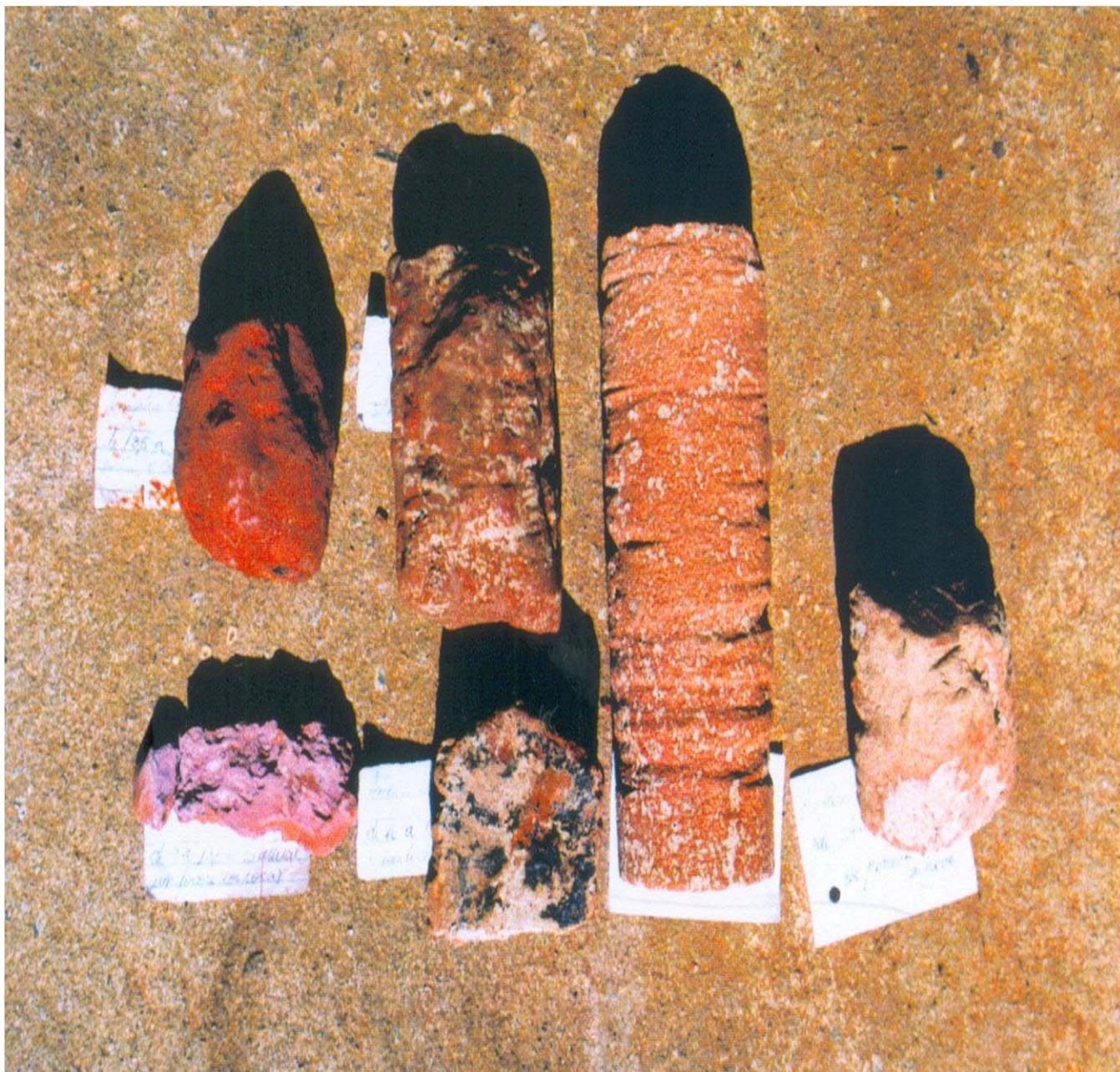
•Embasamento rochoso: composto por arenitos finos da Formação Adamantina até 30m e Basaltos da Formação Serra Geral.

A Figura 5 apresenta uma ilustração esquemática de Secção Geológica Transversal (A-B), com a distribuição média das unidades litoestratigráficas na área.



**Figura 5** - Ilustração esquemática de Secção Geológica Transversal (A-B)

A Figura 6 ilustra uma seqüência de testemunhos de perfuração de poço característicos do subsolo local.



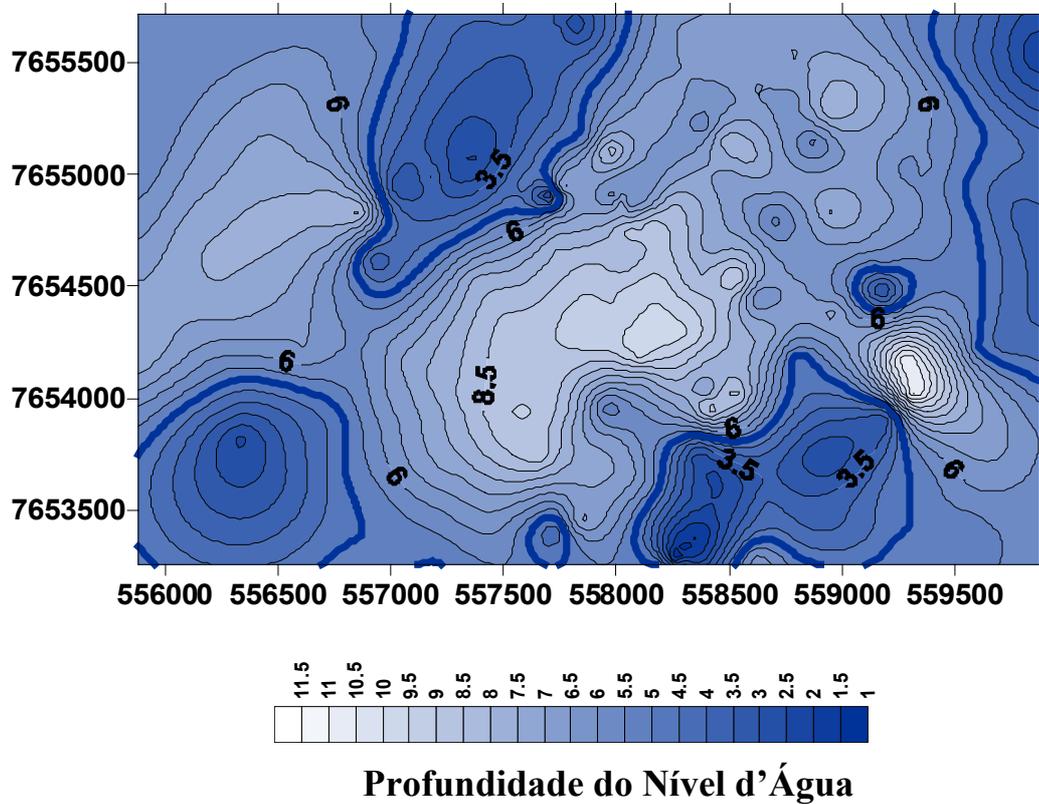
**Figura 6-** Testemunhos característicos do substrato local (Formação Adamantina)

### **5.3. Etapa 3- Determinação da profundidade do nível d'água – Índice (D)**

Nesta etapa estima-se a profundidade do NA e atribuir um índice a esse parâmetro na escala de 0,6 a 1,0.

Sendo Assim, os dados de profundidade de nível d'água obtidos nos 151 perfis de sondagens observados em diferentes datas foram validados através de leituras de NA (nível d'água) efetuadas em maio de 2007 em 45 poços de monitoramento de aquífero freático,

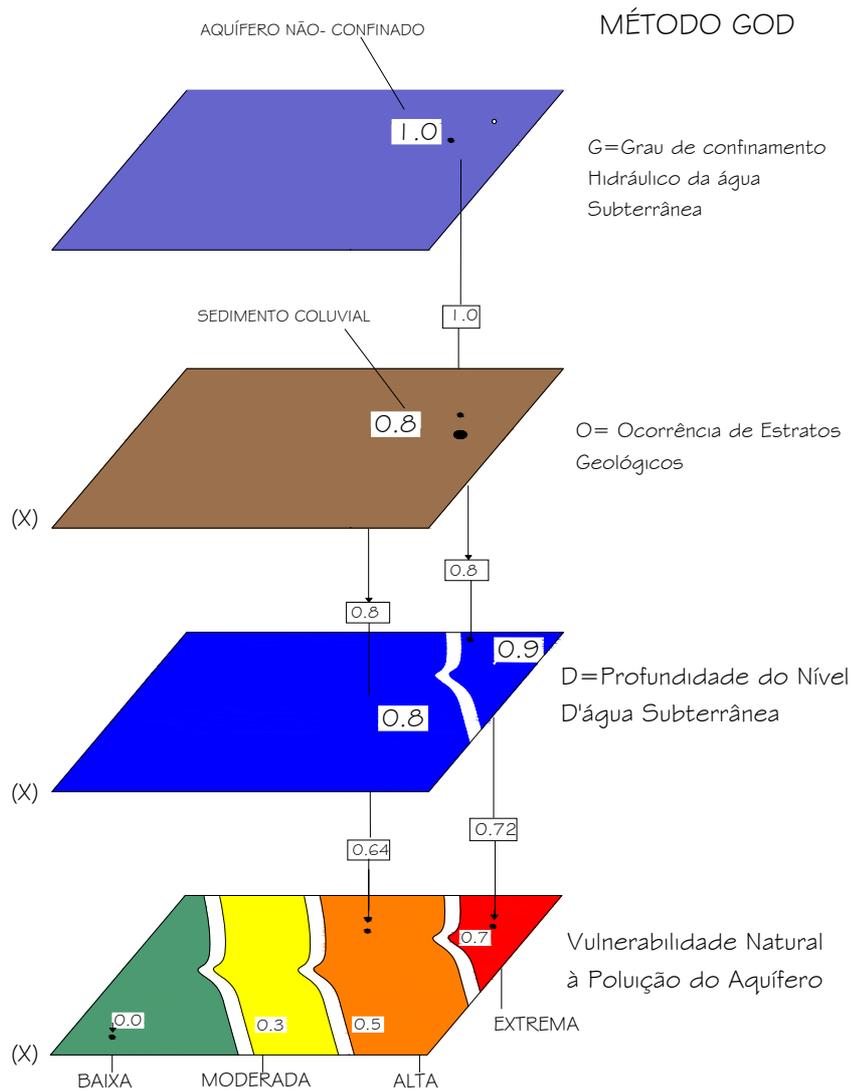
localizados em postos de combustíveis. Esses poços estão distribuídos em locais representativos da área (cotas altimétricas elevadas, médias e baixas). Esses dados possibilitaram a elaboração do Mapa de profundidade do nível d'água do local, detalhado na Figura 7.



**Figura 7** – Mapa de profundidade do NA

#### 5.4. Determinação do Índice de Vulnerabilidade GOD

Os valores obtidos dos principais atributos do método GOD (grau de confinamento da água subterrânea, caracterização geológica da zona não-saturada e profundidade do nível da água subterrânea), necessários para caracterizar a área estudada, foram gerados e integrados e os resultados obtidos permitiram a determinação dos índices de vulnerabilidade e a identificação das classes de vulnerabilidade para a área de estudo. Esses dados e resultados estão esquematizados na Figura 8.



**Figura 8** – Ilustração da integração de dados GOD

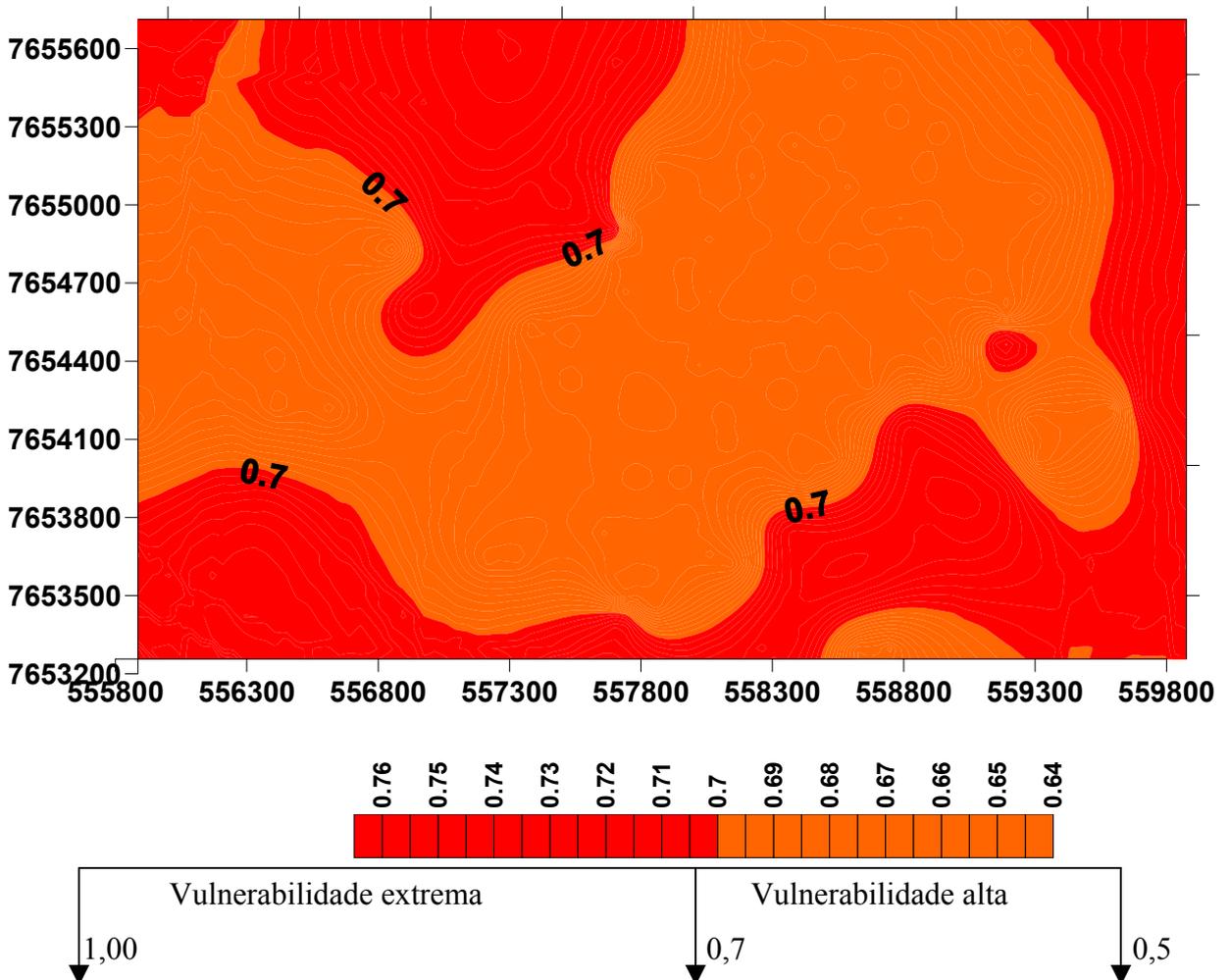
A obtenção dos Índices Finais Integrados de Vulnerabilidade GOD, cujos valores na ordem de 0,64 (Alta de Extrema) e 072 (Extrema Vulnerabilidade), possibilitaram a avaliação da área quanto à vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero livre.

### 5.5. Tratamento Dados - Análise Geoestatística

Para a obtenção da Carta de Vulnerabilidade da área de estudo, os valores obtidos dos índices GOD foram tratados e analisados pelo processo de análise geoestatística, que diz respeito ao estudo do comportamento espacial das variáveis em questão, incluindo as seguintes etapas:

- análise exploratória dos dados;
- análise estrutural dos dados - composta do cálculo e modelagem de semivariograma;
- realização da krigagem.

A Figura 8 mostra a carta da configuração da variável índice GOD obtido pela krigagem ordinária, isto é, a Carta de Vulnerabilidade Natural à Contaminação dos Recursos Hídricos Subsuperficiais para a área de interesse do estudo, onde as áreas são classificadas como de Extrema e Alta Vulnerabilidade.



**Figura 8** - Carta de Vulnerabilidade Natural à Contaminação dos Recursos Hídricos Subsuperficiais para a área central urbana do Município de Araçatuba(SP).

## 6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nos estudos possibilitaram elaborar a Carta de Vulnerabilidade Natural à Contaminação dos Recursos Hídricos Subsuperficiais, para a área central urbana do município de Araçatuba e, portanto classifica-la quanto à vulnerabilidade.

As classes de vulnerabilidade natural para a área variam de Extrema (vulnerável à maioria dos contaminantes de rápido impacto na água) a Alta (vulnerável a vários contaminantes, com exceção para os fortemente absorvidos) e estão distribuídas da seguinte forma:

- Vulnerabilidade Natural Extrema –distribuída nas porções menos elevadas da área e ao longo dos vales dos corpos d'água;
- Vulnerabilidade Natural Alta –distribuída nas porções mais elevadas da área.

Em síntese, os documentos finais deste estudo podem ser utilizados como ferramenta de gestão urbana e ambiental dessas áreas, parte do município de Araçatuba (SP), naturalmente vulneráveis à contaminação dos recursos hídricos subsuperficiais.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÇATUBA. Secretaria Municipal de Planejamento Urbano, Plano Diretor. *Mapa 5: Hidrografia Municipal*, 2006. 1 mapa, arquivo pdf.

ARAÇATUBA. Secretaria Municipal de Planejamento Urbano, Plano Diretor. *Mapa 26: Uso do Solo Atual*, 2006. 1 mapa, arquivo pdf.

CETESB. Relação de áreas contaminadas no Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>> Acesso em: 25 de janeiro de 2007.

DAEE. Estudo de águas subterrâneas: Regiões administrativas 7, 8 e 9: Bauru, São José do Rio Preto, Araçatuba. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Saneamento e Energia. 2V. Res. São Paulo. 1976.

DAEE. Relatório zero, 2000. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Saneamento e Energia. São Paulo. 2000.

DAAE. Relatório de Cadastro de Poços na área urbana do município de Araçatuba. - Departamento Autônomo de Águas e Esgoto. Prefeitura Municipal de Araçatuba. Araçatuba. 2006.

FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.C.A.; GOMES, D.; D'ELIA, M. PARIS, M. *Proteccion de la Calidad del Agua Subterranea: guia para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales*: Banco Mundial. 2002.

FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.C.A.; GOMES, D.; D'ELIA, M. PARIS, M. *Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities and environment agencies*. Washington: The World Bank. 2002.

HIRATA, R.C.A.; BASTOS, C.; ROCHA, G. Mapa de vulnerabilidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. 2v. São Paulo: I.G., Cetesb, DAEE. 1997.

INSTITUTO GEOLÓGICO; COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL; DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. 2v. São Paulo. 1997.