

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

***"Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos Subsuperficiais
na Área Urbana Central do Município de
Araçatuba-SP"***

ZEIDE NOGUEIRA DE CAMARGO FURTADO

Orientador: Prof. Dr. José Augusto de Lollo

Co-Orientador: Prof. Dr. Jefferson Nascimento Oliveira

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia - UNESP – Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais.

Ilha Solteira – SP
setembro /2007

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

F992v

Furtado, Zeide Nogueira de Camargo.

Vulnerabilidade dos recursos hídricos subsuperficiais na área urbana central do município de Araçatuba-SP / Zeide Nogueira de Camargo Furtado. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2007
135 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais

Orientador: José Augusto de Lollo

Co-orientador: Jefferson Nascimento Oliveira

Bibliografia: p. 119-124

1. Recursos hídricos. 2. Hidrogeologia. 3. Águas subterrâneas – Poluição.
4. Contaminação.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: VULNERABILIDADE NATURAL DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBSUPERFICIAIS NA ÁREA URBANA CENTRAL DO MUNICÍPIO DE ARAÇATUBA (SP)

AUTORA: ZEIDE NOGUEIRA DE CAMARGO FURTADO

ORIENTADOR: Prof. Dr. JEFFERSON NASCIMENTO DE OLIVEIRA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em ENGENHARIA CIVIL, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JEFFERSON NASCIMENTO DE OLIVEIRA

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. MILTON DALL AQUINO SOBRINHO

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. SAMIR FELICIO BARBOSA

Departamento de Química e Ciências Ambientais / Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas de São José do Rio Preto

Data da realização: 01 de setembro de 2008.



Presidente da Comissão Examinadora
Prof. Dr. JEFFERSON NASCIMENTO DE OLIVEIRA

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, dois grandes mestres!
que me ensinaram a
respeitar a natureza e as pessoas;
que me orientaram;
que foram as minhas referências
de vida digna e ética!*

*Aos meus sempre amados,
Marcelo e Anna Cristina,
os sustentáculos da minha existência
que me ensinam a cada dia
mais do que eles nunca saberão.
Por todos esses anos..*

AGRADECIMENTOS

Um trabalho acadêmico é resultado de esforço, persistência e dedicação não apenas de seu autor, mais também dos que colaboraram, com apoio e incentivo.

Assim externo a minha gratidão:

Ao Prof. Dr. José Augusto de Lollo e Prof. Dr. Jefferson Nascimento Oliveira – pelos valiosos ensinamentos e orientação competente;

Aos membros da banca de defesa - pelas sugestões e observações;

Aos mestres do curso de pós-graduação pelos conhecimentos transmitidos;

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Civil e da Biblioteca – pela colaboração;

À Oeste Engenharia – pelo apoio incondicional à pesquisa;

A Arq. Urb. Anna Cristina Nogueira Furtado – pela colaboração nas ilustrações e nas informações sobre questões ligadas ao planejamento urbano;

Ao Eng. Marcelo Furtado – pelas contribuições e por assumir parte de minhas atividades profissionais para que fosse possível desenvolver essa dissertação;

E sempre o meu reconhecimento ao Prof. Dr. Renato Bertolino – pela amizade e incentivo ao retorno à universidade.

Não importa em que nível esteja o pesquisador – aluno, professor, mestre, doutor, o percurso metodológico baseia-se nos mesmos princípios: dedicação, estudo, observação constante, rigor científico e, sobretudo, responsabilidade e honestidade.

(autor desconhecido)

RESUMO

A intensificação da ocupação do solo e dos usos múltiplos dos recursos hídricos subterrâneos, nas áreas urbanas, vem comprometendo a qualidade natural das águas subterrâneas. Na zona central urbana do município de Araçatuba (SP), área de interesse do estudo de pesquisa, a exploração dessas águas por atividades comerciais e residenciais (solução alternativa de consumo) é elevada e apresenta um acréscimo acentuado em virtude do aumento populacional e desenvolvimento econômico da região. Localmente, o recurso hídrico subterrâneo de interesse é representado pelo Aquífero Bauru que se comporta como um aquífero livre, cujo lençol freático encontra-se em sub-superfície, nos sedimentos inconsolidados da formação Adamantina (Grupo Bauru). Com a utilização do método GOD (FOSTER, et al. 2002) adotado nesta pesquisa, foi possível a determinação dos índices de vulnerabilidade para o aquífero local, classificando-o como de Extrema Vulnerabilidade, nos fundos dos vales das drenagens locais (Córregos Machadinho e Machado de Mello e Ribeirão Baguaçu); e de Alta Vulnerabilidade nas áreas mais elevadas situadas ao longo dos divisores de água. A Carta de Vulnerabilidade à Contaminação dos Recursos Hídricos Subsuperficiais da área de estudo reúne informações que podem subsidiar políticas públicas de prevenção, controle e restrição do uso do solo local frente às exigências das águas subterrâneas e do planejamento urbano.

Palavras - chave: Recursos Hídricos. Água Subterrânea. Contaminação. Vulnerabilidade.

ABSTRACT

Intensification of urban land use and multiple uses of groundwater in urban areas has been responsible by damages in groundwater quality. This study was developed in Araçatuba (SP) central urban area, where groundwater exploitation to business and residential uses is high and shows great increase due to increasing population and economic development in the region. Locally, groundwater exploitation has been developed in Bauru Aquifer, whose behaves as a free aquifer, storing water in sand poorly consolidated sediments in Adamantina Formation (Bauru groundwater exploitation). Using GOD method (FOSTER, et al. 2002), this study makes possible vulnerability indices determination for the local aquifer, resulting High Vulnerability in elevated areas such hill tops, and Extreme Vulnerability in bottom valleys of local drainage courses (e.g. Machadinho and Machado de Mello Streams, Baguaçu River). Vulnerability Chart to Natural Contamination of Groundwater the area presents information that can support public policies for prevention, control and restriction of land use, considering groundwater demands and urban planning.

Keyword: Water Resources. Groundwater. Contamination. Vulnerability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa de uso da água subterrânea para abastecimento público.....	17
Figura 2 – Registro das áreas contaminadas por atividades	18
Figura 3 - Mapa de Vulnerabilidade UGRH19.....	20
Figura 4 - Ciclo hidrológico esquematizado	24
Figura 5 – Sistemas de aquíferos	25
Figura 6 – Processos de contaminação por das atividades industriais.....	31
Figura 7 – Processos de contaminação por atividades agropecuárias	31
Figura 8 – Processos de contaminação por atividades urbanas	32
Figura 9 - 1ª FASE: Grau de confinamento hidráulico da água subterrânea	39
Figura 10 - 2º FASE: Ocorrência de estratos geológicos.	40
Figura 11 - 3º FASE: Profundidade (m) do nível d'água subterrâneo.....	41
Figura 12 - Índice de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos.	41
Figura 13 - Sistema de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos.....	43
Figura 14 – Esquema conceitual de avaliação de risco.....	44
Figura 15 - Projeção de crescimento da população da UGRHI do Baixo Tietê..	47
Figura 16 - Mapa Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê	47
Figura 17- Seção Geomorfológica do Estado de São Paulo.....	49
Figura 18 - Mapa Geológico do Estado de São Paulo	52
Figura 19 - Mapa Pedológico Estado de São Paulo	54
Figura 20 - Localização do município no Estado	59
Figura 21 - Localização das bacias hidrográficas do município.....	60
Figura 22 - Localização da área de estudo.....	61
Figura 23 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo.....	62

Figura 24 - Vista aérea dos edifícios da área central urbana	63
Figura 25 – Vista das bacias do Córrego Machadinho e Ribeirão Baguaçu	64
Figura 26 – Vista do vale do Córrego Machadinho e Ribeirão Baguaçu	65
Figura 27 – Vista da Bacia do Córrego Machado de Mello.	66
Figura 28 –Fontes de Contaminação - Córrego Machadinho	67
Figura 29 - Processos de degradação no médio curso do Baguaçu.....	68
Figura 30 – Fluxograma das etapas desenvolvidas na pesquisa.	72
Figura 31a)- Espacialização do relevo local.....	74
Figura 31b)- Planialtimetria urbana.	74
Figura 32 - Arenito Argiloso da Formação Adamantina.....	75
Figura 33 - Afloramento de Basalto da Formação Serra Geral.....	76
Figura 34 - Afloramento de Basalto da Formação Serra Geral.....	76
Figura 35 - Detalhe de fendas horizontais e verticais em basalto	77
Figura36 - Amostras do embasamento rochoso,	78
Figura37 - Testemunhos de arenitos argilosos e arenitos siltsos.....	79
Figura 38 - Detalhes: Contato Solo-Rocha Decomposta	80
Figura 39 - Amostras de solos e rochas representativas da área.....	81
Figura 40 - Vista parcial da área de estudo.....	82
Figura 41 – Perfil construtivo e geológico de um poço de monitoramento	83
Figura 42 - Aspecto geral do solo arenoso fino predominante na área	85
Figura 43a –Secção Geológica da área de estudo.	87
Figura 43b – Ilustração em 3D de Secção Geológica da área de estudo.	88
Figura 44 - Detalhe do Aquífero Bauru	90
Figura 45 - Afloramento do Aquífero Serra Geral.....	91
Figura 46-Mapa Planialtimétrico com a distribuição dos pontos.....	95

Figura 47 – Mapa Potenciométrico a distribuição dos pontos de investigação	96
Figura 48 - Superfície Planialtimétrica da área de estudo em 3D.	97
Figura 49 - Superfície Potenciométrica da área de estudo em 3D.	97
Figura 50- Função semivariância.....	100
Figura 51- Mapa de distribuição de dados	100
Figura 52 - Semivariograma experimental (abertura angular 90°) / NA	101
Figura 53 - Semivariograma experimental (abertura angular 90°) /GOD	102
Figura 54 - Semivariogramas nas direções 0° 45° 90° e 135° /NA /	103
Figura 55 - Semivariogramas nas direções 0° 45° 90° e 135° / GOD.	104
Figura 56- Equação para cálculo	105
Figura 57- Modelo Esférico ajustado ao semivariograma I / NA	106
Figura 58- Modelo Exponencial ajustado ao semivariograma / NA	106
Figura 59- Modelo Gaussiano - Variável NA	107
Figura 60 – Modelo de continuidade espacial na esf. em 2D	107
Figura 61- Modelo Esférico ajustado ao semivariograma / GOD	108
Figura 62- Modelo Exponencial ajustado ao semivariograma / GOD	108
Figura 63- Modelo Gaussiano ajustado ao semivariograma / GOD	109
Figura 64 - Modelo de continuidade godesf. espacial em 2D.....	109
Figura 65 –Mapa de Distribuição de Dados e Mapa de Resíduos.....	111
Figura 66 –Mapa de Superfície de Tendência do NA	112
Figura 67 –Cartograma do índice de Vulnerabilidade GOD.....	113
Figura 68 – Localização das áreas quanto a Vulnerabilidade	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Registros de áreas contaminadas por atividades.....	18
Tabela 2 - Fontes de contaminação e tipos contaminantes	30
Tabela 3 - Processos e efeitos da atenuação de contaminantes	33
Tabela 4 – Fatores e parâmetros que controlam a vulnerabilidade.....	37
Tabela 5 - Classes de vulnerabilidade à contaminação	38
Tabela 6 - Unidades geológicas da Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê.....	50
Tabela 7- Síntese das Características Hidrogeológicas dos Aqüíferos	56
Tabela 8 - Características dos solos A.....	84
Tabela 9 - Características dos solos B.....	85
Tabela 10 - Características Hidrogeológicas dos Aqüíferos.	92

LISTA DE SÍMBOLOS

γ - Variância

σ^2 - (Co) variância.

Σ - Somatória

$\Delta(h)$ - Espaçamento entre pares de amostra

$\Delta\alpha$ - Ângulo de tolerância para a direção considerada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVO	22
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
	3.1. Conceitos Básicos	23
	3.1.1 Água Subterrânea e Aquíferos Subterrâneos	23
	3.1.2 Contaminação.....	26
	3.1.3 Risco de contaminação das águas subterrâneas.....	27
	3.1.4 Fontes de contaminação e tipos de contaminantes.....	27
	3.2 Atenuação Natural.....	32
	3.3 Vulnerabilidade.....	35
	3.3.1 Conceitos e princípios	35
	3.3.2 Métodos de Avaliação da Vulnerabilidade de Aquíferos	35
	3.3.3 Método GOD para a avaliação da vulnerabilidade.....	36
	3.3.4 Exemplos de aplicação do método GOD.....	44
4	CARACTERÍSTICAS REGIONAIS	46
	4.1 Bacia hidrográfica	46
	4.4.2 Relevo.....	48
	4.4.3 Substrato Geológico	49
	4.4.4. Solos.....	53
	4.4.5 Características dos sistemas aquíferos	55
5	MATERIAS E MÉTODO	57
	5.1 Materiais.....	57
	5.2 Área de estudo	58

5.2.1	Análise da ocupação da área	62
5.2.2	Impactos Observados e Fontes Potenciais de Contaminação.....	66
5.3	Método.....	70
5.3.1.1	Revisão bibliográfica	71
5.3.1.2	Levantamento de dados de campo.....	71
5.3.1.3	Tratamento de dados, integração e análise dos resultados.....	72
6	RESULTADOS	73
6.1	Caracterização hidrogeológica	73
6.1.1	Geomorfologia local.....	73
6.1.2.	Geologia local.....	75
6.1.2.1.	Formação Serra Geral	76
6.1.2.2	Formação Adamantina.....	78
6.1.2.3	Solos.....	81
6.1.3	Perfil Geológico Local.....	86
6.1.4	Hidrogeologia local	89
6.1.4.1	Aqüífero Bauru	89
6.1.4.2	Aqüífero Serra Geral	91
6.1.4.3	Mapa Potenciométrico da Área	92
6.2	Geração e Integração de dados na obtenção do Índice GOD e Classificação da Vulnerabilidade da Área.....	98
6.3	Tratamento de Dados - Análise Geoestatística.....	99
6.3.1	Cálculo do Semivariograma Experimental para NA e GOD	100
6.3.2	Cálculo do Modelo Teórico de Semivariograma para as variáveis NA e GOD	105

6.3.3 Realização da Krigagem para a produção do Mapa NA e Carta de Vulnerabilidade.....	110
6.3.4 Localização das áreas de Vulnerabilidade Extrema e Alta	114
7 CONCLUSÕES	116
8 REFERÊNCIAS	119
9 APÊNDICES	125
APÊNDICE A - Mapa de Documentação da Área	126
APÊNDICE B - Mapa de Superfície de Tendência do NA	127
APÊNDICE C - Carta de Vulnerabilidade	128
APÊNDICE D - Tabela de Sondagens de Subsolo	129
APÊNDICE F - Tabela de Poços de Abastecimento.....	134

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade a vida urbana é a tendência de habitat da humanidade, exigindo a apropriação de áreas do território rural e natural para o domínio da cidade.

Segundo o Relatório Zero (DAEE, 2000) sobre a população dos anos de 2005 até 2010, da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do Baixo Tietê, na qual o município de Araçatuba está inserido, apresenta um aumento em números absolutos. Verifica-se o crescimento da população nas áreas urbanas e significativas reduções na área rural, seguindo a tendência estadual. Essa tendência de ocupação leva a necessidades e exigências crescentes que ampliam a demanda por alimentos, produção de energia, abastecimento de água e outros insumos.

Na maioria dos municípios brasileiros as águas subterrâneas são mais utilizadas para o abastecimento doméstico, industrial e agrícola, em virtude da sua abundância, qualidade e relativo baixo custo de captação e tratamento em relação às águas superficiais. Mais da metade da água de abastecimento público no Brasil provém das reservas subterrâneas, (ANA, 2002).

De acordo com o levantamento realizado pela CETESB no ano de 1997, 72% dos municípios do Estado de São Paulo são abastecidos por água subterrânea totalizando uma população de mais de 5,5 milhões habitantes.

Dados da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo indicam que a captação de água subterrânea para abastecimento público é mais intensa no Oeste Paulista, onde cerca de 80% dos municípios são abastecidos exclusivamente por este recurso (SMA, 2002).

Assim, o recurso hídrico subterrâneo vem se tornando estratégico para desenvolvimento econômico da sociedade.

A Figura 1 apresenta o levantamento de uso da água subterrânea para abastecimento público do Estado de São Paulo, realizado pela CETESB em 1997.

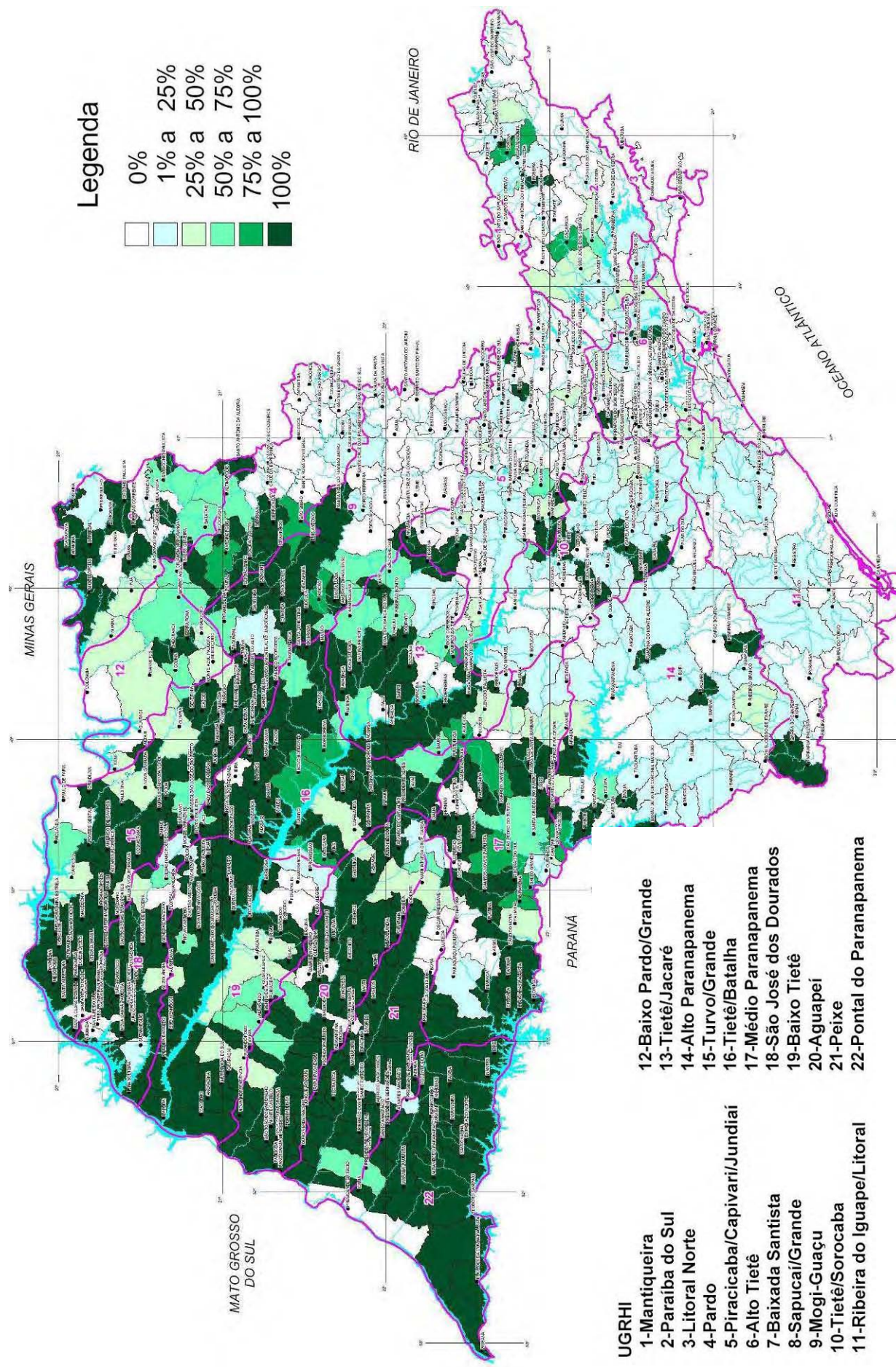


Figura 1 – Mapa de uso da água subterrânea para abastecimento público (CETESB, 1997).

Por outro lado na maioria das atividades humanas são geradas diversas substâncias, resíduos e efluentes com potencial para contaminar os diferentes sistemas do meio ambiente, tais como, a atmosfera, o solo e as águas subterrâneas.

Segundo o Relatório de Áreas Contaminadas do Estado de São Paulo (CETESB, 2006) as atividades relativas a postos de combustíveis apresentaram 1.352 registros, significando 74% do total das áreas contaminadas do Estado seguidas das atividades industriais, comerciais, instalações para destinação de resíduos, casos de acidentes e fonte de contaminação de origem desconhecida.

Na Tabela 1 e Figura 2 são apresentadas às distribuições das áreas contaminadas por atividades no Estado de São Paulo.

Tabela 1 - Registros de áreas contaminadas por atividades

Região/Atividade	Comercial	Industrial	Resíduos	Posto de combustível	Acidentes desconhecidos	Total
São Paulo	28	56	22	486	2	594
RMSP – outros	14	76	11	273	4	378
Interior	49	93	22	432	12	608
Litoral	13	31	11	78	2	135
Vale do Paraíba	1	23	0	83	0	107
Total	105	279	66	1.352	20	1.822

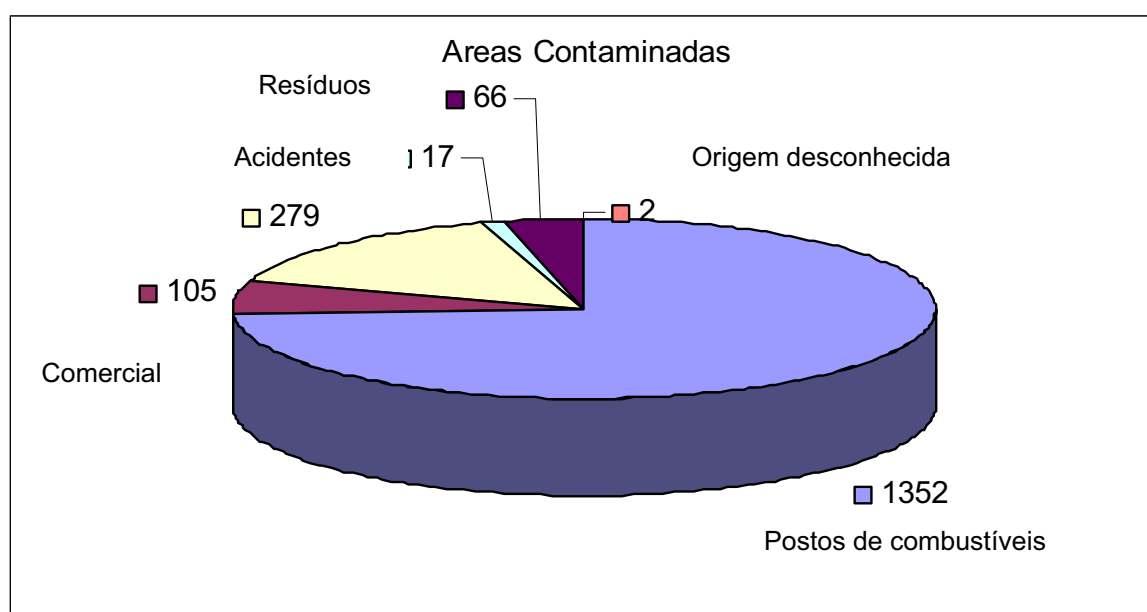


Figura 2 – Registro das áreas contaminadas por atividades

(modificado de CETESB, 2006).

Verifica-se que as maiores incidências de áreas contaminadas registradas se localizam em áreas de postos de combustíveis, que ocorrem devido a infiltrações de produtos combustíveis em fissuras no piso, ou por vazamentos nos equipamentos operacionais, tais como bombas, tubulações e tanques.

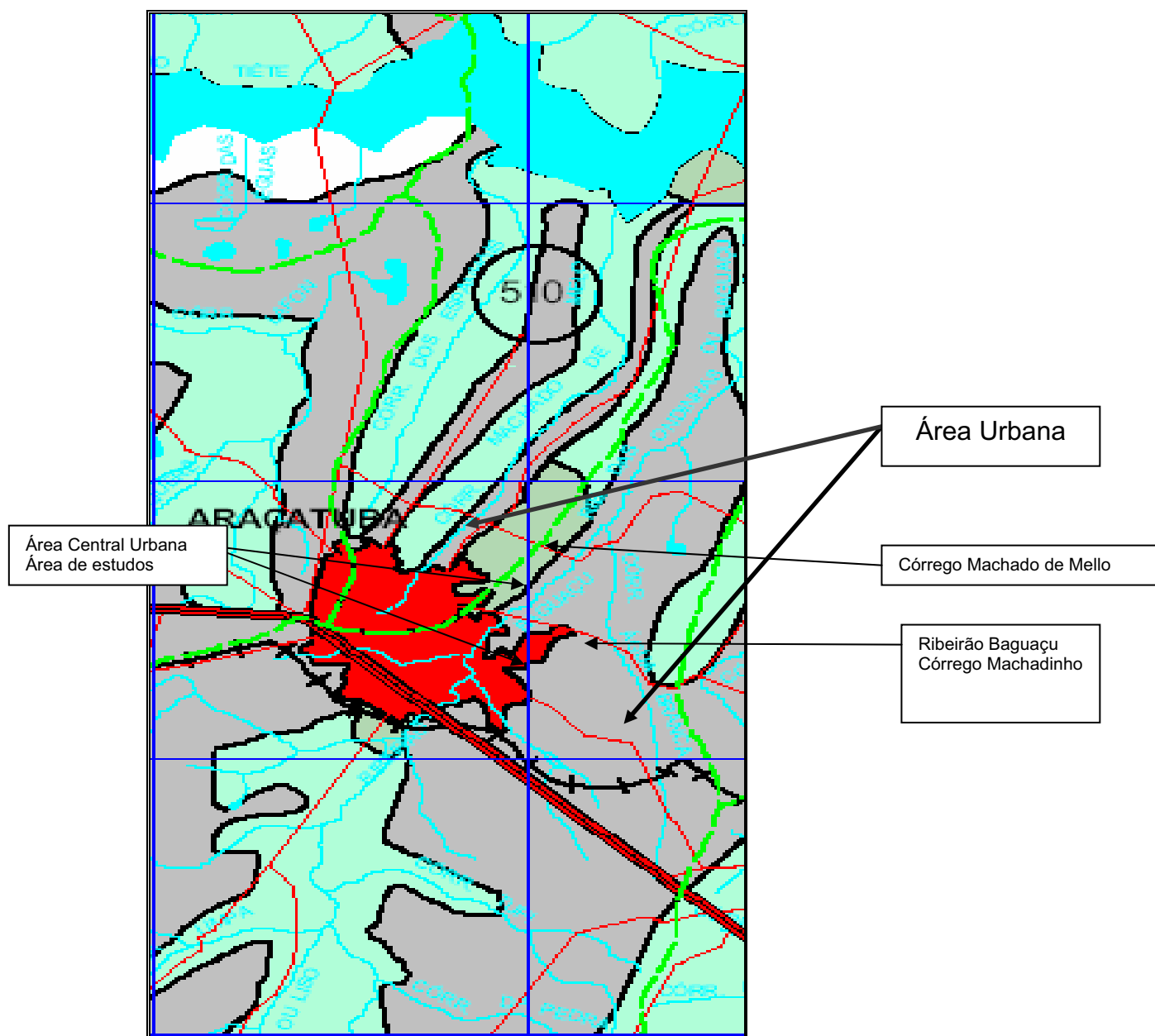
Segundo Furtado, et al. (2006), o vazamento de derivados de petróleo no solo representa um risco sério à qualidade da água subterrânea, pois uma vez no solo tais combustíveis passam por processos químicos que liberam compostos com grande potencial de contaminação das águas subterrâneas.

Dentre tais compostos, o grupo denominado BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) são os mais perigosos, devido a sua alta mobilidade tanto na fase gasosa como na fase líquida (SILVA, et. al. 2002).

Tais compostos representam grande risco para a saúde humana, pois podem apresentar ação carcinogênica e mutagênica. Sua ação pode causar distúrbios de fala, visão, audição, controle dos músculos e tumores cerebrais, podendo levar à morte (SANDRES; MAINIER, 2004).

Uma das ações previstas no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo e nos Planos de Bacia Hidrográfica com relação à proteção da qualidade das águas subterrâneas é a realização da cartografia de vulnerabilidade dos aquíferos em escala semi-regional e municipal. Devem ser priorizadas as regiões potencialmente suspeitas de contaminação, áreas classificadas como de alta à moderada vulnerabilidade (mapa estadual) e associadas à presença de elevadas cargas contaminantes, e em locais onde as águas subterrâneas apresentam elevado valor social e econômico (DAEE, 2006).

O Estado de São Paulo dispõe do Mapa de Vulnerabilidade Natural à contaminação dos aquíferos em escala de reconhecimento regional (1:1. 000.000), bem como de um primeiro reconhecimento das cargas contaminantes potenciais e do perigo de contaminação, (DAEE, 2005). Em escala regional o município de Araçatuba está localizado em área onde a vulnerabilidade varia de Média Baixa a Média Alta. Pode-se verificar nesse mapa que a área urbana do município não foi avaliada, conforme mostra em destaque a Figura 3.



Legenda								
Índice de Vulnerabilidade								
	ALTO	ALTO		MÉDIO	ALTO		BAIXO	ALTO
		BAIXO			BAIXO		NÃO DEFINIDO	

Figura 3 - Mapa de Vulnerabilidade UGRH19
(modificado de DAEE, 2005).

O município de Araçatuba, mais especificamente a região central urbana, localizada na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Baguaçu e Bacia do Córrego Machado de Mello será enfocada no presente trabalho por apresentar características que justificam a elaboração do Mapa de Vulnerabilidade para a área urbana, tais como:

- Existência de poços de abastecimento de uso privado e público, portanto a água subterrânea é um recurso natural importante para o desenvolvimento econômico e abastecimento da população da área;
- Existência de fontes potenciais de poluição dos recursos hídricos subterrâneos (postos de combustíveis, cemitérios e vazamentos de esgotos);
- Inexistência de controle de qualidade e quantidade do uso privado da água subterrânea;
- Elevada taxa de ocupação do solo urbano (60 a 80 habitações/hectare);
- Incentivo ao incremento no adensamento da área com a garantia da diversidade de usos, em especial o habitacional em áreas infra-estruturadas e a ocupação de glebas e lotes vazios conforme previsto na Lei Complementar N.º 168/06 - de 6 de outubro de 2006 que instituiu o Plano Diretor do Município de Araçatuba (ARAÇATUBA, 2006).
- Existência de áreas críticas, ambientalmente degradadas e impactadas que estão sendo ocupadas por empreendimentos habitacionais de alta renda e loteamentos populares;
- Inexistência de estudos científicos e publicações técnicas de caracterização do meio físico, para avaliar a qualidade das águas subterrâneas, afetadas pelo desenvolvimento das atividades humanas, que contemplem as áreas das bacias hidrográficas supracitadas, baseados em estudos de vulnerabilidade;
- Inexistência de políticas específicas de ordenação e controle do uso do solo, tais como o zoneamento ambiental da área.

Portanto, é evidente a necessidade da realização de estudos de avaliação das características ambientais, tais como estudos de vulnerabilidade de aquíferos, visando o suprimento com qualidade das águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público. É uma região propícia para o estudo, pois poderá apresentar em um futuro próximo o agravamento dos problemas já detectados.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é elaborar uma Carta de Vulnerabilidade à Contaminação dos Recursos Hídricos Subsuperficiais, na zona urbana central do município de Araçatuba, com a utilização do Método GOD, proposto pelos pesquisadores Foster, et al. (2002).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Conceitos Básicos

3.1.1 Água Subterrânea e Aqüíferos Subterrâneos

A água subterrânea existente na Terra tem origem no ciclo hidrológico, isto é, no sistema pelo qual a natureza faz a água circular do oceano para a atmosfera e daí para os continentes de onde retorna superficialmente ou subterraneamente ao oceano (CETESB, 2004). A água em forma de chuva precipita da atmosfera para a superfície da terra. Parte dessa água escorre superficialmente até os rios, lagos e oceano, parte infiltra e outra parte por evapotranspiração retorna à atmosfera. A Figura 4 apresenta um esquema do ciclo hidrológico

A água subterrânea se origina principalmente da parcela da precipitação que se infiltra direta ou indiretamente na superfície do solo devido à ação da gravidade. O movimento descendente da água que infiltra continua preenchendo os vazios do subsolo (poros ou fraturas) e acumulando-se ao encontrar barreiras menos permeáveis, constituindo a zona saturada do solo.

A água subterrânea acumulada na zona saturada não fica estagnada, pois o movimento pode continuar descendente contribuindo para a recarga de aqüíferos subjacentes. À medida que a água infiltra por entre as camadas de rocha, ela arrasta elementos químicos e altera sua composição.

O clima a composição das águas de recarga do aqüífero, além da contaminação causada pelo homem, tendem a aumentar as concentrações de substâncias dissolvidas na água subterrânea pondo em risco a qualidade dessas águas e a saúde humana (FEITOSA ;MANOEL FILHO, 2000).



Figura 4 - Ciclo hidrológico esquematizado
(adaptado de TEIXEIRA, et al. 2000).

A água subterrânea se encontra armazenada em aquíferos subterrâneos que são formações geológicas com suficiente permeabilidade e porosidade para armazenar e transportar e fornecer água utilizável. (RAMOS, 1989). Os arenitos e as areias são exemplos destas formações geológicas permeáveis.

Portanto, um aquífero pode ser considerado como um sistema subterrâneo de reservação e distribuição de água (FEITOSA ;MANOEL FILHO, 2000).

Os aquíferos subterrâneos são classificados em dois tipos principais:

Aquíferos não confinados (freáticos ou livres) são aquíferos limitados superiormente por formações permeáveis e inferiormente por formações impermeáveis;

Aquíferos confinados (artesianos) são aquíferos que se encontram limitados superior e inferiormente por formações impermeáveis.

A Figura 5 ilustra os tipos de aquíferos.

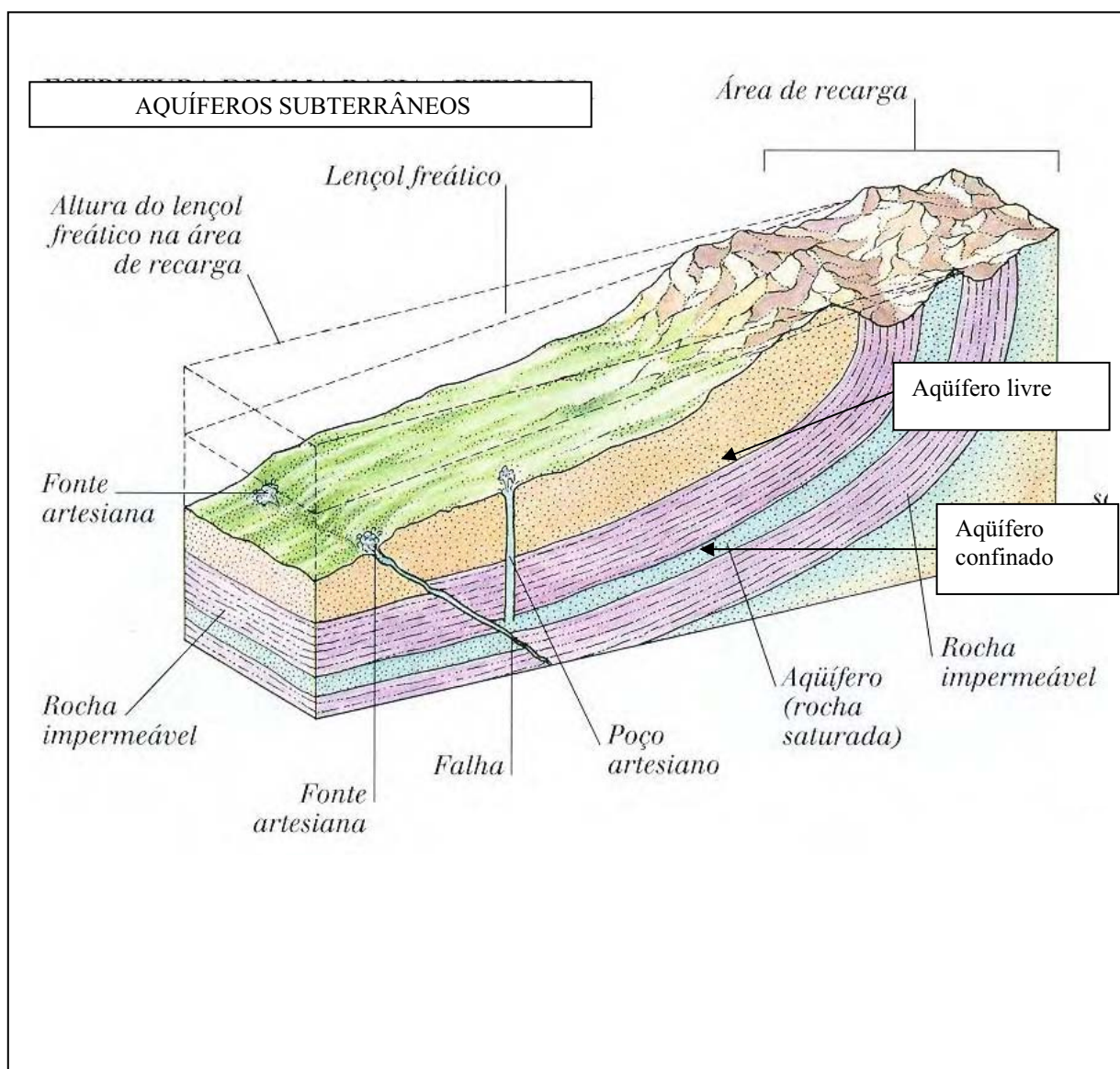


Figura 5 – Sistemas de aquíferos
(modificado de TEIXEIRA, et al. 2000).

3.1.2 Contaminação

Contaminação é definida como a introdução no meio ambiente de organismos patogênicos, substâncias tóxicas ou outros elementos, em concentrações que possam afetar a saúde humana, portanto é um caso particular de poluição (CETESB, 2004).

Poluição é definida através da Lei Estadual nº. 6938/81 como sendo a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- Prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- Criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- Afetem desfavoravelmente a biota;
- Afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- Lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

A Lei Estadual Nº. 997, de 31 de Maio de 1976, que dispõe sobre o controle da poluição ambiental no Estado de São Paulo, apresentam a seguinte definição para o termo poluição:

Considera-se poluição do meio ambiente a presença, o lançamento e a liberação, nas águas, no ar ou no solo, de toda e qualquer forma de matéria e energia, com intensidade, quantidade e concentração em desacordo com as que forem estabelecidas em lei, ou que tornem ou possam tornar as águas, o ar ou solo:

- Impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde;
- Inconvenientes ao bem-estar público;
- Danosos aos materiais, à fauna e à flora;
- Prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

3.1.3 Risco de contaminação das águas subterrâneas

O risco de contaminação das águas subterrâneas pode ser definido como a probabilidade de um aquífero sofrer impactos negativos a partir de atividades antrópicas, até um nível que essas águas se tornem inaceitáveis à saúde humana de acordo com os valores orientadores para a qualidade da água potável (FOSTER, et al. 2002).

Os resíduos provenientes de atividades domésticas comerciais, industriais, agrícolas ou minerais, potencialmente contaminantes, podem comprometer a qualidade das águas dos aquíferos quando a carga de contaminantes excederem a capacidade natural de atenuação do subsolo e dos estratos que compõem a zona não saturada dos mesmos. O maior risco de contaminação se refere aos aquíferos não confinados, principalmente por apresentarem pequena espessura em sua zona não saturada.

O risco de contaminação de aquíferos em qualquer localização pode ser determinado considerando a interação entre a carga contaminante aplicada na superfície do solo e a vulnerabilidade do aquífero (FOSTER, et al. 2002).

Sendo assim, podemos ter em uma determinada região uma vulnerabilidade extrema, mas nenhum risco de contaminação caso não existir uma fonte de contaminação instalada no local e vice-versa (FOSTER, et al. 2002).

3.1.4 Fontes de contaminação e tipos de contaminantes

A contaminação das águas subterrâneas e os problemas gerados devido à existência destas podem ser originados a partir de uma enorme quantidade de tipos de fontes potenciais de contaminação.

Uma fonte de contaminação é o local onde foi gerada a contaminação ou onde funciona ou funcionou uma atividade potencialmente contaminante.

As principais fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas são: os lixões, acidentes com substâncias tóxicas, atividades inadequadas de armazenamento de poluentes, manuseio inadequado e descarte de matérias primas, produtos, efluentes e resíduos. Atividades de extração de minérios que expõem o aquífero, vazamentos de redes coletoras de esgotos, uso incorretos de agrotóxicos e fertilizantes, bem como a irrigação que pode provocar problemas de salinização ou aumentar a lixiviação de contaminantes para a água subterrânea, são também consideradas fontes potenciais de contaminação (CETESB, 2004).

Outra forma de contaminação das águas subterrâneas ocorre quando contaminantes são lançados diretamente no aquífero, por meio de poços absorventes, sem passar pelas camadas de solo. Poços mal construídos ou mal operados tornam-se caminhos preferenciais para que os contaminantes atinjam diretamente as águas subterrâneas.

A exploração das águas subterrâneas além das capacidades naturais do aquífero pode favorecer a entrada de águas de qualidade indesejável no poço, como por exemplo, de rios poluídos e plumas de contaminação de áreas vizinhas, colocando em risco a saúde humana.

De acordo com Fetter (1993), as fontes de contaminação das águas subterrâneas podem ser consideradas também como fontes de contaminação do solo, classificando-as em seis categorias:

- Fontes projetadas para descarga de substâncias no subsolo: tanques sépticos e fossas negras (normalmente descarregam efluentes de origem doméstica, vários tipos de compostos orgânicos e inorgânicos), poços de injeção de substâncias perigosas, águas salgadas da exploração de petróleo, erros na construção de poços ou falhas de projetos, aplicação de efluentes domésticos ou industriais no solo, lodos de tratamento de água utilizados como fertilizantes “landfarming”, resíduos oleosos de refinarias;
- Fontes projetadas para armazenar, tratar e/ou dispor substâncias no solo: áreas de disposição de resíduos (aterros sanitários e industriais, lixões, botas-fora, etc.), lagoas de armazenamento e tratamento de vários tipos de efluentes industriais, depósitos ou pilhas de resíduos de mineração, tanques de armazenamento de substâncias, aéreos ou subterrâneos;

- Fontes projetadas para reter substâncias durante o seu transporte: oleodutos, tubulações para o transporte de esgoto e efluentes industriais, transporte de substâncias químicas e combustíveis por meio de caminhões e trens;
- Fontes utilizadas para descarregar substâncias como consequência de atividades planejadas: a irrigação ou fertirrigação de lavouras, aplicação de pesticidas e fertilizantes na lavoura e percolação de poluentes atmosféricos;
- Fontes que funcionam como um caminho preferencial para que os contaminantes entrem em um aquífero: poços de produção de petróleo e poços de monitoramento com falhas de construção e projeto;
- Fontes naturais ou fenômenos naturais associados às atividades humanas: interação entre águas subterrâneas e superficiais contaminadas, ocorrência natural de substâncias inorgânicas nas águas subterrâneas, intrusão salina; contaminação do solo e das águas subterrâneas ocasionadas pelos gases de processos produtivos ou outras fontes de poluição atmosférica (por exemplo, veículos automotivos), quando estes, contendo substâncias perigosas de alta toxicidade, podem ser lançados à atmosfera e se infiltrarem no solo, carregados pelas águas de chuva.

No Estado de São Paulo, segundo a CETESB (2006) os principais tipos de contaminantes encontrados em áreas contaminadas são basicamente:

- Solventes aromáticos;
- Combustíveis líquidos;
- Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs);
- Metais pesados;
- Solventes halogenados;
- Nitratos;
- Microorganismos.

Tabela 2 - Fontes de contaminação e tipos contaminantes
(FOSTER, et al. 2002).

Fontes de Contaminação	Contaminantes
Atividade Agrícola	Nitratos, amônia, pesticidas, organismos fecais.
Saneamento Básico	Nitratos, hidrocarbonetos halogenados, microorganismos.
Postos de Combustíveis e Estacionamento	Hidrocarbonetos aromáticos, benzeno, fenóis, hidrocarbonetos halogenados.
Disposição de Resíduos Sólidos	Amônia, salinidade, hidrocarbonetos halogenados, metais pesado.
Indústrias Metalúrgicas	Tricloroetileno, tetracloretileno, hidrocarbonetos halogenados, fenóis, metais pesados, cianeto.
Tintas e Esmaltes	Hidrocarbonetos halogenados, metais, hidrocarbonetos aromáticos, tetracloretileno.
Indústria madeireira	Pentaclorofenol, hidrocarbonetos aromáticos, hidrocarbonetos halogenado.
Fabricação de Pesticidas	Hidrocarbonetos halogenados, fenóis, arsênio.
Disposição de lodos residuais	Nitratos, hidrocarbonetos halogenados, fenóis.
Curtumes	Cromo, hidrocarbonetos halogenados, fenóis.
Exploração /Extração de Gás e Petróleo	Salinidade (cloreto de sódio), hidrocarbonetos aromáticos.
Minas de Carvão e Metais	Acidez, metais pesados, ferro, sulfatos.

As Figuras 6, 7 e 8 ilustram os processos comuns de contaminação das águas subterrâneas.

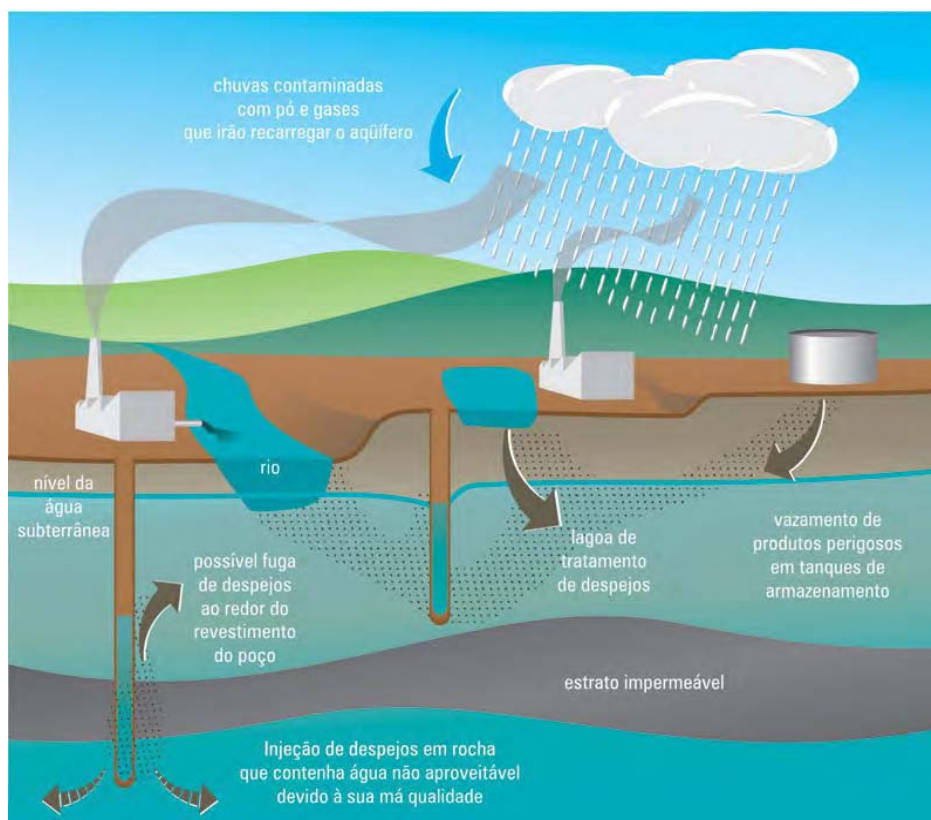


Figura 6 – Processos de contaminação por das atividades industriais (CEPIS, 2007).

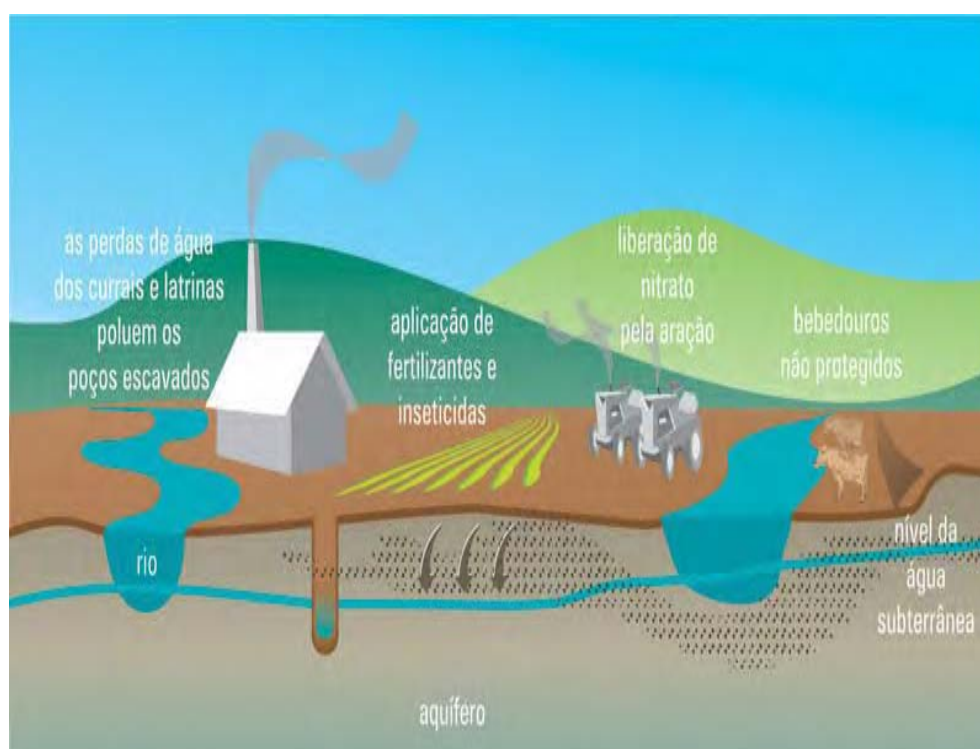


Figura 7 – Processos de contaminação por atividades agropecuárias (CEPIS, 2007).

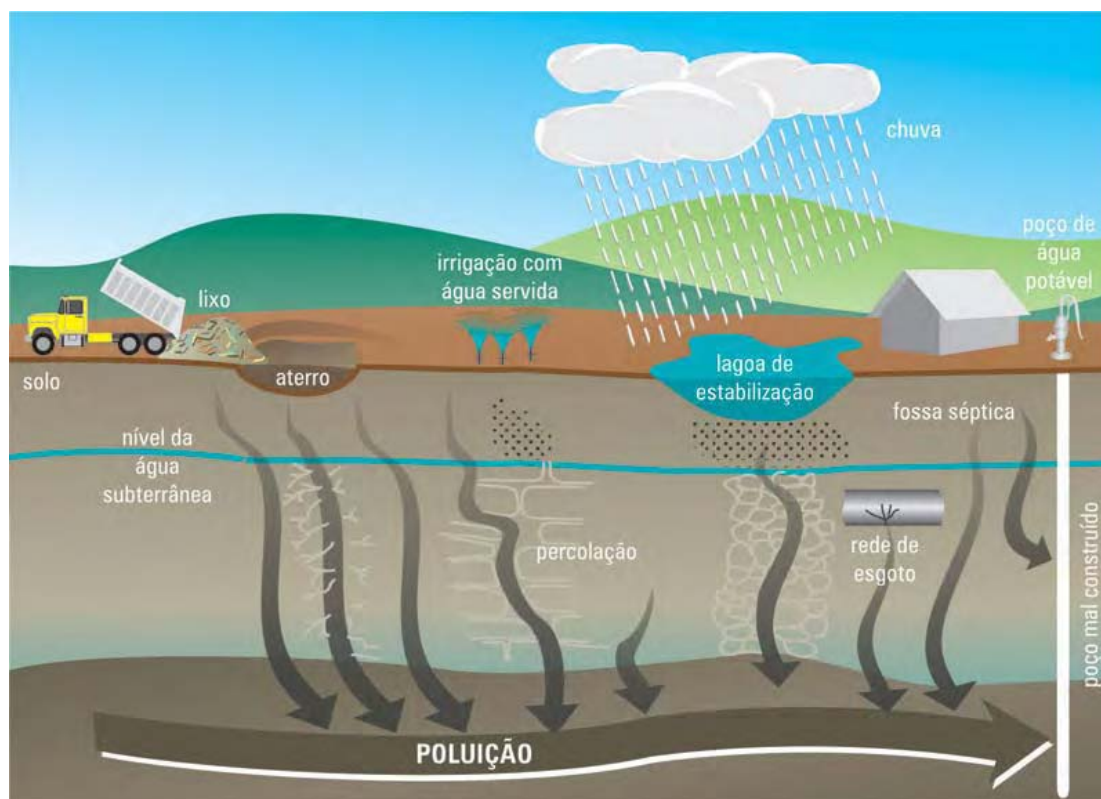


Figura 8 – Processos de contaminação por atividades urbanas (CEPIS, 2007).

3.2 Atenuação Natural

O termo atenuação é definido como qualquer decréscimo na concentração de um contaminante, (WATSON; BURNETT, 1995).

Os mecanismos de atenuação e migração de poluentes agem diferentemente nas zonas subterrâneas, de acordo com a presença e/ou ausência de água.

Os principais processos de atenuação se referem a processos físicos, químicos e biológicos,

A Tabela 3 indica esses processos e os efeitos da atenuação nas zonas saturada e não saturada.

Tabela 3 - Processos e efeitos da atenuação de contaminantes
(modificado de MEAULO, 2004).

Processos Físicos	Descrição	Efeitos
Filtração	Solos e rochas podem filtrar partículas em suspensão na água subterrânea	Reduz a concentração de contaminantes em suspensão
Dispersão Hidrodinâmica	A água subterrânea flui mais rapidamente em alguns poros e fraturas que em outros. Há mistura de águas contaminadas e não contaminadas.	Reduz a concentração, mas aumenta a área atingida pelos contaminantes.
Advecção (Fluxo Subterrâneo)	A água subterrânea flui através de poros e fraturas em solos e rochas	Transporta contaminantes dissolvidos ou em solução
Separação Gravimétrica	Líquidos menos densos que a água, como a gasolina, tendem a flutuar no topo dos aquíferos, enquanto os mais densos tendem a localizar-se nas porções baseais destes.	Dependendo da densidade do contaminante, pode criar zonas de concentração, no topo ou na base dos aquíferos.
Volatilização	Contaminantes voláteis evaporam do lençol freático para a zona não saturada ou para a atmosfera.	Reduz a concentração de contaminantes voláteis.
Variação térmica	O calor dos contaminantes afeta as propriedades físicas da água e as propriedades químicas dos resíduos (por exemplo, viscosidade).	Contaminantes com temperatura elevada.

Decaimento Radioativo	Rearranjo na estrutura atômica, com a formação de elemento mais estável e emissão de energia.	Reduz a concentração dos contaminantes radioativos, segundo taxas previsíveis, mas com emissão de radioatividade.
Processos Químicos	Descrição	Efeitos
Absorção e Troca Iônica	Alguns contaminantes dissolvidos tendem a aderir às superfícies dos minerais	Reduz a concentração e ou velocidade de migração
Reação de Oxiredução	Alterações da estrutura molecular e propriedades iônicas dos contaminantes	Pode alterar a toxicidade, comportamento químico e mobilidade dos contaminantes.
Hidrólise	Reação com água, a qual altera a natureza iônica e molecular dos contaminantes.	Reduz a concentração dos contaminantes
Complexação	Contaminantes dissolvidos associam-se a outros compostos para formar novos compostos.	Pode aumentar a mobilidade dos contaminantes e alterar o comportamento químico
Processos Biológicos	Descrição	Efeitos
Transformação Microbioquímica	Bactérias e outros microorganismos alteram ou decompõem contaminantes orgânicos e alguns inorgânicos através de reações enzimáticas e de respiração	Reduz a concentração de alguns contaminantes. Pode criar novos produtos tóxicos

3.3 Vulnerabilidade

3.3.1 Conceitos e princípios

A expressão vulnerabilidade começou a ser usada a partir da década de 70 na França e indicava o grau de suscetibilidade de um aquífero de ser afetado por uma carga de contaminantes, (ALBINET; MARGAT, 1970).

Segundo Foster (1987), a vulnerabilidade de um aquífero à contaminação está relacionada com as características naturais dos estratos da zona não saturada de um aquífero, quando exposto a uma carga contaminante aplicada na superfície do solo.

3.3.2 Métodos de Avaliação da Vulnerabilidade de Aquíferos

Existem diferentes métodos para a avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos, como por exemplo:

Método Hölting - método adotado no Estado da Baviera, Alemanha, que considera as características do solo na avaliação da vulnerabilidade natural do aquífero (GERMAN GEOLOGICAL SURVEY, 1994);

Modelos analógicos - método que utiliza parâmetros chaves, aplicando expressões matemáticas que resultam nos índices de vulnerabilidade (MONKHOUSE, 1983).

Sistema paramétrico - método que utiliza parâmetros indicativos de vulnerabilidade natural, atribuindo valores numéricos e integrando-os para gerar o índice de vulnerabilidade. Utilizam esse sistema os métodos Haertle (1983); Drastic e Aller (1987); GOD de Foster e Hirata (1988) e Foster, et al. (2002).

3.3.3 Método GOD para a avaliação da vulnerabilidade

O método GOD, desenvolvido por Foster e Hirata (1988), e modificado por Foster, et al. (2002) utiliza parâmetros indicativos de vulnerabilidade, atribuindo valores numéricos e integrando-os para gerar o índice de vulnerabilidade. Esse método considera a interação dos seguintes fatores:

- A forma de ocorrência da água subterrânea (tipo de aquífero);
- O arcabouço litológico que sustenta o aquífero na zona não saturada;
- A profundidade do nível da água.

Os princípios básicos do método GOD para o mapeamento da vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos fundamentam-se em dois aspectos:

- Nos mecanismos de recarga da água subterrânea;
- Na capacidade de atenuação natural dos contaminantes pelo solo,

Esses dois aspectos podem variar em função das condições geológicas do terreno.

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 de alguns parâmetros geralmente disponíveis ou facilmente determinados, cujas iniciais na língua inglesa dão o nome ao método:

G: groundwater hydraulic confinement - Grau de confinamento hidráulico;

O: Overlaying strata - Ocorrência de estratos geológicos e grau de consolidação da zona não saturada ou camadas confinadas.

D: Depth groundwater table - Distância da água como profundidade até o lençol freático 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.

O índice de vulnerabilidade GOD, caracteriza a vulnerabilidade à contaminação de aquíferos, em função de fatores e parâmetros especificados no Tabela 4.

Tabela 4 – Fatores e parâmetros que controlam a vulnerabilidade
(modificado de FOSTER et al. 2002).

Fatores hidrogeológicos	Parâmetros (dados hidrogeológicos)
Inacessibilidade hidráulica da zona não saturada, para a penetração de poluentes.	Grau de confinamento do aquífero.
	Profundidade do NA ou superfície freática.
	Umidade da zona não saturada; Condutividade hidráulica vertical do estrato na zona não saturada ou camadas confinadas.
Capacidade de atenuação da zona não saturada, resultando na retenção e/ ou reação físico-química dos poluentes.	Características litológicas dos estratos Granulometria e distribuição das fissuras nos estratos da zona não saturada ou camadas confinadas.
	Mineralogia dos estratos da zona não saturada ou camada confinante.

O índice GOD é um índice absoluto e integrado à contaminação de aquíferos, sendo mais generalizado e conseqüentemente menos dispendioso que os índices relativos, que são específicos para cada contaminante e cenários de contaminação.

A aplicação do índice GOD pode ser realizada sempre que cada classe de vulnerabilidade à contaminação estiver definida de forma clara e concreta.

As classes de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos variam de desprezível a extrema, conforme as características dos estratos geológicos na zona não saturada e a ocorrência e profundidade do nível d'água subterrâneo.

A Tabela 5 apresenta as Classes de Vulnerabilidade à contaminação de aquíferos e as definições correspondentes.

Tabela 5 - Classes de vulnerabilidade à contaminação
(modificado de FOSTER, et al. 2002).

Classes de vulnerabilidade	Definição correspondente
Extrema	Vulnerável a maioria dos contaminantes de rápido impacto na água. Aplicável em inúmeros cenários de poluição. Imprescindível à realização de estudos quantitativos e qualitativos de detalhe (ensaio laboratoriais e geofísicos) para todas as instalações de empreendimentos potenciais à poluição do solo e da água.
Alta	Vulnerável a vários contaminantes (exceção para os fortemente absorvidos) em muitos cenários de poluição. Necessário realizar estudos qualitativos e quantitativos (geofísicos) que identifiquem as condições hidrogeológicas locais.
Moderada	Apresenta capacidade atenuadora mais eficaz que as classes alta e extrema. Resíduos e/ ou efluentes resultam em risco de contaminação quando são continuamente descartados ou em situação de vazamento. Necessário realizar estudos de detalhe qualitativos e específicos para cada tipo de empreendimento.
Baixa	Somente vulnerável para contaminantes conservativos (baixa mobilidade), quando continuamente e largamente descartados ou em situação de vazamento. Necessários estudos de detalhe qualitativo para cada tipo de empreendimento.
Desprezível	Presente em camadas confinadas com insignificante fluxo subterrâneo vertical.

O Mapa de Vulnerabilidade de Aqüíferos é elaborado através do Índice Final de Vulnerabilidade GOD, que é obtido da integração dos índices **G** (Grau de Confinamento da Água Subterrânea), **O** (Ocorrência de estratos geológicos) e **D** (Profundidade do Nível da Água).

O levantamento desses índices é realizado em três etapas distintas:

1ª Etapa – Índice G

Identifica-se o Grau de Confinamento Hidráulico do aqüífero e atribuindo um valor a esse parâmetro na escala de 0,0 a 1,0.

A Figura 9 ilustra os atributos que compõe a 1ª fase:

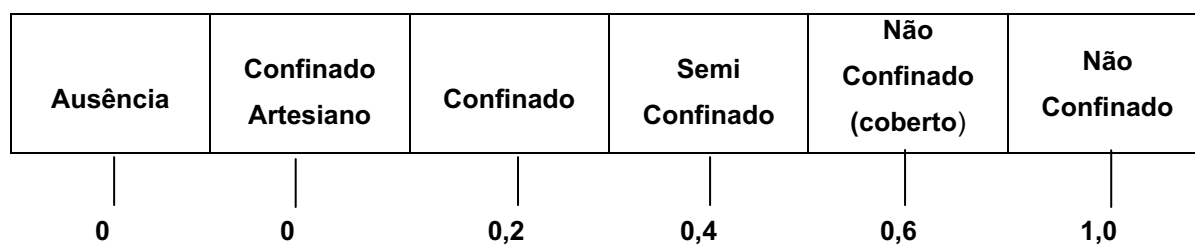


Figura 9 - 1ª FASE: Grau de confinamento hidráulico da água subterrânea

2ª Etapa - Índice O

Identificam-se as características litológicas do substrato que recobre a zona não saturada do aquífero em termos de:

- (a) grau de consolidação e,
- (b) tipo de litologia

Atribuindo-se um valor a esse parâmetro em uma escala de 0,4 a 1,0.

A Figura 10 ilustra os atributos que compõe a 2ª fase.

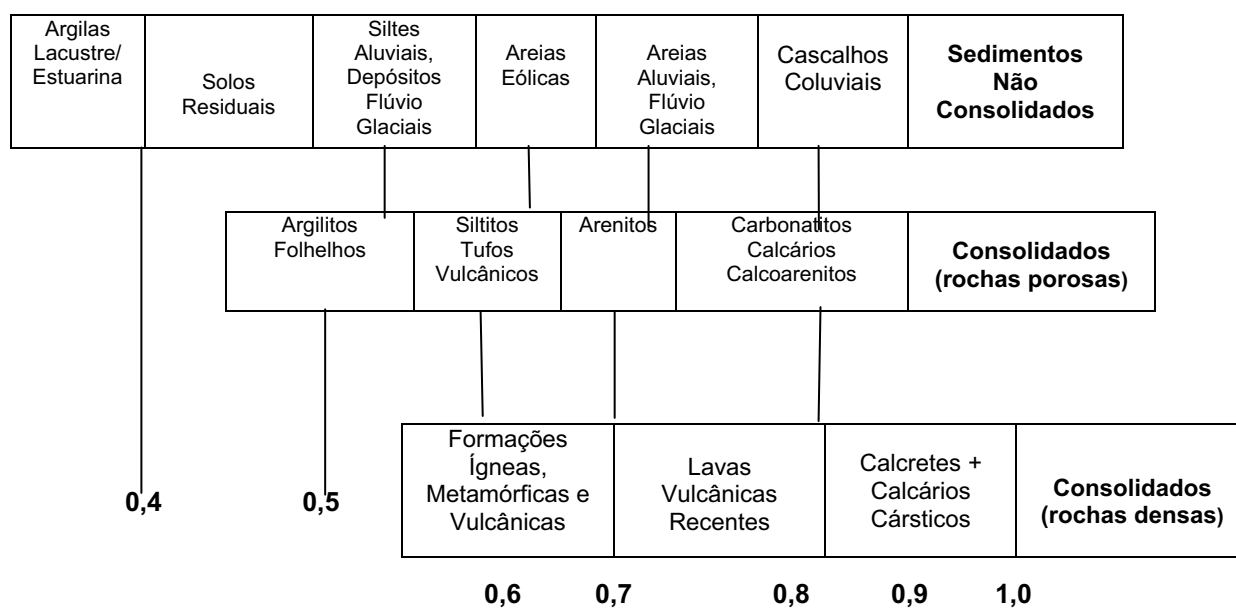


Figura 10 - 2º FASE: Ocorrência de estratos geológicos.

3ª Etapa – Índice D

Nesta etapa deve-se estimar a distância da superfície do solo até o nível da água (em aquíferos não confinados) ou a profundidade até a superfície do primeiro aquífero (em aquíferos confinados) atribuindo um valor a esse parâmetro em uma escala de 0,6 a 1,0.

A Figura 11 ilustra os atributos que compõe a 3ª fase.

> 50	20/ 50	05- 20	< 5	Todas as Profundidades
0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

Figura 11 - 3º FASE: Profundidade (m) do nível d'água subterrâneo.

Portanto, o índice Final Integrado de Vulnerabilidade de aquíferos GOD é o produto dos índices G, O e D, obtidos em cada uma das etapas mencionadas, que varia de 0,0 a 1, 00, conforme demonstrado na Figura 12.

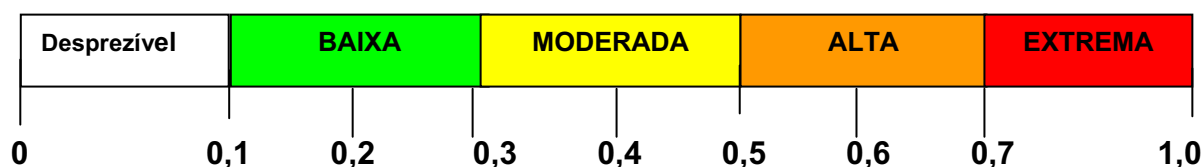


Figura 12 - Índice de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos.

Fonte: ((modificado de Foster, et al.2002)

O método GOD considera além do comportamento hidrogeológico do aquífero, outros fatores, tais como as cargas potenciais contaminantes e a mobilidade natural e persistência desses contaminantes na zona não saturada decorrentes dos diversos usos e ocupação do solo por atividades antrópicas. Entretanto, esses fatores não aparecem no mapeamento da vulnerabilidade, pois a vulnerabilidade depende somente das características do aquífero.

Para realizar a avaliação da vulnerabilidade com o método proposto é necessário: a utilização de mapas hidrogeológicos, informações básicas sobre recursos hídricos subterrâneos e informações complementares obtidas por meio de estudo de mapas geológicos, registros de perfurações locais e em alguns casos com investigações de campo.

A escala de representação 1:1.000.000, é normalmente utilizada para ao planejamento regional e em nenhuma hipótese poderá substituir estudos específicos necessários à implantação de atividades potencialmente poluidoras.

A Figura 13 elucida o sistema de avaliação do índice de vulnerabilidade através da espacialização dos atributos que compõem o método GOD, utilizados na confecção do Mapa de Vulnerabilidade.

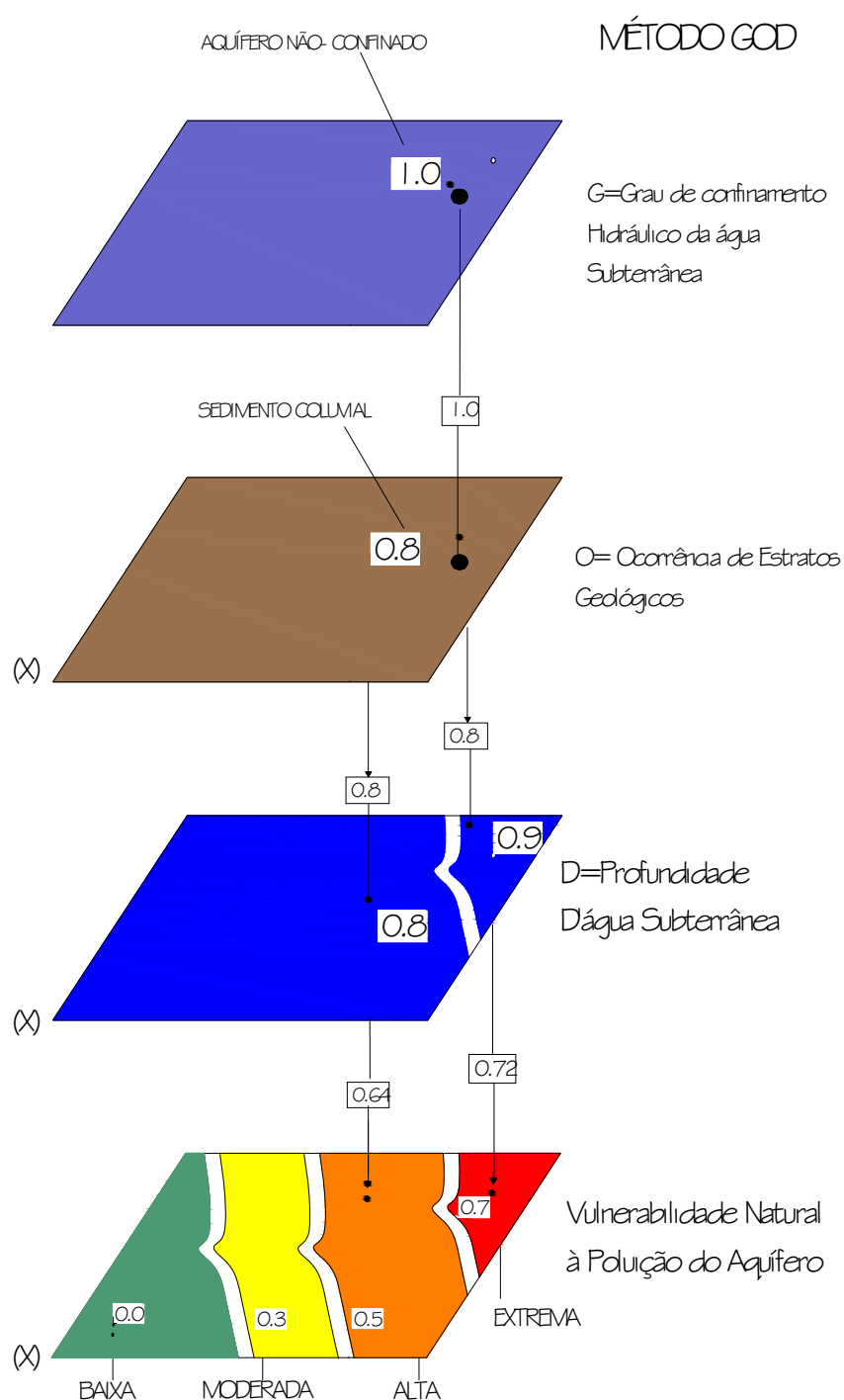


Figura 13 - Sistema de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos
Fonte: (modificado de FOSTER, et al. 2002).

Por outro lado, o risco de contaminação dos recursos hídricos subsuperficiais em uma determinada região poderá ser determinado através da interação do mapa de vulnerabilidade e uma carga contaminante aplicada na superfície do solo. A existência de atividades potencialmente geradoras de cargas contaminantes na área

de estudo, isto é, atividades que podem gerar emissões de contaminantes no ambiente subterrâneo indicam a necessidade da realização do inventário de cargas contaminantes da área (identificar, classificar e estimar a carga contaminante no subsolo). Esse levantamento é imprescindível em qualquer programa de proteção da qualidade da água. A figura 14 apresenta um esquema conceitual da avaliação de risco proposto por Foster, et al. (2002).

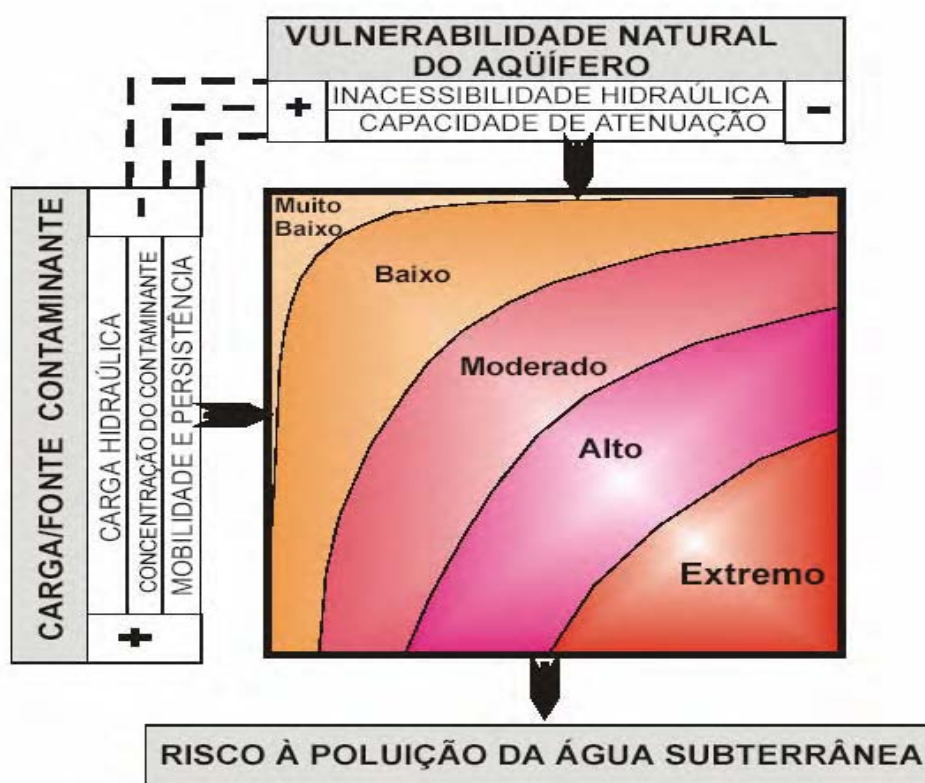


Figura 14 – Esquema conceitual de avaliação de risco
Fonte: (modificado de FOSTER, et al. 2002).

3.3.4 Exemplos de aplicação do método GOD

Lima Filho, et al. (2004) apresentam o Mapa de Risco de Poluição do Aquífero Beberibe, para a área da Região Metropolitana do Recife, compreendida entre as faixas costeiras norte do Estado de Pernambuco e norte do Estado do Rio Grande do Norte. O Mapa de Risco foi elaborado através da sobreposição do Mapa de Vulnerabilidade, obtido a partir de informações hidrogeológicas de 72 poços e do mapa de cargas contaminantes. Para a elaboração do mapa de cargas de

contaminantes foi realizado o levantamento das principais fontes de contaminação da área: hospitais, postos de gasolina, cemitérios, indústrias, lixões e atividades agrícolas. A área é caracterizada pela presença de centros urbanos densamente povoados, além de comportar dois importantes distritos industriais. Neste mapa as áreas de Risco Maximo e Alto estão localizadas na região de maior concentração de atividades antrópicas e de vulnerabilidade alta.

Gomes, et al. (2004) em seu trabalho de Mapeamento de Áreas de Risco de Contaminação do Aquífero Livre, em função da ocupação do solo, para o município de Pereira Barreto - SP, avaliaram os impactos relativos à elevação do nível do lençol freático devido à implantação da usina hidrelétrica de Três Irmãos (no Rio Tietê). As áreas foram delimitadas, sendo que as áreas de alto risco foram as de plantio de cana de açúcar, milho e laranja, devido à fertilização por compostos nitrogenados e uso de pesticidas. No núcleo urbano, foram avaliadas as áreas de infiltração de chorume em lixões, de necrochorume resultante da decomposição de corpos (cemitério) e de vazamentos de esgotos em fossas.

Camponogara et al. (2004) preocupados com a contaminação das águas subterrâneas do município de Soledade (RS) por fontes oriundas de produtos utilizados na agricultura, despejos industriais e de resíduos sólidos domiciliares, elaboraram o Mapa de Vulnerabilidade utilizando informações de 14 poços de abastecimento de água. Os dados tabulados foram transferidos para o programa SURFER 8.0 para interpolação, gerando mapas temáticos espacializados e georeferenciados em SIG - Sistema de Informações Geográficas.

A análise em relação às áreas suscetíveis à contaminação foi realizada a partir desses cartogramas gerando o Mapa de Risco da área.

Yamada (2006) apresenta o Mapa de Vulnerabilidade à Contaminação das Águas Subterrâneas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Negros, no município de São Carlos (SP). A área objeto do estudo, de significativo valor histórico e cultural, sofre influência da expansão urbana. Para a elaboração do mapa foram utilizados dados hidrogeológicos de 14 poços profundos fornecidos pelo SAAE (Sistema Autônomo de Água e Esgotos). As informações foram aplicadas com o uso de sistemas de informação geográfica (SIG) resultando no mapa de vulnerabilidade do aquífero em escala 1:10. 000.

Meaulo (2004) elaborou o Mapa de Vulnerabilidade em escala 1:50. 000 de parte da área urbana e rural do município de Araraquara (SP).

No estudo foram utilizados os dados das folhas topográficas referentes à micro bacia hidrográfica do Ribeirão dos Negros, onde foram vetorizadas as curvas de nível, cursos d'água e olhos d'água, imagem de satélite, cadastramento de poços escavados, publicações e unidades geológicas regionais encontradas na área de estudo. Os resultados permitiram classificar a vulnerabilidade das formações geológicas Botucatu e Serra Geral (Alta), Adamantina (Baixa a Moderada) e os sedimentos recentes (Extrema).

4 CARACTERÍSTICAS REGIONAIS

4.1 Bacia hidrográfica

De acordo com o Sistema de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, o município de Araçatuba encontra-se na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº19, correspondente à Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê, que se localiza a noroeste do Estado de São Paulo, (DAEE, 2000).

A área da Bacia do Baixo Tietê é de aproximadamente 15.481 km², sendo seu perímetro avaliado em 580 km.

A UGRHI 19 limita-se ao norte com a UGRHI 18, da Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados, ao sul com a UGRHI 20, da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, a leste com a UGRHI 16, da Bacia Hidrográfica do Tietê/Batalha e, a oeste com o Estado de Mato Grosso do Sul, cuja divisa é formada pelo Rio Paraná, (DAEE, 2000).

De acordo com a Contagem Populacional do IBGE, realizada no ano de 1996, a população total da UGRHI do Baixo Tietê era de 646.255 habitantes ou cerca de 2% da população do Estado.

Araçatuba destaca-se do conjunto por ser o município de maior porte, possuindo cerca de 180.000 habitantes.

A distribuição da população urbana e rural da UGRHI do Baixo Tietê revela uma predominância da primeira, seguindo a tendência que se observa para o conjunto do Estado de São Paulo (DAEE, 2000).

A Figura 15 mostra a projeção da população na UGRHI do Baixo Tietê de 2000 até 2010.

População

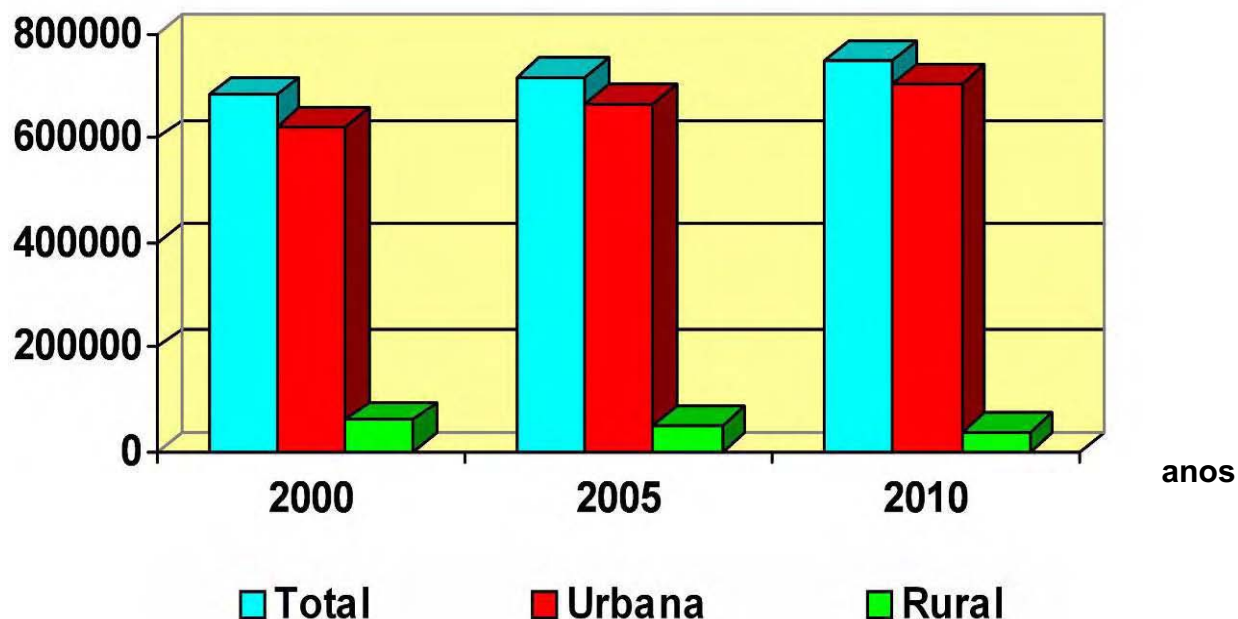


Figura 15 - Projeção de crescimento da população da UGRHI do Baixo Tietê
Fonte: (DAEE, 2000).

A maior parte do município de Araçatuba (95,4%) encontra-se na bacia hidrográfica do rio Tietê. Apenas 4,89% do município está na bacia hidrográfica do rio Aguapeí. O Ribeirão Baguaçu é o principal afluente do Rio Tietê nessa região, englobando grande parte da área do município em sua bacia hidrográfica (DAEE, 2000). A Figura 16 mostra a UGRHI - 19 com seus rios principais e municípios.

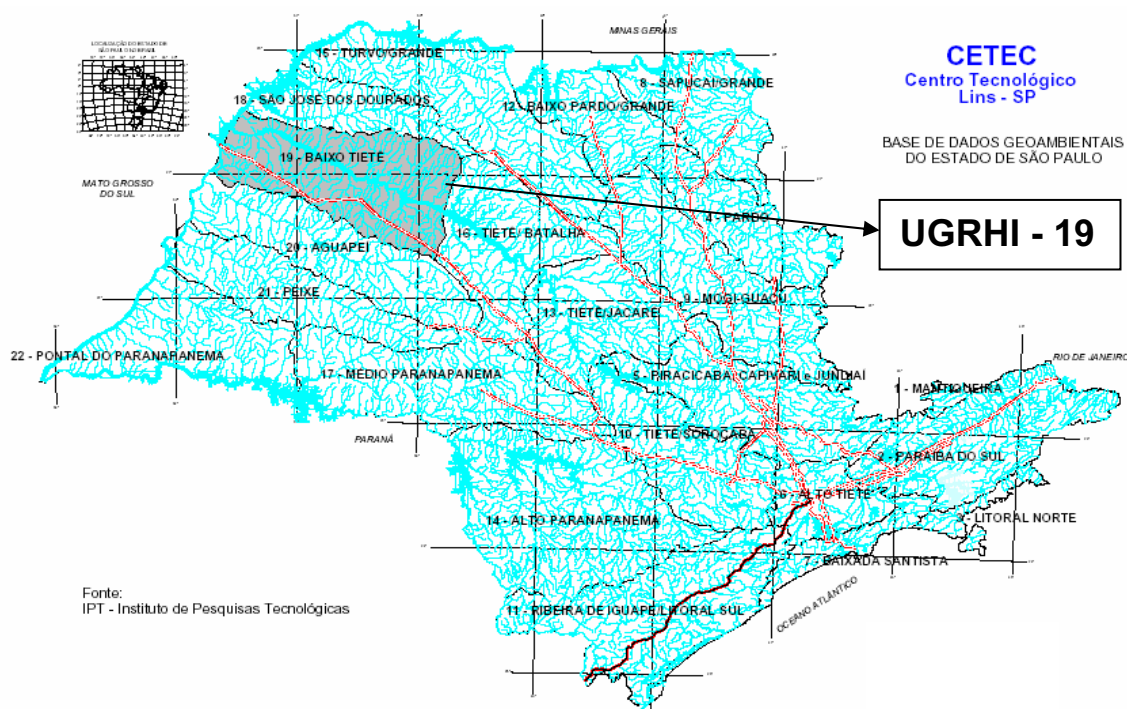


Figura 16 - Mapa Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê

Fonte: (DAEE, 2000).

4.2 Relevo

O Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981) está subdividido em cinco províncias geomorfológicas, com base em sistemas de relevo como mostra a Figura 17, sendo:

Planície Costeira;

Planalto Atlântico;

Depressão Periférica;

Cuestas Basálticas; e

Planalto Ocidental, com altitudes que podem atingir até 2000 metros.

O Planalto Ocidental, região onde está localizada a Bacia do Baixo Tietê (município de Araçatuba), estende-se a partir da linha das Cuestas Basálticas (Botucatu) até a calha do Rio Paraná e ocupa quase a metade do território.

É caracterizado pela presença de formas de relevo levemente onduladas com longas encostas e baixas declividades, representadas fundamentalmente por Colinas Amplas e Colinas Médias. Os dois tipos de relevos estão sujeitos ao controle estrutural das camadas sub-horizontais dos arenitos do Grupo Bauru e das rochas basálticas da formação Serra Geral (PERROTA, et al. 2005).

As formas de relevo suavizadas da Bacia do Baixo Tietê, região de estudo desta pesquisa, são representadas Planaltos Dissecados compostos por Colinas Amplas e Colinas, Planícies Aluviais e Terraços Fluviais. As Colinas Amplas constituem formas de relevo de grandes dimensões, perfil de vertente retilíneo a convexo e topos aplainados. As Colinas Médias constituem formas de relevo sub-niveladas, com topos aplainados e perfil de vertente retilíneo a convexo (DAEE, 2000).

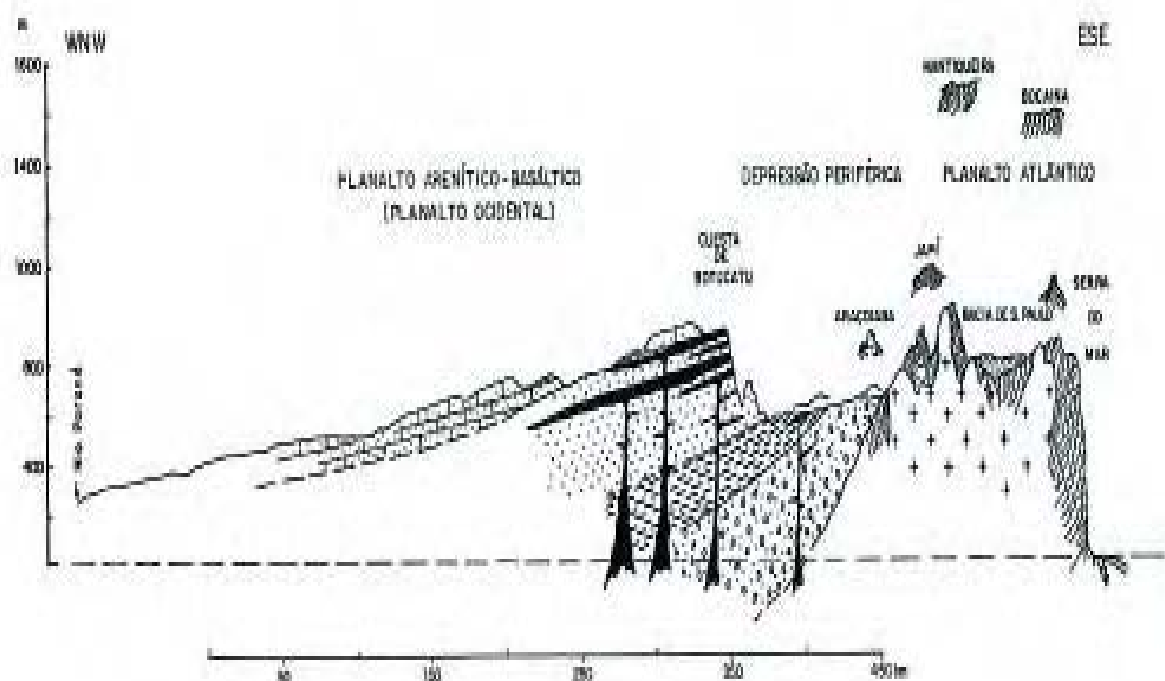


Figura 17- Seção Geomorfológica do Estado de São Paulo
Fonte: (AB' SABER, 1956 apud PERROTA, 2005).

4.3 Substrato Geológico

O substrato geológico da região é composto por rochas sedimentares e vulcânicas de idade mesozóica pertencentes à Bacia do Paraná, juntamente com formações cenozóicas, representadas por depósitos coluvionares e aluvionares antigos e recentes. A Tabela 6 contém uma síntese das unidades geológicas presentes na UGRHI-19.

A Formação Serra Geral aflora ao longo dos vales do Rio Tietê e na confluência dos seus principais afluentes, além da várzea e entorno do Rio Paraná a partir de Jupiá, no sentido montante, até a divisa da bacia.

O pacote de sedimentos do Grupo Bauru, no âmbito da Bacia do Baixo Tietê, é subdividido em duas formações geológicas: Santo Anastácio e Adamantina, ambas dispostas sobre os basaltos da formação Serra Geral.

Estas formações exibem grande variedade de estruturas sedimentares, caracterizadas pela presença de estratificações plano-paralela e cruzada de pequeno porte.

Tabela 6 - Unidades geológicas da Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê (modificado de DAEE, 2000).

CENOZÓICO	Qa DEPÓSITOS ALUVIONARES DEPÓSITOS COLUVIONARES SOLOS RESIDUAIS	Areias e argilas com conglomerados na base.
MESOZÓICO	Ka FORMAÇÃO ADAMANTINA (UNIDADE AQUÍFERA BAURU)	Arenitos finos a muito finos, com teor de matriz variável, lamitos e siltitos, cores creme e vermelhos.
	KSa FORMAÇÃO SANTO ANASTÁCIO (UNIDADE AQUÍFERA BAURU)	Arenitos médios a finos, predominantemente finos, pouca matriz e maciços, cor vermelho escuro.
	Jksg FORMAÇÃO SERRA GERAL (UNIDADE AQUÍFERA SERRA GERAL)	Basaltos toleíticos em derrames tabulares superpostos e arenitos intertrapianos.

A existência de variações regionais fez com que muitos estudiosos dividissem a formação Adamantina em subunidades de mapeamento, sendo uma delas a Formação Araçatuba (K2ar).

A designação Araçatuba foi originalmente empregada para os sedimentos que ocorrem no vale do Rio Tietê e do Rio Aguapeí na região de Araçatuba, cuja espessura máxima é de 70 m. A sua área tipo pode ser verificada no corte da rodovia SP 300, km 548.5, próxima à cidade de Araçatuba. Os depósitos cenozóicos compreendem essencialmente os depósitos aluvionares e coluvionares com distribuição governada pelos grandes cursos d'água, e os materiais de cobertura "in situ" (solos residuais) resultantes da desintegração das rochas encontradas na região. Os depósitos aluvionares constituídos de aluviões, antigos e recentes, são encontrados em faixas estreitas e alongadas e altitudes baixas (planícies aluviais e terraços aluviais), e ao longo das calhas dos principais rios (DAEE, 2005).

Os depósitos coluvionares e solos residuais correspondem aos extensos depósitos de materiais de cobertura inconsolidados, encontrados nas vertentes de rochas tanto sedimentares (Grupo Bauru) como basálticas (formação Serra Geral). Podem ser encontrados também no sopé das vertentes cobrindo porções de terraços aluvionares. Sua granulometria e composição mineralógica refletem a constituição mineralógica dos solos de alteração das respectivas rochas sotopostas.

Quando dispostos sobre os arenitos do Grupo Bauru os depósitos coluvionares tendem a serem arenosos (areias finas e médias) e sobre litologias basálticas, predominantemente argilosas. Suas espessuras médias oscilam em torno de 8 metros, alcançando maiores valores no sopé das vertentes, onde podem alcançar mais de uma dezena metros. De um modo geral os solos residuais são encontrados nos topos mais elevados e nas formas de relevo mais arrasadas, enquanto que os colúvios predominam sobre as encostas e rampas vizinhas às principais linhas de drenagem (DAEE, 2005). A Figura 18 ilustra o mapa geológico:

4.4. Solos

As principais classes de solos existentes na região estão indicadas no Mapa Pedológico, em escala 1:250 000 (Figura20) que contém os principais tipos de solos encontrados na Bacia do Baixo Tietê.

Os solos estão classificados como:

Solos com B Textural:

Solos podzolizados de Lins e Marília – variedade Lins

Solos podzolizados de Lins e Marília – variedade Marília

Solos com B Latossólico:

Latossolo vermelho escuro – fase arenosa

Latossolo roxo

O tipo de solo encontrado no município de Araçatuba, conforme indicado no mapa da Figura 19 é o Latossolo Vermelho Escuro - fase arenosa.

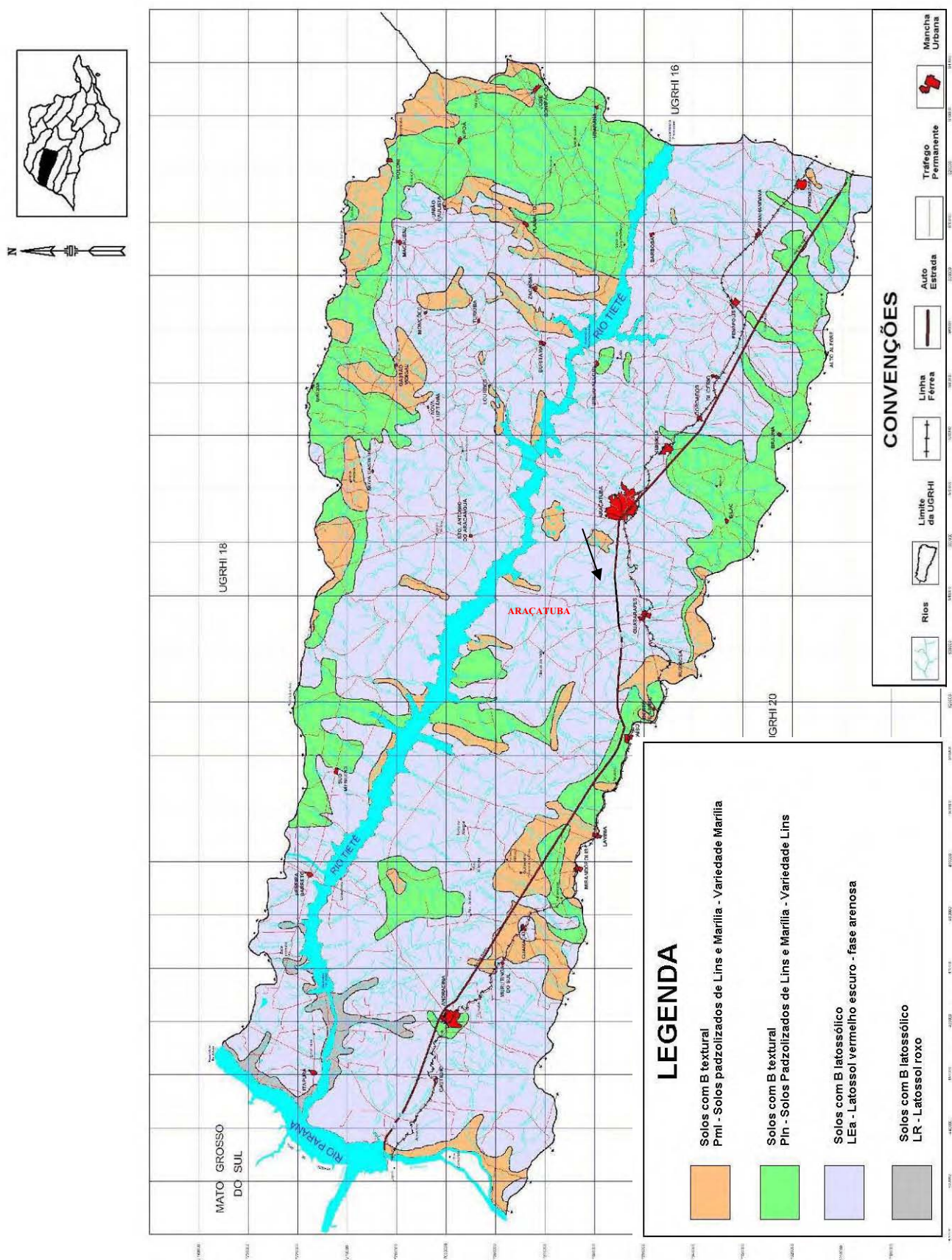


Figura 19 - Mapa Pedológico Estado de São Paulo

Figura 19 - Mapa Pedológico Estado de São Paulo (modificado de DAEE ,2000).

4.5 Características dos sistemas aquíferos

O Estudo das Águas Subterrâneas, desenvolvido pelo DAEE no ano de 1976, classifica as unidades litoestratigráficas que ocorrem na área da Bacia do Baixo Tietê em três grandes sistemas aquíferos: Aquífero Bauru; Aquífero Serra Geral e Aquífero Guarani (Botucatu).

O sistema aquífero Bauru comporta-se como um sistema livre ou freático em toda a sua extensão regional e ocupa aproximadamente a metade oeste do território do Estado de São Paulo como pode ser visualizado no Mapa dos Sistemas Aquíferos (DAEE, 2005). Segundo Fernandes e Coimbra (1992), o aquífero Bauru é constituído de rochas sedimentares do Grupo Bauru e Grupo Caiuá, depositados na Bacia Bauru. Essas formações geológicas foram classificadas segundo as condições de armazenamento e circulação de água nas seguintes unidades hidroestratigráficas: Bauru Médio Superior (Grupo Bauru), Bauru Inferior /Caiuá (Grupo Caiuá). As duas unidades apresentam porosidade granular e contínua, sendo a porosidade não uniforme para o Grupo Bauru e porosidade uniforme para o Grupo Caiuá. As condições de circulação de água subterrânea e o comportamento hidráulico do aquífero Bauru indicam uma situação de recarga natural manifestando-se diretamente a partir das precipitações pluviais que ocorrem na própria bacia superfície potenciométrica apresenta uma configuração nitidamente associada à morfologia dos terrenos. (DAEE, 1979b). Os estudos desenvolvidos por Campos, et al. (2000), indicam que as cotas topográficas da base do aquífero são de cerca de 600 m de altitude nas áreas das Cuestas Basálticas, atingindo até 100 m acima do nível do mar na região de Presidente Epitácio. As rochas sedimentares que compõem o aquífero Bauru acham-se dispostas sobre os basaltos da formação Serra Geral que correspondem ao Sistema Aquífero Serra Geral.

O Sistema Aquífero Serra Geral é um aquífero é constituído por basaltos de grande espessura sob a área da bacia que apresentam fraturas tectônicas e outros tipos de descontinuidades (representados por fraturas de resfriamento verticais ou sub-horizontais) importantes para a circulação e armazenamento da água. Trata-se, portanto, de um aquífero heterogêneo, com porosidade de fissuras, localmente descontínuo e fortemente anisotrópico (DAEE, 2005).

O aquífero aflora em cotas limítrofes das drenagens principais, ou seja, junto ao vale do Rio Tietê e na parte de jusante de seus principais afluentes ao longo de quase todo o eixo longitudinal da Bacia do Baixo Tietê.

O aquífero Serra Geral é recoberto pelo aquífero Bauru e sobrepõe-se ao Sistema Aquífero Botucatu (Guarani). .

O Sistema Aquífero Guarani, na região, ocorre a profundidades elevadas confinado sob o basalto da formação Serra Geral (DAEE, 2005).

A Tabela 7 contém uma síntese das condições hidrogeológicas gerais de ocorrência dessas três unidades aquíferas.

Tabela 7- Síntese das Características Hidrogeológicas dos Aquíferos (DAEE, 2005).

Sistema Aquífero	Unidade Geológica	Tipos e Ocorrências	Permeabilidade Aparente (m/dia)	Transmissividade Aparente (m ² /dia)	Litologia
Bauru	Formação Adamantina	Livre a localmente confinado; porosidade granular; contínuo e não uniforme.	0,1 a 0,3	30 a 50	Arenitos grosseiros imaturos, fortemente carbonatados por cimento, intercalados por lamitos e siltitos.
	Formação Santo Anastácio	Livre a localmente semi-confinado; granular; contínuo e uniforme.	0,3 a 1	50 a 100	Arenitos finos, maciço, baixo teor de matriz.
Serra Geral	Formação Serra Geral	Livre a semi-confinado, porosidade de fissuras, descontínuo elevada anisotropia.	Valores variáveis, devido à descontinuidades e falhas.	Valores variáveis, associado descontinuidades e falhas.	Basaltos toleíticos em derrames tabulares superpostos.
Botucatu	Formação Botucatu e Formação Pirambóia	Regional, confinado, contínuo e uniforme, granular, isotrópico e homogêneo.	1 a 4	300 a 800	Arenitos eólicos, finos, bem selecionados; níveis de lamitos na parte inferior.

Na região a extração de água subterrânea pode ser feita nos aquíferos Bauru, Serra Geral e Guarani. O aquífero Bauru é mais apropriado para aproveitamentos que não requeiram grandes produções. O Serra Geral é o aquífero mais apropriado ao aproveitamento em níveis fraturados com bom potencial de produção, porém necessidade de perfurações mais profundas. O aquífero Guarani tem grande potencial produtivo, mas necessita de perfurações de centenas de metros com a possibilidade de extração de água com altas temperaturas (FURTADO, et al.2006).

5 MATERIAS E MÉTODO

5.1 Materiais

Os materiais utilizados no trabalho para a caracterização da área foram basicamente:

- Perfis de sondagens de subsolo (151);
- Perfis de poços de monitoramento de aquífero freático (45);
- Perfis e dados hidrogeológicos de poços de abastecimento de água (12);
- Estudos de Caracterização Hidrogeológica e de Avaliação de Passivos Ambientais realizados em Postos de Combustíveis (7).
- Geologia de superfície com caminhamento na área e no entorno para uma caracterização preliminar e documentação fotográfica;
- Observação "in loco" dos solos, da rocha decomposta e do embasamento rochoso em áreas de pedreiras e de cortes de terraplenagem;
- Acompanhamento de execução de trabalhos de sondagem de reconhecimento de solo com barrilete amostrador SPT (para obtenção de valores de resistência à penetração; coleta de amostras e medições do nível de água);
- Coleta de amostras de solo nas sondagens para a execução de ensaios para a caracterização do subsolo local;
- Acompanhamento da execução de poços de monitoramento de aquífero freático;
- Observações e medições da posição do nível de água em poços de monitoramento existentes instalados em postos de combustíveis e em sondagens;
- Ensaios e análises laboratoriais de solo: análise granulométrica simplificada (apenas peneiramento) em amostras representativas; análise granulométrica completa (peneiramento e sedimentação) e traçado das respectivas curvas granulométricas, e determinação da porosidade e permeabilidade.;
- Levantamento e localização das principais áreas fontes de contaminação na área de estudo;
- Documentação fotográfica;

- Plano Diretor Urbano da cidade de Araçatuba;
- Imagens da região urbana e do entorno obtidas pelo satélite LANDSAT-7;
- Utilização das ferramentas computacionais Variowin 2.2 e Surfer 8.0

Os trabalhos prévios de sondagens, poços de monitoramento, caracterização hidrogeológica e avaliação de passivos ambientais pertencem ao banco de dados da empresa Oeste Engenharia Ltda., com sede no município de Araçatuba-SP.

5.2 Área de estudo

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 serviços e outros ramos da indústria como a metalúrgica.

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), (ARAÇATUBA, 2006).

A cidade limita-se com os seguintes municípios: Santo Antônio do Aracanguá ao norte, Gabriel Monteiro ao sul, Birigui e Bilac a leste e a oeste com Guararapes, Valparaíso, Lavínia e Andradina (Figura 20).

A população do município é de 180.000 habitantes, sendo que a maioria da população, cerca de 97,1%, está concentrada na área urbana, ocupando apenas 6,3% da área do município.

A área urbana do município está inserida em 4 bacias hidrográficas (sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê): Bacia do Ribeirão Baguaçu, Bacia do Córrego Machado de Mello, Bacia do Córrego Pavan e a Bacia do Córrego dos Espanhóis, como mostra a Figura 21.

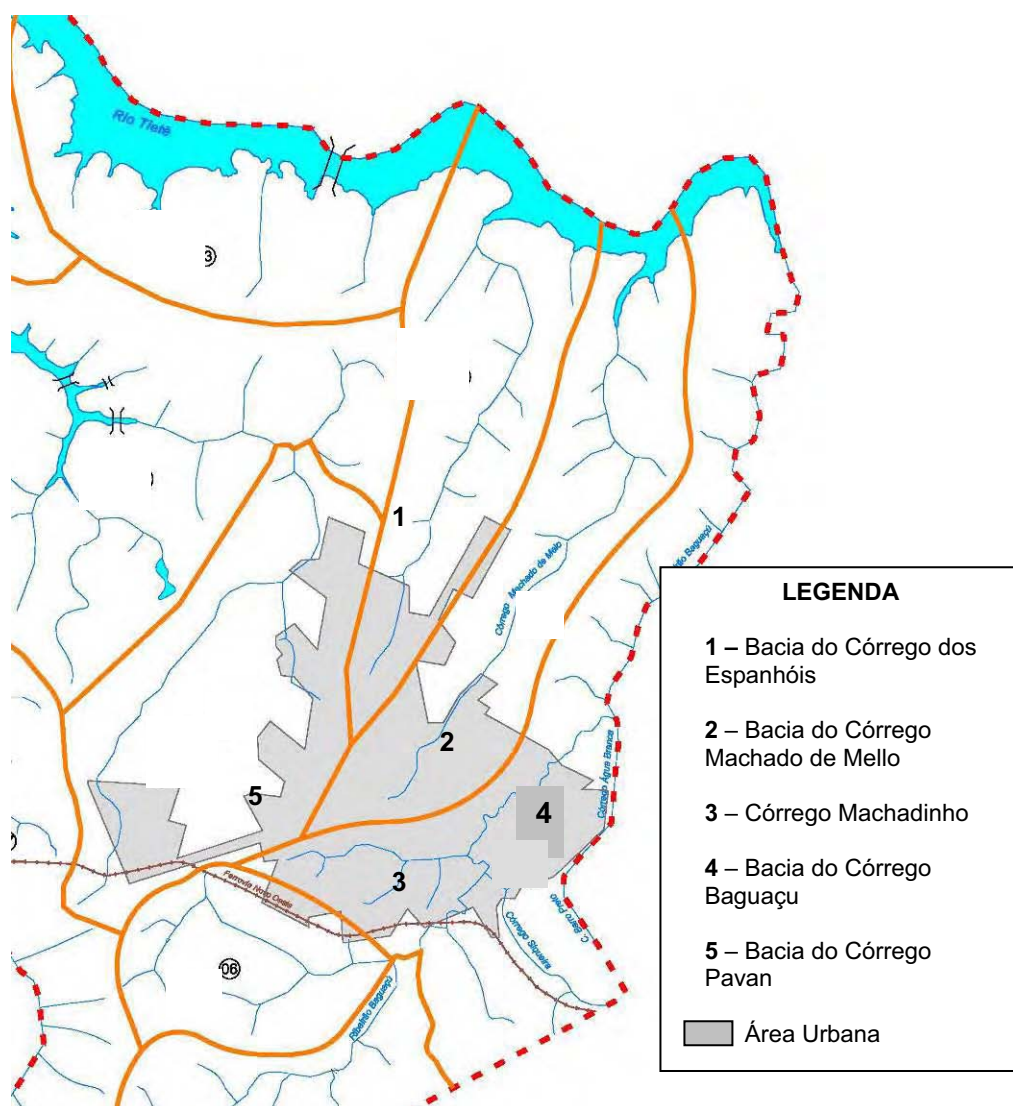


Figura 21 - Localização das bacias hidrográficas do município (modificado de DAEE, 2006).

A região de interesse, objeto do estudo de pesquisa, engloba o centro do município com altitude de 405 metros (Praça Rui Barbosa) 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).

A área está localizada na Zona de Ocupação Induzida (Z1) do município, conforme as diretrizes estabelecidas no zoneamento urbano do Plano Diretor Municipal (ARAÇATUBA 2006), como mostra o Mapa de Macrozoneamento Urbano na Figura 22.

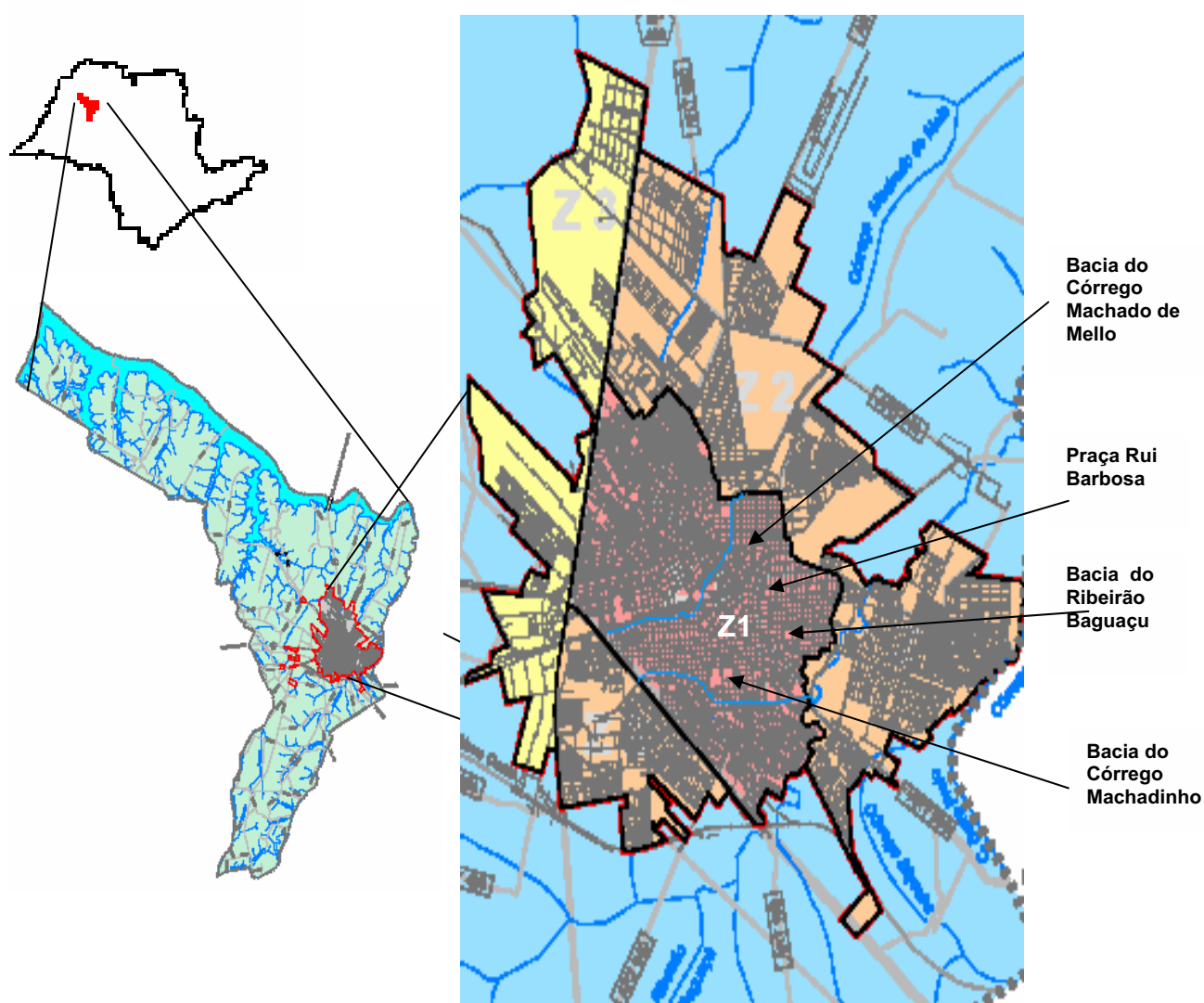


Figura 22 - Localização da área de estudo
Fonte:(modificado de ARAÇATUBA, 2006).

Observa-se uma tendência de verticalização na área central e nas avenidas marginais do Córrego Machadinho e Ribeirão Baguaçu, devido à valorização dos imóveis da região, sobrecarregando a infra-estrutura existente (água, energia, rede de esgotos, trânsito) como mostra a Figura 24.



Figura 24 - Vista aérea dos edifícios da área central urbana
Fonte: Arquivo Pessoal

Os divisores de água e as porções mais elevadas dos vales das bacias do Córrego Machadinho e Ribeirão Baguaçu apresentam alta densidade de ocupação a mais elevada da área urbana, 80 hab./hectare, como pode se verificar na Figura 25.

O adensamento, nas margens do Machadinho, confirma uma transferência gradativa das áreas comerciais e de serviços para os bairros do entorno, de classe média e alta, seguindo as avenidas que partem do centro no sentido beira-rio, como mostra a Figura 26.



Figura 25 – Vista das bacias do Córrego Machadinho e Ribeirão Baguaçu
Fonte: Arquivo Pessoal

Nas parcelas da área que se situam nas menores cotas da bacia (terço inferior das encostas e fundo do vale do Córrego Machadinho e Baguaçu) a ocupação é bem menos intensa, como se pode verificar na Figura 26. Essas áreas, em épocas de chuvas intensas, ficam completamente inundadas e funcionam atualmente como bacias de contenção, minimizando os alagamentos. No entanto, essas partes da via pública estão sendo ocupadas por edifícios residências e comerciais. São áreas onde o processo de urbanização deveria ser desestimulado, contido ou até mesmo proibido.

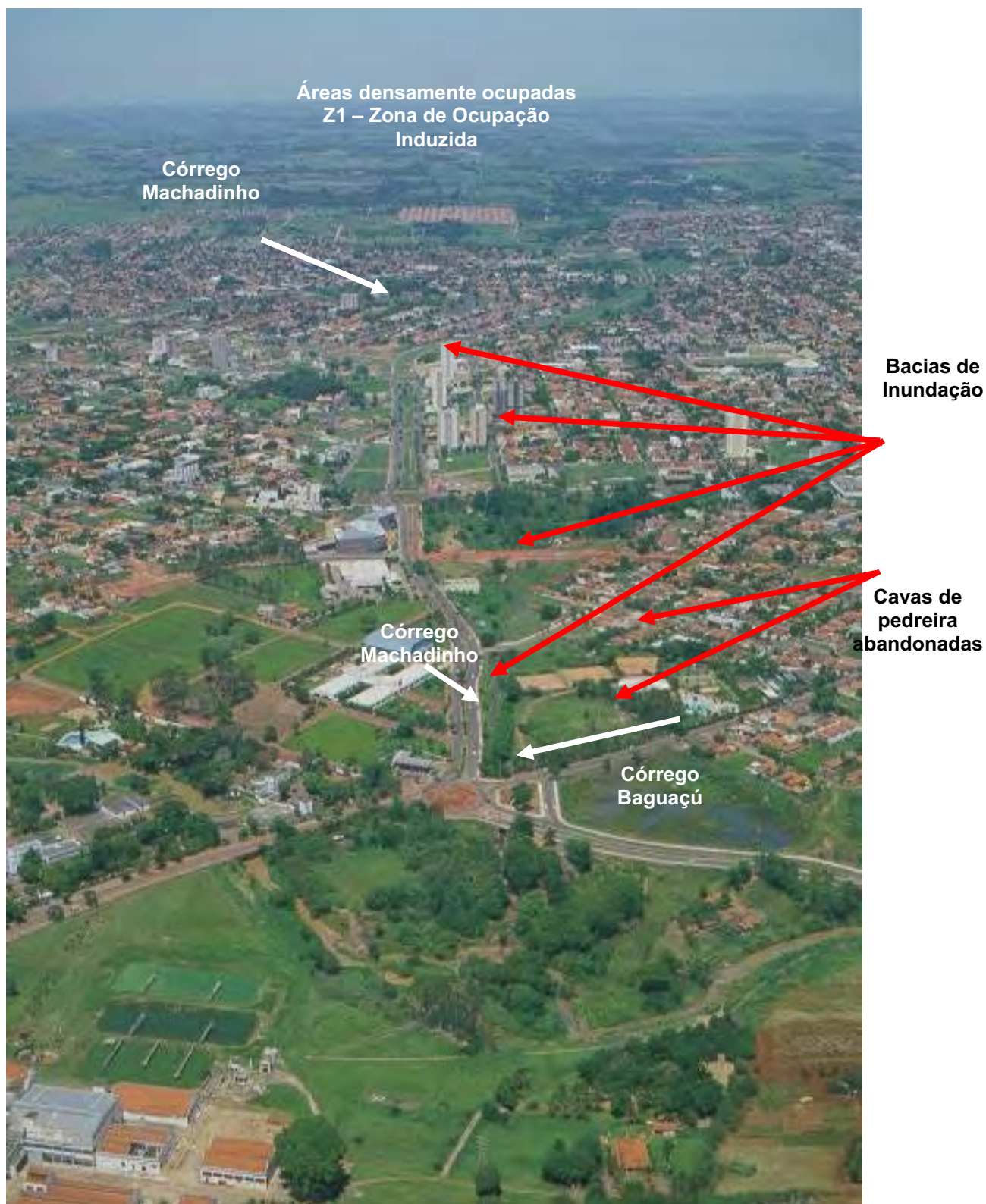


Figura 26 – Vista do vale do Córrego Machadinho e Ribeirão Baguaçu
Fonte: Arquivo Pessoal

Na bacia do Córrego Machado de Mello, densamente ocupada, a urbanização já tomou conta de toda a área, como pode ser visualizado na Figura 27.



Figura 27 – Vista da Bacia do Córrego Machado de Mello.
Fonte: Arquivo Pessoal

5.2.2 Impactos Observados e Fontes Potenciais de Contaminação

O desenvolvimento urbano nessa 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, deposição de resíduos domiciliares e entulhos de construção civil nas margens dos corpos d'água, cavas d mineração, entre outros. Evidências desses processos podem ser observadas em diferentes locais nos vales dos córregos Machadinho, Baguaçu e Machado de Mello, como se pode verificar na Figura 28.



Figura 28 –Fontes de Contaminação - Córrego Machadinho
Fonte: Arquivo Pessoal

O vale do Córrego Machadinho e 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 áreas de mineração (lavra de basalto) abandonadas, cujas cavas estão sendo ocupadas por entulho e lixo urbano. Essas áreas já comprometidas estão sendo parceladas e ocupadas por assentamentos populares e favelas (bairro Umuarama) destituídas de infra-estrutura básica, como mostra a Figura 29.



Figura 29 - Processos de degradação no médio curso do Bagaçu.
Fonte: Arquivo Pessoal

A intensificação da ocupação urbana nas bacias dos córregos Machado de Mello, Machadinho e Ribeirão Baguaçu está acelerando o processo de degradação em curso, devido à impermeabilização dos espaços não consolidados (principalmente as áreas de fundo de vale dos cursos d'água), impedindo a infiltração natural da água da chuva e a recarga natural dos aquíferos que abastecem a população.

Por outro lado, na região existem inúmeros poços de captação de água subterrânea localizados em condomínios residenciais e estabelecimentos comerciais que utilizam as águas do aquífero freático, para consumo humano.

Essas águas estão sendo exploradas sem controle, e conseqüentemente pondo em risco os mananciais subterrâneos no que diz respeito à sua quantidade e qualidade, e a saúde dos usuários.

5.3 Método

A opção pela aplicação do método GOD (FOSTER et al., 2002), para a elaboração da Carta de Vulnerabilidade Natural à Contaminação dos Recursos Hídricos Subsuperficiais para a área de interesse do estudo foi definida em função dos seguintes fatores:

- Facilidade na obtenção dos dados hidrogeológicos da área;
- Possibilidade de elaborar um índice de vulnerabilidade generalizado para a área, integrado à contaminação de aquíferos, portanto menos dispendioso que os índices relativos, que são específicos para cada contaminante e cenários de contaminação;
- Possibilidade de utilizar parâmetros indicativos de vulnerabilidade natural, atribuindo valores numéricos e integrando-os para gerar o índice de vulnerabilidade, por ser um sistema paramétrico;
- Possibilidade da utilização do trabalho desenvolvido em escala municipal, uma vez que o método é o mesmo adotado em escala regional pelo órgão ambiental do Estado de São Paulo;
- Possibilidade de conhecer a situação da água subterrânea por meio de um indicador de qualidade para a área, relacionado à vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos.

5.3.1 Etapas para desenvolvimento do método

As etapas para o desenvolvimento do método GOD, adotado no presente trabalho foram subdivididas em: revisão bibliográfica, levantamento de dados de campo e de pré-existentes, tratamento dos dados, integração e análises e resultados.

A figura 30 da pagina 56 ilustra essas etapas.

5.3.1.1 Revisão bibliográfica

Constituiu no levantamento de bibliográfica geral e específica sobre o assunto tais como:

- Legislações e normas técnicas;
- Publicações didáticas;
- Monografias referentes ao assunto;
- Artigos;
- Publicação periódica;
- Trabalhos apresentados em eventos;
- Documentos cartográficos: mapas do Estado de São Paulo (geológico, geomorfológico, hidrogeológico e de vulnerabilidade das águas subterrâneas); mapas do Plano Diretor do Município (uso e ocupação do solo, densidade, zoneamento urbano, hidrografia e planialtimétrico);
- Documentos de acesso exclusivo em meio eletrônico.

As citações bibliográficas no presente trabalho estão conforme as recomendações e especificações da Norma NBR 6023/00 da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

5.3.1.2 Levantamento de dados de campo

Nesta etapa foi realizado o mapeamento do subsolo local através dos seguintes elementos;

- cadastro de poços de abastecimento e monitoramento de aquífero freático existentes;
- cadastro de sondagens geológicas e geotécnicas existentes;
- levantamento das feições estruturais e geológico-geotécnicas do subsolo local em áreas de escavações, cortes de terreno e em áreas de afloramentos nas calhas dos corpos d'água e áreas minerárias da antiga Pedreira Baguaçu;
- Amostragem de solos para realização de análises laboratoriais;

- Medidas da profundidade do nível d'água em poços de monitoramento em postos de combustíveis;
- Levantamento das fontes potenciais de contaminação de aquíferos e áreas contaminadas.

5.3.1.3 Tratamento de dados, integração e análise dos resultados

Os dados levantados de relevo, do substrato geológico e das características do aquífero da área, foram devidamente tratados permitindo a definição dos parâmetros considerados no método GOD: o grau de confinamento hidráulico do aquífero; as características dos estratos geológicos da zona não saturada e a profundidade do nível d'água do lençol freático.

A integração e análise dos resultados obtidos permitiram a elaboração da Carta de Vulnerabilidade Natural à Contaminação dos Recursos Hídricos Subsuperficiais para a área do estudo

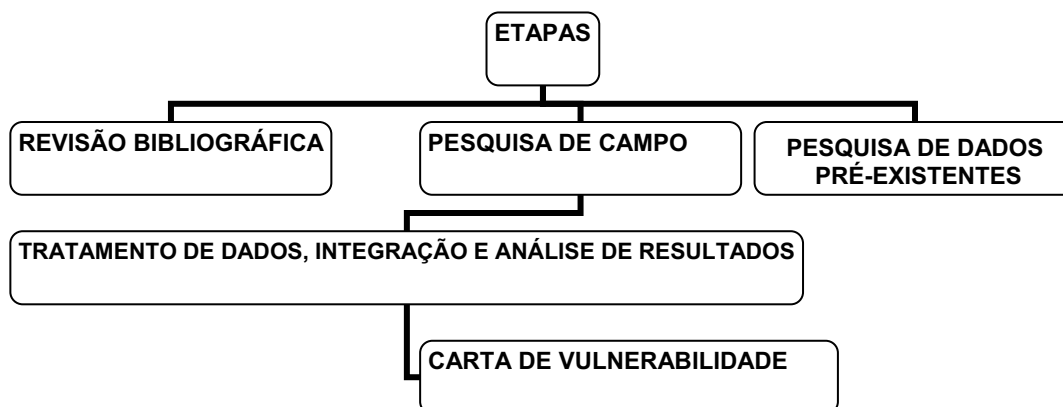


Figura 30 – Fluxograma das etapas desenvolvidas na pesquisa.
Fonte: ArquivoPessoal

6 RESULTADOS

6.1 Caracterização hidrogeológica

6.1.1 Geomorfologia local

Os trabalhos de pesquisa efetuados tendo como base o mapa planialtimétrico da área (ARAÇATUBA, 2006), a descrição geomorfológica regional (DAEE, 2000) e observações locais demonstram que:

A área em estudo se situa em uma colina média suave e ondulada, de topo aplainado e vertente com perfis convexos a retilíneos consequentes da litologia (FURTADO, et al. 2006);

A parte topograficamente mais elevada da área encontra-se a 410 metros de altitude (divisor de águas) com suave declive da superfície do terreno para noroeste em sentido do Córrego Machado de Mello e uma declividade maior na encosta sudeste no sentido do Córrego Machadinho e Ribeirão Baguaçu. A inclinação do terreno apresenta valores crescentes em direção às drenagens, com valores de declividade média da ordem de 2% a 5%. Os menores valores de declividade se situam nas porções mais elevadas da área e no terço superior das encostas. Os maiores valores encontram-se no terço inferior das encostas. As Figuras 31a e 31b a seguir ilustram a geomorfologia da área.

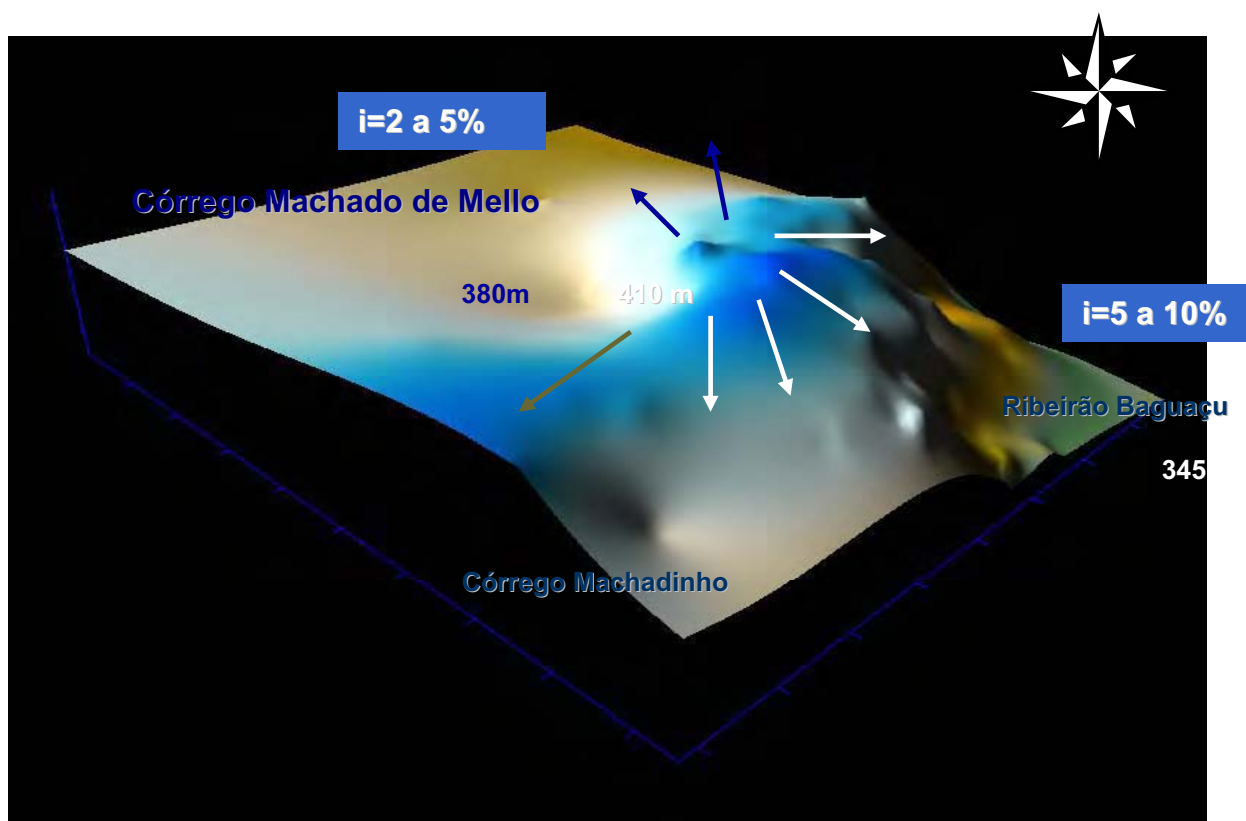


Figura 31a)- Espacialização do relevo local.

Fonte: Arquivo Pessoal

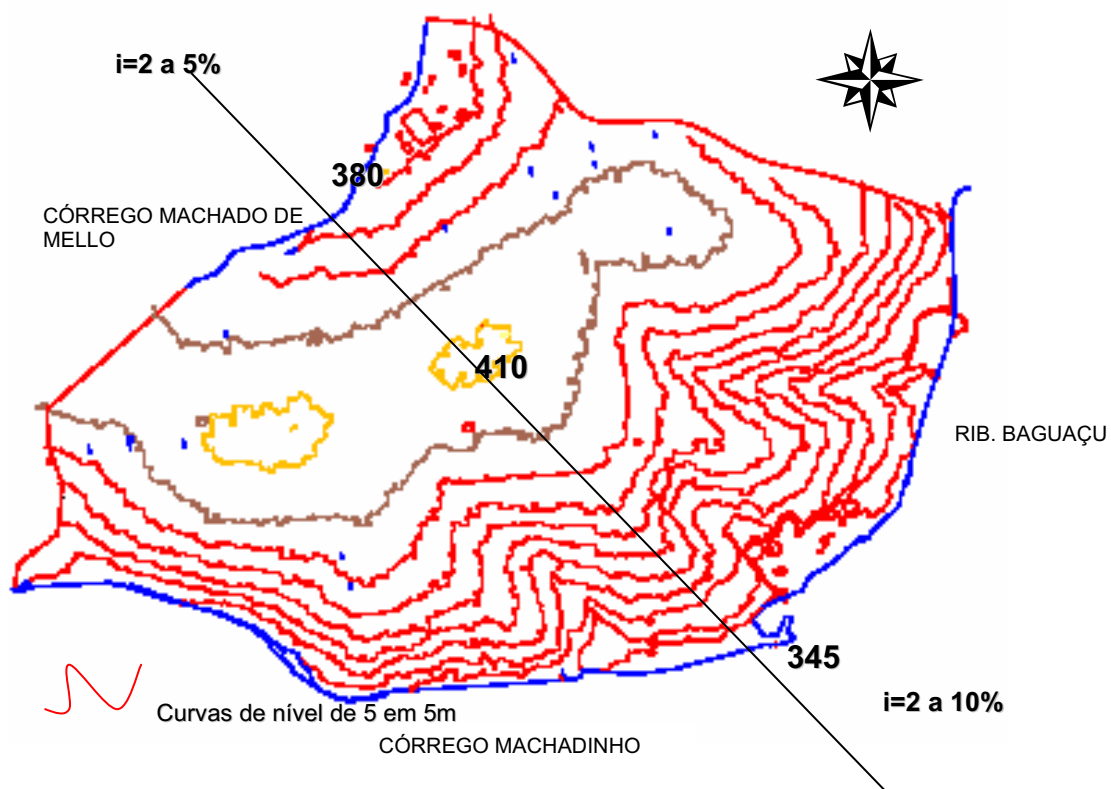


Figura 31b)- Planialtimetria urbana.
Fonte: ((modificado de ARAÇATUBA, 2006).

6.1.2. Geologia local

Dentre as unidades litoestratigráficas, ocorrem na área de estudo, os Arenitos da Formação Adamantina do Grupo Bauru sobrepostos aos Basaltos da Formação Serra Geral do Grupo São Bento, como mostra a Figura 32.



Figura 32 - Arenito Argiloso da Formação Adamantina
Fonte: Arquivo Pessoal

6.1.2.1. Formação Serra Geral

O topo do basalto da Formação Serra Geral se restringe à profundidade de aproximadamente 40 m da superfície nas porções mais elevadas da área, até aflorar nos vales e calhas do Ribeirão Baguaçu e Córrego Machadinho, como mostram as Figuras 33 e 34.



Figura 33 - Afloramento de Basalto da Formação Serra Geral
Fonte: Arquivo Pessoal

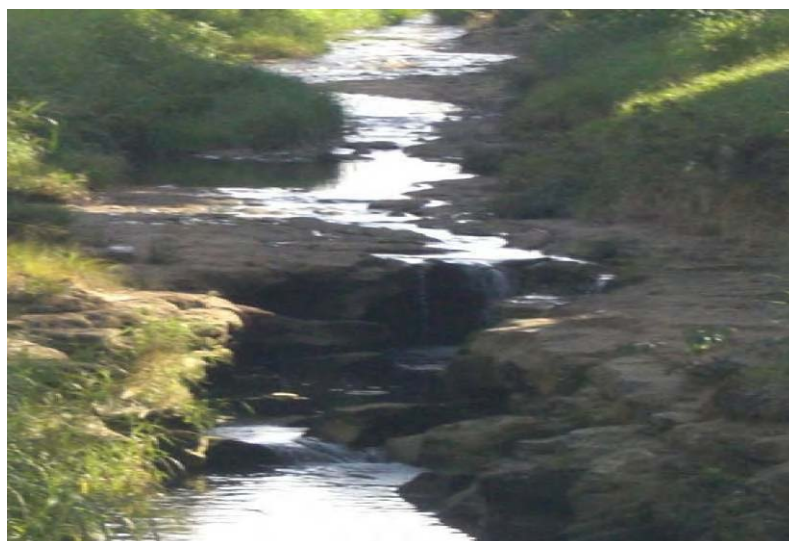


Figura 34 - Afloramento de Basalto da Formação Serra Geral
Fonte: Arquivo Pessoal

Os afloramentos rochosos observados em cava de mineração abandonada localizada no vale do Ribeirão Baguaçu são de coloração cinza esverdeado, intensamente fraturados, como mostra a Figura 35.

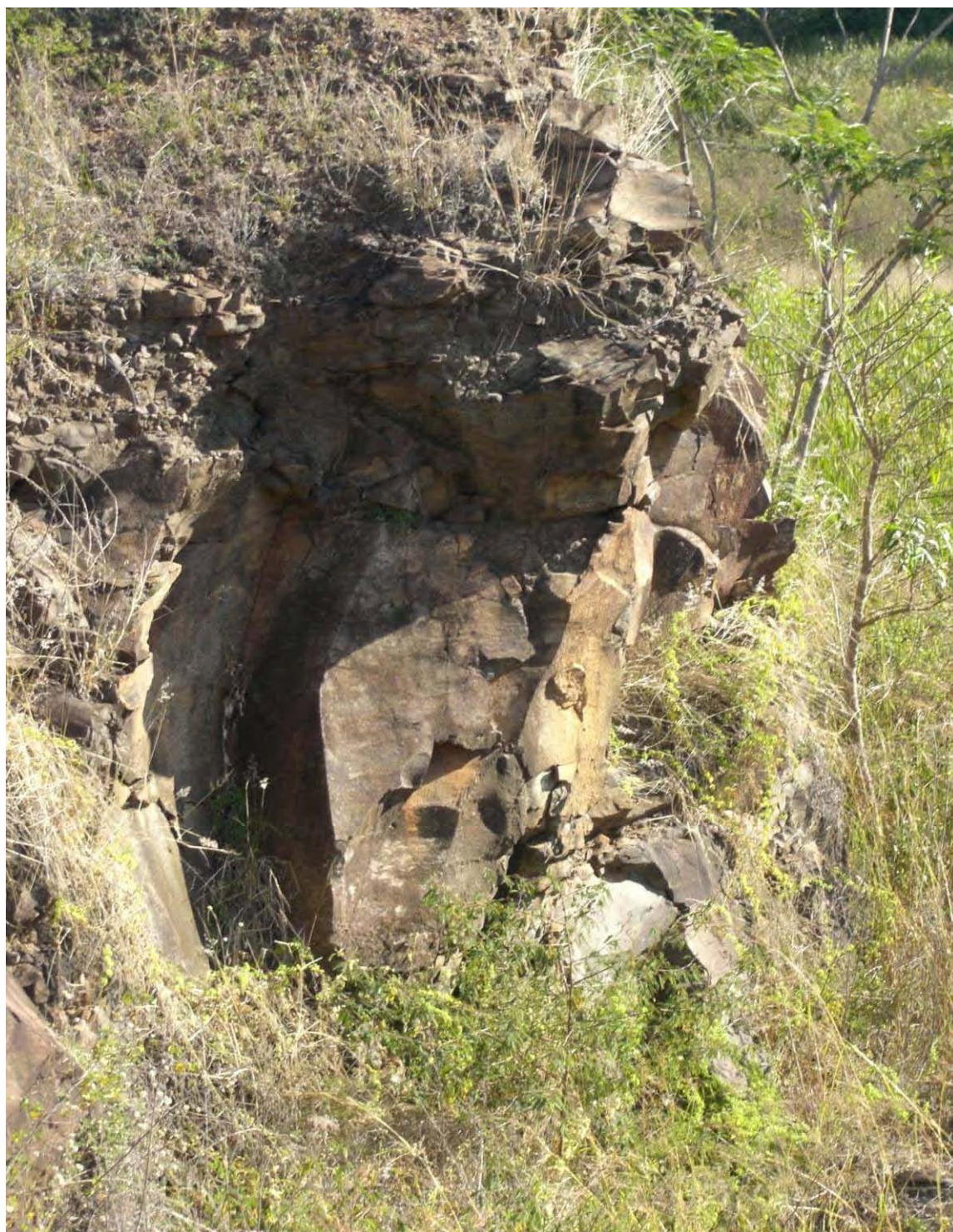


Figura 35 - Detalhe de fendas horizontais e verticais em basalto
Fonte: Arquivo Pessoal

6.1.2.2 Formação Adamantina

Localmente, a Formação Adamantina é constituída por depósitos fluviais, com predominância de arenitos finos a muito finos, cor predominantemente cinza, (Figura 36), variando a tons de castanho avermelhado a róseos (Figura 37), podendo apresentar cimento e nódulos carbonáticos, com freqüentes lentes de siltitos arenosos/arenitos siltosos e argilitos (Figuras 37 e 39). Ocorrem em bancos maciços (Figura 34), apresentam estratificação plana, paralela e cruzada de pequeno a médio porte e sistema de fraturamento vertical suave e horizontal intenso como demonstrado pela Figura 38.



Figura36 - Amostras do embasamento rochoso, arenitos finos de cor cinza, da Formação Adamantina, extraídas de poço de monitoramento.
Fonte: Arquivo Pessoal

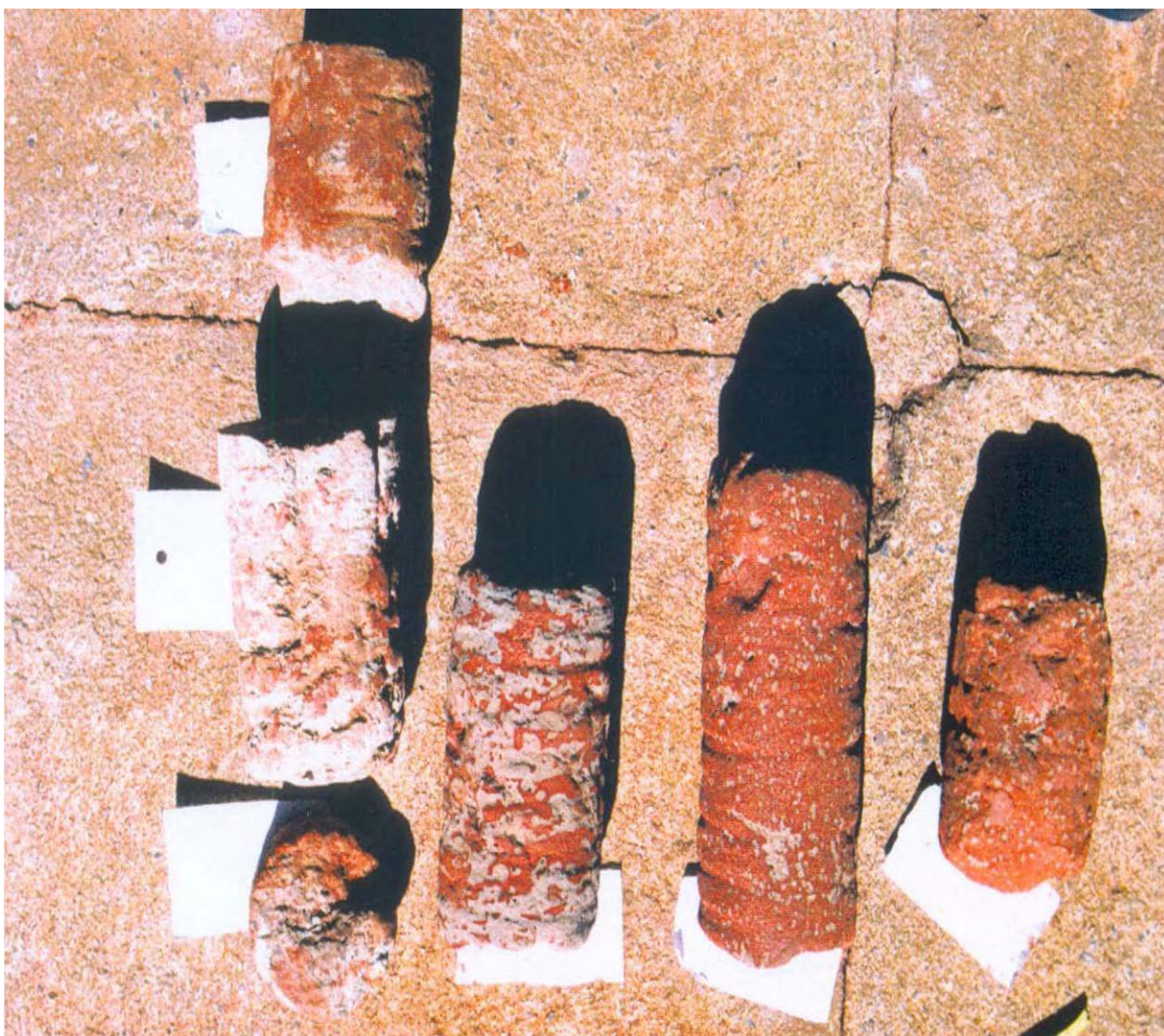


Figura37 - Testemunhos de arenitos argilosos e arenitos siltosos
Fonte: Arquivo Pessoal

Conforme observação em área de escavação, na faixa superior do arenito, junto ao contato solo-rocha, o embasamento apresenta um suave sistema de fraturamento vertical e um intenso sistema de fraturamento aproximadamente horizontal o que favorece a infiltração e a percolação de água, tornando-o um aquífero freático. O sistema de fraturamento pode ser observado em testemunhos de perfuração de poços, ilustrados nas Figuras 36 e 37 expostas anteriormente, e em área de escavação, como mostra a Figura 38 a seguir.

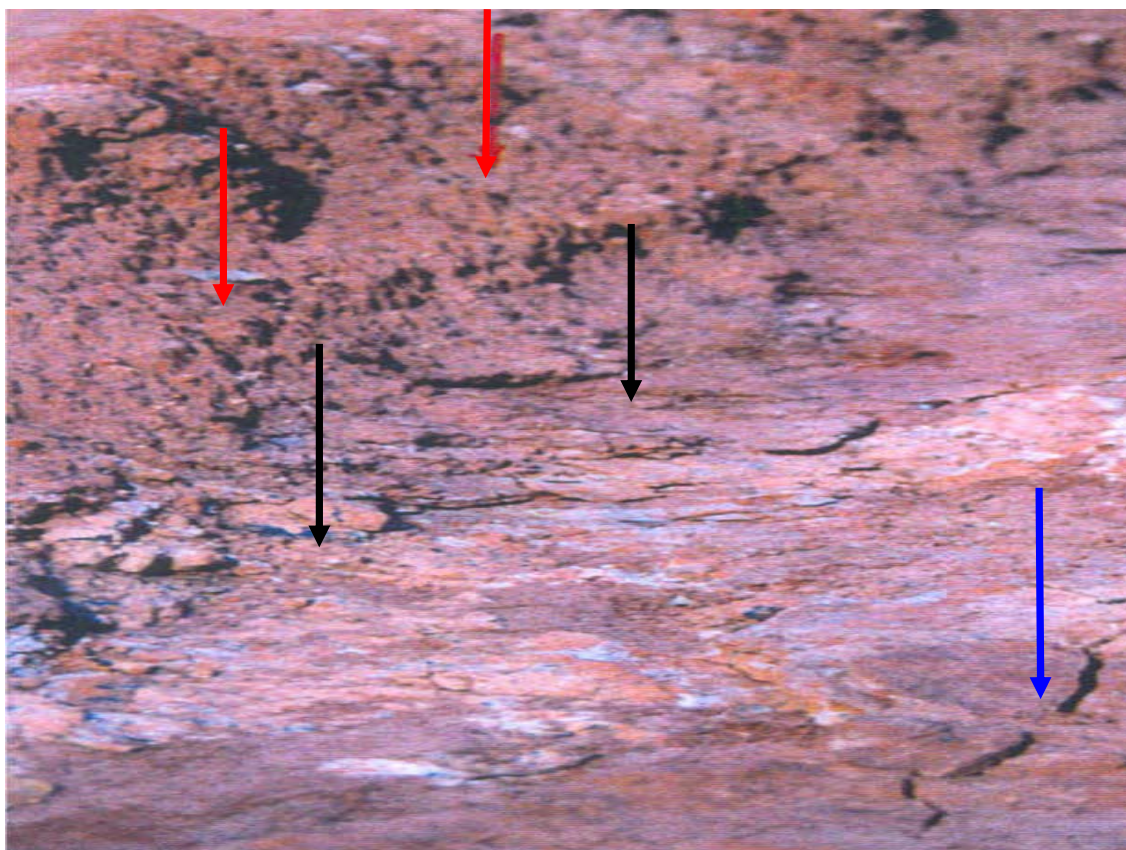


Figura 38 - Detalhes: Contato Solo-Rocha Decomposta (setas vermelhas), Rocha Decomposta (setas pretas), Sistema de fraturamento (seta azul).
Fonte: Arquivo Pessoal

Segundo Furtado, et al. (2006) em caracterização geológica realizada na elaboração de laudo de passivo ambiental em um posto de combustíveis, localizado na área do estudo concluiu-se que: "O subsolo local mostra a ocorrência de uma camada de solo com textura silto-argilosa abaixo do NA local (em torno de 6m de profundidade) seguido de um substrato rochoso. Em função de sua textura e compacidade, deve ser essa a explicação da ocorrência de água na profundidade em que a mesma foi encontrada na área".

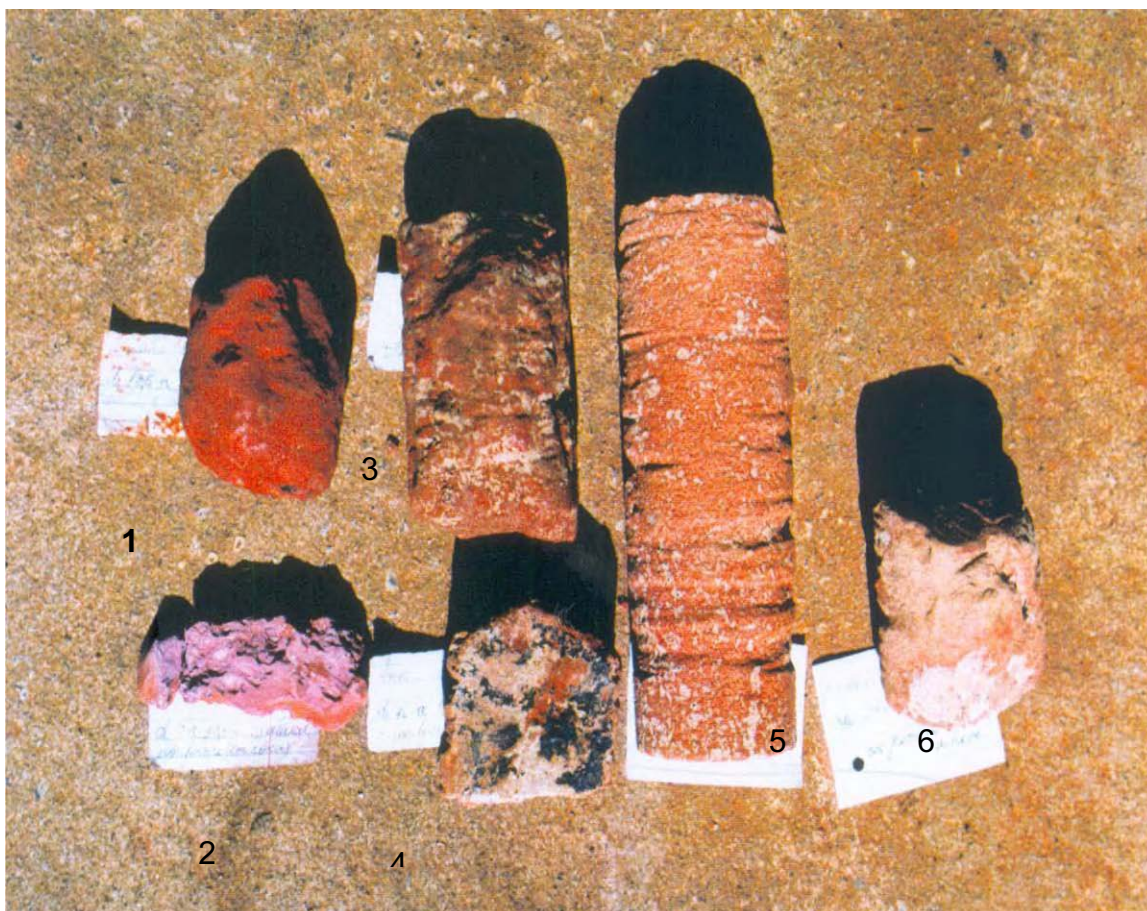


Figura 39 - Amostras de solos e rochas representativas da área
 (1) amostra de areia fina silto-argilosa (zero a 11m); (2) areia fina argilo siltosa (vermelha clara e cinza (11 a 15 m); rocha decomposta (15 a 20m) (3) (4) (5) arenito argiloso (20 a 25 m); e (6) arenito siltoso (25 a 27m).

Fonte: Arquivo Pessoal

6.1.2.3 Solos

Os solos ocorrentes na área são solos resultantes do intemperismo que atuou no substrato rochoso, representado pelos arenitos, bancos e lentes de siltitos e argilitos da Formação Adamantina do Grupo Bauru. A Figura 40 mostra uma vista parcial da cidade de Araçatuba (porção sudeste da área de estudo) assentada sobre o solo da Formação Adamantina.



Figura 40 - Vista parcial da área de estudo

Fonte: Arquivo Pessoal

A caracterização dos tipos de solo presentes na área foi feita com base nos seguintes estudos:

Caracterizações geológicas e hidrogeológicas realizadas em 5 (cinco) trabalhos de Avaliação de Passivo Ambiental em Postos de Combustíveis realizadas nos anos de 2000, 2004 e 2006, pertencentes ao banco de dados da empresa Oeste Engenharia Ltda.;

Caracterização geológica (táctil-visual), proveniente de amostras de solos de sondagens de subsolo, coletadas de metro em metro, em 151 locais, totalizando cerca 6.000 amostras analisadas (média de 40 amostras por local), no período de 1983 até 2006, pertencentes ao banco de dados da Oeste Engenharia Ltda.;

Amostragem e realização de ensaios de granulometria completa (com peneiramento e sedimentação) e ensaios de permeabilidade a carga variável em 50 amostras de solo representativas do subsolo local. As amostras foram coletadas em 05 furos de sondagens distribuídos na área de estudo e analisadas no laboratório de solos da FEIS- UNESP. Os resultados se encontram nas Tabelas 8 e 9.

As características dos solos do subsolo local podem ser verificadas em perfil representativo da área ilustrado na Figura 41, proveniente de um poço de monitoramento de aquífero freático instalado na área (FURTADO, et al. 2006).

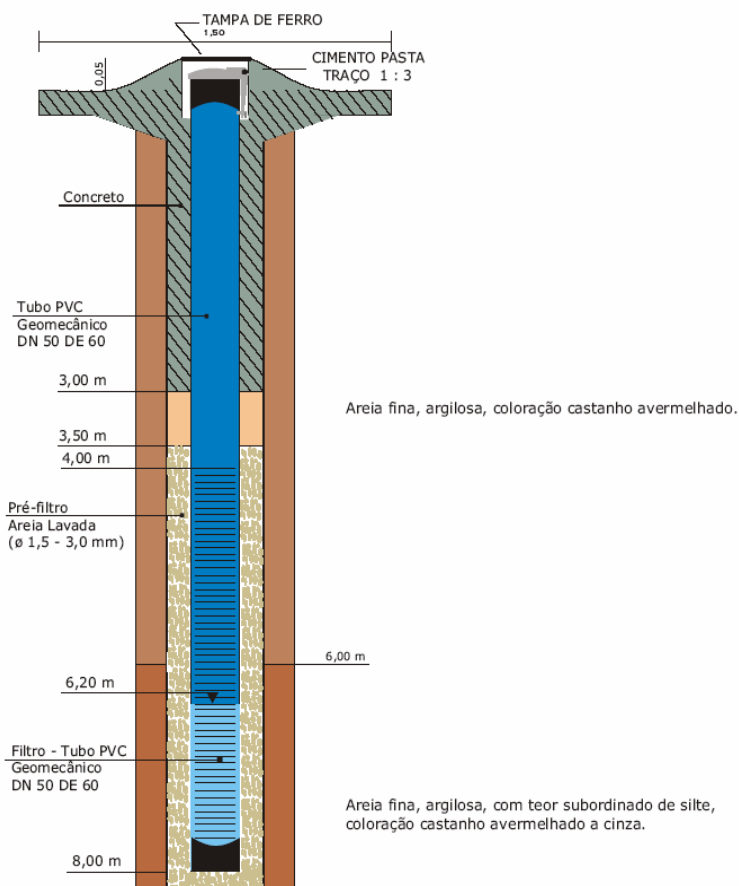


Figura 41 – Perfil construtivo e geológico de um poço de monitoramento
Fonte: (FURTADO, et al. 2006).

Considerando o laudo acima citado e as demais informações relativas à área de estudo, foi possível concluir que os resultados analíticos descritos na Tabela 8 e na Tabela 9, são compatíveis com os dados de caracterizações geológicas pré-existentes. Assim, as características dos solos constantes dessas tabelas foram tomadas como sendo o padrão médio para o solo da área.

O perfil do subsolo da área pode então ser assim resumido:

O solo ocorrente na área é constituído predominantemente de Areia Fina Argilo-Siltosa de Textura Média, sendo que nas camadas superiores do perfil, tal solo apresenta textura mais arenosa e nas porções inferiores do perfil sua textura torna-se mais argilosa.

De acordo com as suas características litológicas, o solo foi então agrupado em 2 (duas) variedades distintas: Solo A e Solo B com as seguintes características:

Solo A: solo laterítico de textura areno-argilosa fina, espessura da ordem de até 9 m com cor castanha avermelhada.

Para efeito de detalhamento, o solo A pode ser subdividido em:

Tipo A.1 (teor de argila inferior a 20 %) e

Tipo A.2 (teor de argila superior a 20 %), apresentado as características principais, descritas na Tabela 8.

Tabela 8 - Características dos solos A

CARACTERÍSTICA	TIPO A.1		TIPO A.2	
	MÉDIA	EXTREMOS	MÉDIA	EXTREMOS
% AREIA	73,5	69,5 - 76,2	66,8	65,4 - 68,9
% SILTE	8,5	7,3 - 10,6	9,9	8,6 - 10,6
% ARGILA	18,0	16,4 - 19,8	23,3	22,5 - 24,2
TEXTURA	Média	Média	Média	Média
K ^{"in loco"} -cm/s	$1,6 \cdot 10^{-3}$	1,2 a $2,3 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	1,2 a $1,4 \cdot 10^{-3}$

Solo B: solo residual de textura argilo-arenosa, com espessura da ordem de até 4 m, cor castanha avermelhada clara e manchas cinza.

O solo B apresenta coloração mais clara, ocorrendo de forma descontínua na parte basal do solo, sendo uma areia fina argilo-siltosa de textura praticamente argilosa, teor de argila superior a 35% e sua porosidade apresenta ligeira redução ($n = 34\%$). Podem-se considerar as características deste solo descritas na Tabela 9.

Tabela 9 - Características dos solos B

CARACTERÍSTICA	SOLO B	
	MÉDIA	EXTREMOS
% AREIA	54,7	53,4 - 56,0
% SILTE	10,8	10,6 - 11,0
% ARGILA	34,5	33,0 - 36,0
TEXTURA	argilosa	argilosa
K ^{"in loco"} -cm/s	$2,3 \cdot 10^{-4}$	2,2 a $2,4 \cdot 10^{-4}$

Pode-se verificar que em consequência do teor de finos presentes nos solos e do grau de compactação, o coeficiente de permeabilidade do solo saturado, determinado "in loco", nos exemplos acima, oscila entre $1,3$ e $1,6 \times 10^{-3}$ cm/s para o Solo A e $2,3 \times 10^{-4}$ cm/s para o Solo B. A Figura 42 mostra o aspecto geral do solo predominante na área



Figura 42 - Aspecto geral do solo arenoso fino predominante na área

Fonte: Arquivo Pessoal

6.1.3 Perfil Geológico Local

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 11 m com cor castanha avermelhada e castanha avermelhada clara;

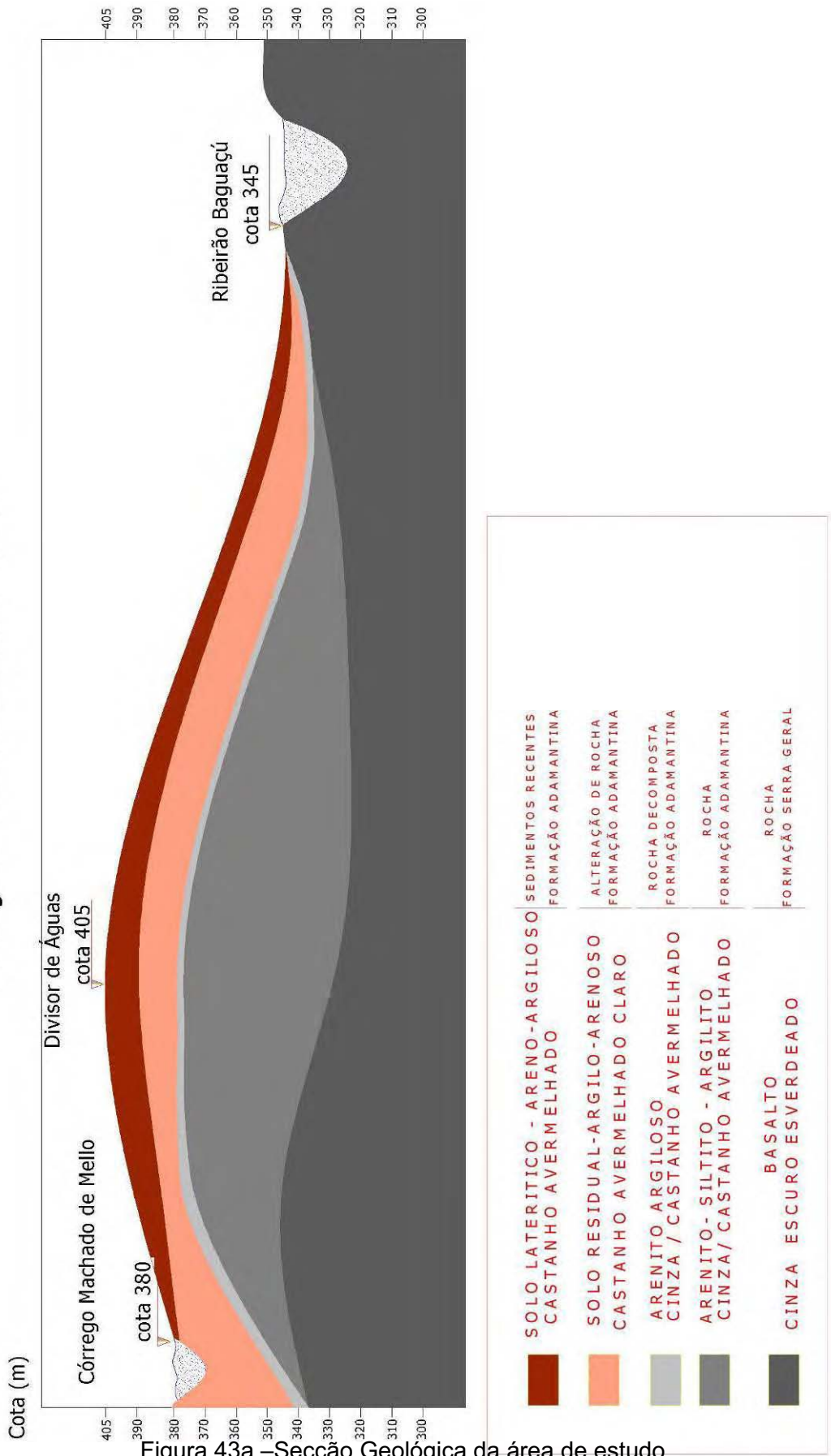
Solo residual: de textura argilo-arenosa, espessura da ordem de até 5 m, com cor castanha avermelhada e manchas cinza;

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.

As Figuras 43a e 43b, da página seguinte, apresentam uma ilustração esquemática de Secção Geológica Transversal (A-B da Figura 32b), com a distribuição média das unidades litoestratigráficas na área.

SECÇÃO GEOLÓGICA A-B



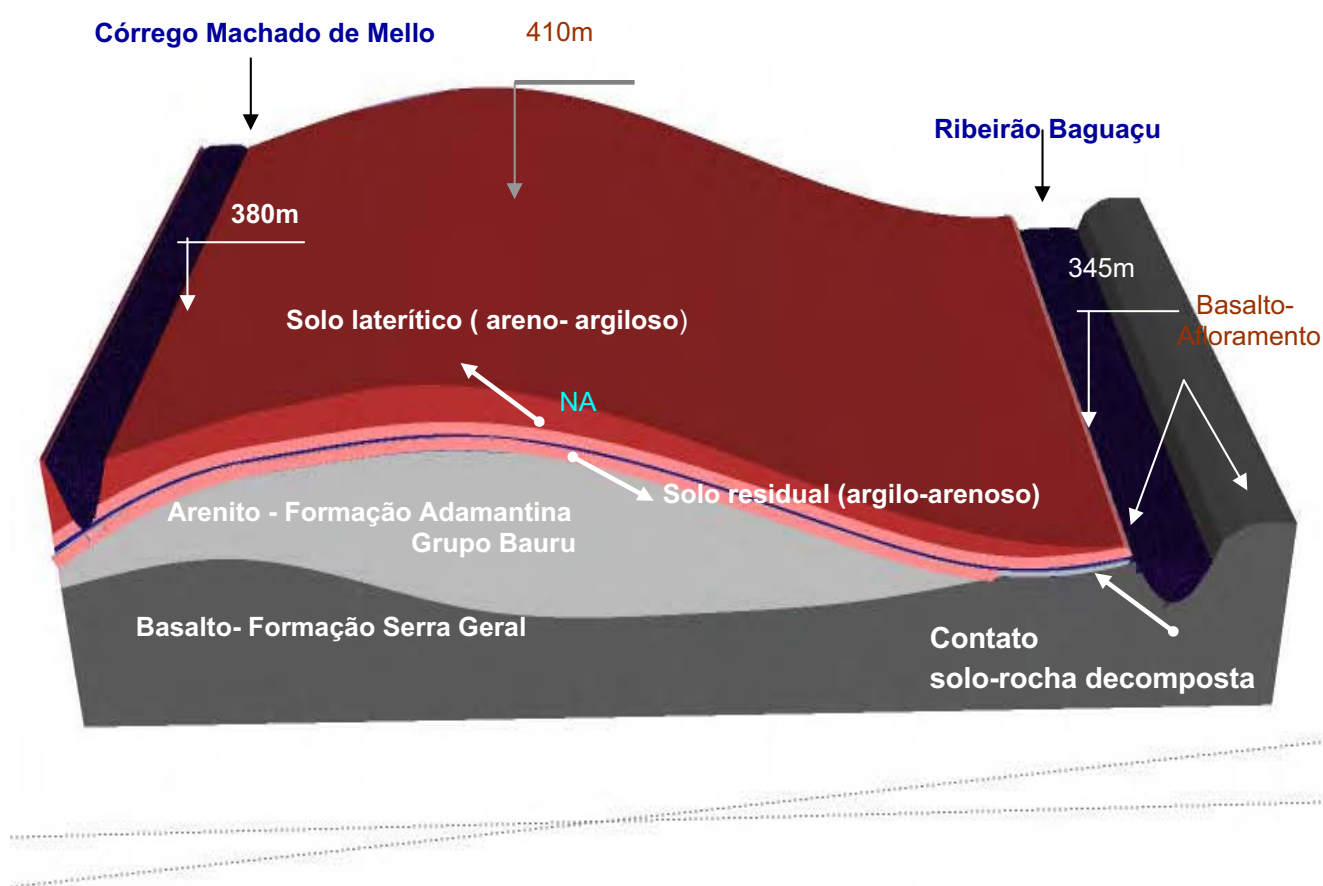
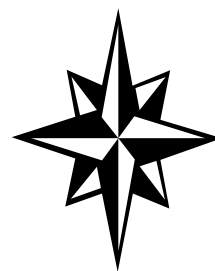


Figura 43b – Ilustração em 3D de Secção Geológica da área de estudo.
Fonte: Arquivo Pessoal

6.1.4 Hidrogeologia local

Os recursos hídricos subterrâneos de interesse para o estudo de pesquisa são representados na área pelo Aqüífero Bauru e Aqüífero Serra Geral.

6.1.4.1 Aqüífero Bauru

O Aqüífero Bauru é classificado como um aqüífero poroso, por ocorrer em rochas sedimentares. Este tipo de aqüífero, 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. Sendo considerado um aqüífero isotrópico (DAEE\IPT\IG\CPRM, 2005).

Localmente, o sistema Aqüífero Bauru comporta-se como um aqüífero não confinado (livre ou freático), assentado sobre um substrato impermeável formado pelo topo dos derrames basálticos da formação Serra Geral (Figura 44). Esse tipo de aqüífero por ocorrer a pequenas profundidades (menos que 30 m) e também são denominados de aqüíferos subsuperficiais. A recarga natural deste tipo de aqüífero é direta pela superfície a partir das precipitações pluviais que ocorrem na própria bacia. A condições físicas e texturais dos solos locais, representam um subsolo com alto potencial de infiltração e, portanto, com razoável risco de contaminação das águas subsuperficiais, caso fluidos potencialmente contaminantes venham a entrar em contato com o solo. Em função da natureza bastante lixiviada dos horizontes do solo local e suas conseqüentes boas condições de drenabilidade, a posição do nível subterrâneo de água no local situa-se sempre na base do perfil de alteração do solo (no horizonte de rocha alterada ou logo cima deste no solo residual) apresentando as seguintes características:

Nas regiões dos vales das drenagens do Córrego Machadinho e Ribeirão Baguaçu o NA se encontra a poucos metros (cerca de 1,5 a 2m), no contato solo-rocha alterada;

Nas regiões topograficamente mais elevadas o NA se encontra no solo residual, logo acima da rocha alterada (cerca de 11 m de profundidade) nas áreas mais elevadas, situadas próximas aos divisores de águas entre bacias.

A Tabela de Sondagens de Subsolo (Apêndice D), mostra os valores das cotas altimétricas e profundidades médias dos NA (s) nos 151 pontos de investigação.



Figura 44 - Detalhe do Aqüífero Bauru
Fonte: Arquivo Pessoal

6.1.4.2 Aquífero Serra Geral

Conforme descrição bibliográfica e constatação em vistoria na área, o Sistema Aquífero Serra Geral que ocorre na área de estudo é constituído de rochas vulcânicas (basalto da Formação Serra Geral) em derrames tabulares superpostos conforme ilustrado na Figura 45.

Esse tipo de aquífero é caracterizado pela presença de fendas verticais e horizontais, que podem ser visualizadas ao longo de talude exposto em antiga lavra de basalto que está situada no vale do Ribeirão Baguaçu (Figura 35). Assim, o aquífero Serra Geral é classificado como um aquífero fraturado ou fissurado. Neste tipo de aquífero as águas que fluem pelas fraturas ou fissuras da rocha tendem a ter orientações preferenciais, sendo considerado um aquífero anisotrópico.

O basalto de coloração cinza esverdeado aflora em cotas limítrofes das drenagens do Ribeirão Baguaçu e Córrego Machadinho, isto é, junto ao vale desses corpos d'água, sendo de grande espessura, sob a área da bacia.



Figura 45 - Afloramento do Aquífero Serra Geral na calha do Ribeirão Baguaçu: ocorrência de basaltos em derrames tabulares superpostos.
Fonte: Arquivo Pessoal

As principais características hidrogeológicas dos aquíferos Bauru e Serra Geral estão descritas na Tabela 10.

Tabela 10 - Características Hidrogeológicas dos Aquíferos.

Unidade Geológica	Características Hidrogeológicas dos Aquíferos	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.
Formação Serra Geral (Aquífero Serra Geral)	Livre a semiconfinado, porosidade de fissuras, é descontínuo e tem elevada anisotropia.	Basaltos em derrames tabulares superpostos

6.1.4.3 Mapa Potenciométrico da Área

As condições de ocorrência e circulação de água no subsolo local foram avaliadas através de dados pré-existentis provenientes de 151 (cento e cinquenta e um) perfis de sondagens de subsolo realizadas na área entre os anos de 1986 a 2005. Esses dados constam da Tabela 9.4.1 no Apêndice 9.4 e estão espacialmente representadas no Mapa de Documentação da Área no Apêndice 9.1.

Os valores dos NA(s), das 151 sondagens, observados em diferentes datas foram validados através de leituras de NA (nível d'água) efetuadas em maio de 2007, em 45 (quarenta e cinco) 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), e se encontram locados no Mapa de Documentação da Área no Apêndice A. As variações dos NA(s) nos poços podem ser verificadas na Tabela 11.

Pode-se observar que os valores de NA (nível d'água) obtidos nos poços de monitoramento em maio de 2007, quando comparados aos valores obtidos nos anos anteriores mostram variação máxima de 0,50 metros, indicando boa confiabilidade nas determinações obtidas nas sondagens utilizadas no estudo.

Tabela 11 – Medidas de NA em poços de monitoramento.

Quant. Poços	Poços	NA (m)	NA (m)	NA (m)
	Posto 1	mai/03	mai/07	Variação
1	PM1	6,2	6,50	0,30
2	PM2	6,15	6,25	0,10
3	PM3	6,25	6,55	0,30
4	PM4	6,18	6,4	0,22
	Posto 2	ago/04	mai/07	Variação
5	PM1	5,80	6,00	0,20
6	PM2	6,04	6,20	0,16
7	PM3	6,00	6,25	0,25
8	PM4	6,00	6,20	0,20
	Posto 3	out/05	mai/07	Variação
9	PM1	6,3	6,8	0,50
10	PM2	6,45	6,9	0,45
11	PM3	6,5	7,00	0,50
12	PM4	6,5	7,10	0,60
	Posto 4	fev/05	mai/07	Variação
13	PM1	6,7	7,2	0,50
14	PM2	6,6	7,1	0,50
15	PM3	6,7	6,9	0,20
16	PM4	6,8	7,00	0,20
	Posto 5	mai/06	mai/07	Variação
17	PM1	7,00	7,20	0,20
18	PM2	7,86	8,00	0,14
19	PM3	8,00	8,15	0,15
	Posto 6	jul/05	mai/07	Variação
20	PM1	5,17	5,48	0,31
21	PM2	5,01	5,36	0,35
22	PM3	5,99	6,38	0,39
23	PM4	5,03	5,38	0,35
24	PM5	5,2	5,55	0,35
25	PM6	5,2	5,43	0,23
	Posto 7	jul/05	mai/07	Variação
26	PM1	6,89	6,6	0,29
27	PM2	6,96	6,45	0,51
28	PM3	6,54	6,2	0,34
29	PM4	6,28	6,0	0,28
30	PM5	7,21	6,5	0,71
31	PM6	7,41	7,1	0,31
32	PM7	7,32	7,0	0,32
33	PM8	6,72	6,5	0,22
34	PM9	6,79	6,5	0,29

35	PM10	6,80	6,30	0,50
35	PM11	6,95	6,3	0,30
	Posto 8	ago/00	mai/07	Variação
37	PM1	2,85	3,0	0,15
38	PM2	2,65	2,8	0,15
39	PM3	3,15	3,3	0,15
40	PM4	2,8	3,0	0,20
	Posto 9	ago/04	mai/07	Variação
41	PM1	3,9	4,20	0,30
42	PM2	3,8	4,00	0,20
43	PM3	4,25	4,30	0,05
44	PM4	4,00	4,10	0,10
45	PM5	4,00	4,10	0,10

Sendo assim, com base nas informações apresentadas e tendo como base topográfica o Mapa Planialtimétrico (Figura 46), pode-se elaborar um Mapa Potenciométrico e a modelagem do fluxo subsuperficial local, que estão ilustrados na Figura 47.

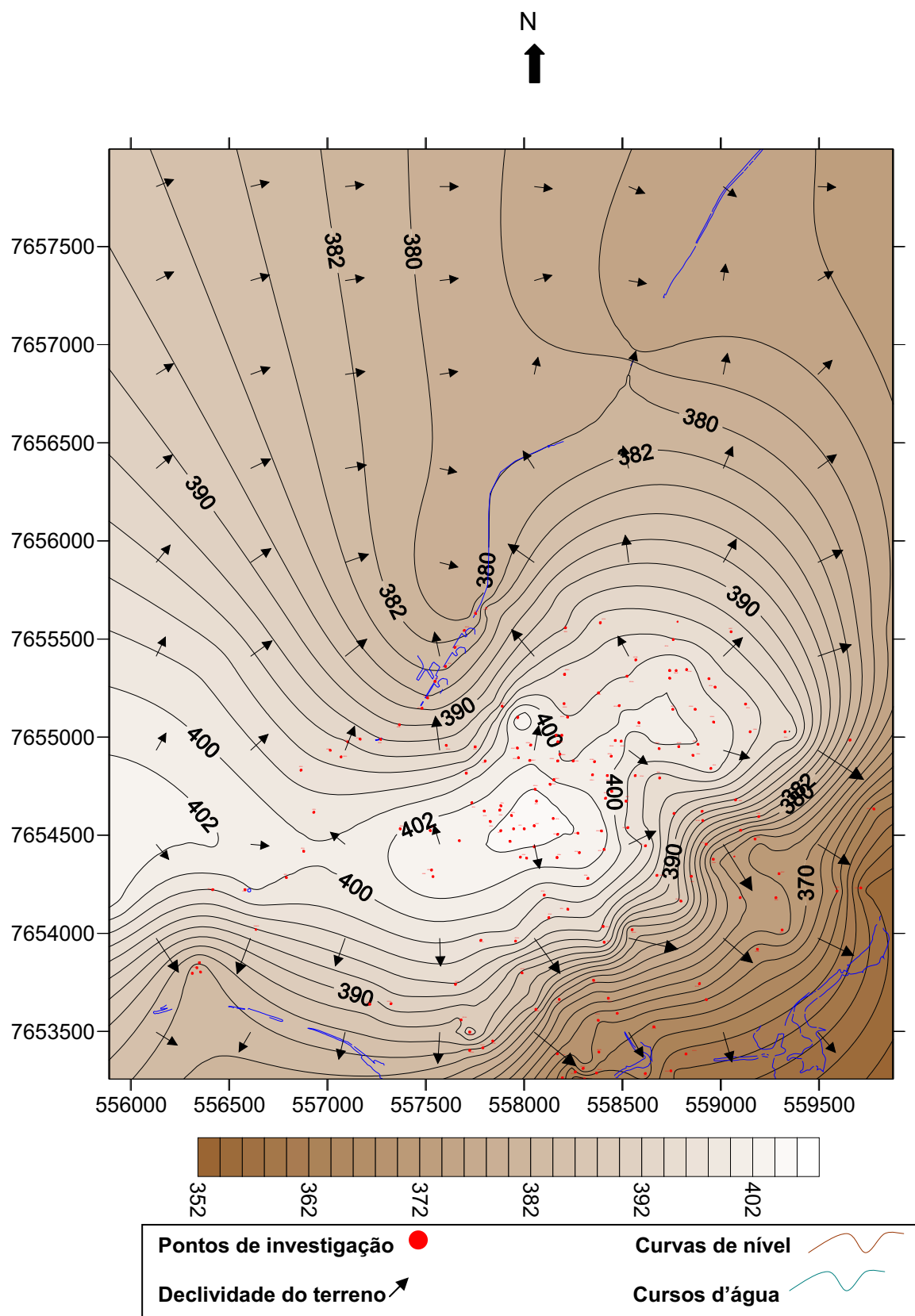


Figura 46-Mapa Planialtimétrico com a distribuição dos pontos

Pode se verificar que a área representada na Figura 46 é uma colina com declividade média em direção à calha dos cursos d'água, Córrego Machado de Mello, Ribeirão Baguaçu e Córrego Machadinho.

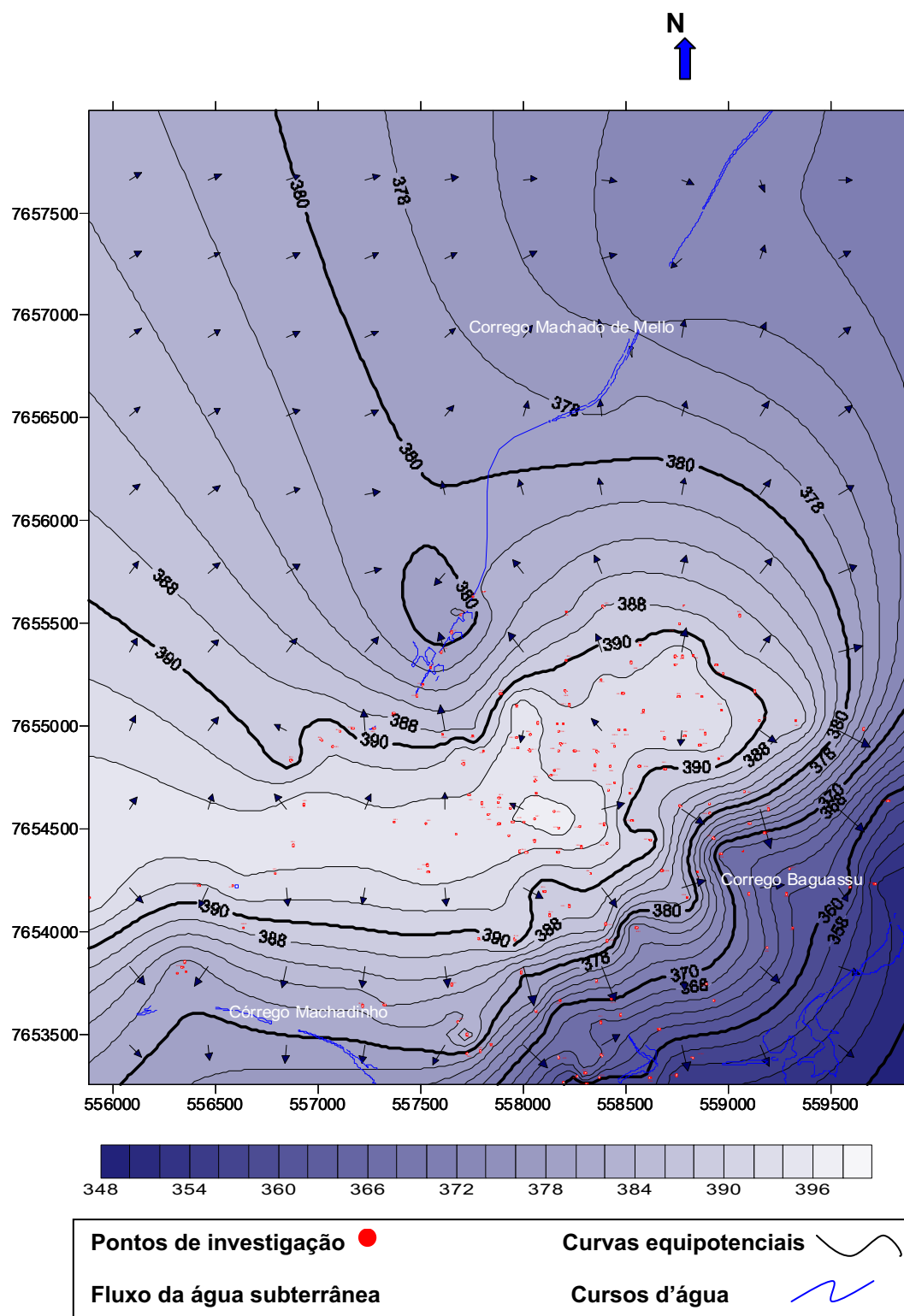


Figura 47 – Mapa Potenciométrico a distribuição dos pontos de investigação

Observa-se na Figura 47 que a área de estudo representa um divisor de águas local, com os fluxos de escoamento superficial e subterrâneo apresentando um comportamento radial a partir do topo da colina.

Na análise da superfície planialtimétrica e potenciométrica, esquematizadas nas Figuras 48 e 49, pode-se visualizar que a superfície potenciométrica apresenta uma configuração nitidamente associada à morfologia dos terrenos, característica do Aquífero Bauru.

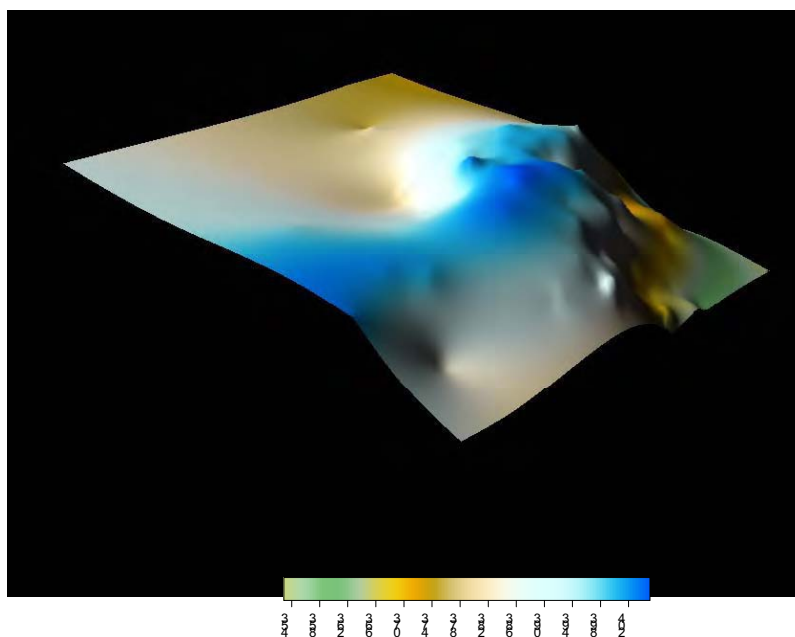


Figura 48 - Superfície Planialtimétrica da área de estudo em 3D.

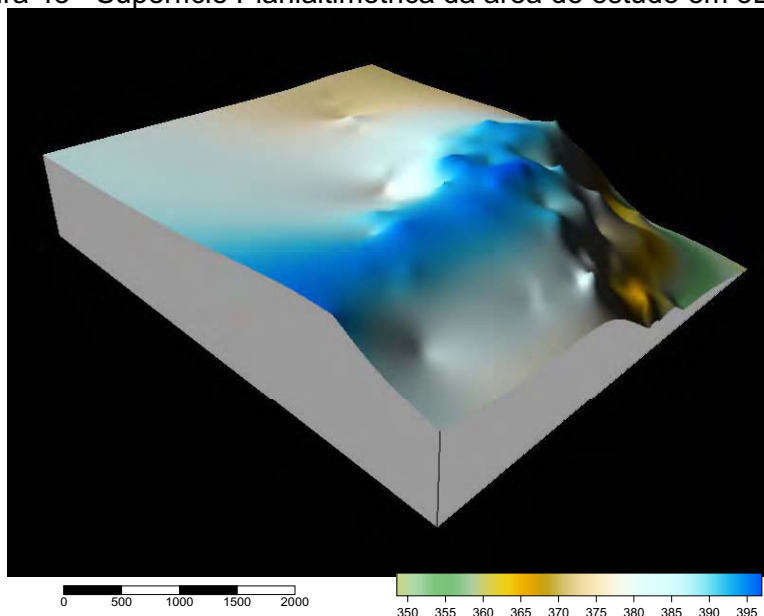


Figura 49 - Superfície Potenciométrica da área de estudo em 3D.

6.2 Geração e Integração de dados na obtenção do Índice GOD e Classificação da Vulnerabilidade da Área

Os 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 resultados são detalhados na tabela constante do Apêndice E.

Os dados básicos utilizados foram obtidos de perfis geológicos e geotécnicos de sondagens de subsolo do banco de dados da empresa Oeste Engenharia Ltda., distribuídas na área de estudos.

Nas investigações foram obtidas as coordenadas X e Y (km) e as variáveis: cota topográfica, cota do nível d'água (m), profundidade do lençol freático ou espessura da zona não saturada (m), que possibilitaram determinação dos índices e classes de vulnerabilidade.

6.3 Tratamento de Dados - Análise Geoestatística

Os dados de profundidade nível d'água (NA) e do Índice de Vulnerabilidade GOD distribuídos na área de interesse foram tratados e analisados pelo processo de análise geoestatística, que diz respeito ao estudo do comportamento espacial das variáveis (LANDIM, 2003), isto é, que assumem valores definidos para cada ponto numa certa região em questão, incluindo as seguintes etapas:

- Análise exploratória de dados;
- Análise estrutural dos dados, composta do cálculo e modelagem de semivariograma;
- Realização de Krigagem.

O semivariograma permite representar quantitativamente a variação de uma variável regionalizada, estabelecendo um conjunto de dados que dá suporte a processos de interpolação como a Krigagem (LANDIM, 2003).

A análise estrutural variográfica para o cálculo e modelagem do semivariograma foi realizada com a utilização da ferramenta computacional, o software VARIOWIN 2.21.

A Krigagem foi realizada com a utilização da ferramenta computacional, o software Surfer 8.

Dos 151 pontos de sondagens foram considerados 124 pontos por estarem melhores distribuídos na área do estudo. Foram excluídos 27 pontos referentes às sondagens de n.os 14, 22 a 44, 86 e 141 a 143.

A Tabela de Geração e integração dos Índices GOD (Apêndice E) ilustra os resultados dos dados (NA e GOD) utilizados na análise geoestatística.

6.3.1 Cálculo do Semivariograma Experimental para NA e GOD

No cálculo da função denominada semivariância (Figura 50) a somatória de diferenças ao quadrado entre pares de pontos igualmente espaçados a distancia h é dividida por $2N$, daí a origem do termo semivariograma, porem é usual o emprego do termo variograma, mais sintético. Quando relacionados graficamente $\gamma(h)$ e h , obtêm-se o gráfico denominado semivariograma.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N} \sum (x_{i+h} - x_i)^2$$

Figura 50- Função semivariância

A partir deste ponto seguem-se as operações normais existentes no Variowin, (descritas em Landim, 2004), para a obtenção do semivariograma experimental e sua modelagem para a impressão do mapa de probabilidades.

Os dados foram gerados em um arquivo com extensão .dat, uma vez que o software VARIOWIN adota o esse formato de dados em um editor de texto.

Foi gerado um mapa de pontos em um sistema de coordenadas (X -Y) contendo todas as possíveis distancias entre pares de valores em observação, como mostra a Figura 51.

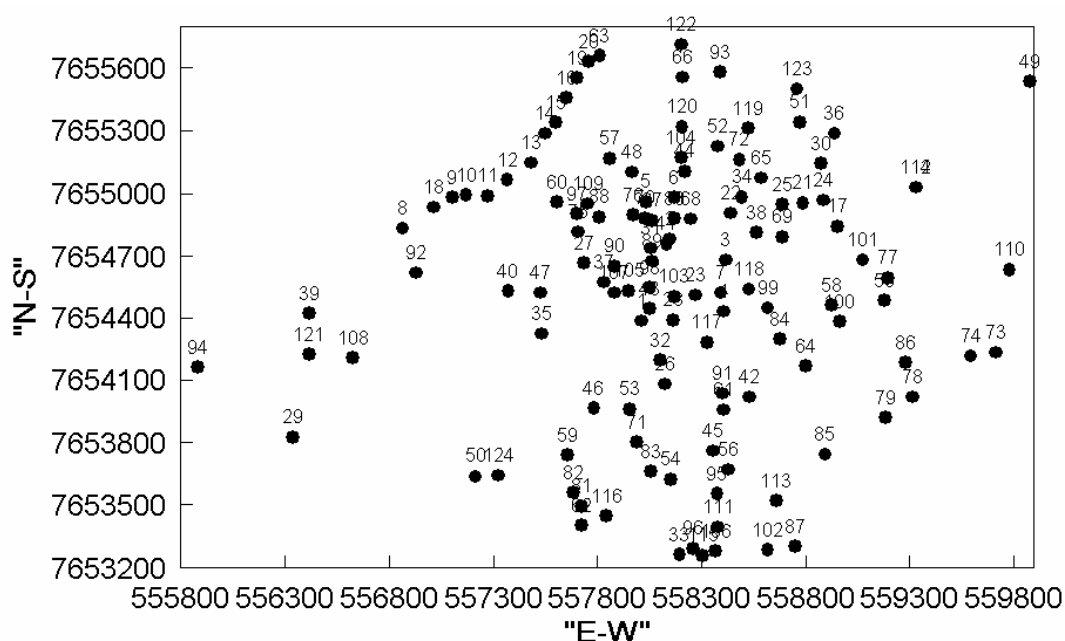


Figura 51- Mapa de distribuição de dados

Para o cálculo do semivariograma experimental, não é possível, em princípio, identificar suficientes pares de amostras igualmente espaçadas, uma vez que as amostras estão irregularmente distribuídas na área de estudo. Para isso, é definida uma distância de tolerância “ $\Delta(h)$ ” para o espaçamento entre pares de amostra e um ângulo de tolerância “ $\Delta\alpha$ ” para a direção considerada. A distância, “ $\Delta(h)$ ”, dada pelo variograma mede o grau médio de similaridade entre um valor não amostrado e um valor conhecido vizinho. Portanto, o semivariograma substitui a distância euclidiana “ h ” pela distância “ $\gamma(h)$ ”, atributo específico do local em estudo.

Sendo assim, foi realizada a escolha dos parâmetros “ $\Delta(h)$ ” e “ $\Delta\alpha$ ” para o cálculo do semivariograma experimental das variáveis NA e GOD.

O espaçamento entre pares de pontos “ $\Delta(h)$ ” escolhido foi de 300 m, num total de 8, perfazendo uma distância máxima de 2400 m, aproximadamente metade da diagonal da área estudada, ou seja, metade da maior distância possível entre pontos;

A direção escolhida “ $\Delta\alpha$ ” foi 0° . O Variowin considera 0° como sendo E-W e as demais direções aumentando no sentido anti-horário, ou seja, NE-SW como 45° , NS como 90° e NW-SE como 135° . A distância angular escolhida foi de 90° .

Desta forma, quando relacionados graficamente $\gamma(h)$ e h , obtém-se os gráficos dos semivariogramas experimentais para as variáveis NA e GOD, como mostram as figuras 52 e 53.

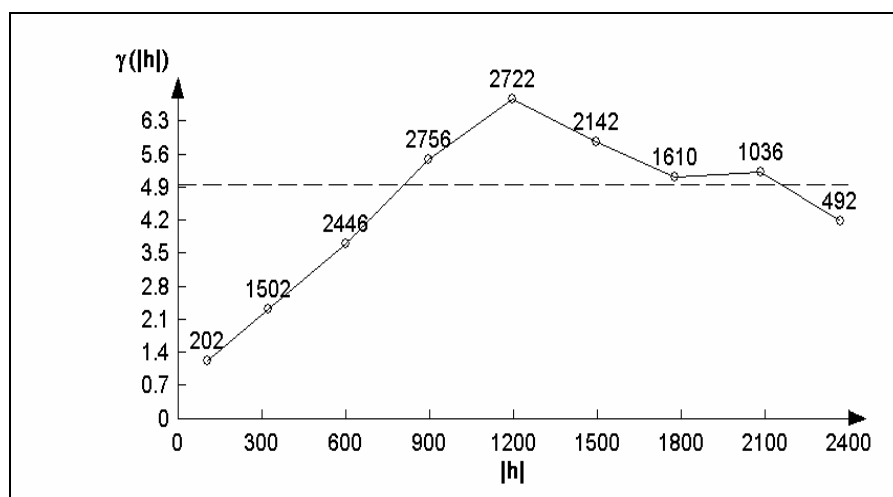


Figura 52 - Semivariograma experimental (abertura angular 90°) / NA

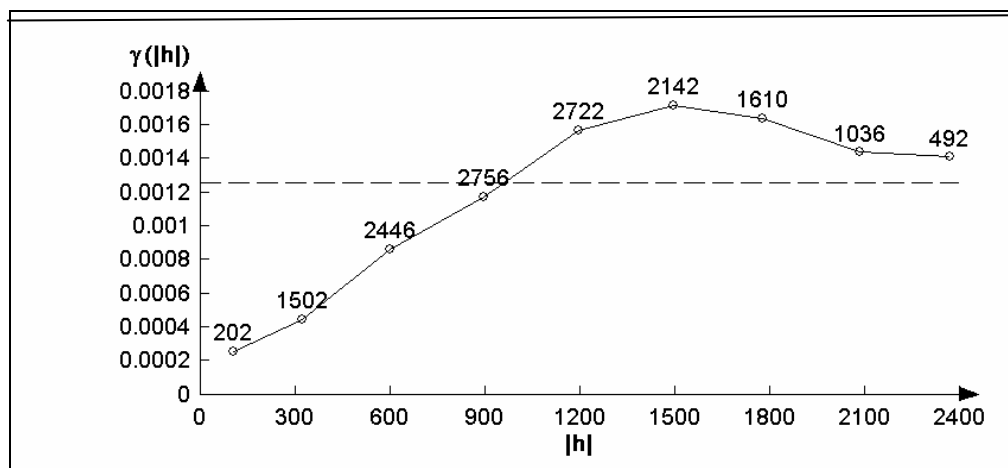


Figura 53 - Semivariograma experimental (abertura angular 90°) /GOD

Segundo Landim (2003), a partir do gráfico semivariograma é possível identificar, além do comportamento espacial da variável a existência de anisotropia, que é identificada quando semivariogramas construídos em direções distintas apresentam comportamento diferenciado.

Desta forma, a seguir, foram construídos os semivariogramas nas direções 0°, 45°, 90° e 135° com abertura angular 45° para as variáveis NA e GOD (Figuras 54 e 55) e comparados com os variogramas das Figuras 52 e 53 respectivamente.

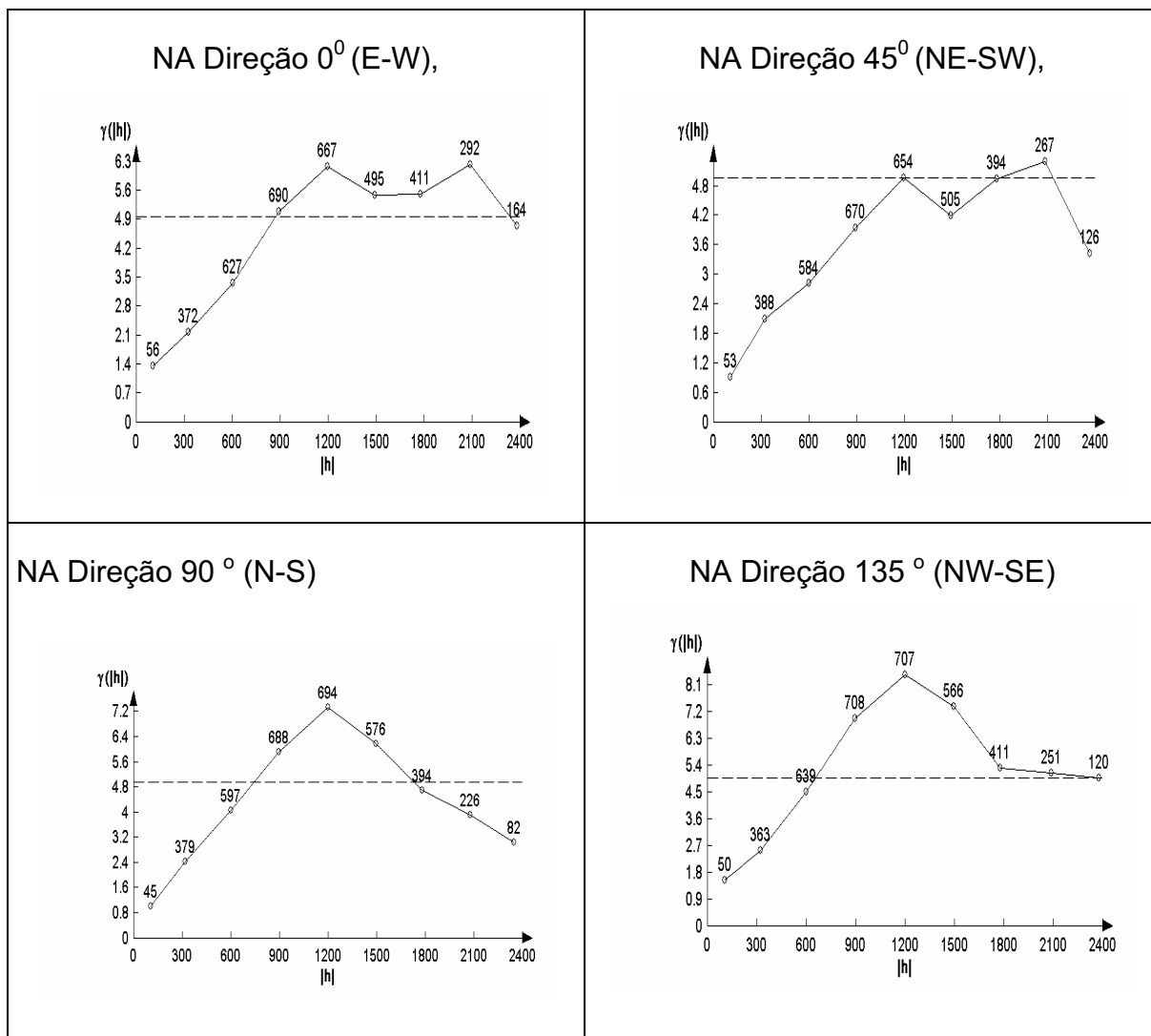


Figura 54 - Semivariogramas nas direções 0° 45° 90° e 135° /NA /

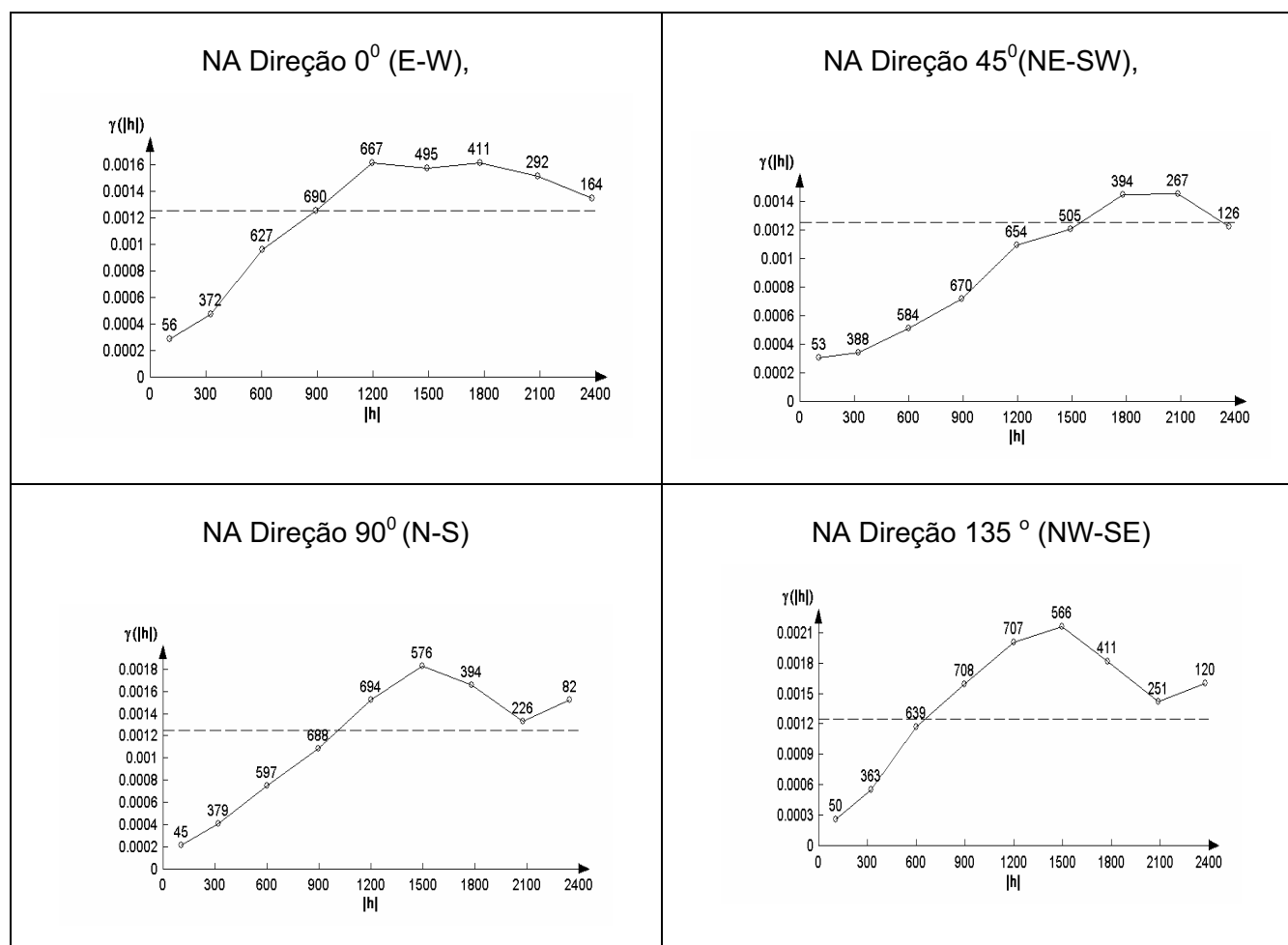


Figura 55 - Semivariogramas nas direções 0° 45° 90° e 135° / GOD.

Observa-se que os semivariogramas experimentais apresentados para as variáveis GOD e NA (Figuras 54 e 55), ilustram a ocorrência de isotropia, pois se observa um comportamento padrão aproximado (alcance e patamar permanecem constantes em todas as direções), podendo, portanto ser representando por um único modelo teórico de semivariograma.

6.3.2 Cálculo do Modelo Teórico de Semivariograma para as variáveis NA e GOD

A partir dos semivariogramas experimentais obtidos na etapa anterior foi ajustado um modelo teórico de sua representação para as variáveis NA e GOD, objetivando viabilizar o processo de interpolação (Krigagem) nas etapas seguintes.

Os modelos teóricos mais utilizados são: esférico, exponencial e gaussiano. A modelagem deve ser feita baseada em apenas uma estrutura. A direção adotada deve ser 0^0 (LANDIM, 2004).

A escolha do modelo é realizada através do cálculo do IGF (Indicação de Qualidade de Ajuste). O IGF é um número adimensional e valores quanto mais próximos a zero significam melhor o ajuste indicado. Portanto, o modelo que apresentar o menor IGF vai representar o comportamento espacial da variável. A figura 56, mostra a equação para cálculo do IGF.

$$IGF = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \sum_{i=0}^{n(k)} \frac{P(i)}{\sum_{j=0}^{n(k)} P(j)} \cdot \frac{D(k)}{d(i)} \cdot \left[\frac{\gamma(i) - \gamma^*(i)}{\sigma^2} \right]^2$$

Figura 56- Equação para cálculo

Onde :

N = número de variogramas direcionais

n(k) = numero de passos (lags) relativos ao variograma k

D(k) = distância máxima relativa ao variograma k

P(i) = número de pares para o passo i do variograma k

d(i) = distância média dos pares para o passo i do variograma k

$\gamma(i)$ = medida experimental da continuidade espacial para o passo i

$\gamma^*(i)$ = medida modelada da continuidade espacial para d(i)

σ^2 = (co) variância dos dados para o variograma (cruzado).

Desta forma foram escolhidos os modelos cujos resultados encontram-se ilustrados nas figuras abaixo.

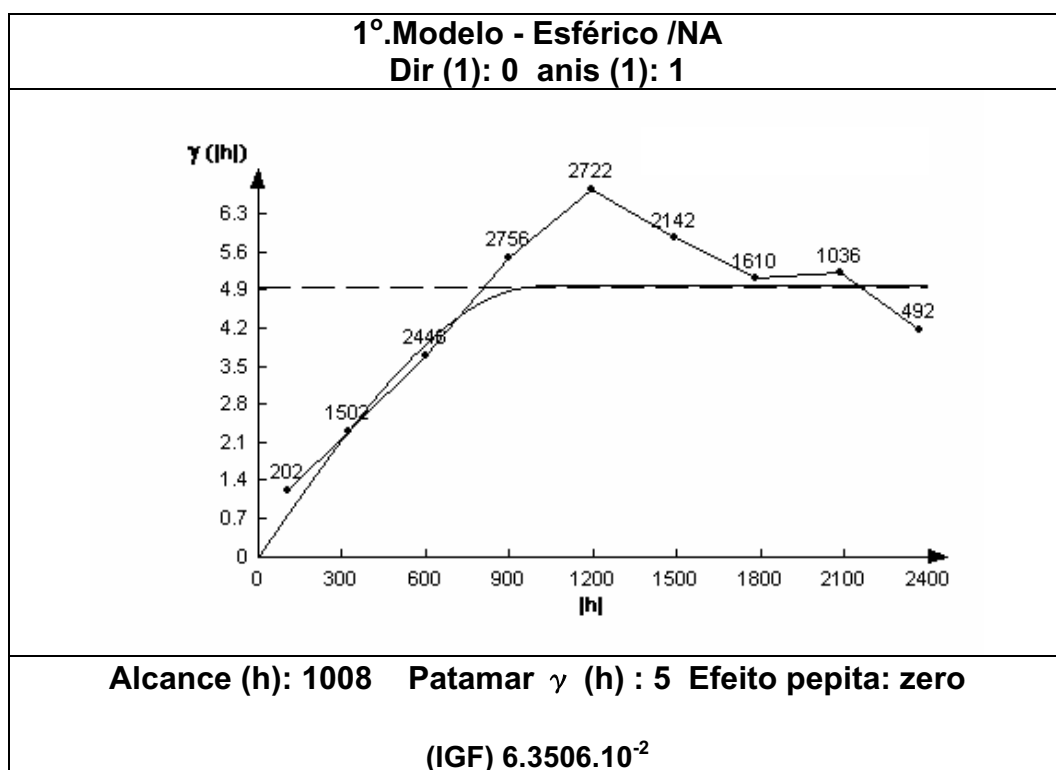


Figura 57- Modelo Esférico ajustado ao semivariograma I / NA

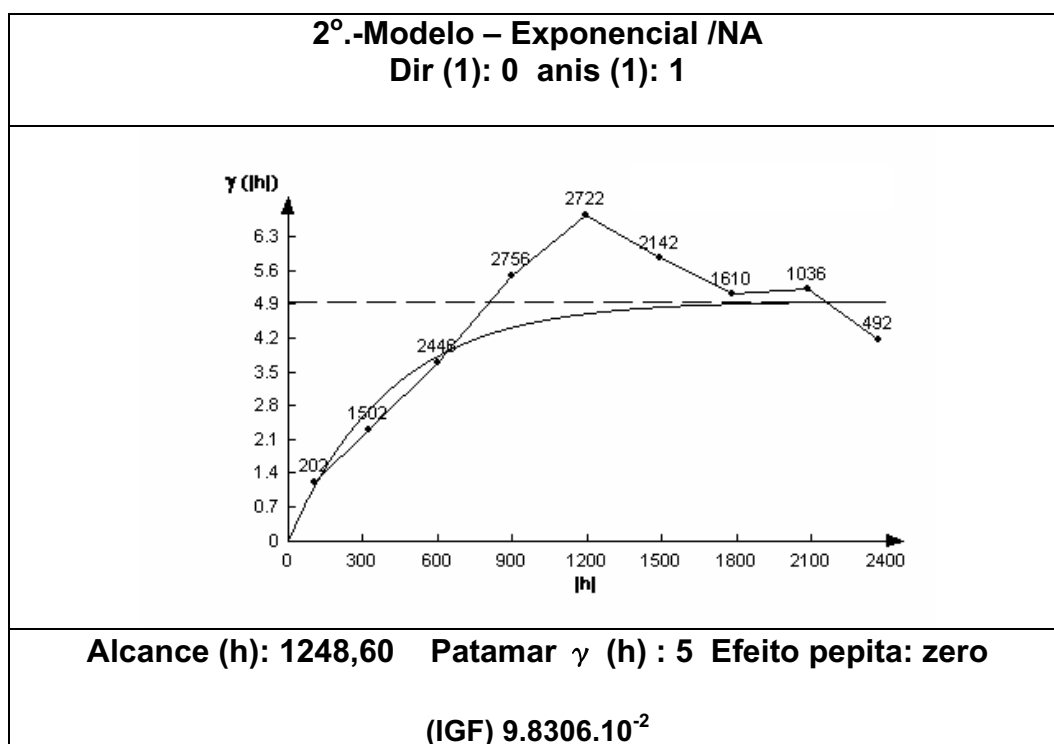


Figura 58- Modelo Exponencial ajustado ao semivariograma / NA

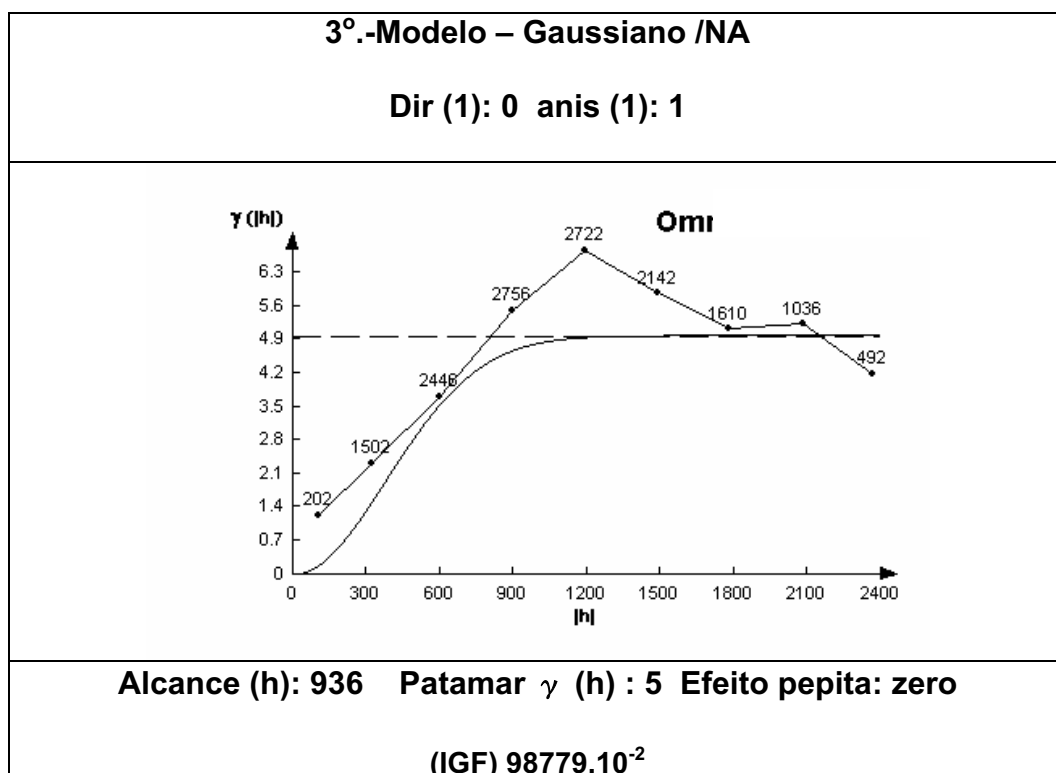


Figura 59- Modelo Gaussiano - Variável NA

Pela comparação entre as três indicações de qualidade dos ajustes encontrados, optou-se pelo modelo ESFÉRICO, por apresentar o menor IGF (Figura 57). A seguir, um mapa em pixel mostra o resultado do modelamento variográfico (modelo esférico) da variável NA com isotropia geométrica (Figura 60).

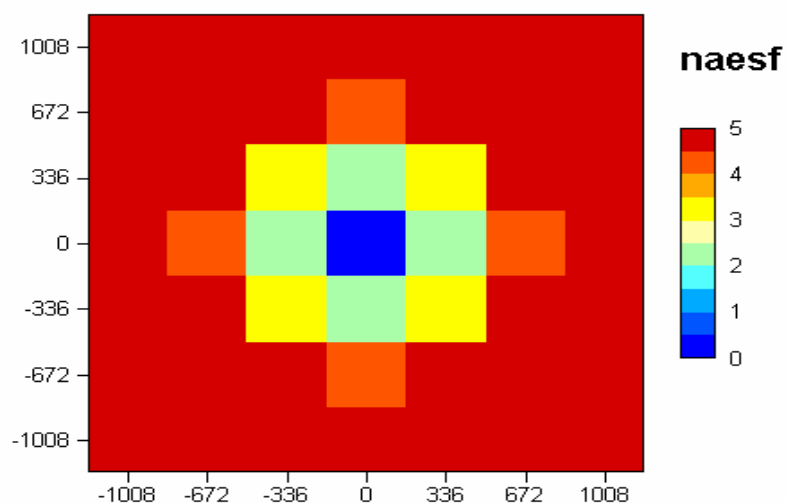


Figura 60 – Modelo de continuidade espacial naesf.em 2D reproduzindo a simetria geométrica.

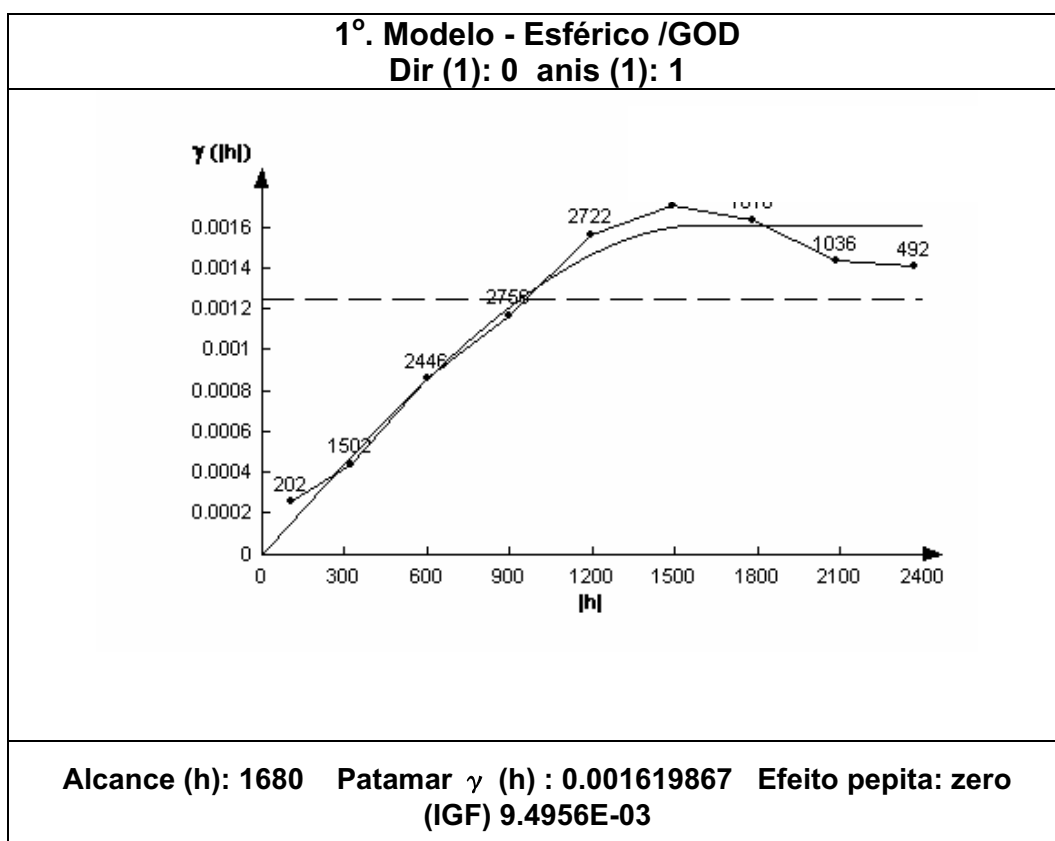


Figura 61- Modelo Esférico ajustado ao semivariograma / GOD

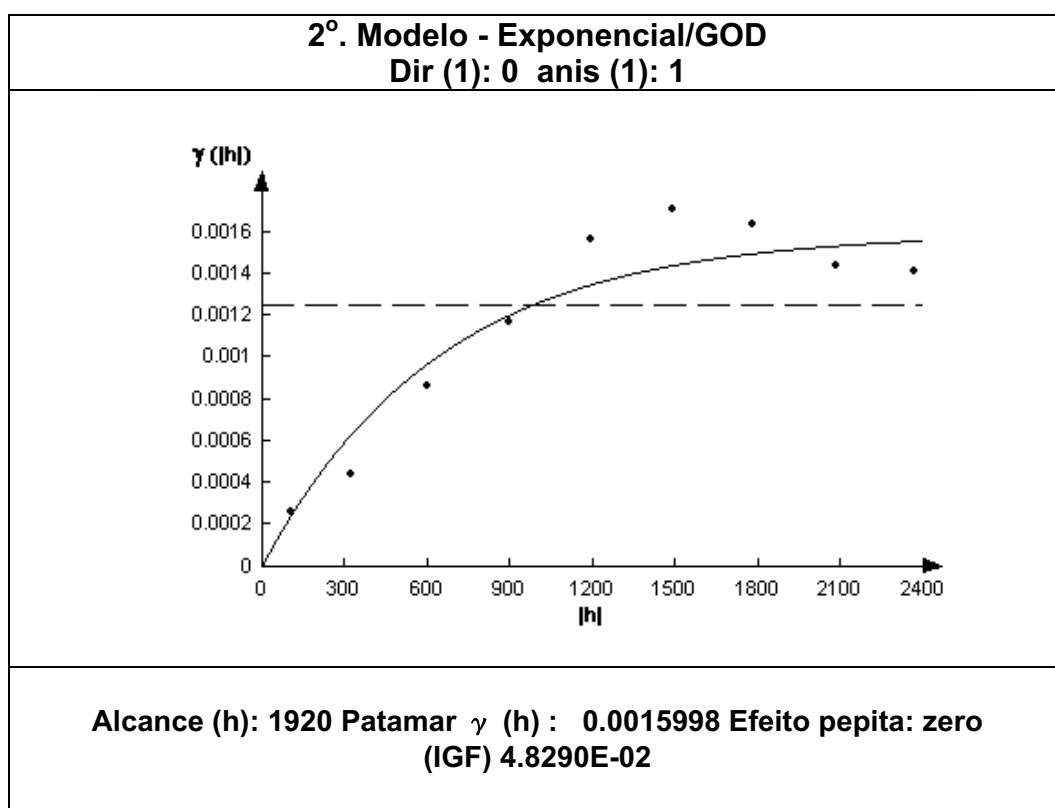


Figura 62- Modelo Exponencial ajustado ao semivariograma / GOD

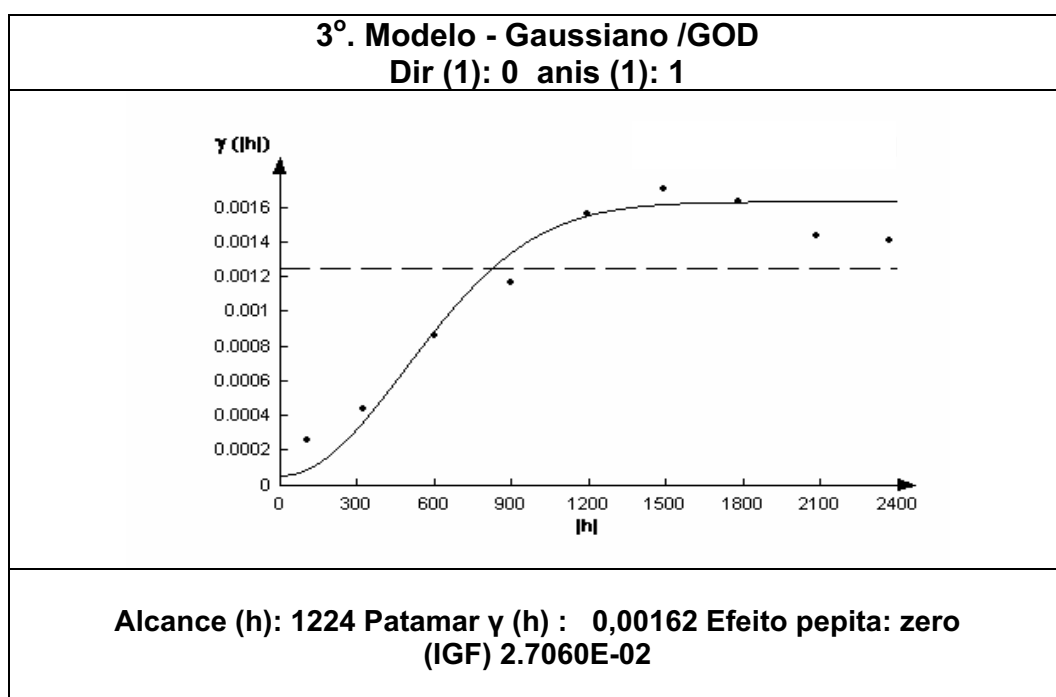


Figura 63- Modelo Gaussiano ajustado ao semivariograma / GOD

Pela comparação entre as três indicações de qualidade dos ajustes encontrados, opta-se pelo modelo ESFÉRICO (Figura 61), por apresentar o menor IGF, para representar o comportamento espacial da variável GOD.

A seguir, um mapa em pixel ilustra o resultado do modelamento variográfico (modelo esférico) da variável GOD, com isotropia geométrica (Figura 63).

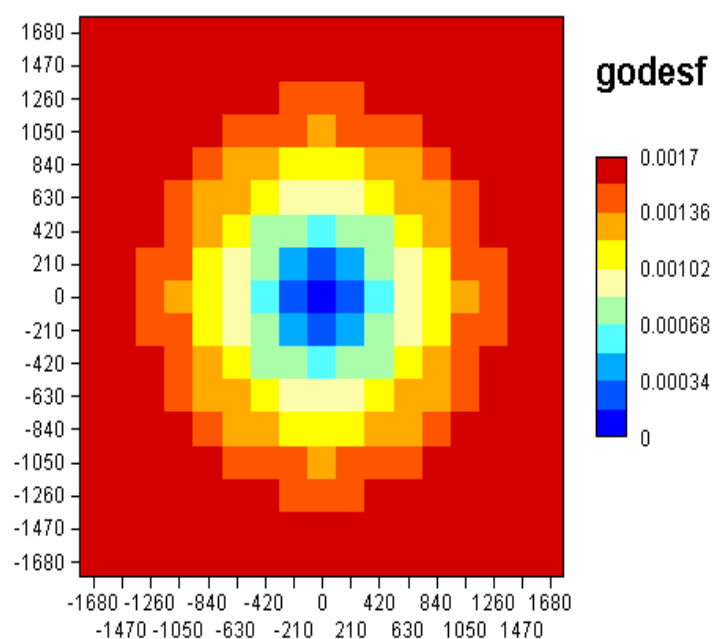


Figura 64 - Modelo de continuidade godesf. espacial em 2D reproduzindo a simetria geométrica.

Verifica-se que para os variogramas experimentais das variáveis NA e GOD o melhor modelo ajustado é o "modelo esférico" e a continuidade espacial indica que os dados não apresentam tendência (deriva nos dados).

6.3.3 Realização da Krigagem para a produção do Mapa NA e Carta de Vulnerabilidade

O tipo de Krigagem foi definido em função dos resultados obtidos nos estudos de análise variográfica descritos no item anterior.

A Krigagem utilizada foi a Krigagem ordinária, método geoestatístico que produz mapas de dados espaciais dispostos em redes irregulares e que não apresentem tendência (ou deriva) nos dados (LANDIM, 2003). Para tanto foi utilizado o software SURFER 8 na obtenção desses mapas.

A partir da ocorrência de isotropia e com os parâmetros patamar e alcance calculados para o modelo variográfico Esférico (adotado), efetuou-se a Krigagem ordinária, sendo então produzidos os mapas das variáveis NA / GOD.

A Krigagem produziu também um Mapa de Resíduos, cujos resultados dizem respeito aos valores residuais dessas variáveis, havendo a necessidade de uma correção nos mapas anteriormente obtidos.

Pode-se verificar ao serem comparados, o Mapa de Resíduos e o Mapa de Distribuição Dados (Figura 65), que os maiores valores residuais se encontram nos locais de baixa densidade de informações.

Portanto, foi possível elaborar o Mapa de Superfície de Tendência do NA e A Carta de Vulnerabilidade com mais precisão, isto é, correspondendo com mais precisão à realidade local.

Nas Figuras 66 e 67 são apresentadas comparações entre os mapas produzidos e os mapas corrigidos evidenciando o acima exposto.

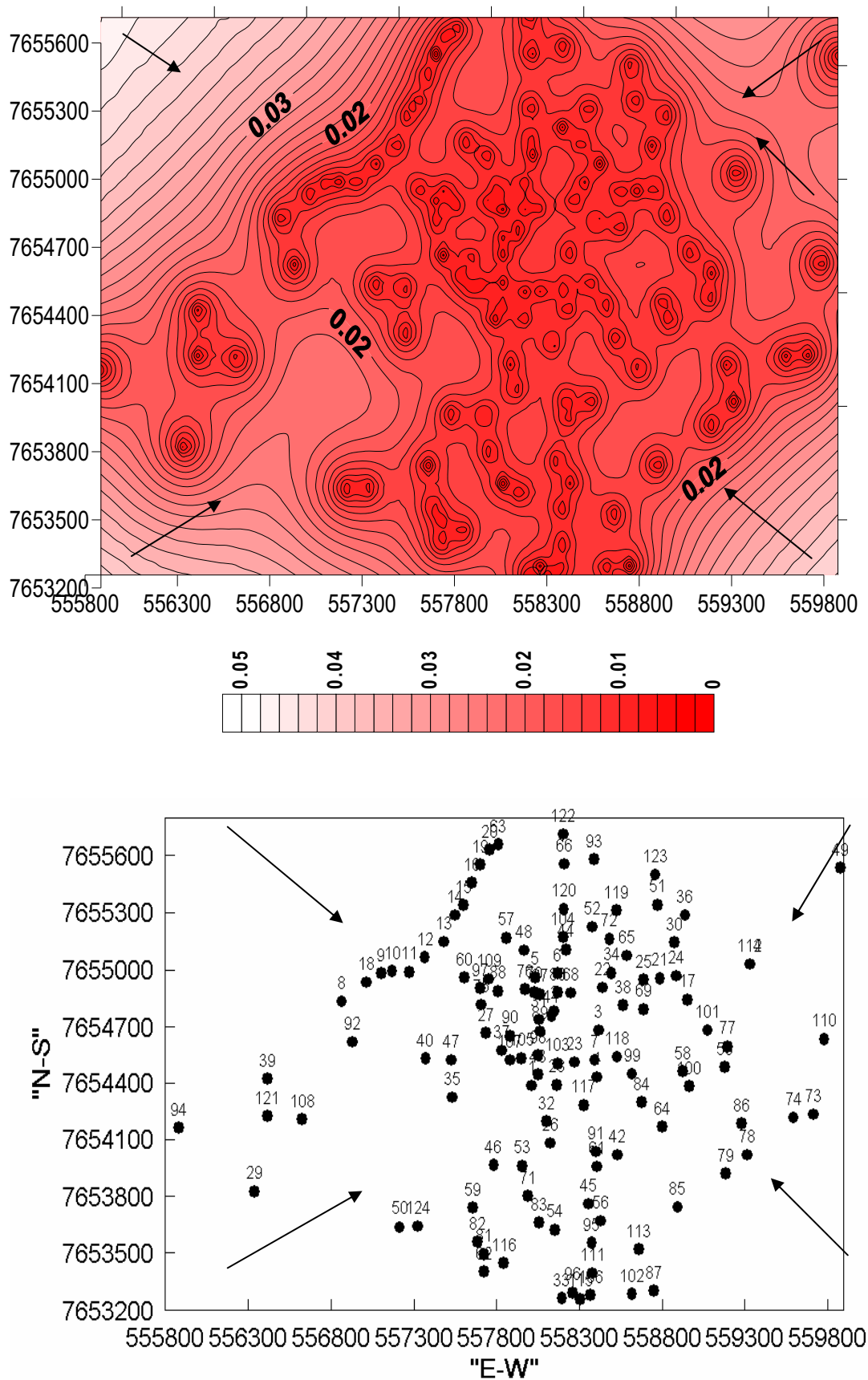
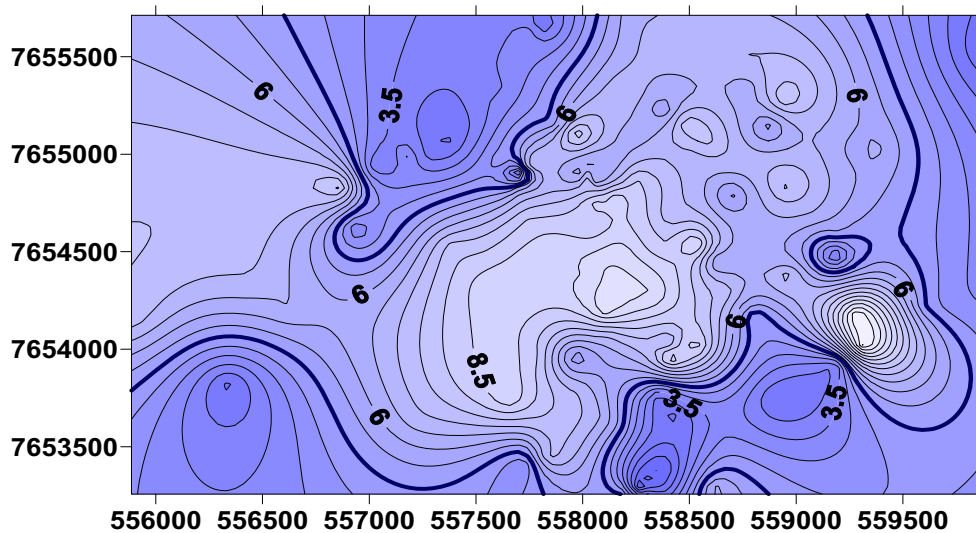
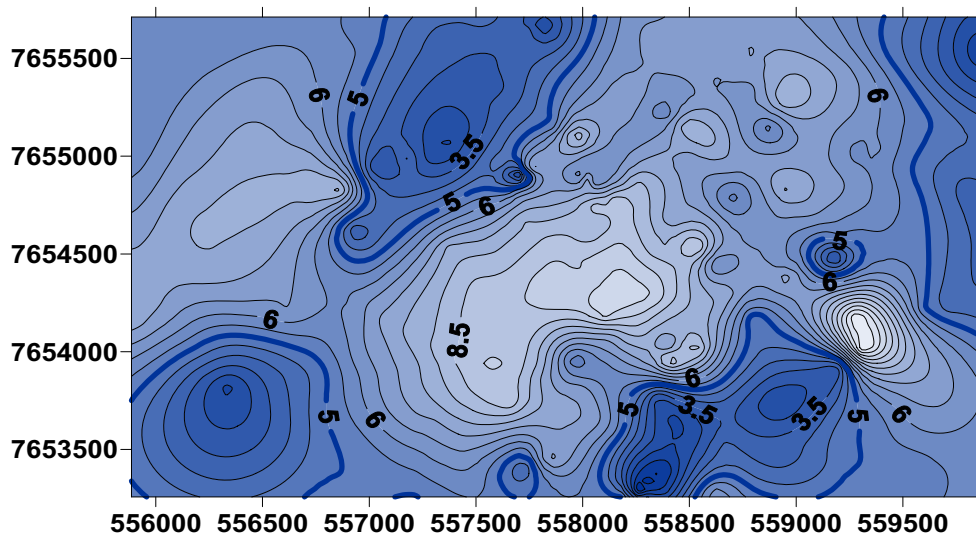


Figura 65 –Mapa de Distribuição de Dados e Mapa de Resíduos.

Mapa do NA Produzido por Krigagem Ordinária



Mapa do NA Corrigido



Tendência do NA em 3D

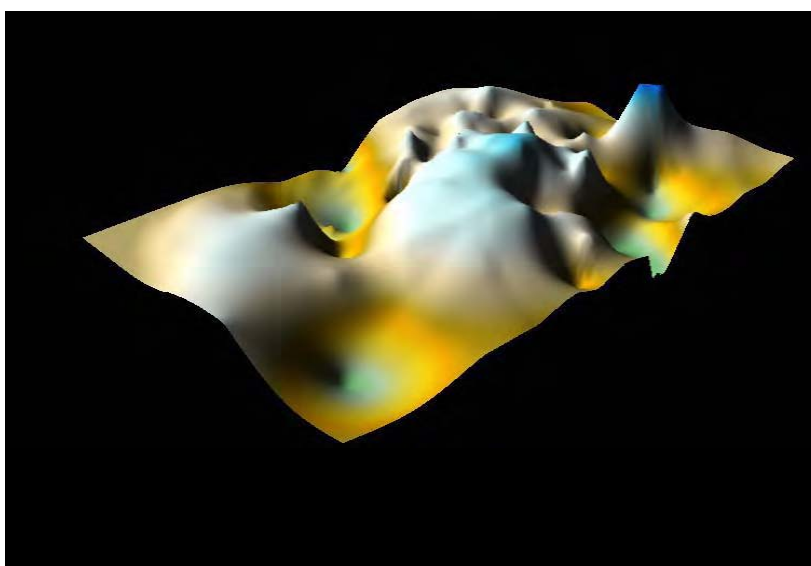


Figura 66 –Mapa de Superfície de Tendência do NA

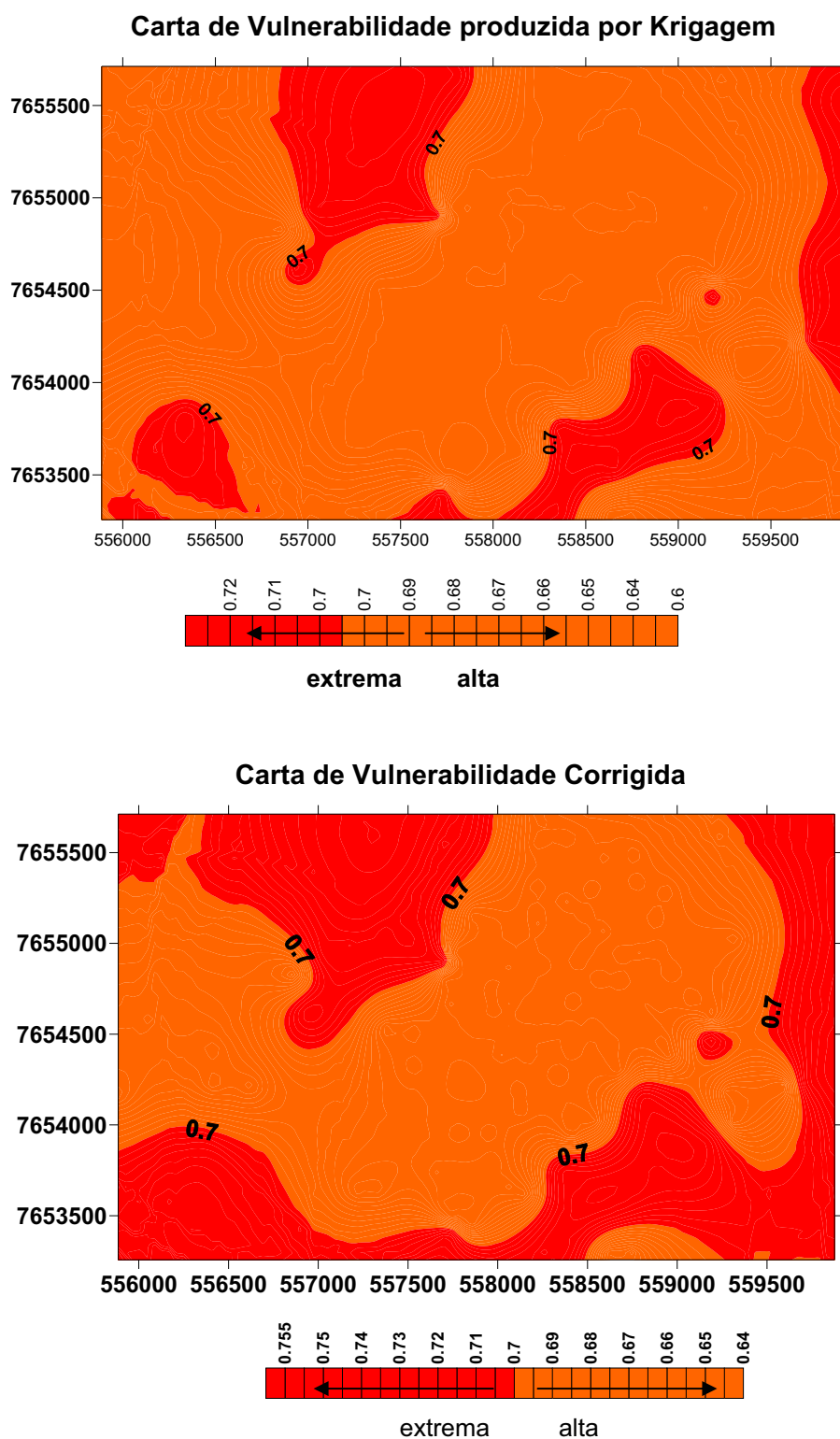


Figura 67 –Cartograma do índice de Vulnerabilidade GOD

Pode-se observar que os mapas corrigidos correspondem mais à realidade do local, sendo considerados como os mapas finais obtidos para a área.

Devido aos objetivos propostos, fez-se a representação espacial do Nível Estático do Aquífero ou Mapa de Superfície de Tendência do NA constante no Apêndice B, e do Índice de Vulnerabilidade GOD ou a Carta de Vulnerabilidade à Contaminação dos Recursos Hídricos Subsuperficiais da área, constante no Apêndice C.

6.3.4 Localização das áreas de Vulnerabilidade Extrema e Alta

Considerando as informações obtidas a partir da espacialização dos dados fez-se a localização das áreas mais susceptíveis a contaminação dos aquíferos quanto ao relevo e a posição do NA, que estão distribuídas da seguinte forma:

Quanto ao Relevo

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

Quanto a posição do NA

- Vulnerabilidade Extrema – distribuída nas regiões onde o NA é menor ou igual a 5 metros;
- Vulnerabilidade Extrema – distribuída nas áreas de afloramento de basalto do Aquífero Serra Geral (áreas da antiga pedreira e vales do córrego Machadinho e Ribeirão Baguaçu), ou seja, onde a rocha está exposta ou recoberta apenas por camadas de solo a infiltração de água é direta e por isso a Vulnerabilidade nessas regiões é Extrema.
- Vulnerabilidade Alta – distribuída nas regiões onde o NA é maior que 5 metros.

A localização das áreas de Extrema e Alta Vulnerabilidade, quanto ao relevo e a posição do NA podem ser visualizadas nas ilustrações da Figura 68 na página seguinte.

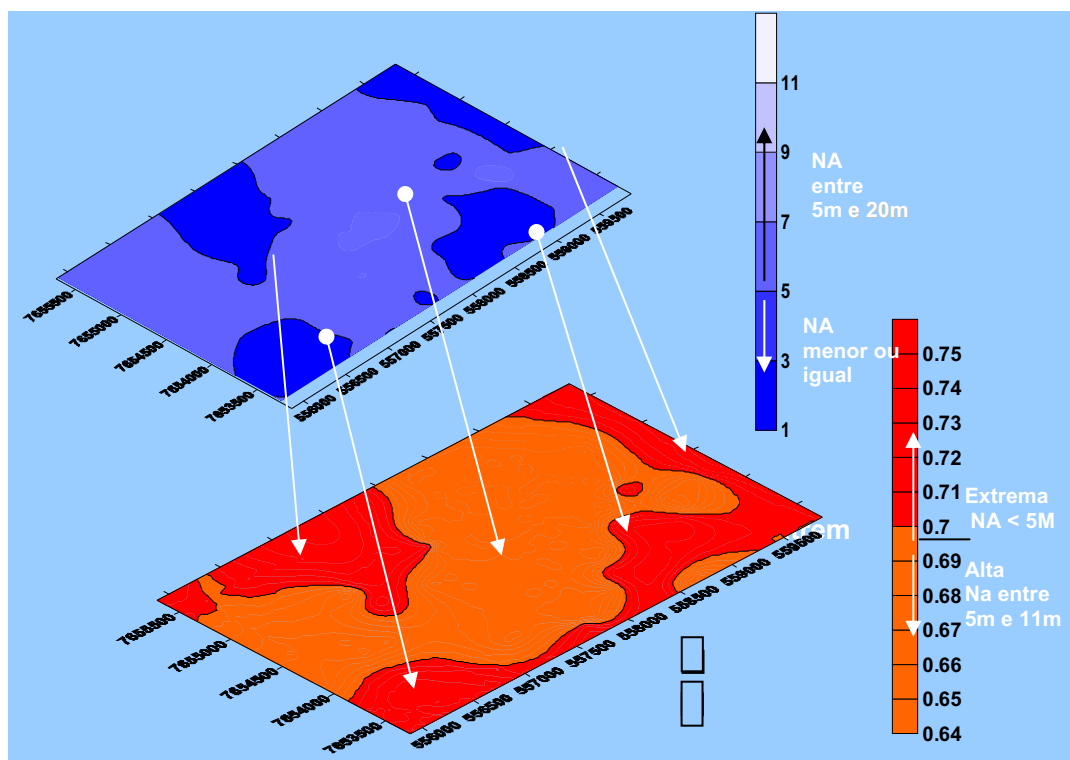
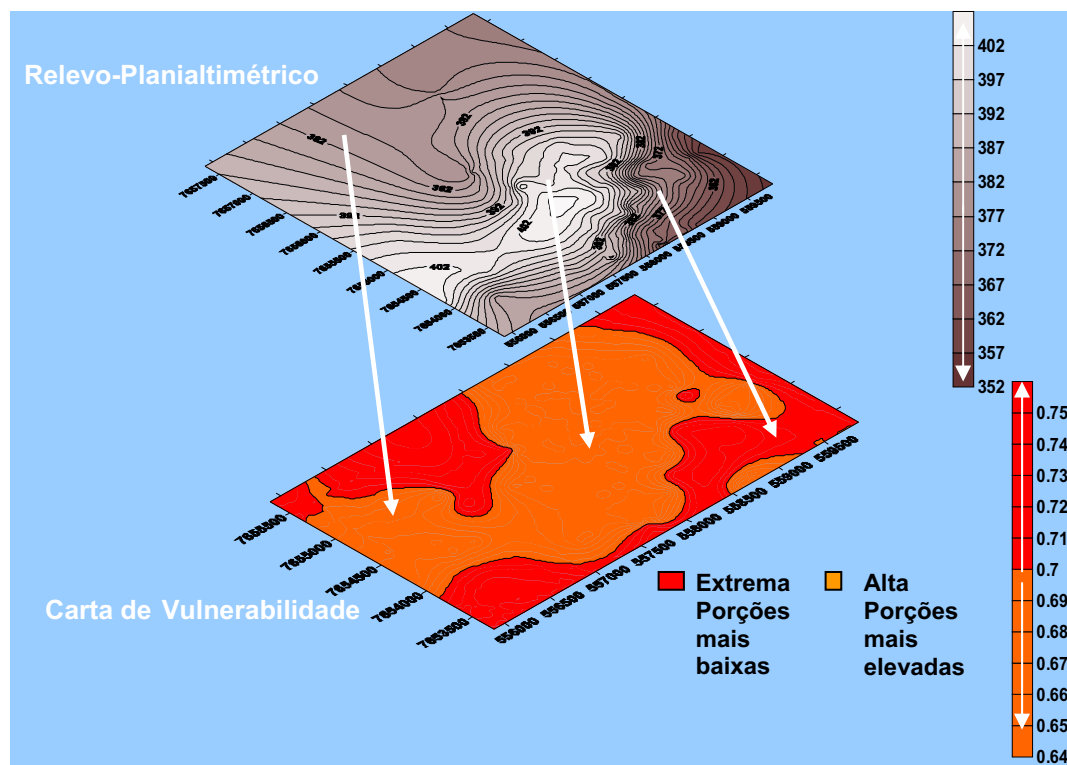


Figura 68 – Localização das áreas quanto a Vulnerabilidade

7 CONCLUSÕES

Os dados utilizados no mapeamento do subsolo local, obtidos com base em perfis das sondagens de subsolo, foram fundamentais para o resultado esperado do estudo, uma vez que os dados oficiais referentes aos níveis estáticos do aquífero não representavam a realidade local.

.Os impactos ambientais observados e a existência de águas subsuperficiais contaminadas em postos de combustíveis (CETESB, 2007) localizados na área de estudo, comprovam que o risco de contaminação é real e implica em risco a saúde da população local, pois parte da população utiliza essas águas como solução alternativa de abastecimento.

A Carta de Vulnerabilidade proposta mostra áreas que foram classificadas como de Vulnerabilidade Extrema Vulnerabilidade e Vulnerabilidade Alta.

A delimitação das áreas vulneráveis do aquífero à contaminação permite a determinação de áreas de proteção que podem ser assim distribuídas:

Áreas de Restrição Máxima nas Áreas de Extrema Vulnerabilidade: caracterizada pela proibição da captação privada e uso das águas subsuperficiais do aquífero Bauru, e de instalação de atividades potencialmente poluidoras.

Áreas de Restrição Controlada nas Áreas de Alta Vulnerabilidade: caracterizada pela restrição e controle da captação privada e uso das águas subsuperficiais do aquífero Bauru, e da instalação de novas atividades potencialmente poluidoras.

Portanto, o estudo realizado possibilita ao poder público municipal o estabelecimento do Zoneamento da Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos Subsuperficiais à Contaminação, da área urbana central do município, cujas águas apresentam valor sócio- econômico indiscutível.

Desta forma, a Carta de Vulnerabilidade tem importância prática no sentido de buscar os melhores locais para instalação de fontes potenciais de contaminação, tais como, loteamentos, postos de combustíveis, oficinas mecânicas, depósitos de fontes potenciais de contaminação (ex:sucatas,produtos químicos), e outras atividades.

Um exemplo de aplicação deste zoneamento poderia se implantado em áreas (vazios urbanos) ao longo dos vales do Córrego Machadinho e Ribeirão Baguaçu, atualmente impactados, aonde o processo de urbanização vem sendo incentivado.

Os usos e a ocupação dessas áreas deveriam ser discutidos em audiência pública envolvendo toda a sociedade interessada, com base em Carta de Vulnerabilidade. Esses lotes, depois de recuperados poderiam ser aproveitados como parques e áreas livres, passando a ter importância ambiental e cênica, ao serem projetados como sistemas regeneradores dessas áreas.

Os vales e as várzeas arborizadas dos córregos, sem dúvida, assegurariam um micro-clima favorável e ao mesmo tempo seriam eficientes para a drenagem das águas pluviais, em períodos de enchentes. Isso seria, portanto uma proteção natural à contaminação dos recursos hídricos superficiais e subsuperficiais.

Tal quadro tende a se agravar com o passar do tempo, uma vez que o uso e a ocupação do local vêm ocorrendo sem planejamento urbano integrado à gestão dos recursos hídricos.

A metodologia aplicada nesta pesquisa, para a avaliação da vulnerabilidade foi eficiente e pode ser ampliada para as demais regiões urbanizadas e principalmente para as áreas em expansão urbana do município.

A Carta de Vulnerabilidade proposta poderá ser utilizada pelo poder público, como um instrumento de caráter impeditivo e não apenas orientativo, do uso e ocupação do solo, bem como do uso das águas subterrâneas.

A Carta de Vulnerabilidade é um instrumento eficaz e imprescindível no planejamento urbano e ambiental municipal e em qualquer programa de proteção e recuperação da qualidade dos recursos hídricos subsuperficiais com vistas à saúde humana e à vida aquática, contemplando uma das metas estratégicas previstas no Plano Estadual de Recursos Hídricos PERH 2004/2007.

8 REFERÊNCIAS

ALBINET, M.; MARGAT, J. **Cartographie de la vulnérabilité a la pollution des nappes d'eau souterraine**. Bulletin BMGM ZME, v.3, n.4, p13-22, 1970.

ALLER, L.; BENNETT, T.; LEHR, J.H.; PETTY, R.J.; HACKETT, G. **DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings**. Washington: Environmental Protection Agency Report 600/2-87-035, 1987.

ANA. Inserção das águas subterrâneas na política de gerenciamento de recursos hídricos. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/gestãoRecHidricos/ConservaçãoÁguaSolo/docs/APRESENTACAO-IGAM.hppt>>. Acesso em: 12 de maio 2006.

ARAÇATUBA. Prefeitura Municipal. Câmara Municipal. **Lei Complementar N.º 168/06 - de 6 de outubro de 2006. Institui o Plano Diretor do Município de Araçatuba**. Publicada e arquivada pelo Departamento de Atividades Auxiliares do Gabinete do Prefeito, 06/11/2006.

ARAÇATUBA (Prefeitura Municipal). Secretaria Municipal de Planejamento Urbano. Plano Diretor. **Mapa 5**: hidrografia municipal, 2006. 1 mapa, arquivo pdf.

ARAÇATUBA (Prefeitura Municipal). Secretaria Municipal de Planejamento Urbano. Plano Diretor. **Mapa 9**: planialtimetria urbana, 2006. 1 mapa, arquivo pdf.

ARAÇATUBA (Prefeitura Municipal). Secretaria Municipal de Planejamento Urbano. Plano Diretor. **Mapa 26**: uso do solo atual, 2006. 1 mapa, arquivo pdf.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6023**: Informação e documentação – referências e elaboração. Rio de Janeiro. 2002.

CAMPONOGARA, I. **Vulnerabilidade natural no sistema aquífero guarani e análise de parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas em Quaraí, Br e Artigas, Uy**. 109 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências Naturais e Exatas Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, Área de Concentração Geoinformação e Análise Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2006.

CAMPONOGARA, Isabel; BRUTTI, Elizane Aparecida; KONRAD, Carlos Gilberto; GOLDANI, Jurandir Zanoti; SILVA, José Luiz Silvério da. Mapeamento da vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos e risco de poluição dos recursos hídricos subterrâneos no município de Soledade /RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO - COBRAC, 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: COBRAC, 2004

CAMPOS, J.E. et al. **Carta hidrogeológica do Estado de São Paulo (Brasil)** na escala 11.000.000- Resultados Parciais. In: JOINT WORLD CONGRESS, 1, 2000, Fortaleza. **Anais...**Fortaleza: ABAS, 2000.

CEPIS. Sistema Aquífero Guarani. Centro pan-americano de engenharia sanitária e ciências do meio ambiente. Disponível em: http://www.sg-guarani.org/microsite/pages/pt/info_aguas.php. Acesso em: 01 ago. 2007.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. 2. ed. São Paulo: CETESB, 1999. 1v.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo - 2000**. São Paulo: CETESB, 2000.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Guia para a avaliação de potencial de contaminação em imóveis**. São Paulo: CETESB, 2003.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Ações corretivas baseadas em risco**. São Paulo: CETESB, São Paulo. 2003.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas. companhia de tecnologia de saneamento ambiental**. São Paulo: CETESB, 2004.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2005.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo - 2005**. São Paulo: CETESB, 2005.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Águas subterrâneas proteção da qualidade: poluição das águas subterrâneas**. Disponível em: <[http:// www.cetesb.sp.gov.br solo/agua_sub/poluicao.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/agua_sub/poluicao.asp)> . Acesso em: 12 maio de 2006.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo - 2006**. São Paulo: CETESB, 2006.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Relação de áreas contaminadas no Estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 25 jan. 2007.

DAEA. Departamento Autônomo de Águas e Esgotos de Araçatuba. Prefeitura Municipal de Araçatuba. **Relatório de Cadastro de poços na área urbana do município de Araçatuba**. Araçatuba: DAEA, 2006.

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

DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Saneamento e Energia. **Estudo de águas subterrâneas: regiões administrativas 10, 11: Presidente Prudente e Marília**. São Paulo: DAEE, 1979b. v.1 e 2.

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

DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Saneamento e Energia. **Mapa das águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: DAEE, 2005.

DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Governo do Estado de São Paulo. **Plano estadual de recursos hídricos: 2004/2007**. São Paulo: DAEE, 2006. (Resumo).

FEITOSA, A. C. ; FILHO, J. M. (Coord.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 2.ed. Fortaleza: CPRM/REFO, 2000. 391p.

FERNANDES, L.A.; COIMBRA, A.M. **A cobertura cretácea suprabasáltica no Estado do Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá**. São Paulo: SBG, 1992. v.2, p. 506-508. (Boletim de Resumos Expandidos).

FETTER, C. W. **Contaminant hydrogeology**. 2.ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1993. 500p.

FOSTER, S.; VENTURA, M.; HIRATA, R. **Contaminación de las aguas subterráneas: un enfoque ejecutivo de la situación en América Latina y el Caribe en relación con el suministro de agua potable**. Lima: OMS; OPS-HPE; CEPIS. 1987.

FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.C.A. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data**. Lima: World Health Organization, Pan American Health Organization, Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences, 1988.

FOSTER, S.; HIRATA, R.C. **A Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data**. Lima: CEPIS-PAHO/WHO, 1988.

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.

FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.C.A.; GOMES, D.; D'ELIA, M. PARIS, M. **Protección de la calidad del agua subterránea: guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales**. Lima: Banco Mundial. 2002.

FURTADO, Z.N.C. et. al. Investigação confirmatória de contaminação do subsolo por hidrocarbonetos em um posto de combustíveis em Araçatuba-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - CABAS, 7, 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABAS, 2006. v. 1. p. 1-65.

FURTADO, Z.N.C. et. al. Condicionantes naturais e antrópicas em investigação confirmatória de contaminação do subsolo por hidrocarbonetos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9, 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABES 2007. v. 1. p. 1-80.

GOMES, R. D.; PEREIRA, S. Y. ; ESPÍNDOLA, C R . Mapeamento de risco de contaminação no aquífero livre do município de Pereira Barreto/ SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13, 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: ABAS, 2004. v. 1. p. 1-20.

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

INSTITUTO GEOLÓGICO. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterráneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: IG, 1997.

KARMANN, I. Águas subterráneas. In: TEIXEIRA, W.; MOTTA DE TOLEDO, M.C.; HEARTLE, A. **Toxic organic chemicals: destruction and waste treatment**. Park Ridge: Noyes Data Corp., 1983. v.1, p. 40-317. (Pollution technology review).

LANDIM, P.M.B. **Introdução à análise variográfica com variowin**. Rio Claro: Unesp/DGA/IGCE, 2004. 25p. (Texto Didático, 14). Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 22 ago. 2007.

LANDIM, P.M.B. et al. **Krigagem ordinária para situações com tendência regionalizada**. Rio Claro: Unesp/DGA/IGCE, 2002. 12p. (Texto Didático, 06). Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/ligce/aplicada/textodi.html>> Acesso em: 12 out. 2007.

LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2.ed. São Paulo: FEU, 2003. 253p.

LIMA FILHO, Mário Ferreira; MELO, N. A. Risco à poluição do aquífero Beberibe no setor norte da região metropolitana do Recife. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13, 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: ABAS, 2004. v. 1. p. 1-20.

MEAULO, F. J. **Vulnerabilidade natural à poluição dos recursos hídricos subterrâneos da área de Araraquara – SP**. 2004. 108 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

MURO, M. D. **Carta de zoneamento para seleção de áreas frete à instalação de aterros sanitários no município de São Carlos-SP**, escala 1: 50.000. 2000. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

OLIVEIRA, J.B. **Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1999.

PERROTA, M.M. et al. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: CPRM, 2005. Escala 1:750. 000.(Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).

RAMOS, F. **Engenharia hidrogeológica**. Rio de Janeiro: UFRJ/ABRH, 1989. 404p.

SÃO PAULO (Estado). Decreto no. 32.955/91, de 07 de fevereiro de 1991 –Aprova o regulamento da Lei nº 6.134/88, de 2 de junho de 1988, que dispõe sobre preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, com retificação feita. **Diário Oficial**, São Paulo, v.101, n. 26, 08 fev. 1991.

SÃO PAULO (Estado). Decreto no. 8.468/76 –Aprova o regulamento da Lei nº 997/76, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e sobre o controle da poluição do meio ambiente. **Diário Oficial**, São Paulo, v. 95 , n.15 , 09 set.1976.

SANDRES, G. C.; MAINIER, F. B. 2004.Contaminações dos solos e águas subterrâneas provocadas por vazamentos de gasolina devido à corrosão em tanques enterrados. In: I Congresso Internacional Transdisciplinar Direito e Meio Ambiente, 19,5, 2004, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: PUC-RS, 2004. v. 1.

SILVA, R.L.B.; MARRA, C.M.; MONTEIRO, T.C.M.; BRILHANTE, O.M. 2002. **Estudo da contaminação de poços rasos por combustíveis orgânicos e possíveis consequências para a saúde pública no Município de Itaguaí**, Rio de Janeiro, Brasil. Caderno de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 18 (6):1599-1607, Nov. 2002.

VALVERDE, J. A.; MESALLES, R. P. **Análisis de vulnerabilidad a la contaminación de una sección de los acuíferos del Valle Central de Costa Rica**. 2000. Disponível m:<http://gis.esri.com/library/userconf/latinproc00/costa_rica/analisis_vulnerabilidad/vulnerabilidad_acuiferoscr.htm>. Acesso em: 10 mar. 2006.

YAMADA, T. **Geoprocessamento e sensoriamento remoto como ferramentas para a análise da vulnerabilidade natural de aquíferos à poluição–Bacia Hidrográfica Ribeirão dos Negros, São Carlos – SP**. 2005. 48 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, 2005.

WATSON, I.; BURNETT, A. D. **Hydrology**: an environmental approach. Washington: Lewis Publishers, 1995.

9 APÊNDICES

APÊNDICE A - Mapa de Documentação da Área

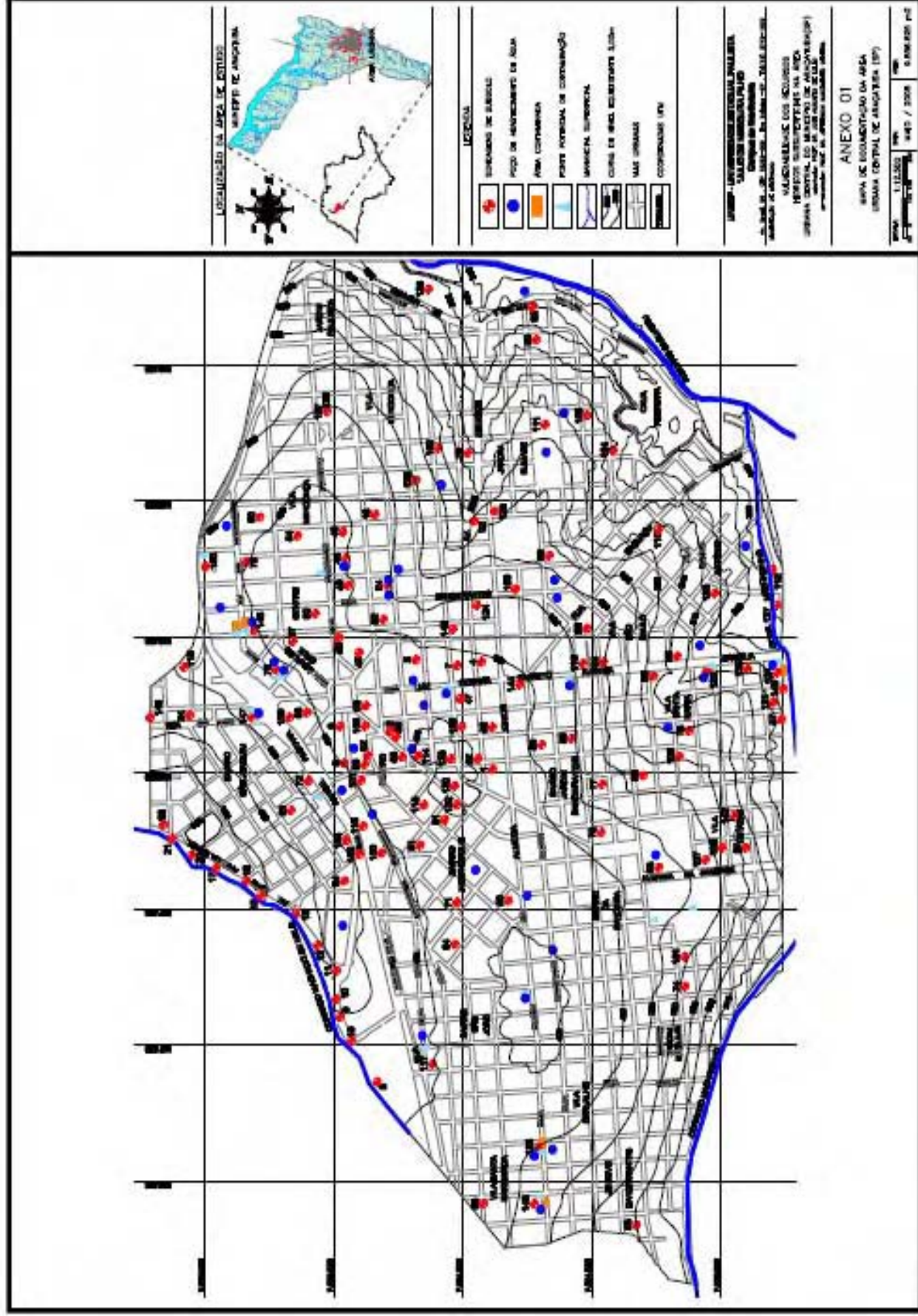
APÊNDICE B - Mapa de Superfície de Tendência do NA

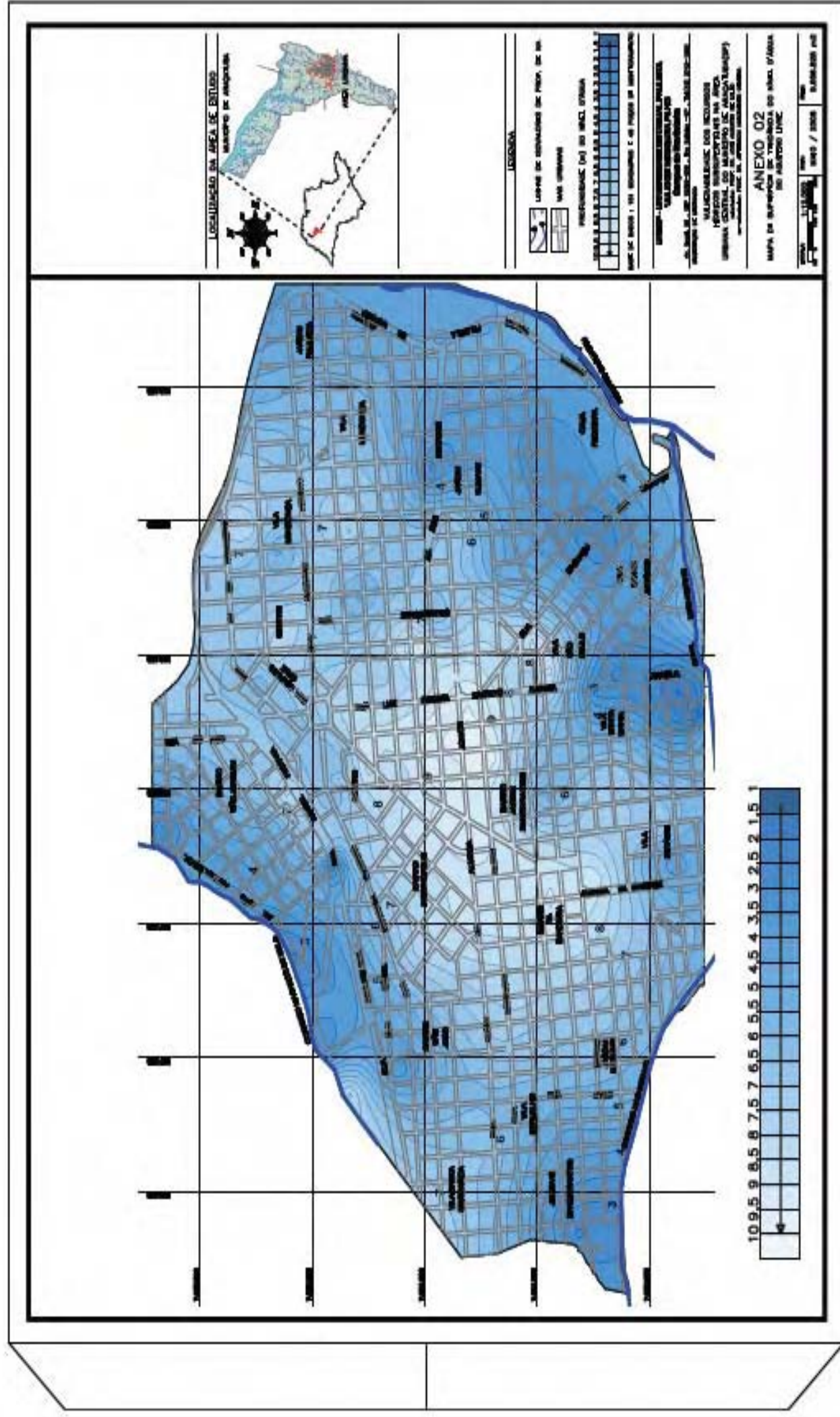
APÊNDICE C - Carta de Vulnerabilidade

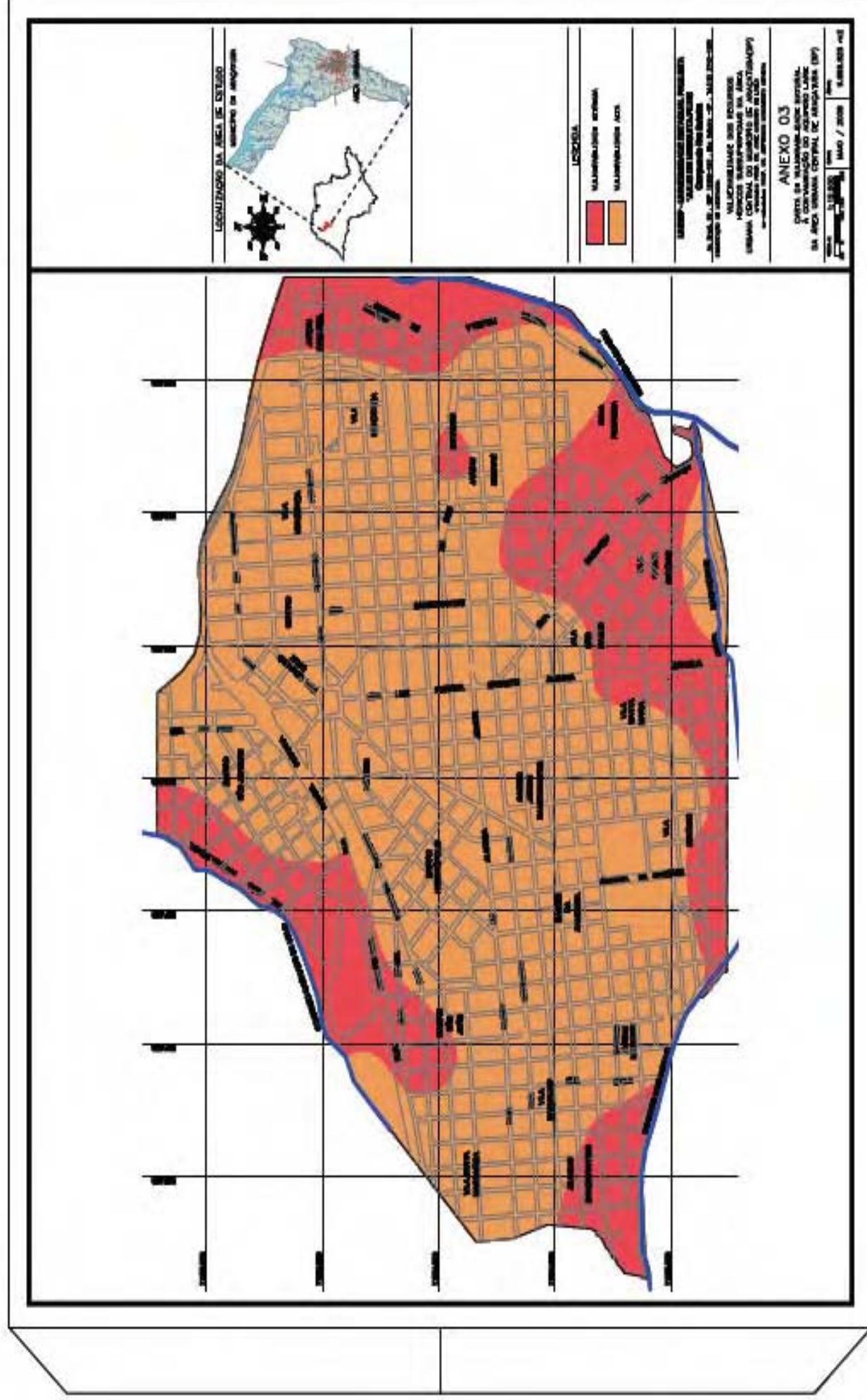
APÊNDICE D - Tabela de Sondagens de Subsolo

APÊNDICE E - Tabela de Geração de Índices e Classes de Vulnerabilidade

APÊNDICE F - Tabela de Poços de Abastecimento







APÊNDICE D - Tabela de Sondagens de Subsolo

NO.	REL.N.	COTA	PROFUND.	PROFUND.	COTA	SUBST. GEOLÓGICO	Aquif.
		ALTIM.	Furo	NA	NA	Zona Não Saturada	
1	SP086	403	16,00	9,00	394	Areia fina silto-argil.	Bauru
6	SP001	400	13,00	6,35	394	Areia fina silto-argil.	Bauru
10	SP064	393	7,72	4,11	389	Areia fina silto-argil.	Bauru
11	SP065	392	7,55	2,85	389	Areia fina silto-argil.	Bauru
15	SP069	385	7,50	3,45	382	Areia fina silto-argil.	Bauru
16	SP070	384	7,54	3,40	381	Areia fina silto-argil.	Bauru
20	SP135	381	7,50	3,60	377	Areia fina silto-argil.	Bauru
21	SP136	380	7,50	3,74	376	Areia fina silto-argil.	Bauru
24	SP138	380	7,35	3,75	376	Areia fina silto-argil.	Bauru
25	SP140	380	7,80	4,08	376	Areia fina silto-argil.	Bauru
36	SP151	375	7,50	1,85	373	Areia fina silto-argil.	Bauru
43	SP158	375	7,56	2,43	373	Areia fina silto-argil.	Bauru
55	SP016	404	14,00	8,88	395	Areia fina silto-argil.	Bauru
61	SP080	403	14,00	8,60	394	Areia fina silto-argil.	Bauru
62	SP46	397	19-20	6,55	390	Areia fina silto-argil.	Bauru
63	SP54	402	15,00	7,10	395	Areia fina silto-argil.	Bauru
64	SP83	402	13,09	7,65	394	Areia fina silto-argil.	Bauru
65	SP014	402	13,96	8,50	394	Areia fina silto-argil.	Bauru
66	SP015	383	16,79	8,80	374	Areia fina silto-argil.	Bauru
67	SP79	404	15,93	9,42	395	Areia fina silto-argil.	Bauru
68	SP31	398	12,00	6,20	392	Areia fina silto-argil.	Bauru
69	SP122	376	8,04	2,77	373	Areia fina silto-argil.	Bauru
70	SP131	397	17,00	8,11	389	Areia fina silto-argil.	Bauru
71	SP82	403	11,3	7,82	395	Areia fina silto-argil.	Bauru
72	SP57	404	13,09	8,51	395	Areia fina silto-argil.	Bauru
73	SP37	375	1,96	1,96	373	Areia fina silto-argil.	Bauru
74	SP167	389	10,20	6,80	382	Areia fina silto-argil.	Bauru
75	SP27	400	15,00	6,20	394	Areia fina silto-argil.	Bauru
76	SP30	398	10,15	5,58	392	Areia fina silto-argil.	Bauru
77	SP124	397	15,07	5,03	392	Areia fina silto-argil.	Bauru
78	SP134	375	7,00	5,68	369	Areia fina silto-argil.	Bauru
79	SP99	372	10,15	2,69	369	Areia fina silto-argil.	Bauru
80	SP123	373	4,09	2,40	371	Areia fina silto-argil.	Bauru
81	SP34	393	11,30	5,13	388	Areia fina silto-argil.	Bauru
82	SP170	380	19,00	6,17	374	Areia fina silto-argil.	Bauru
83	SP160	394	19,45	8,89	385	Areia fina silto-argil.	Bauru
84	SP161	393	14,23	4,81	388	Areia fina silto-argil.	Bauru
85	SP162	392	9,45	9,12	383	Areia fina silto-argil.	Bauru
86	SP163	386	10,18	4,87	381	Areia fina silto-argil.	Bauru
87	SP164	383	4,26	4,00	379	Areia fina silto-argil.	Bauru
88	SP165	385	8,30	2,46	383	Areia fina silto-argil.	Bauru
89	SP166	388	6,06	4,53	383	Areia fina silto-argil.	Bauru
90	SP59	392	15,00	6,30	386	Areia fina silto-argil.	Bauru
91	SP43	397	13,00	5,93	391	Areia fina silto-argil.	Bauru
92	SP002	400	12,30	8,02	392	Areia fina silto-argil.	Bauru

93	SP45	395	15,00	5,29	390	Areia fina	silto-argil.	Bauru
94	SP017	402	12,45	7,61	394	Areia fina	silto-argil.	Bauru
95	SP127	387	21,03	6,87	380	Areia fina	silto-argil.	Bauru
96	SP19	400	12,00	7,90	392	Areia fina	silto-argil.	Bauru
97	SP101	356	4,26	4,26	352	Areia fina	silto-argil.	Bauru
98	SP100	366	5,10	5,10	361	Areia fina	silto-argil.	Bauru
99	SP20	400	16,00	7,68	392	Areia fina	silto-argil.	Bauru
100	SP55	399	15,00	6,39	393	Areia fina	silto-argil.	Bauru
101	SP18	401	11,00	5,65	395	Areia fina	silto-argil.	Bauru
102	SP94	382	5,51	5,51	376	Areia fina	silto-argil.	Bauru
103	SP97	373	11,10	11,10	362	Areia fina	silto-argil.	Bauru
104	SP102	369	3,00	3,00	366	Areia fina	silto-argil.	Bauru
105	SP005	400	12,00	6,96	393	Areia fina	silto-argil.	Bauru
106	SP125	392	5,30	5,30	387	Areia fina	silto-argil.	Bauru
107	SP126	387	6,30	6,30	381	Areia fina	silto-argil.	Bauru
108	SP128	385	9,05	6,70	378	Areia fina	silto-argil.	Bauru
109	SP120	393	12,2	7,30	386	Areia fina	silto-argil.	Bauru
110	SP103	371	2,50	2,50	369	Areia fina	silto-argil.	Bauru
111	SP96	373	15,15	11,00	362	Areia fina	silto-argil.	Bauru
112	SP107	360	5,30	5,30	355	Areia fina	silto-argil.	Bauru
113	SP56	399	15,30	6,47	393	Areia fina	silto-argil.	Bauru
114	SP73	405	12,15	8,97	396	Areia fina	silto-argil.	Bauru
115	SP78	403	10,09	8,21	395	Areia fina	silto-argil.	Bauru
116	SP121	394	12,06	6,86	387	Areia fina	silto-argil.	Bauru
117	SP51	399	18,13	3,54	395	Areia fina	silto-argil.	Bauru
118	SP35	395	13,35	6,83	388	Areia fina	silto-argil.	Bauru
119	SP129	403	11,10	7,37	396	Areia fina	silto-argil.	Bauru
120	SP133	368	4,00	3,00	365	Areia fina	silto-argil.	Bauru
121	SP113	361	1,90	1,90	359	Areia fina	silto-argil.	Bauru
122	SP53	395	14,10	2,05	393	Areia fina	silto-argil.	Bauru
123	SP087	405	10,07	8,59	396	Areia fina	silto-argil.	Bauru
124	SP47	398	14,12	6,00	392	Areia fina	silto-argil.	Bauru
125	SP98	374	15,30	7,30	367	Areia fina	silto-argil.	Bauru
126	SP42	390	12,21	6,38	384	Areia fina	silto-argil.	Bauru
127	SP108	365	12,15	5,00	360	Areia fina	silto-argil.	Bauru
128	SP93	404	9,15	6,55	397	Areia fina	silto-argil.	Bauru
129	SP032	397	10,15	6,55	390	Areia fina	silto-argil.	Bauru
130	SP75	405	10,15	8,97	396	Areia fina	silto-argil.	Bauru
131	SP110	363	4,12	4,12	359	Areia fina	silto-argil.	Bauru
132	SP77	405	12,00	8,83	396	Areia fina	silto-argil.	Bauru
133	SP050	400	12,00	6,50	394	Areia fina	silto-argil.	Bauru
134	SP72	395	12,00	7,17	388	Areia fina	silto-argil.	Bauru
135	SP104	363	4,10	4,10	359	Areia fina	silto-argil.	Bauru
136	SP109	367	0,82	0,82	366	Areia fina	silto-argil.	Bauru
137	SP041	397	9,00	6,42	391	Areia fina	silto-argil.	Bauru
138	SP105	365	3,15	3,15	362	Areia fina	silto-argil.	Bauru
139	SP041	394	7,25	5,46	389	Areia fina	silto-argil.	Bauru
140	SP111	361	1,01	1,01	360	Areia fina	silto-argil.	Bauru
141	SP112	370	1,65	1,65	368	Areia fina	silto-argil.	Bauru
142	SP132	384	12,07	7,17	377	Areia fina	silto-argil.	Bauru
143	SP29	397	10,00	6,80	390	Areia fina	silto-argil.	Bauru
144	SP92	401	13,00	9,50	392	Areia fina	silto-argil.	Bauru

145	SP119	397	20,00	9,26	388	Areia fina	silto-argil.	Bauru
146	SP28	398	10,00	6,50	392	Areia fina	silto-argil.	Bauru
147	SP33	397	13,00	7,00	390	Areia fina	silto-argil.	Bauru
148	SP49	398	12,00	6,30	392	Areia fina	silto-argil.	Bauru
149	SP60	391	12,00	6,50	385	Areia fina	silto-argil.	Bauru
150	SP36	396	15,00	7,02	389	Areia fina	silto-argil.	Bauru
151	SP168	391	9,20	7,00	384	Areia fina	silto-argil.	Bauru

APÊNDICE E - Tabela de Índices e Classes de Vulnerabilidade							
ID	NA (m)	PROF.INC. (m)	ÍNDICE G	ÍNDICE G	ÍNDICE D	ÍNDICE GOD	CLASSE GOD
1	9,00	8,00	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
2	8,80	7,50	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
3	7,10	6,30	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
4	8,60	7,35	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
5	5,80	4,75	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
6	6,35	6,20	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
7	8,00	7,35	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
8	8,20	6,50	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
9	3,08	2,75	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
10	4,11	3,10	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
11	2,85	2,50	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
12	2,40	2,45	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
13	3,05	2,45	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
14	3,15	2,80	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
15	3,45	3,45	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
16	3,40	3,40	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
17	3,70	2,35	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
18	7,65	5,50	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
19	3,20	3,45	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
20	3,60	3,00	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
21	3,74	3,50	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
22	3,80	3,45	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
23	3,78	3,50	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
24	3,75	3,25	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
25	4,08	4,20	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
26	4,02	3,35	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
27	3,85	3,50	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
28	3,90	3,50	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
29	4,20	3,75	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
30	4,30	4,25	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
31	4,30	3,75	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
32	3,87	3,50	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
33	2,85	2,50	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
34	2,10	2,10	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
35	1,90	1,50	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
36	1,85	1,50	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
37	2,30	2,00	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
38	2,50	2,00	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
39	1,75	1,50	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
40	2,80	2,50	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
41	2,90	2,45	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
42	2,50	2,35	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
43	2,43	2,20	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
44	2,09	1,50	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
45	6,85	6,50	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
46	7,05	6,45	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA

47	8,63	7,45	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
48	6,85	6,50	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
49	6,80	6,50	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
50	7,20	6,55	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
51	8,00	7,25	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
52	9,57	8,55	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
53	2,35	2,30	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
54	5,25	5,25	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
55	8,88	8,50	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
56	9,85	7,55	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
57	4,90	3,50	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
58	6,60	5,50	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
59	8,75	5,65	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
60	8,03	7,55	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
61	8,60	6,80	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
62	6,55	5,55	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
63	7,10	6,10	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
64	7,65	5,55	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
65	8,50	5,60	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
66	8,80	7,55	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
67	9,42	8,50	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
68	6,20	5,50	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
69	2,77	2,20	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
70	8,11	5,56	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
71	7,82	6,35	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
72	8,51	7,50	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
73	1,96	1,50	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
74	6,80	5,55	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
75	6,20	4,45	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
76	5,58	4,25	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
77	5,03	4,30	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
78	5,68	5,25	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
79	2,69	2,50	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
80	2,40	2,25	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
81	5,13	4,45	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
82	6,17	5,00	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
83	8,90	7,60	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
84	4,81	4,50	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
85	9,12	7,90	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
86	4,87	3,85	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
87	4,00	2,00	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
88	2,46	2,50	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
89	4,53	3,00	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
89A	7,68	7,52	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
90	6,30	4,80	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
91	5,93	4,45	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
92	8,02	6,85	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
93	5,29	4,50	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
94	7,61	6,35	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
95	6,87	5,20	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
96	7,90	6,45	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
97	4,26	2,00	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
98	5,10	3,00	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
100	6,39	4,75	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
101	5,65	7,50	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
102	5,51	6,55	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA

103	11,10	6,00	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
104	3,00	0,50	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
105	6,96	4,90	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
106	5,30	4,35	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
107	6,30	3,00	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
108	6,70	5,45	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
109	7,30	5,18	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
110	2,50	1,00	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
111	11,00	7,60	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
112	5,30	2,45	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
113	6,47	5,40	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
114	8,01	5,32	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
115	8,21	6,45	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
116	6,86	6,40	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
117	3,54	5,00	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
118	6,83	7,00	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
119	7,37	7,50	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
120	2,70	4,46	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
121	1,00	1,00	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
122	2,05	2,10	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
123	8,59	8,25	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
124	6,00	6,00	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
125	7,30	6,10	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
126	6,38	5,95	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
127	6,25	6,25	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
128	9,35	8,35	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
129	6,55	6,45	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
130	8,65	8,45	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
131	2,10	1,50	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
132	8,83	8,40	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
133	6,50	5,00	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
134	7,17	7,45	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
135	4,10	3,45	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
136	1,50	0,50	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
137	6,42	5,50	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
138	4,15	3,15	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
139	5,46	4,60	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
140	3,15	3,15	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
141	1,65	0,50	1,00	0,80	0,90	0,72	EXTREMA
142	7,17	7,25	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
143	6,80	7,50	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
144	9,50	8,50	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
145	9,26	13,00	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
146	6,50	6,00	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
147	7,00	6,00	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
148	6,30	7,50	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
149	6,20	7,00	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
150	7,02	8,20	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA
151	7,00	5,85	1,00	0,80	0,80	0,64	ALTA

APÊNDICE F - Tabela de Poços de Abastecimento

PA	EMPR.	CÓDIGO	ENDEREÇO	PROPRIETÁRIO
1	DAEA	1892	Av. Saudade	JN Distribuidora
2	DAEA	970	R. Aguapeí	Auto Posto Aguapeí Ltda.
3	DAEA	0	R. Coelho Neto	Estádio Ademar de Barros
4	DAEA	0	R. Conde F. Matarazzo	Coobrac
5	DAEA	342	R. Luiz Nogueira Martins	Nelson Hipólito
6	DAEA	109	R. Marechal de Deodoro	Madalena Felipelli
7	DAEA	246	R. Marechal de Deodoro	Mult Shop
8	DAEA	1263	R. Marechal de Deodoro	Maurício Shinzato
9	DAEA	406	R. Martins Fontes	Cond. Edifício. Villa Rica
10	DAEA	692	R. Pedro de Toledo	Jose de Oliveira
11	DAEA	109	R. Clovis de Arruda Campos	Fórum de Araçatuba
12	DAEA	1412	R. Torres Homem	Cond. Res. Villalba
13	DAEA	260	R. Manoel Dionísio	Julio Taho
14	DAEA	25	Av. Joaquim Pompeu de Toledo	Cia. Atlantic de Petróleo
15	DAEA	187	R. Cussy de Almeida	Colégio Salesiano
16	DAEA	2315	R. Cussy de Almeida	TUA- Transportes Araçatuba
17	DAEA	2530	R. Cussy de Almeida	Auto Posto Cisne Branco Ltda.
18	DAEA	123	R. Venceslau Braz	Agostinho Garcia
19	DAEA	729	R. Bandeirantes	Padaria Bandeirantes
20	DAEA	1181	R. Bandeirantes	Coopbanc
21	DAEA	161	R. General Glicério	Auto Posto Servicar
22	DAEA	525	R. Afonso de Toledo	Ens. Superior Toledo
23	DAEA	944	R. Afonso de Toledo	Waldomiro Saran
24	DAEA	999	R. Afonso de Toledo	R. Vicente Rodrigues da Cunha
25	DAEA	219	R. Luis Pereira Barreto	Hotil Hotéis Ltda.- Chamonix
26	DAEA	612	R. Minas Gerais	Hirokyu Tamuta
27	DAEA	2	R. Oscar Rodrigues Alves	Clinimed Day Hospital
28	DAEA	625	R. Oscar Rodrigues Alves	Condomínio Res. Andorra
29	DAEA	482	R. Presidente Bernardes	Condomínio Ed. Imperial
30	DAEA	1414	R. São Paulo	Osmar Andrade Carvalho
31	DAEA	236	R. 15 de Novembro	Auto Posto Balboa
32	DAEA	274	R. 15 de Novembro	Hotel Príncipe
33	DAEA	473	R. 15 de Novembro	Posto Araçá
34	DAEA	1200	Av. Valdir Filizola de Moraes	Petrobras Distribuidora s/a
35	DAEA	2400	Av. Araçás	Auto Posto Primavera Birigui
36	DAEA	195	R. Anselmo Manarelli	Marlene Campara Neves
37	DAEA	1358	Av. Brasília	Albino e Guarnieri- Apolo
38	DAEA	1712	Av. Brasília	Auto Posto Brasília
39	DAEA	1	Av. Cussy de Almeida	Posto Cisne Branco
40	DAEA	2	Ac. Cussy de Ameida	Posto Nellis
41	DAEA	3	Av. marechal Deodoro	Posto São João
42	DAEA	4	AV. Pompeu de Toledo	Condomínio Res. Pompeu
43	DAEA	5	AV. Pompeu de Toledo	Condomínio Mediterrâneo
44	DAEE	10022	AV. Marechal Deodoro	SM. Passarelli
45	DAEE	10020	Rua Afonso Pena	Bernardino de Campo
46	DAEE	10219	Av. Luiz Pereira Barreto	Hotel Chamonix