

URIEL DUARTE

DEDALUS - Acervo - IGC



30900005509



# **GEOLOGIA AMBIENTAL**

**DA ÁREA DE SÃO PEDRO - SP  
- VETOR ÁGUAS SUBTERRÂNEAS -**

Tese de Doutorado apresentada ao  
Instituto de Geociências da Universidade  
de São Paulo

Orientador:

Prof. Dr. Nelson Ellert

SÃO PAULO

- 1980 -

## R E S U M O

A ocupação do meio físico em geral e a criação de centros urbanos em particular têm uma relação estreita com o ramo da geologia dita Ambiental, cuja preocupação preponderante é a preservação geocológica. Trata-se de uma ciência fundamentalmente interdisciplinar, não sendo portanto possível nem recomendável que um especialista pretenda enfocar com profundidade o conjunto de conhecimentos envolvidos.

Vários pesquisadores nacionais têm publicado artigos sobre o assunto, mormente calcados em autores europeus e norte americanos, enfocando mais aspectos de geotecnia.

Neste trabalho procuramos dar um enfoque mais hidrogeológico. Com efeito, analisaremos o vetor águas subterrâneas nos seus aspectos de recursos que devem ser preservados contra os riscos engendrados pela implantação de um complexo urbano.

A área escolhida representa uma amostra dos principais litocácies da Bacia do Paraná, indo desde a Formação Estrada Nova até a Formação Bauru, localizada no quadrilátero formado pelas cidades de Brotas, Itirapina, Santa Maria da Serra e São Pedro, todas no Estado de São Paulo. É uma zona ainda pouco ocupada, mas que se cogita aí implantar um importante núcleo urbano. Ressaltamos os fatores limitantes com vistas à ocupação no intuito de preservar o meio ambiente em geral e as águas subterrâneas em particular.

Este trabalho não representa por si só um estudo sobre os múltiplos aspectos da ocupação de áreas por aglomerados urbanos, mas é um documento de base que deve ser consultado para um planejamento racional integrado.

# Í N D I C E

## RESUMO

CAPÍTULO 1	-	INTRODUÇÃO	PÁG.
1.1	-	LOCALIZAÇÃO	01
1.2	-	GENERALIDADES	01
1.3	-	ESTUDOS ANTERIORES	03
1.4	-	ESCOPO DO TRABALHO	04

## AGRADECIMENTOS

CAPÍTULO 2	-	ASPECTOS REGIONAIS	10
2.1	-	ASPECTOS FÍSICO-CLIMÁTICOS	10
2.2	-	ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS	11
2.3	-	GEOLOGIA REGIONAL	13
2.3.1	-	LITOESTRATIGRAFIA	13
2.3.2	-	TECTÔNICA ESTRUTURAL	19
2.4	-	ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS REGIONAIS	20
2.4.1	-	SISTEMA AQUÍFERO BOTUCATU	20
2.4.2	-	SISTEMA AQUÍFERO BAURU-CAIUÃ	23
2.4.3	-	ZONAS AQUÍFERAS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL	24
CAPÍTULO 3	-	ASPECTOS LOCAIS	27
3.1	-	GEOLOGIA	27
3.1.1	-	FORMAÇÃO ESTRADA NOVA	27
3.1.2	-	FORMAÇÃO BOTUCATU E FORMAÇÃO PIRAMBÓIA	28
3.1.3	-	FORMAÇÃO SERRA GERAL	30
3.1.4	-	FORMAÇÃO BAURU	31
3.1.5	-	COBERTURA NEOCENOZÓICA	31
3.2	-	HIDROGEOLOGIA	32
3.2.1	-	ZONAS AQUÍFERAS DA FORMAÇÃO ESTRADA NOVA	32
3.2.2	-	SISTEMA AQUÍFERO BOTUCATU	33
3.2.3	-	ZONAS AQUÍFERAS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL	34

3.2.4	- SISTEMA AQUÍFERO BAURU	35
3.2.5	- ZONAS AQUÍFERAS DO DIABÁSIO	36
3.2.6	- ZONAS AQUÍFERAS DA PLANÍCIE ALUVIAL	36
3.3	- QUALIDADE DAS ÁGUAS	37
CAPÍTULO 4	- COMPOSIÇÃO E ANÁLISE DOS FATORES CONDICIONANTES	44
4.1	- CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS DE COBERTURA	45
4.1.1	- COBERTURAS RESIDUAIS	45
4.1.1.1	- SOLOS RESIDUAIS DAS FORMAÇÕES PIRAMBÓIA, BOTUCATU E BAURU	46
4.1.1.2	- SOLOS RESIDUAIS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL E DIABÁSIO	46
4.1.1.3	- SOLOS RESIDUAIS DA FORMAÇÃO ESTRADA NOVA	46
4.1.2	- SOLOS TRANSPORTADOS	47
4.2	- DECLIVIDADE	47
4.3	- PERMEABILIDADE	49
4.4	- PROFUNDIDADE DO NÍVEL ESTÁTICO	50
4.5	- VULNERABILIDADE	50
4.5.1	- ALUVIÕES	52
4.5.2	- TERRENOS COM DIFERENTES VELOCIDA DES DE PROPAGAÇÃO DA POLUIÇÃO	53
4.5.3	- TERRENOS COM VELOCIDADES CONSTAN TES DE PROPAGAÇÃO DA POLUIÇÃO	54
4.5.4	- TERRENOS NOS QUAIS A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DA POLUIÇÃO É LENTA	54
4.5.5	- CLASSIFICAÇÃO DA VULNERABILIDADE	54
4.6	- POTENCIAL DE USO	55
CAPÍTULO 5	- CONCLUSÕES	59
CAPÍTULO 6	- BIBLIOGRAFIA	60

FIGURA 1	-	LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO ESTUDADA	02
FIGURA 2a	-	SISTEMA HIDROLÓGICO EM ÁREA NÃO URBANIZADA	06
FIGURA 2b	-	SISTEMA HIDROLÓGICO EM ÁREA UR- BANIZADA	07
FIGURA 3	-	SISTEMA DE PLANEJAMENTO URBANO	08
FIGURA 4	-	DADOS CLIMATOLÓGICOS	12
FIGURA 5	-	BACIA SEDIMENTAR DO PARANÁ	14
FIGURA 6	-	FEIÇÕES LITOESTRATIGRÁFICAS E HIDROGEOLÓGICAS	15
FIGURA 7	-	HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA % DE ERRO NAS ANÁLISES	40
FIGURA 8	-	DIAGRAMA DE ANÁLISE DE ÁGUA	43
TABELA 1	-	RESULTADO DA ANÁLISE QUÍMICA	39
QUADRO 1	-	QUADRO COMPARATIVO DOS DIFERENTES AQUÍFEROS	38
QUADRO 2	-	POTENCIAL DE USO	57
ANEXOS			
DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE AMOSTRAGEM			68
MAPA 1	-	GEOLOGIA	
MAPA 2	-	HIDROGEOLOGIA	
MAPA 3	-	QUALIDADE DAS ÁGUAS	
MAPA 4	-	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS DE COBERTURA	
MAPA 5	-	DECLIVIDADE	
MAPA 6	-	VULNERABILIDADE	
MAPA 7	-	POTENCIAL DE USO	

## 1 - INTRODUÇÃO

### 1.1 - LOCALIZAÇÃO

A região estudada, com uma superfície de 2.850 Km<sup>2</sup>, está situada no centro geográfico do Estado de São Paulo, distando 200 km no sentido NO da cidade de São Paulo, sendo limitada pelos meridianos 47°45'W e 48°15W e pelos paralelos 22°15'S e 22°45'S (fig.1).

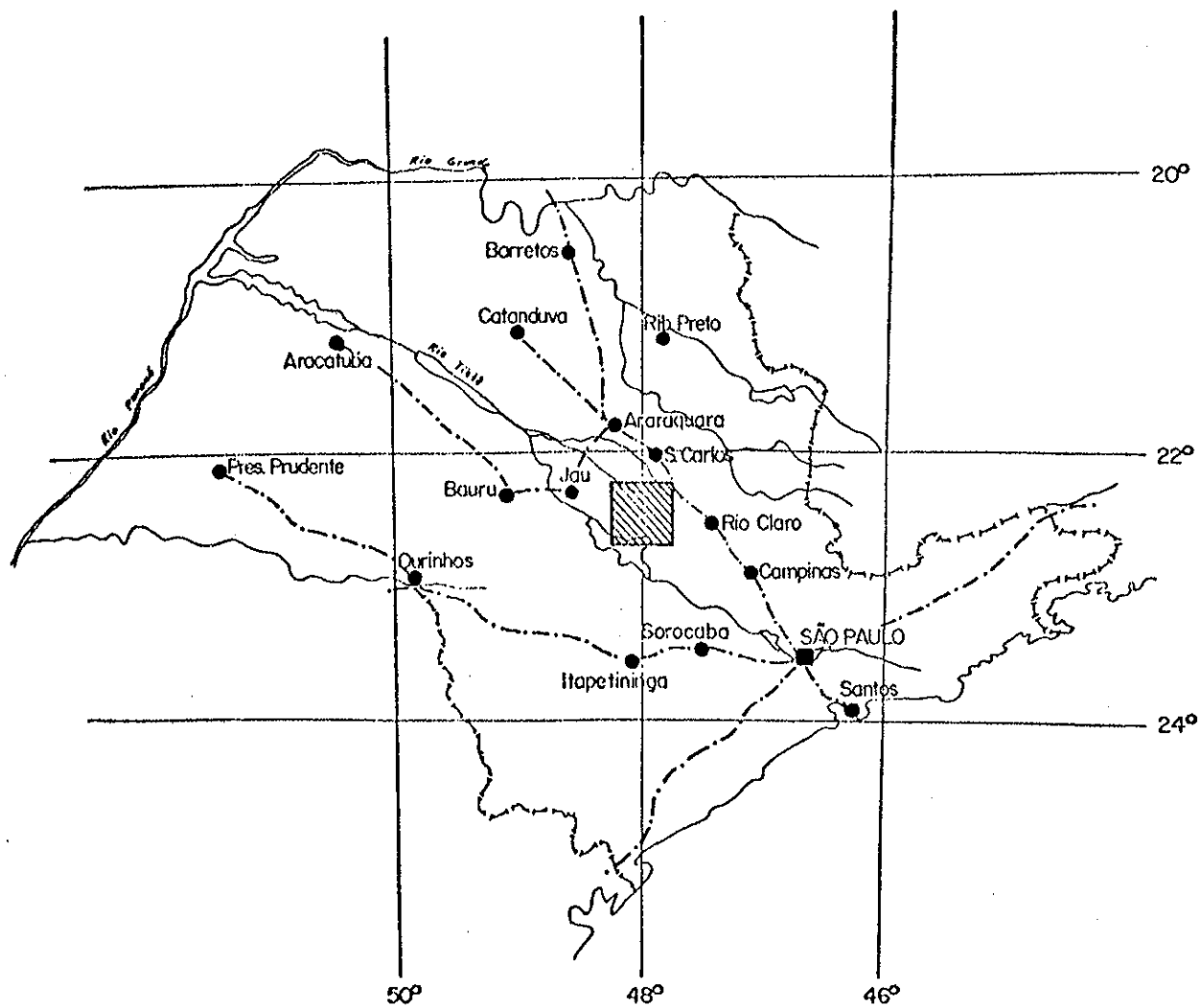
### 1.2 - GENERALIDADES

Para muitos povos, o mundo de hoje é um mundo urbano. No Brasil, a partir da década de 1960, a população urbana sobrepuxou a população rural, atingindo hoje a casa de 65%, sendo que no caso do Estado de São Paulo a população urbana atual é cerca de 91% da população total. Vale salientar que a região metropolitana de São Paulo sozinha possuía em 1975, aproximada mente 49% da população estadual.

Não se trata apenas de uma concentração de homens mas também de riqueza e pobreza. É claro que esses dois fatores estão presentes em toda população brasileira, consequência dos modelos desenvolvimentistas adotados desde os primórdios da colonização. Mas se destacam especialmente nas três metrôpoles nacionais (São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte), embora o quadro possa se estender a outras metrôpoles e a uma centena de grandes cidades.

A industrialização que gera grande parte da riqueza é também fonte de poluentes do ar e da água, criando problemas que só recentemente, começam a serem delineados e para os quais morosamente são tentadas providências. É sabido que o atendimento quanto a serviços, tais como a água, luz, esgoto, pavimentação, recolhimento de lixo e asseio em geral, é feito segundo a distribuição de renda. Desta forma, a degradação ambiental do meio físico em geral e das águas subterrâneas em particular acompanha a condição social do indivíduo, reforçando as desigualdades existentes.

### Localização da área estudada



ESCALA 1:6.000.000

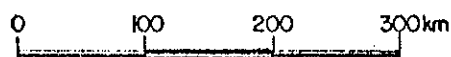


Fig. 1

Aceleraram-se assim, especialmente na periferia urbana, problemas ligados à contaminação dos mananciais hídricos, pois que boa parte dessa população lança os esgotos em fossas negras, ou mesmo a céu aberto. Ao mesmo tempo, o abastecimento de água, sendo bastante precário, obriga a população a construir poços tipo cacimba ou usar água dos córregos. Em ambos os casos o problema se torna bastante sério e perigoso. No primeiro, dada a exiguidade do terreno, os poços são construídos ao lado das fossas, provocando gravíssimos problemas de contaminação da água; no segundo, via de regra, todos os córregos e rios que atravessam nossos centros urbanos estão poluídos, ou por serem receptores de esgoto não tratado oriundo das cidades, ou por serem depósitos de lixo e o próprio caminho natural dos resíduos altamente tóxicos das indústrias.

É previsto que futuras populações serão absorvidas pelas cidades. As implicações de uma urbanização crescente atingem níveis de degradação ambiental tão graves que já se cogita, como solução, o descongestionamento dos grandes centros metropolitanos, através da criação de núcleos satélites regionais. Torna-se então necessário antecipar e reconhecer os problemas que irão resultar e planejar inteligentemente os meios de resolvê-los ou evitá-los.

A Geologia Ambiental constitui subsídio básico que deverá fazer parte de estudos sistemáticos de ocupação do meio físico, no intuito de se conhecer áreas possíveis de ocupação com preservação da ecologia. Neste trabalho apresentamos informações que o planejador urbano necessita considerar na análise das opções. Estes subsídios são exemplificadores através do estudo da área piloto já referida.

### 1.3 - ESTUDOS ANTERIORES

Os primeiros trabalhos nesse sentido, com princípios de sistematização, são devidos a engenheiros alemães e checoslovacos que, já em 1919, publicavam documentos com a de



signação "Ingenieur Geologische Karte", de tendência ecológica, associando o uso racional do meio físico à geologia.

A Europa foi a precursora da Geologia Ambiental, na década de 50, entrando em uma fase de afirmação com os Estados Unidos dez anos depois, na década de 60. Os primeiros encontros internacionais onde o tema foi debatido, como um despertar de consciência adormecida, enfocaram mais propriamente aspectos de geotecnia, tais como: Praga (Checoslovaquia) 1968 1<sup>st</sup> Meeting of the I.A.E.G. (International Association of Engineering Geology) - "Engineering Geology in Country Planning" Paris (França) 1970 - I International Congress of I.A.E.G. - "Engineering Geological Mapping" - 20 contribuições; São Paulo, 1974 - II International Congress of I.A.E.G. - "Engineering Geology Related to Urban and Country Planning" - 44 contribuições; Tokio (Japão) 1977 - 9<sup>th</sup> International Congress of Int.Soc.of Soil Mech, and Fdm. Eng. - "Geotechnical Engineering and Environmental Control"; Madrid (Espanha) 1978 - III International Congress of I.A.E.G. - "Regional Planning" . Vários livros sobre o assunto foram citados no texto, existindo ainda, uma revista publicada bimestralmente "Environmental Geology", que trata especialmente do assunto, enquanto outras estão ligadas mais a Geologia de Engenharia.

Ênfase especial deve ser dada às publicações do International Hydrological Programme (IHP) patrocinado pela UNESCO e que continua o trabalho iniciado durante a International Hydrological Decade (1965-1974). Os objetivos básicos do IHP foram: a) prover uma construção científica para o desenvolvimento geral das atividades hidrológicas; b) prover o estudo do ciclo hidrológico e a metodologia científica para a contribuição dos recursos de água através do mundo, assim contribuindo para o seu uso racional; c) para avaliar a influência das atividades humanas sobre o ciclo da água, considerando as relações do meio ambiente como num todo; d) promover a troca de informações sobre pesquisa hidrológica e sobre novos desenvolvimentos em hidrologia; e) promover ensinamentos e treinamento em hidrologia; e) assistir os Estados Membros na organização e desenvolvimento em suas atividades hidrológicas nacionais. O desenvolvimento destes temas foram

feitos no International Symposium on Effects of Urbanization and Industrialization on the Hydrological Regime and on Water Quality, realizado em Amsterdam, Holand de 2 a 7 de outubro de 1977, pela UNESCO, e também na publicação de Impact of Urbanization and industrialization on Water Resources Flaming and management, publicado em 1979 sob o mesmo patrocínio.

Estas duas publicações da UNESCO demonstraram a preocupação mundial pelo problema, com artigos dos mais renomados cientistas deste campo de atividade, entre os quais podemos citar: FITZSIMMONS e SALAMANA (1973), HEBERLEIN (1973), MCPHERSON e ZUIDEMA (1977), SCHNEIDER et al. (1973), UNESCO (1974, entre outros. Exemplificando o efeito da urbanização sobre o meio ambiente físico em sua parte hidrológica, podemos fazer uso dos dois diagramas representados nas figuras 2a. e 2b, nos quais temos um sistema hidrológico pré-urbano COHEN et al. (1968) e um sistema hidrológico urbanizado - FRANKE e MCCLYMONDS (1972). É evidente a grande complexidade de do último.

O inter-relacionamento entre a pesquisa de recursos d'água e planejamento urbano são claramente mostrados na figura 3 (SCHNEIDER et al. 1973), a qual também ilustra a natureza interdisciplinar do planejamento, onde contínuas trocas de informações e averiguações são necessárias no intuito de se conhecer a validade e precisão durante as etapas.

Trabalhos nacionais sobre Geologia Ambiental, até hoje, estão mais ligados à Geotecnia ou Geologia de Engenharia, tais como os de GREHS (1970a e 1970b), COULON (1974) PRANDINI (1974), CONSTANZO et al. (1978), SEIGNEMARTIN (1979), por tratarem na maioria de estudos localizados, mais corretamente chamados de Geologia Urbana.

#### 1.4 - ESCOPO DO TRABALHO

O objetivo metodológico, aqui elaborado, tendo como base a proposta por MATHEWSON et al. (1974), foi o de estabelecer uma série de documentos que resumem, nesta região os

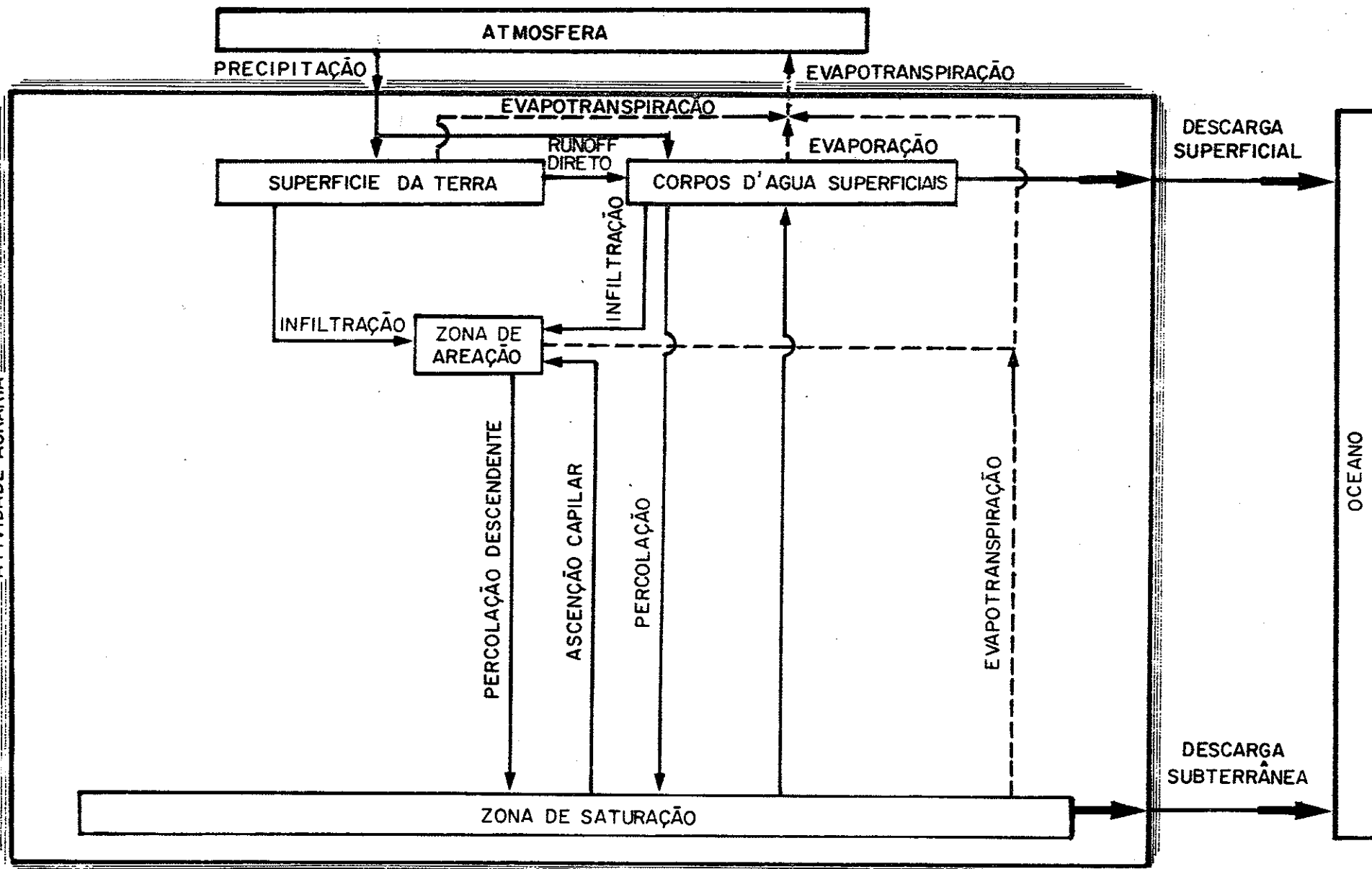


Fig. 2a SISTEMA HIDROLOGICO EM ÁREA NÃO URBANIZADA (COHEN et al, 1968).

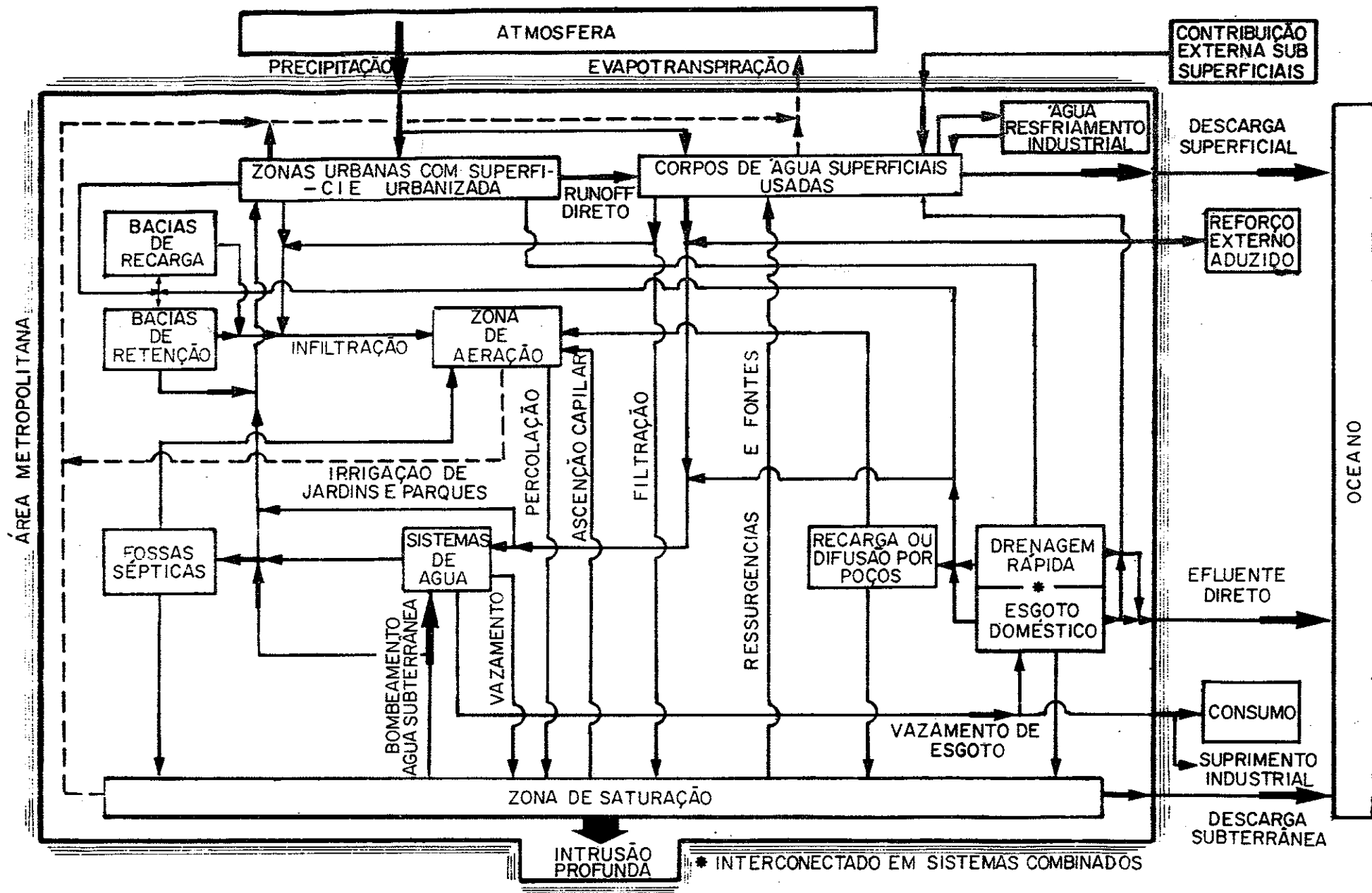


Fig. 2b SISTEMA HIDROLÓGICO EM ÁREA URBANIZADA (FRANKE & McClymonds).

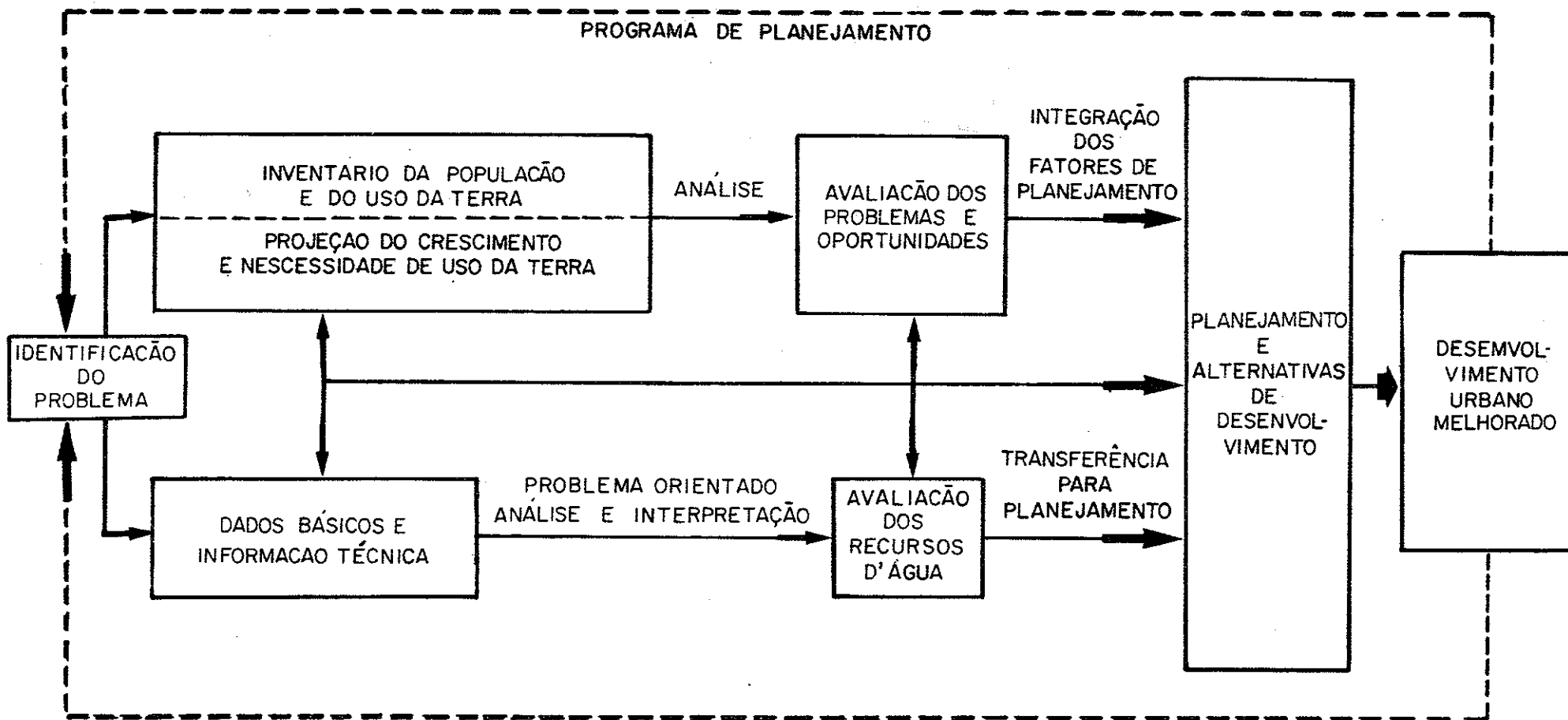


Fig 3. SISTEMA DE PLANEJAMENTO URBANO (SCHNEIDER ET AL. 1973)

problemas ligados à Geologia Ambiental, tendo como base a preservação das águas subterrâneas. Não é um trabalho exaustivo deste contexto ambiental, mas um trabalho de síntese, efetuado a partir da documentação existente, acrescido de estudos locais sobre a geologia, qualidade das águas, profundidade do nível freático, declividades, características dos solos e vulnerabilidade dos aquíferos.

Os documentos produzidos ilustram esquematicamente um certo número de fatores condicionantes do meio que poderão servir de subsídios a projetos de ocupação da região, na locação de cidades ou zonas agropastoris, com seus implementos afins, tais como zonas de lazer e turismo, zonas de captação de águas para seus diversos fins, locais preferenciais à deposição de rejeitos (domésticos e industriais), cemitérios etc., de maneira a preservar o contexto hidrogeológico de uma maneira racional e desejável.

Procurou-se aqui dar ênfase à caracterização do quadro hidrogeológico da região e aspectos de uso e preservação.

Como é sabido, no Brasil mais de 50% da população urbana e a quase totalidade do contingente rural captam as águas subterrâneas para consumo, quer em fontes e/ou ressurgências, ou em poços rasos tipo cacimba, preferencialmente.

A proposição deste trabalho é apresentar uma metodologia que possibilite evitar problemas geoambientais, de correntes de uma ocupação territorial. Constitui subsídio à melhoria de nível de vida da população como um todo, não em termos de imediatismo, mas sim tendo em vista futuras gerações que ocuparão os espaços de nosso território.

Não são propostos aqui locais de implantação de contexto urbano, pois estes deverão fazer parte de estudos de detalhe, campo da Geologia Urbana, imprescindíveis na fase de planejamento.

## AGRADECIMENTOS

Desejo expressar meus agradecimentos aos professo  
res:

- Doutor Nelson Ellert, pela orientação na elaboração deste trabalho;
- Doutor Aldo da Cunha Rebouças, pela orientação nos aspectos ligados às águas subterrâneas;
- Doutor Reinholt Ellert, Diretor do Instituto de Geociências;
- Doutor Evaristo Ribeiro Filho, chefe do Departamento de Geo  
logia Econômica e Geofísica Aplicada;
- Doutor João Batista Moreschi;
- Senhoritas Silvana Budoya e Itacy Kroehne pelos desenhos;
- Senhora Rosa Therezinha Milito Cavalcanti e Senhorita Nícia Maria Brandão Zalaf, pela datilografia;
- Senhora Renata Maria Belli Bei pela coordenação de figuras e tabelas;
- Senhor Francisco Américo Tenório Junior pela ajuda em traba  
lhos de campo.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, conos  
co colaboraram, nossos sinceros agradecimentos.

## 2 - ASPECTOS REGIONAIS

### 2.1 - ASPECTOS FÍSICO-CLIMÁTICOS

Fisiograficamente a área abrange duas províncias geomorfológicas: a Depressão Periférica e o Planalto Ocidental.

ALMEIDA (1964) subdividiu a Depressão Periférica em três zonas: Médio Tietê, Paranapanema e Mogi Guaçu. A parte da Depressão onde está localizada a região estudada, pertence à zona do Médio Tietê, possuindo relevo pouco acentuado sob a forma de colinas, com altitudes variando de 550 a 650 metros.

Os rios que drenam a Depressão Periférica na região de São Pedro e Santa Maria da Serra, tendo o rio Piracicaba como nível de base regional, possuem direção geral norte-sul. Via de regra, esses rios acham-se encaixados na cobertura e mantêm-se em plena atividade erosiva. A competência atual dos ribeirões é somente suficiente para transportar sedimentos arenosos. No entanto, a presença de níveis de seixos nos terraços fluviais indica ter sido maior a competência desses ribeirões em passado geológico não muito remoto.

Outras direções de drenagem bem marcantes são NE-SW e NW-SE. É o caso do alto curso dos rios Passa Cinco, da Lapa e Cantagalo, no sopé da escarpa da Serra de Itaqueri. Essas direções são mais frequentes na região de Charqueada, devido a litologia quase impermeável, propiciando uma drenagem conspícua. O paralelismo existente na drenagem, os vales suspensos dos riachos que descem a escarpa, o traçado retilíneo das indentações da "cuesta" e a dissimetria das margens de alguns rios da depressão (BARRETO, 1970) parecem indicar uma influência estrutural bastante marcante na região da Depressão Periférica Paulista.

O voçorocamento é outro aspecto que merecer ser citado, ocorrendo principalmente no Município de São Pedro. Esse processo erosivo se instala nos sedimentos coluviais arenosos, afetando grandes áreas e atingindo profundidades de até



25 metros, como o caso da vaçoroca próxima a cidade de São Pedro.

O Planalto Ocidental apresenta vales pouco profundos com encosta de inclinação suave, proporcionando um relevo ligeiramente ondulado e monótono. As direções de drenagem não mostram, ao contrário dos rios da depressão, ser controladas por linhas estruturais. O divisor de águas, entre os rios do planalto que escoam rumo NW e aqueles que se dirigem rumo à depressão, encontra-se a uma distância de no máximo dois quilômetros da borda das escarpas.

O clima na região varia desde tropical na planície arenosa do Rio Jacaré Guaçu, até clima quase temperado nas altitudes superiores a 1.000 metros da Serra de Itaqueiri e São Pedro, onde a temperatura média anual é inferior a 19°C (CTH, 1976).

A região serrana, devido a altitude, apresenta a maior pluviosidade anual, estando entre 1400 a 1500 mm, enquanto nas planícies desta área o total de chuvas baixas até quase a 1200 mm. Esta distribuição, assim como um exemplo da variação anual pode ser visto na figura 4.

## 2.2 - ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

As planícies arenosas apresentam topografia praticamente plana e vegetação de cerrado, de solos excessivamente permeáveis e profundos, por isso extremamente lavados, acidificados e empobrecidos, contrastando com as terras roxas intensamente cultivadas. Atualmente existe na área uma tendência a reflorestamento nas regiões mais arenosas do planalto e de plantação de cana de açúcar, com uso de corretivo, nas planícies, persistindo um maior uso das terras roxas. Pode-se afirmar que 15 a 20% da área estudada está sendo cultivado e o restante está abandonado ou servindo de pastagem.

Os dados de recenseamento acusaram, para a população do Estado de São Paulo, um aumento populacional de 38,5%

POSTO : USINA LOBO

PREFIXO: D4-33

MUNIC.: ITIRAPINA

BACIA JACARÉ-GUAÇU

LATIT.: 22°10'

LONGIT.: 47°55'

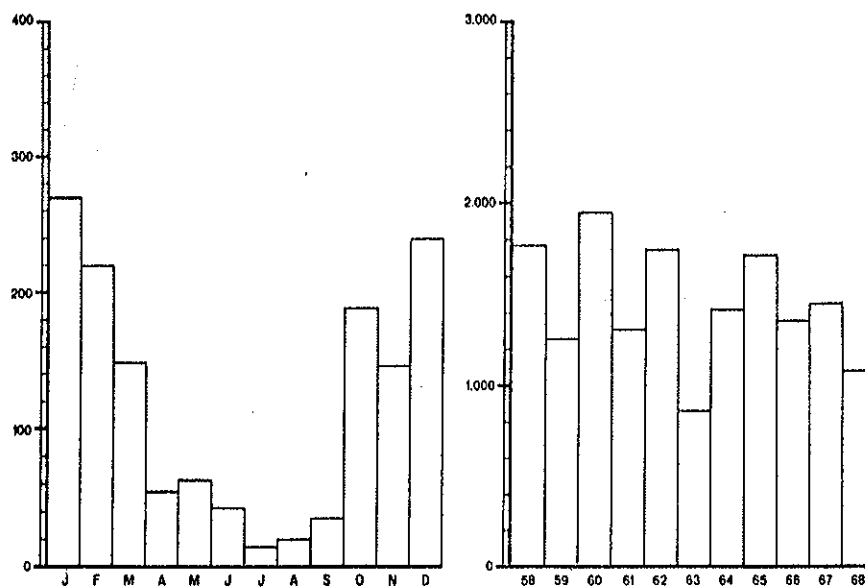
ALT. —

INSTALAÇÃO: 10/12/36

ALTURAS MENSAIS DE CHUVA (mm)													
ANO	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	ANUAL
1958	338.2	212.6	107.5	142.3	132.4	106.5	14.1	10.8	52.9	223.6	126.7	314.5	1782.1
1959	357.2	152.9	167.2	69.6	15.2	27.0	0.0	57.5	10.7	96.8	133.8	166.9	1254.8
1960	430.3	308.1	134.5	49.9	80.1	83.7	0.0	17.0	2.5	281.7	254.1	309.0	1050.9
1961	195.6	198.6	213.7	68.4	152.5	3.5	0.0	18.7	3.1	46.7	151.0	249.2	1301.0
1962	146.2	340.6	320.9	43.0	33.2	58.1	6.5	38.5	40.4	285.0	52.5	379.4	1744.3
1963	276.8	138.5	46.7	15.5	0.0	0.0	0.0	6.5	5.5	92.0	222.4	58.8	862.7
1964	142.5	258.1	70.6	20.7	77.0	25.7	64.5	9.0	56.2	229.3	59.6	385.5	1407.7
1965	304.6	403.7	136.5	72.9	95.2	49.0	56.2	13.5	39.7	245.1	160.5	145.5	1722.4
1966	223.2	98.0	127.1	47.7	60.6	0.0	0.0	22.7	117.5	205.9	151.6	298.3	1352.6
1967	254.0	180.1	209.5	19.5	15.0	87.0	11.0	0.0	55.3	205.6	177.7	223.5	1438.2
1968	310.2	128.9	109.9	25.9	17.7	20.2	5.3	32.8	21.2	181.2	127.1	112.5	1092.9
Méd.	270.8	220.0	149.4	53.1	61.7	41.8	14.3	20.6	36.8	190.2	147.0	240.2	1446.3

MÉDIAS MENSAIS DO PERÍODO (mm)

TOTAIS ANUAIS (mm)



QUADRO CLIMATOLÓGICO NORMAL

	Altitude (metros)	Latitude Sul	Temperaturas médias						Chuvas (mm)				Unidade relativa (%)	Média de insolação relativa (%)	Evapotranspiração relativa (mm)	Diferença chuvas-eva-potranspiração (mm)	Efetividade da precipitação (índice)	Tipo de clima	Nº de anos de observação										
			média anual	do mês mais quente	do mês mais frio	mínimas do mês mais quente	máximas do mês mais frio	número de dias quentes (máxima > 25°C)	número de noites quentes (mínima > 20°C)	média anual	média do semestre seco	do mês mais chuvoso								do mês mais seco	dias com chuva > 1 mm								
ITIRAPINA	762	22°16'	20,1	22,7	16,4	28,3	10,9	248	42	1400	270	270	22	117	81	47	49	71	28	960	410	440	-140	316	55	7,1	U-C	37	26
BROTAS	620	22°18'	20,9	23,6	17,0	29,0	11,6	260	60	1360	250	255	21	112	80	46	49	70	31	1015	435	345	-185	291	49	6,5	U-C	74	36

Fig. 4 DADOS CLIMATOLÓGICOS

(1960 a 1970), enquanto que para a área de estudo este aumento foi apenas 5,6% em consequência da grande migração da população rural para as cidades mais desenvolvidas. Outros fatores podem ter sido determinantes desta fuga, tais como o tipo de cultura modificado e mecanizado (caso da cana de açúcar), abandono do plantio de café, reflorestamento e grandes latifúndios (a maioria das pequenas fazendas foram vendidas a grandes proprietários). Esta migração aos grandes centros é notada na região onde são encontradas vilas com mais de quinze casas de alvenaria, em bom estado de conservação, abandonadas, e fazendas com até 500 hectares trabalhadas por um grupo de 10 pessoas.

## 2.3 - GEOLOGIA REGIONAL

A região estudada faz parte do contexto geológico da Bacia Sedimentar do Paraná, (figura 5), sendo aqui apresentada uma síntese de vários autores, pesquisadores desta bacia: NORTHFLEET, et al (1969); RAMOS (1970); FULFARO (1971); HULMANN et al (1974); RUEGG (1975) e SOARES (1975).

### 2.3.1-LITOESTRATIGRAFIA

De forma global, trata-se de uma bacia intracratônica, de forma elíptica, com eixo maior de direção NE-SW, coincidindo, aproximadamente, com o curso atual do rio Paraná. Os sedimentos acumulados nesta ampla e vasta sinéclise (1.600.000 km<sup>2</sup>) alcançam um máximo de 7.825 metros de espessura total (figura 6). São rochas de natureza litológica predominante clástica, que datam desde o Siluriano até o Cretáceo Superior, conforme a coluna ainda mais frequentemente adotada (NORTHFLEET et al, 1969).

A sedimentação do Siluriano (Formação Iapó) é constituída de conglomerados cinza arroxeados que repousam em discordância sobre as rochas do embasamento cristalino, de idade Pré-Cambriana. Essa formação é restrita às partes mais

## BACIA DO PARANÁ

### PRINCIPAIS ELEMENTOS TECTONO-ESTRUTURAIS

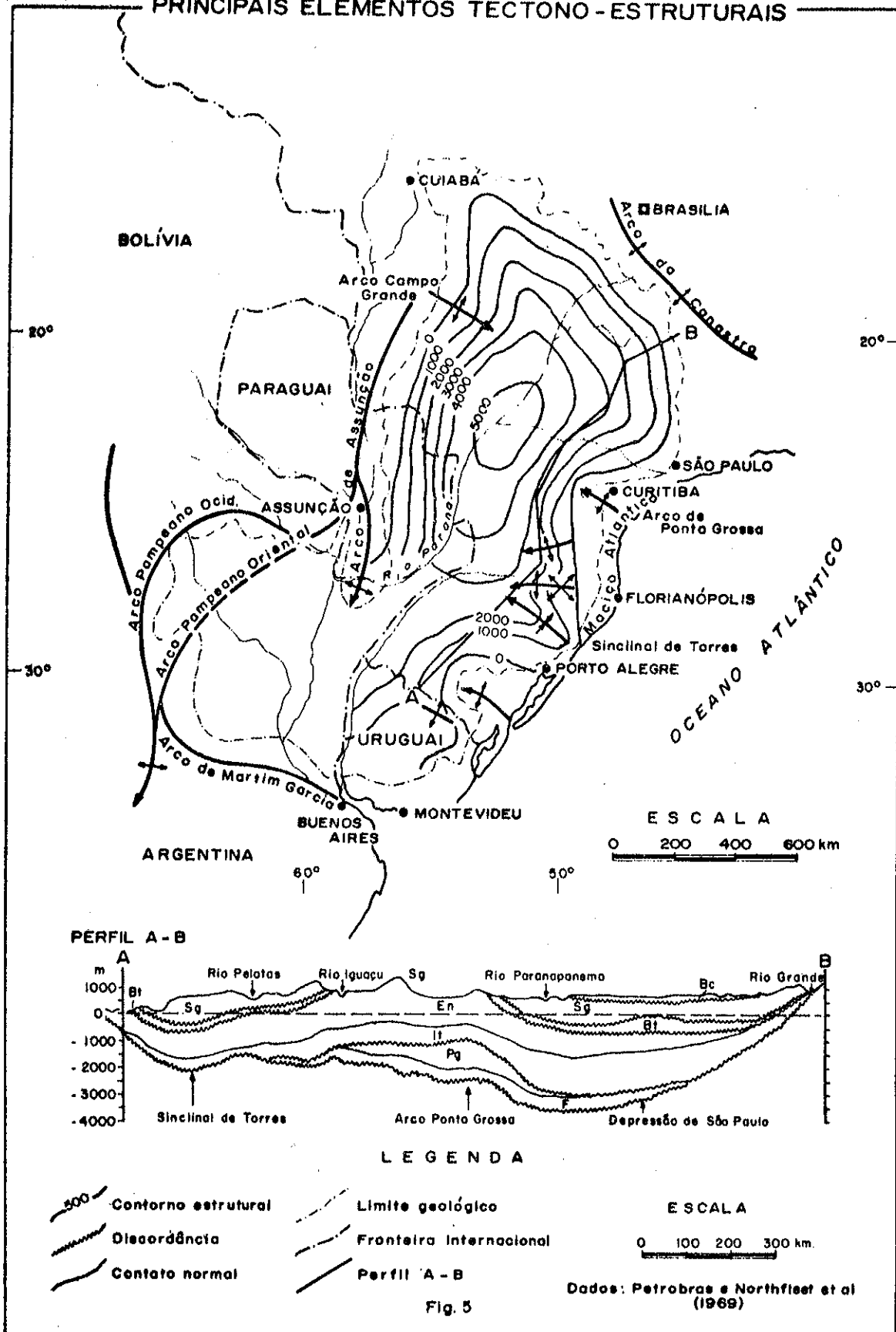


Fig. 5



profundas da bacia. A idade da Formação Iapó é baseada na sua posição estratigráfica.

Após um curto período de erosão adveio a fase inicial de assoreamento propriamente dito. Esta é representada por um ciclo sedimentar (LANGE e PETRI, 1967) composta de uma sequência predominantemente arenosa, de granulação média a grosseira, cores claras (Formação Furnas), que passa, gradativamente, a folhelhos e siltitos escuros e pretos (Formação Ponta Grossa). A correlação dos dados de poços exploratórios da PETROBRÁS revela uma interdigitação vertical e lateral entre as duas formações. O conteúdo fossilífero e litológico sugere uma sedimentação de origem inicialmente continental (Formação Furnas) e posteriormente marinha (Formação Ponta Grossa). O Grupo Paranã, de idade devoniana, engloba as rochas sedimentares desta fase.

Após outro curto período de lacuna ou erosão, adveio a deposição do Grupo Tubarão, em condições geológicas bastante instáveis. Este é de origem inicialmente continental, com arenitos, siltitos vermelhos, folhelhos várvidos e "loess" intercalados (Formação Aquidauana), passando a sedimentos de origem marinha, com folhelhos finamente laminados (Formação Itararé), ora de ambiente parálico e deltáico, representados por arenitos pardos amarelados e localmente calcíferos (Formação Rio Bonito), ora marinho nerítico, constituídos de siltitos arenosos, cinza esverdeados (Formação Palermo). A idade do pacote estende-se do Carbonífero Superior ao Permiano Médio Superior. Ressalta-se a extraordinária variedade de fácies lateral e vertical que chega a caracterizar o grupo, conforme assinala FULFARO (1971).

Sem aparente discontinuidade, a sedimentação do Permiano Superior prosseguiu com clara e gradativa transição do ambiente marinho (Formação Irati e Serra Alta) para o salobro (Formação Estrada Nova) e, posteriormente, para o continental (Formação Rio do Rasto). O contato inferior é colocado na passagem dos siltitos cinza esverdeados da Formação Palermo para os folhelhos e argilitos pirobetuminosos da Forma

ção Irati. O fácies sedimentar evoluciona para argilitos cinza escuros (Formação Serra Alta), característica que é relativamente constante em toda a sua extensão. Este, por sua vez, evolui para uma sucessão de camadas e/ou interdigitações de siltitos, calcários e arenitos, misturados em proporções variadas (Formação Estrada Nova) Sobrejacente a esta, encontra-se a Formação Rio do Rasto, constituída por arenitos vermelhos, folhelhos e siltitos interdigitados. O Grupo Passa Dois engloba as rochas sedimentares desta fase de transição e é colocado no Permiano Superior.

A etapa final da sedimentação na Bacia do Paraná, mormente na porção brasileira, foi iniciada, possivelmente, no Triássico médio inferior. Com efeito, sobre a topografia esculpida no Permiano, ocorre um pacote de arenitos, siltitos e folhelhos de ambiente aquoso continental (Formação Pirambóia e /ou Santa Maria) que passa a arenitos bem selecionados de ambiente eólico (Formação Botucatu).

Os restos fossilíferos de répteis encontrados na parte superior da Formação Santa Maria limitam a sua idade ao Triássico médio (BORTULUZZI e BARBARENA, 1967).

Em relação a Formação Pirambóia, SOARES (1972) conclui que independentemente da deficiente caracterização deste pacote e da diversidade de conceitos envolvidos na sua denominação, esta esteve sempre associada às camadas sedimentares de origem subaquosa, lacustre e/ou fluvial. A idade da Formação Pirambóia, baseada na sua posição estratigráfica, é atribuída ao Triássico Médio (STANFORD e LANGE, 1960). O contato inferior é uma discordância erosiva esculpida, em grande parte, na Formação Estrada Nova.

Acima desses sedimentos aquosos ocorrem arenitos róseos e amarelados, finos a médios, com grãos foscos e proeminente estratificação cruzada característica (Formação Botucatu).

Na Sinclinal de Torres (figura 5) a sequência apresenta-se mais complexa, tendo sido objeto de estudos litoes

tratigráficos detalhados por GAMERMANN (1972) e BORTULUZZI (1974), GARMERMANN (op.cit.) englobou parte do Botucatu e de pósitos fluviais e lacustres das Formações Rio Pardo e Santa Maria numa única unidade, que designou Formação Rosário do Sul. SOARES (1975) confrontou as situações litoestratigráficas descritas por GAMERMANN e BORTULUZZI (op.cit.) e concluiu serem as Formações Pirambóia e Rosário do Sul ciclos geneticamente similares. O contato superior da Formação Rosário do Sul faz-se com arenitos eólicos da Formação Botucatu (s.s.).

Associadas à sedimentação eólica, ocorreram as intrusões diabásicas e extrusões basálticas da Formação Serra Geral, de modo que são comuns ocorrências subordinadas de arenitos intercalados. Estas ocorrências não deixam dúvidas de que tal pacote de arenito é contemporâneo com a atividade vulcânica.

Os derrames de trapp da Formação Serra Geral documentam um dos maiores vulcanismos já registrados no globo terrestre (LEINS, 1949). Datações Geocronológicas (RUEGG, 1975) indicam idade entre 120 e 130 milhões de anos.

Os derrames deram-se através de um grande número de extravazamentos, formando várias capas sobrepostas e de extensões muito variadas (LEINZ et al., 1966). Em alguns locais, até trinta e nove derrames com espessuras variáveis entre 5 e 25 metros foram atravessados pelos poços da PETROBRÁS.

Os topos dos derrames apresentam-se vesiculares a amigdaloidais. Os níveis piroclásticos são poucos frequentes. A topografia, inumada pelas Formações Caiuá e Bauru (FRANGIPANI, 1964), bem como aquela dos domínios aflorantes, é muito acidentada.

O Grupo São Bento engloba os sedimentos Pirambóia, Santa Maria, Botucatu e basaltos.

Assentadas em discordância sobre os terrenos mais antigos, mas, de modo especial, sobre os basaltos, temos as Formações Caiuá e Bauru. A coluna estratigráfica mais fre



quentemente adotada (NORTHFLEET et al., 1969), situa os arenitos vermelhos fluviais da Formação Caiuã no Cretáceo Inferior. A Formação Bauru é constituída por arenitos e siltitos, localmente calcíferos, cor marrom avermelhada, de ambiente fluvial, lacustre e eólico, atribuída ao Cretáceo Superior.

Da análise dos dados dos poços e nos reconhecimentos de campo destacam-se três litofácies principais: um superior, essencialmente eólico, muito calcífero, constituindo os espigões topográficos com falésias abruptas; um litofácies médio, síltico-argiloso, rico em passagens ou camadas mais arenosas, eólicas, fluviais ou lacustres; e, finalmente, um litofácies inferior de granulação mais grosseira e variada, de ambiente essencialmente fluvial. A ocorrência do litofácies inferior parece restrita a zonas mais deprimidas da topografia inumada do substrato basáltico.

A ausência do Cretáceo Superior na metade sul da bacia estaria ligada ao funcionamento da sutura geológica que coincide, virtualmente, com o curso atual do Rio Paranapanema (FULFARO, 1974).

Os depósitos mais recentes têm representatividade local, ocorrendo em geral, na forma de retalhos erosivos realçados, terraços escalonados e estreitas planícies aluviais.

### 2.3.2 - TECTÔNICA-ESTRUTURAL

A Bacia do Paraná constitui uma das três grandes sinclises paleozóicas da plataforma brasileira. Sua feição foi herdada das estruturas brasileiras que ainda hoje contornam, em grande parte, seus limites erosivos (ALMEIDA, 1967). A estrutura geológica é a de uma grande bacia intracratônica na qual não atuaram esforços de compressão capazes de produzir dobramento intenso ou outra feição característica.

As deformações estruturais mais importantes foram

produzidas por movimentos diferenciais verticais. Esses movimentos envolveram grandes blocos ou estão relacionados aos eixos dos grandes arqueamentos regionais, conforme ilustram os elementos apresentados na figura 5. A sedimentação, quase toda de carácter detrítico, atinge a espessura de 5.000 metros, em média, estendendo-se a áreas de centenas de milhares de quilômetros quadrados. A grande extensão e pequena espessura das camadas denotam que, em grande parte da história geológica da bacia estes movimentos tectônicos diferenciais nunca atingiram consideráveis amplitudes verticais. As condições de deposição em ambiente continental cresceram no decorrer do tempo, denunciando o aumento progressivo da estabilidade do seu embasamento.

Na coluna estratigráfica (figura 6) identificam-se quatro grandes períodos de ascensão generalizada, separados por três períodos de subsidência. Esse comportamento é documentado pela sucessão alternada de sedimentos detríticos arenosos, separados por fácies pelíticos de águas mais profundas.

## 2.4 - ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS REGIONAIS

### 2.4.1-SISTEMA AQUÍFERO BOTUCATU

Este sistema corresponde, na Bacia Sedimentar do Paraná, à espessa sequência sedimentar integrante das unidades litoestratigráficas denominadas de formações Botucatu, Pirambóia, Rio do Rasto e outras cronocorrelatas, tais como Morro Pelado, Serrinha, Santa Maria e Rosário do Sul.

Valores excepcionais de permeabilidade e porosidade são encontrados no Arenito Botucatu, típicos de uma formação de origem eólica, bem selecionada, com grãos arredondados, com, geralmente, pouco ou nenhum cimento e diagênese fraca. Já as formações basais, de ambiente flúvio-lacustre, apresentam variações facio-litológicas extremas, com interdigita

ções nos diversos sentidos e com presença de camadas lenticulares de arenitos.

Funciona como capa deste sistema aquífero o pacote de trapps e, como nível basal relativamente impermeável, as camadas argilosas da Formação Estrada Nova. O aquífero origina-se livre na estreita e perturbada faixa de afloramentos longitudinal à escarpa da Formação Serra Geral, e confina-se gradativamente, para o interior da bacia, em função do mergulho regional e por imposição das rochas basálticas relativamente muito menos impermeáveis sobrejacentes.

A alimentação como aquífero é feita, em geral, pela infiltração direta das chuvas que caem nos domínios aflorantes, isto é, sobre cerca de 98.000 km<sup>2</sup>. Trata-se de uma alimentação prejudicada, em sua maior parte, pela posição topográfica abrupta e pela estreita, conquanto alongada, faixa de afloramento ao longo da escarpa basáltica e pelos patamares que desta avançam sobre os sedimentos sotopostos. Por outro lado, localmente, onde as espessuras de basalto tornam-se praticamente nulas ou onde os fendilhamentos profundos atingem o topo deste sistema aquífero, desde que os níveis piezométricos do basalto e outros aquíferos afins sejam superiores aqueles do aquífero confinado, é possível certa filtração vertical descendente. Inversamente, onde os níveis piezométricos do sistema Botucatu confinado sobrepujam aqueles dos sistemas aquíferos sobrejacentes, verifica-se fluxos ascendentes.

Neste sistema, os níveis de água mais elevados encontram-se no centro da faixa oriental de afloramento (altitudes de 800 a 1.000 metros, no trecho Paraná-Santa Catarina). Para o norte, as altitudes abaixam-se para 800 a 500 metros e para o sul, chegam a atingir 200 metros.

As flutuações sazonais do nível de água são de 2 a 3 metros nos domínios dos afloramentos. O gradiente muito pequeno é, de maneira geral, dirigido da periferia para o centro da bacia, por imposição das estruturas geológicas. Os dados inventariados pelas equipes do DAEE indicam um gradiente

de 1 a 2 km.

Uma dezena de testes interpretados, mormente no Estado de São Paulo, indicam valores de permeabilidade de  $10^{-4}$  m/s para a fácies Botucatu e de  $2.10^{-5}$  m/s para a fácies Pirambóia, ou seja, uma média de  $6.10^{-5}$  m/s para a Formação Botucatu. Os coeficientes de armazenamento varia de  $2.10^{-1}$  a  $10^{-1}$  nos seus domínios em condições de aquíferos livre e de  $10^{-3}$  a  $10^{-6}$  nas condições de aquíferos confinados, dependendo do grau de confinamento (REBOUÇAS.1976). Os valores de transmissividade estão em torno de  $8.10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s (DAEE,1972).

Dados sobre granulometria são poucos e esparsos. Os existentes indicam que mais de 50% apresentam diâmetro entre 0,125 e 0,250 mm, segundo DAEE(1972).

Quanto à explorabilidade desse sistema, ela não está restrita apenas ao longo e nas imediações de sua área de afloramento. No interior da bacia, desde que se disponha de um mapa planoaltimétrico de boa precisão, aliado ao bom conhecimento dos fatores tectono-estruturais e afins condicionantes, pode-se locar excelentes sítios de perfuração de poços para explorar o sistema aquífero Botucatu a níveis econômicos. A captação de fontes nas áreas de contato Botucatu/Estrada Nova também é bastante promissora em certas áreas, onde ressurgências diversas congregam-se para dar origem a cursos d'água.

Os poços que exploram o aquífero Botucatu são os mais produtivos de todo o Estado e desses, os que atravessam camadas confinadas são os mais destacados. Em 176 poços perfurados para fins de extração de água e inventariados pelo DAEE (1972), a vazão varia de 20 a 300 m<sup>3</sup>/h. Destes 28% fornecem 20 a 50 m<sup>3</sup>/h e 27% de 50 a 100 m<sup>3</sup>/h. Notou-se rebaixamento de 10 a 60 metros, podendo a vazão específica atingir de 20 m<sup>3</sup>/h/m.

A qualidade química, física e bacteriológica das águas subterrâneas do Botucatu é, via de regra, adequada ao

consumo humano e industrial, segundo padrões de potabilidade vigentes. A mineralização total é, na maioria dos casos, inferior a 200 mg/l (REBOUÇAS, 1976).

#### 2.4.2-SISTEMA AQUÍFERO BAURU-CAIUÁ

O sistema corresponde na bacia às unidades denominadas Formação Bauru e Formação Caiuá. Constituem estas formações de sedimentos de origem continental flúvio lacustre, sendo constituídos por arenitos, arenitos sílticos, arenitos argilosos, arenitos com cimento calcífero e conglomerados basais, de cores cinzenta a avermelhada. O sistema sobrejaz discordantemente sobre os derrames basálticos e cobre uma área de 100.000 km<sup>2</sup>, podendo sua espessura atingir até 300 metros.

Suas características hidrogeológicas, como permeabilidade e transmissividade são moderadas devido a presença de siltitos e de uma cimentação calcífera em toda a formação, sendo que a permeabilidade média obtida em laboratório, está em torno de 3 a 5.10<sup>-6</sup> m/s. A transmissividade raramente atinge a 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>.

Três litofácies dominam este sistema proporcionando comportamentos hidrogeológicos distintos, ou seja, arenitos calcíferos no topo, arenitos síltico-argilosos de granulação fina a muito fina no meio e arenitos, argilas e conglomerados misturados em proporções variáveis na base, podendo ocorrer condições artesianas e sub-artesianas locais no aquífero, que é geralmente freático.

A recarga do sistema, facilitada pelas formas tabulares ou suavemente onduladas do relevo e capacidade de infiltração relativamente grande dos solos ( K = 10<sup>-5</sup> m/s), é feita diretamente pela precipitação, aliada, local e ocasionalmente, a possíveis infiltrações indiretas, provenientes de mananciais de superfície ou intercâmbio com aquíferos vizinhos.

Devido à sensível diferença entre essa grande recar

ga e o fluxo subterrâneo lento, acumulou-se no passado hidrogeológico, muita água no aquífero, o que ocasionou a subida do nível de saturação até próximo à superfície, onde oscila, de acordo com a periodicidade climática, sendo que as posições dos níveis estáticos são muito variáveis, indo de subaflorantes no domínio dos vales até mais de 90 metros nos interflúvios dos rios mais importantes, estando o valor médio ao redor de 20 metros (REBOUÇAS, 1976).

O valor médio de 3m para a variação do nível das águas subterrâneas foi encontrado pelo IGG, na Bacia Hidrográfica de São José dos Dourados, sobre uma meia centena de poços observados durante um período de dois anos (1974 a 1975), e pelo DAEE (1974), no domínio da Região Administrativa 6, onde perto de uma centena de poços são observados quinzenalmente.

As vazões obtidas em poços profundos, segundo diversos autores, variam de  $1 \text{ m}^3/\text{h}$  até  $80 \text{ m}^3/\text{h}$ , sendo que as vazões específicas ficam entre  $0,1$  e  $5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  (DAEE, 1972), isto devido a má construção ou locação dos poços.

A captação de fontes de depressão e de contato ou, simplesmente, ressurgências difusas que ocorrem ao longo dos entalhamentos mais profundos do relevo, são também formas de utilização dos recursos hídricos do sistema aquífero Bauru.

Quanto a potabilidade estas águas apresentam uma mineralização total, na maioria dos poços, que não ultrapassa  $200 \text{ mg}/\text{l}$  e com pH de 4,3 a 7,5. Excepcionalmente, dada a influência do cimento calcífero, as águas podem apresentar uma dureza excessiva.

#### 2.4.3. - ZONAS AQUÍFERAS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL

A Formação Serra Geral, que contém as zonas aquíferas, varia de espessura de 50m nas bordas até 1.500 m no cen

tro da bacia contendo mais de 30 derrames, sendo que o armazenamento de água subterrânea fica limitado às zonas mais intensamente fraturadas, contatos intertrapps e ocorrências de sedimentos inter ou intratrapeanos.

A cada derrame de trapp, normalmente, pode-se diferenciar dois tipos texturais mais importantes. Basaltos vesiculares ou amigdaloidais ocorrem preferencialmente no topo e na base dos trapps, enquanto basaltos compactos microcristalinos constituem o corpo central. Esta "estratificação" fica acentuada na sequência de derrames pela ocorrência de arenitos e siltitos inter e intratrapeanos, cujas feições variam de totalmente friáveis até extremamente silicificados. Preenchendo as amígdalas, quase sempre aparecem quartzo, calcedônia e terra verde. Podem ocorrer brechas ou conglomerados de basalto, com matriz siltosa ou arenosa e alteração profunda nos topos dos derrames, sugerindo que as efusões foram separadas por intervalos de tempo relativamente prolongados.

Além destas discontinuidades de contato já referidas, destaque são dados aos fraturamentos. Eles seguem em geral, dois padrões distintos. Nas bordas dos derrames predomina um fraturamento horizontal, enquanto que no corpo central é preferencialmente vertical, sendo aquelas providas de grande abertura (0,1 até 10cm) e as últimas preenchidas ou soldadas por materiais rígidos que têm sido identificados como sendo argilo-minerais montmoriloníticos, calcedôneas e calcita.

Na escala dos derrames, as possibilidades hidrogeológicas são, sobretudo, condicionadas pela importância das discontinuidades de contato, das ocorrências de sedimentos, inter ou intratrapeanos e desenvolvimento de juntas horizontais. Na matriz compacta o comportamento é de microfaturas. Na textura vesicular ou amigdalóide as condições de circulação são muito variáveis, face às injunções decorrentes do preenchimento por minerais secundários e/ou da falta de intercomunicação entre os vazios.

No geral, as condições mais favoráveis são observadas nas zonas de decomposição, associadas a fraturas horizontais ou contatos, e nos primeiros 100 metros de profundidade (LEINZ, 1953; HAUSMANN, 1966 e MAACK, 1970).

As análises do comportamento da permeabilidade ao ar de alguns basaltos (FARJALLAT, 1974) revelou valores de  $10^{-3}$  a  $10^{-5}$  m/s para as estruturas de contato e juntas-falhas horizontais de grande extensão. As estruturas verticais, isto é, diaclases de pequena extensão, acusaram permeabilidades inferiores a  $10^{-7}$  m/s, tendo valor médio  $10^{-5}$  m/s.

Em áreas de pequena espessura ou ao longo das ruturas regionais mais importantes engendradas pelos sistemas de falhas, é possível que ocorram contribuições ascendentes, propiciadas pelo aquífero Botucatu subjacente, desde que os níveis piezométricos destes sejam relativamente muito mais elevados. Este fenômeno pode explicar as temperaturas elevadas da água de alguns poços mais profundos do basalto, bem como de fontes, e a composição química semelhante.

Em domínios aflorantes, a observação do tipo de rocha e sua textura, do grau de desenvolvimento do manto de intemperismo, dos processos de disjunção e consequentes interligações das estruturas aquíferas, tornam-se de suma importância, assim como o grau de entalhamento da superfície topográfica que constituem caminhos preferenciais para os escoamentos superficiais e subterrâneos.

Os dados referentes a uma centena de poços relacionados por HAUSMANN (1966) indicam níveis estáticos que variam de 0,32 m até 130,0 metros de profundidade. O valor médio é de 15 m, sendo que 65% apresentam-se superiores a média. A profundidade dos poços varia entre 31 a 190 metros, sendo a média 84m. As vazões específicas destes poços variam de  $4 \cdot 10^{-3}$  a  $37,7 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ , isto é, num intervalo de, praticamente, 1 a  $10^4$ . O valor médio é de  $2,47 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ . MAACK (1970) relacionando 163 poços, obteve vazões específicas médias variando de  $3,5 \cdot 10^{-3}$



e  $4\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ .

Em termos de potabilidade, as águas dos trapps (HAUSMANN 1966; LEINZ (1953), MAACK, 1970 e DAEE (1974), entre outros, revelam águas com forte tendência alcalina (pH= 5,5 a 6,5) e mineralização total sempre inferior a 300 mg/l. Ressaltam-se que os teores em sílica, relativamente os mais elevados, são superiores a 30 mg/l, em média. O único elemento restritivo é o ferro, cujos teores oscilam entre 9,8 mg/l a 0,1mg/l, porém, possível de eliminação por simples aeração.

### 3 - ASPECTOS LOCAIS

#### 3.1 - GEOLOGIA

Na região estudada, estão presentes as seguintes formações: Formação Estrada Nova (Permiano), Formação Botucatu e Formação Pirambóia (Neocretácico- Eocretáceo), Formação Serra Geral (Eocretáceo) e Formação Bauru. A estas, se sobre põe uma cobertura necocenozóica (BÓRIO, 1973). (Mapa 1 - Geologia, anexo).

#### 3.2 - FORMAÇÃO ESTRADA NOVA

A Formação Estrada Nova assenta-se concordantemente sobre a Formação Irati, ambas pertencentes ao Grupo Passa Dois, tendo uma espessura na área, da ordem de 185 metros.

A formação inicia-se com siltito arenoso, cinzento, bem estratificado, com aproximadamente 0,5 metros de espessura. Excetuando-se a estratificação mais pronunciada, este siltito se assemelha com o que ocorre na Formação Irati, evidenciando um mesmo ambiente de sedimentação para o Grupo Passa Dois, porém com fases mais redutoras para a porção superior do Membro Assistência da Formação Irati.

Seguem-se siltitos cinza esverdeados, com fratura concóide, ora laminado, ora maciço, pertencentes à fácies Serra Alta. Dependendo do estado de alteração, o siltito pode apresentar cores avermelhadas ou arroxeadas. Camadas lenticulares de siltito arenoso calcífero, mais resistentes ao intemperismo, são comuns. A espessura da fácies Serra Alta na região de Charqueada é de 35 metros.

Em contato com a fácies Serra Alta temos a fácies Terezinha que inicia-se com um siltito arroxeadado maciço calcífero. A estratificação é incipiente, tornando-se, no entanto, bem pronunciada para o topo da formação. Camadas lenticulares de siltitos arenosos, o mesmo que acontece na fácies Serra Alta, também estão presentes. Para o topo a frequência de camadas arenosas torna-se mais acentuada. A estrutura mais marcante nesses arenitos é a estratificação cruzada, como pode ser observado no afloramento a 9,5km aquém de São Pedro, na rodovia São Pedro-Piracicaba. Além dos estratos horizontais, as estruturas mais comuns nas camadas arenosas são marcas ondulares e estratificação cruzada e, nos siltitos, gretas de contração.

O topo da formação apresenta siltitos arroxeados, estratificados com lentes de arenitos finos maciços.

São observados sills e diques de diabásio cortando a Formação Estrada Nova, como por exemplo na rodovia asfaltada Piracicaba-Charqueada. A intrusão desses corpos teve como consequência um intenso fraturamento do siltito e mudança de coloração na auréola de metamorfismo de contato.

### 3.1.2 - FORMAÇÃO BOTUCATU E FORMAÇÃO PIRAMBÓIA

A Formação Pirambóia assenta-se sobre a Formação Estrada Nova. O contato se dá através de uma brecha sedimentar cuja espessura pode variar de 0,2 a 1,5 metros. Esta brecha é constituída de fragmentos de siltito da formação subjacente, geralmente com diâmetro inferior a 5 centímetros, sendo que a

matriz é constituída de clásticos areno-argilosos de cor avermelhada não apresentando estruturas.

A base da formação corresponde na área, a uma superfície praticamente concordante com o plano de estratificação das camadas da Formação Estrada Nova.

Sobre a brecha sedimentar assenta-se uma camada de pequena espessura, no máximo 2 metros, de arenitos com estratificação plano-paralela. Após, seguem-se sedimentos com características ora de depósitos de calha, ora de planícies de inundação.

No topo desta sequência ocorrem sedimentos rudáceos cuja espessura chega a atingir 10 metros como na estrada de Ipeúna a Serra de Itaqueri. Os seixos são constituídos essencialmente de quartzo, quartzito e, secundariamente, de argilito e a matriz é arenosa de cor clara. Os seixos acham-se localizados nos planos de estratificação ou se concentram sob forma de pequenas lentes.

A coluna acima descrita corresponde aos depósitos aquosos da Formação Pirambóia. Esta ocupa, na área, uma espessura máxima de aproximadamente 220 metros.

Sobre a Formação Pirambóia assentam-se depósitos de características eólicas constituintes da Formação Botucatu.

O contato entre as duas formações normalmente achase encoberto por depósitos neocenozóicos. Na estrada de Charqueada para a Serra de Itaqueri, o contato se caracteriza por uma concentração de seixos em uma superfície irregular no topo de uma camada de arenito maciço de cerca de 2 metros de espessura. Sobre ela repousam arenitos claros, finos, com estratificação cruzada. A espessura da fácies atinge 120 metros na Serra de São Pedro.

A Formação Botucatu e Pirambóia além de arenito,

argilito e conglomerado engloba inúmeros pequenos corpos magmáticos intrusivos. Diques de espessura variando de 0,5 a 4 metros são comuns na Formação Pirambóia, ocorrendo mais raramente na Formação Botucatu. A presença de corpos magmáticos horizontais e tabulares, "sills", foi assinalada no topo da Formação Pirambóia (BÓSIO, op.cit.).

O perfil geológico Itirapina-Serra de Brotas (BÓSIO, op.cit.) mostra um corpo básico nas regiões de Campo Alegre e Brotas. Estes corpos foram interpretados como sills pela posição estratigráfica dos mesmos. Eles se acham localizados na zona de contato entre as Formações Pirambóia e Botucatu à semelhança do sill da Serra de Santana o qual parecem estar relacionados.

### 3.1.3 - FORMAÇÃO SERRA GERAL

A Formação Serra Geral é representada pelos derrames de basalto eocretácicos, os quais ocorrem nas Serras de Itaqueri, São Pedro, Santa Maria da Serra e Brotas, formando o chamado Planalto Ocidental.

As espessuras são variáveis, sendo a maior delas de 160 metros na Serra de Santa Maria da Serra, diminuindo no sentido leste até atingir 80 metros na Serra de Itaqueri, sendo que em alguns locais foi totalmente erodido (mapa 1 - Geologia, em anexo).

O derrame basáltico é geralmente constituído de três camadas. A inferior é caracterizada por uma zona com diaclasamento horizontal, aspecto vítreo e grande densidade de pequenas vesículas. A superior apresentada as mesmas características sendo que há menor densidade de vesículas e estas são maiores. A porção central caracteriza-se por um basalto microcristalino, compacto, com diaclasamento vertical pouco denso.

Entre um derrame e outro pode haver ocorrência de

blocos de arenitos englobados. Esses xenólitos apresentam uma auréola de metamorfismo de contato dada pela coloração mais escura e maior coesão do arenito.

#### 3.1.4 - FORMAÇÃO BAURU

A Formação Bauru ocorre nas quadrículas mapeadas, sobre o planalto, jazendo em discordância erosiva, geralmente sobre a Formação Serra Geral. Em alguns locais, como ocorre na Folha de Itirapina (NE da área), o Arenito Bauru repousa diretamente sobre a Formação Botucatu.

A formação é constituída por arenitos de cores diversas, branco, amarelo, avermelhado, feldspático, normalmente maciço. A base da formação é representada por arenito conglomerático, com seixos de quartzo, quartzito e predominantemente de magmatitos básicos parcialmente decompostos.

Os afloramentos que ocorrem nas bordas da Serra de Itaqueri e nos arredores da cidade de Itaqueri de Serra constituem-se de conglomerados, que jazem sobre a Formação Serra Geral formados de seixos de quartzo e quartzito extremamente cimentados por sílica. A espessura deste conglomerado chega a atingir 30 metros nos bordos da Serra de Itaqueri.

#### 3.1.5 - COBERTURA NEOCENOZÓICA

Esta cobertura abrange os seguintes tipos de sedimentos neocenozóicos: depósitos de talude, depósitos coluviais arenosos, e depósitos arenosos da Formação Rio Claro.

Apesar de não ter sido delimitada nos mapas geológicos anexos, a cobertura neocenozóica abrange grande extensão na área ocorrendo nas regiões de São Pedro, de Brotas, de Itirapina e Ipeúna.

Os depósitos de talude ocorrem nos flancos das Serras de São Pedro e Itaqueri. Constituem-se de areias e fragmentos de basalto parcialmente intemperizados.

Os depósitos coluviais arenosos ocorrem na região de Itirapina, Campo Alegre e Brotas e são provenientes do retrabalhamento do Arenito Botucatu.

Dois fatos podem ser citados no que se refere aos depósitos arenosos neocenozóicos: a ocorrência de voçorocas e presença de vegetação do tipo cerrado são características para esse tipo de depostio.

A cobertura neocenozóica é constituída de sedimentos provenientes das formações que ocorrem nas vizinhanças. Assim a coloração do depósito reflete a sua origem. Depositos areno-argilosos tendo como fonte as formações Botucatu e Serra Geral, possuem cor vermelha escura, enquanto os arenos, originados da Formação Botucatu, apresentam tonalidades claras.

### 3.2 - HIDROGEOLOGIA

Os aspectos hidrogeológicos, aqui considerados, referem-se somente a parte aflorante das formações aquíferas da área (mapa 2 - Hidrogeologia, em anexo). Ao final do capítulo temos um quadro comparativo de suas principais caracteristicas (Quadro 1).

#### 3.2.1-ZONAS AQUÍFERAS DA FORMAÇÃO ESTRADA NOVA

Esta formação está presente em cerca de 10% da área estudada, ocorrendo na sua parte sudeste. Os fácies mapeáveis constituem-se de siltitos arroxeados e lentes maciças de arenitos finos. O ambiente de deposição destes sedimentos, marinho e salobro, assim como sua grande heterogeneidade granulométrica, cimentação calcífera e compactação, não favorecem o desenvolvimento de aquíferos de grande extensão. Quando ocorrem estão localizados nas lentes mais arenosas, porém a sali

nização da água é relativamente alta, notando-se na área amostras com até 500 mg/l.

A exploração mais comum das águas desta formação é feita através de cacimbões não revestidos, não sendo notado neste contexto nenhuma captação de fontes ou surgências.

A permeabilidade é baixa na sua composição siltico argilosa, podendo passar a média na porção arenosa, mas, no conjunto fica prejudicada pelas interdigitações destes fácies. Os dados disponíveis situam-se em torno de  $10^{-7}$  a  $10^{-8}$  m/s e  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$  m/s, respectivamente.

O nível d'água por poços aí perfurados atingem profundidades de até 15 metros, estando em média ao redor de 10 metros.

O manto de intemperismo nesses sedimentos é pouco desenvolvido, talvez devido à sua compactação e/ou cimentação. Este caráter de quase impermeabilidade é bem ilustrado pela intensa rede de drenagem existente neste contexto.

### 3.2.2 - SISTEMA AQUÍFERO BOTUCATU

Localizado nos litofácies Botucatu e Pirambóia, este aquífero ocupa cerca de 62% da área, ocorrendo ao sul e norte da Serra de São Pedro e Itaqueri esculpidas nas rochas da Formação Serra Geral.

Estas formações, de ambiente aquoso continental e eólico, contém arenitos, siltitos e folhelhos (Formação Pirambóia) e arenitos bem selecionados de ambiente eólico (Formação Botucatu).

Este aquífero ocupa na área as zonas de altitudes mais baixas (450 a 700 metros) e pela sua extensão e qualidades hidrogeológicas é o mais importante da região. A sua feição mapeável é constituída de arenitos grossos a médios, não

sendo observado nenhuma ocorrência argilosa ou siltosa, a não ser próximo aos contatos com os basaltos e diabásios.

A alimentação ou recarga é feita por infiltração direta das chuvas, em toda sua extensão, pelas diversas fontes existentes nas escarpas da Formação Serra Geral, ou, em grande parte, pela represa de Barra Bonita, situada à sudoeste da zona de estudo.

O nível do freático nesta formação é bastante raso, isto é, menos de 5 metros em quase toda a extensão do aquífero, provocando o aparecimento de ressurgências de depressão e zonas alagadiças (no norte da área). Também devido serem estes sedimentos de alta permeabilidade, as variações sazonais do nível são bastante grandes, podendo atingir de 2 a 3 metros.

A vegetação pobre existente neste contexto geolôgico reflete as elevadas permeabilidades ali existentes, responsáveis pela lavagem excessiva dos sedimentos em seus micronutrientes.

Os valores disponíveis de permeabilidades desta formação dão uma média de  $6.10^{-5}$  m/s, variando de  $10^{-4}$  a  $2.10^{-5}$  m/s respectivamente para a Formação Botucatu e Formação Pirambóia. O solo residual destas formações apresentam, na área, permeabilidades estimadas de  $10^{-2}$  a  $10^{-3}$  m/s. Coeficiente de armazenamento deste aquífero é da ordem de  $2.10^{-1}$  a  $10^{-1}$  em seus domínios de aquífero livre e sua transmissividade é tida como em torno de  $8.10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s.

A explorabilidade deste sistema nesta região, está condicionada à existência de ressurgências, que ocorrem ao longo das pequenas depressões locais. Somente dois poços tipo cacimbões foram encontrados em toda extensão da área pesquisada.

### 3.2.3 - ZONAS AQUÍFERAS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL

Estas zonas aquíferas estão representadas em apenas 5% da área, aparecendo nas escarpas da Serra de São Pedro e Itau



queri e parte do planalto superior da Serra de Itaqueri. As zonas aquíferas estão situadas em arenitos intercalados aos derrames basálticos, zonas mais intensamente fraturadas, contatos intertrapps e manto de intemperismo.

A recarga deste aquífero é feita diretamente pela infiltração das águas das chuvas em sua zona aflorante ou através de cobertura de arenitos da Formação Bauru, quando soto postos a ele.

Os níveis freáticos existentes neste contexto são bastante variáveis de subaflorantes até 15 metros de profundidade. Isto está ligado ao comportamento mais movimentado da topografia associado ao caráter hidrogeológico muito heterogêneo destas rochas.

Os valores de permeabilidade desta formação vão de  $10^{-3}$  a  $10^{-5}$  m/s para as estruturas de contato e juntas-falhas horizontais, até inferiores a  $10^{-7}$  m/s em estruturas verticais como as diaclases de pequena extensão.

A captação deste aquífero é bem diversificada na região prendendo-se sempre à facilidade de obtenção de água. Assim, temos captações de fontes preferencialmente às de poços cacimba. Normalmente, esses poços estão localizados nas partes altas e planas da região, onde não existem fontes.

A potabilidade das águas é ótima, sendo que a salinização total situa-se ao redor de 30 mg/l. Devido a grande permeabilidade das zonas fraturadas, podem ocorrer, em locais isolados, poluições advindas de adubos, fungicidas e currais, localizados dentro dessas zonas.

#### 3.2.4 - SISTEMA AQUÍFERO BAURU

O sistema aquífero Bauru esta contido nos litofãcies da Formação Bauru e Caiuá. Na região somente são encontrados sedimentos da Formação Bauru, constituídos de areni

tos grosseiros, de coloração branca a levemente avermelhada, na quase totalidade friável, a não ser próximo a Itaqueri da Serra, onde pode ser notado um afloramento com escarpas areníticas duras.

Ocupando a parte mais alta do planalto central, cobre 20% da área mapeada. Este posicionamento topográfico faz com que sofra intensa percolação. A água aí infiltrada tanto pode ser cedida às zonas aquíferas da Formação Serra Geral subjacentes como sair ao longo dos contatos com o substrato basáltico impermeável.

Os poços cacimba situados nas zonas mais altas deste aquífero acusaram uma profundidade de nível freático ao redor de 10 metros, existindo ressurgências nos talvegues e pequenas zonas alagadiças, talvez devido a variações faciológicas da própria Formação Bauru.

A permeabilidade deste aquífero pode variar de  $5.10^{-6}$  a  $10^{-5}$  m/s em outras zonas da bacia, sendo que na área ela pode atingir até  $10^{-3}$  m/s. A potabilidade destas águas é excelente, não se constatando nenhum elemento restritivo comumente assinalado, na bibliografia regional.

### 3.2.5 - ZONAS AQUÍFERAS DO DIABÁSIO

Os sills de diabásio, ocupando 2% da área, estão presentes na parte nordeste (Itirapina) e noroeste (Brotas). Apresentam zonas aquíferas semelhantes às do basalto da Formação Serra Geral, tanto na sua forma de ocorrência quanto na sua explorabilidade. Os níveis do lençol freático também são semelhantes, sendo que nas partes altas deste corpo rochoso foi constatada uma profundidade de 5,4 metros.

### 3.2.6 - ZONAS AQUÍFERAS DA PLANÍCIE ALUVIAL

A planície aluvial ocupa 1% da área de estudo, es

tando presente nas várzeas próximas a Brotas e Itirapina.

Seu entulhamento se deu a partir dos sedimentos de sagregados das formações Bauru e Serra Geral, que sofreram transporte e deposição, proporcionando bom selecionamento e intensa lavagem dos grãos, dada a alta competência dos riachos que descem as escarpas.

Os poços-cacimbas aí existentes mostram níveis freáticos entre 1 e 2 metros sem efeito acentuado de variação com as estações sazonais.

Sua permeabilidade é muito variável, dependendo do tipo local de sedimentos. Portanto pode variar de  $10^{-2}$  a  $10^{-5}$  m/s.

### 3.3 - QUALIDADE DAS ÁGUAS

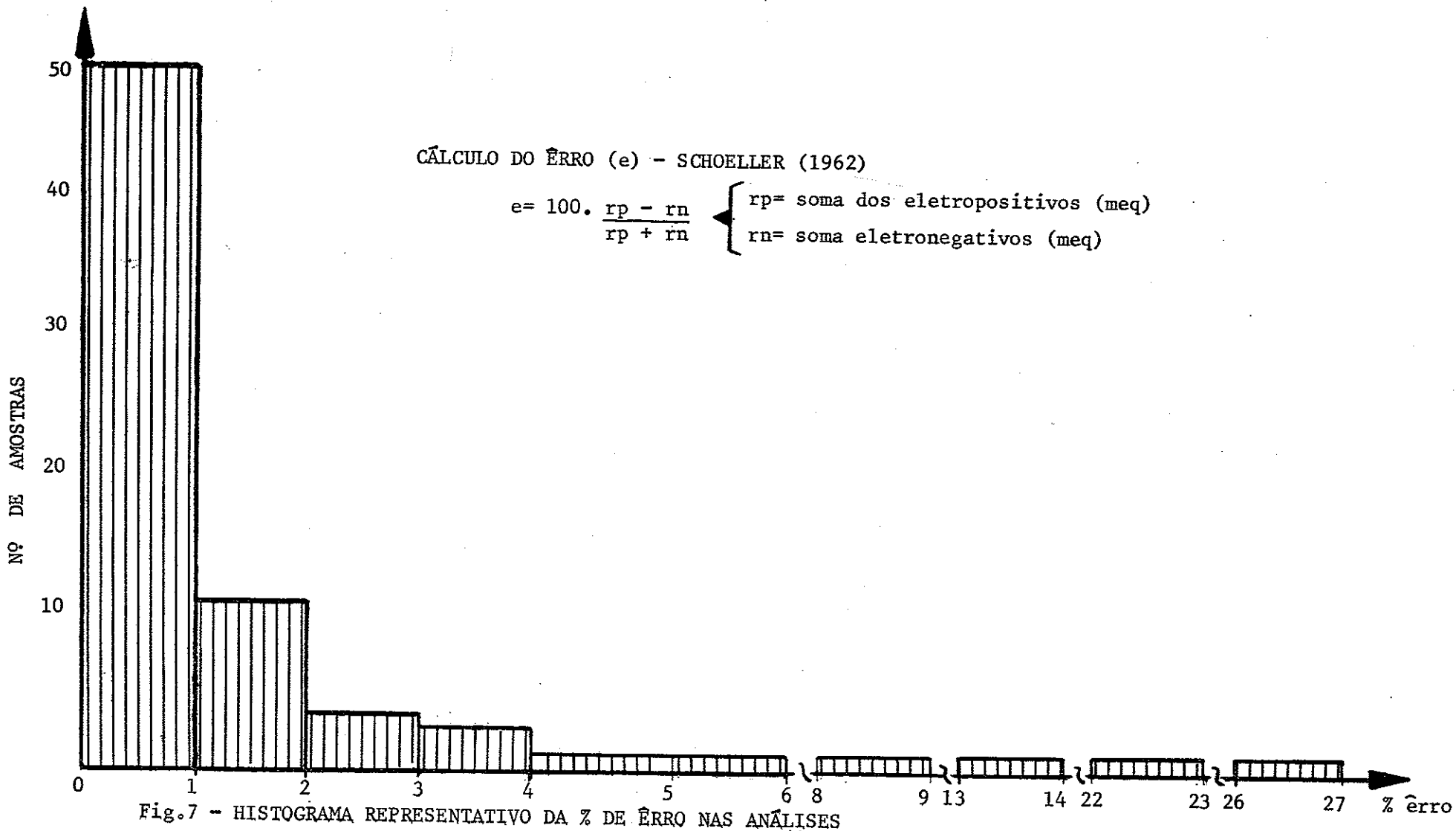
As águas subterrâneas não são quimicamente puras, elas contêm sempre uma maior quantidade de sais em relação às águas de superfície. Porém se apresentam relativamente mais puras, em termos de potabilidade, dispensando os onerosos processos de tratamento. Entende-se por "água pura", uma água naturalmente desprovida de impurezas, não poluída e de composição química própria ao consumo.

Todas as rochas ou solos contêm, em proporções diversas, minerais ou substâncias mais ou menos solúveis, lixiviáveis. A concentração de sais solúveis nas águas é, em última análise, função das condições de escoamento, e de diversos fatores, tais como os climáticos, morfológicos e hidrogeológicos. Tudo que desfavorece ou retarda o escoamento natural em superfície é um fator de concentração de sais nas águas. Estes fatores podem ser fracas declividades, depressões fechadas, escoamento deficitário devido a evapotranspiração intensa e baixas permeabilidades.

QUADRO 1 - CARACTERÍSTICAS DOS AQUÍFEROS

AQUÍFEROS	ROCHA		EXTENSÃO		ESPESSURA (m)	PERMEABILIDADE (m/s)	TRANSMISSIVIDADE (m <sup>2</sup> /s)
	TIPO	FORMAÇÃO	km <sup>2</sup>	%			
ZONAS AQUÍFER. FORM. ESTRADA NOVA	Areia fina, Silte e Argila	Estrada Nova	285	10	-	10 <sup>-4</sup> a 10 <sup>-7</sup>	-
SISTEMA AQUÍF. BOTUCATU	Areia fina a grossa	Botucatu Pirambóia	1.767	62	300	10 <sup>-2</sup> a 10 <sup>-5</sup>	3 a 3.10 <sup>-3</sup>
ZONAS AQUÍFER. FORM. SERRA GERAL	Basalto e Arenito	Serra Geral	143	7	120	10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>-7</sup>	1,2 x 10 <sup>-1</sup> a 1,2 . 10 <sup>-5</sup>
ZONAS AQUÍFER. BAURU	Areia grossa a fina e silte	Bauru	513	18	50	10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>-6</sup>	a 5.10 <sup>-2</sup> 5.10 <sup>-5</sup>
ZONAS AQUÍFER. DO DIABÁSIO	Areia fina e Diabásio	Sills	57	2	-	10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>-7</sup>	-
ZONAS AQUÍFER. DA PLANÍCIE ALUVIAL	Areia grossa a fina, silte e argila	Aluvião	28	1	-	10 <sup>-2</sup> a 10 <sup>-5</sup>	-

Amoios /	Ca	Mg	Ba	Na	K	NH <sub>4</sub>	Al	Fe	Mn	Cr	Ni	Cu	Pb	Zn	As	Cd	Ag	Si	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	P	B
01	<1,00	0,44	<1,00	0,28	1,66	<0,22	<0,36	0,77	<0,01	<0,02	<0,01	<0,02	<0,05	0,16	<0,05	<0,02	<0,05	4,76	<0,1	6,81	0,41	<0,05	0,20	<0,10	<1,00
02	<1,00	0,51	<1,00	0,14	0,51	<0,10	<0,20	0,15	0,01	<0,02	<0,01	<0,02	<0,05	0,63	<0,05	<0,02	<0,05	4,22	<0,1	3,52	<0,01	<0,05	0,26	<0,10	<1,00
03	<1,00	1,21	<1,00	1,28	2,50	0,13	<0,20	0,25	0,05	<0,02	0,02	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	4,60	7,87	3,95	1,17	<0,05	1,05	<0,10	<1,00
04	3,86	0,76	<1,00	1,08	2,82	0,22	<0,20	0,31	0,21	<0,02	0,01	<0,02	<0,05	0,07	<0,05	<0,02	<0,05	4,16	14,15	4,61	1,37	<0,05	0,20	<0,10	<1,00
05	1,92	0,96	<1,00	0,98	1,04	<0,10	<0,20	<0,10	<0,01	<0,02	0,01	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	6,48	9,64	2,06	0,82	<0,05	0,99	<0,10	<1,00
06	1,51	1,36	<1,00	0,58	0,68	<0,10	<0,20	<0,10	<0,01	<0,02	0,02	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	8,64	12,93	2,06	0,57	<0,05	0,38	<0,22	<1,00
07	<1,00	0,23	<1,00	0,31	0,86	0,10	<0,20	0,49	0,02	<0,02	0,02	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	4,23	0,73	3,88	<0,10	<0,05	0,20	<0,10	<1,00
08	3,17	0,54	<1,00	0,38	0,59	<0,10	<0,20	<0,10	<0,01	<0,02	0,02	<0,02	<0,05	0,08	<0,05	<0,02	<0,05	4,11	10,80	2,06	<0,10	<0,05	0,23	<0,10	<1,00
09	<1,00	0,38	<1,00	0,14	0,68	0,16	<0,20	0,97	0,02	<0,02	0,01	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	4,25	11,10	2,06	<0,10	<0,05	0,20	<0,10	<1,00
10	<1,00	0,32	<1,00	1,21	1,22	0,10	<0,20	0,48	0,02	<0,02	0,01	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	3,97	<0,10	3,88	0,32	<0,05	0,20	<0,10	<1,00
11	5,11	2,82	<1,00	0,18	0,51	0,10	<0,20	0,24	0,01	<0,02	0,02	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	2,83	4,21	2,42	<0,10	<0,05	0,63	<0,10	<1,00
12	<1,00	0,50	<1,00	2,67	1,22	0,28	<0,20	<0,10	<0,01	<0,02	0,01	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	17,16	22,33	4,98	0,82	<0,05	0,57	<0,32	<1,00
13	3,23	1,62	<1,00	2,11	4,87	<0,10	0,40	<0,10	0,02	<0,02	0,02	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	6,28	2,06	2,06	<0,10	<0,05	0,32	<0,10	<1,00
14	<1,00	0,28	<1,00	0,44	1,31	<0,10	<0,20	<0,10	0,02	<0,02	0,02	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	5,48	22,14	2,42	1,95	<0,05	2,50	<0,10	<1,00
15	4,69	2,61	<1,00	3,14	2,20	0,15	<0,20	<0,10	0,04	<0,02	0,01	<0,02	<0,05	0,52	<0,05	<0,02	<0,05	3,92	2,81	2,42	0,41	<0,05	0,58	<0,10	<1,00
16	7,08	1,05	<1,00	0,31	2,29	0,13	<0,20	<0,10	<0,01	<0,02	0,01	<0,02	<0,05	0,01	<0,05	<0,02	<0,05	16,24	28,36	6,08	0,82	<0,05	0,86	<0,32	<1,00
17	3,17	0,62	<1,00	0,31	1,75	0,13	<0,20	0,15	0,02	<0,02	0,01	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	0,05	<0,05	3,90	24,22	2,42	0,82	<0,05	2,29	<0,10	<1,00
18	<1,00	0,34	<1,00	0,21	1,22	0,10	<0,20	<0,10	<0,01	<0,02	0,01	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	4,86	11,65	2,42	0,32	<0,05	1,01	<0,10	<1,00
19	40,51	10,99	<1,00	5,84	3,36	0,25	<0,20	<0,10	<0,01	0,02	0,02	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	4,64	3,35	2,42	0,16	<0,05	0,35	<0,10	<1,00
20	4,92	2,21	<1,00	2,20	5,11	<0,10	<0,20	<0,10	0,04	<0,02	0,01	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	15,61	194,41	4,25	3,27	<0,05	3,46	<0,30	<1,00
21	58,36	6,80	<1,00	14,95	3,18	0,43	1,59	1,34	0,64	<0,02	0,01	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	6,37	32,82	2,42	<0,10	<0,05	3,84	<0,10	<1,00
22	16,52	0,99	<1,00	2,12	4,60	0,17	<0,20	<0,10	0,01	<0,02	0,03	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	15,88	175,36	14,12	<0,10	<0,05	3,52	<0,10	<1,00
23	4,37	1,14	<1,00	1,43	1,49	<0,10	<0,20	<0,10	0,04	<0,02	0,01	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	16,01	66,32	4,25	<0,10	<0,05	0,71	<0,10	<1,00
24	1,87	0,86	<1,00	1,03	1,71	<0,10	<0,20	<0,10	0,12	<0,02	0,03	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	3,56	15,68	2,06	1,60	<0,05	3,94	<0,10	<1,00
25	<1,00	0,49	<1,00	1,19	1,83	0,52	1,14	1,01	0,06	<0,02	0,03	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	5,51	10,06	1,69	0,40	<0,05	2,44	<0,10	<1,00
26	20,55	8,83	<1,00	6,82	1,54	0,55	<0,20	<0,10	<0,01	0,02	<0,01	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	4,05	<0,10	10,10	1,20	<0,05	0,32	<0,15	<1,00
27	3,88	2,28	<1,00	1,73	3,18	0,17	<0,20	<0,10	<0,01	<0,02	0,02	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	21,94	110,47	7,54	5,10	<0,05	1,61	<0,14	<1,00
28	4,77	2,86	<1,00	4,28	15,64	<0,10	<0,20	<0,10	<0,01	<0,02	0,01	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	8,88	20,10	7,54	1,01	<0,05	1,20	<0,10	<1,00
29	4,34	1,58	<1,00	2,05	0,58	0,17	<0,20	0,41	0,01	<0,02	0,02	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	8,13	36,48	7,17	8,16	<0,05	4,56	<0,10	<1,00
30	1,82	1,00	<1,00	1,36	2,62	0,36	<0,20	1,17	0,12	<0,02	<0,01	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,05	7,70	19,34	5,34	0,62	<0,05	<0,10	<0,10	<1,00
31	<1,00	0,41	<1,00	0,01	0,19	0,11	<0,20	0,14	0,01	<0,02	0,01	<0,02	<0,05	0,20	<0,05	<0,02	<0,05	3,13	5,43	3,52	1,50	<0,05	4,48	<0,10	<1,00
32	3,46	0,46	<1,00	0,94	1,26	0,11	<0,20	0,26	0,01	<0,02	0,02	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	0,03	<0,05	6,46	3,54	3,52	<0,10	<0,05	<0,10	<0,10	<1,00
33	1,79	1,02	<1,00	1,11	2,34	0,21	<0,20	<0,10	<0,01	<0,02	0,02	<0,02	<0,05	0,68	<0,05	0,02	<0,05	3,37	12,32	3,52	<0,10	<0,05	<0,10	<0,12	<1,00
34	3,59	1,02	<1,00	6,59	1,43	0,06	<0,20	<0,10	0,07	<0,02	0,01	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	0,04	<0,05	8,17	10,92	4,25	<0,10	<0,05	0,47	<0,10	<1,00
35	12,21	6,41	<1,00	5,74	1,04	0,11	<0,20	<0,10	<0,01	<0,02	<0,01	<0,02	<0,05	0,03	<0,05	0,03	<0,05	3,68	25,00	4,98	4,01	<0,05	4,60	<0,10	<1,00
36	<1,00	0,62	<1,00	0,62	1,54	0,11	<0,20	<0,10	<0,01	0,02	<0,01	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	0,02	<0,05	18,68	80,76	3,15	0,40	<0,05	0,49	<0,10	<1,00
37	4,38	1,72	<1,00	2,74	0,47	0,17	<0,20	<0,10	<0,01	<0,02	0,02	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	0,02	<0,05	7,26	6,40	2,42	<0,10	<0,05	0,32	<0,10	<1,00
38	1,67	0,76	<1,00	1,22	0,87	<0,10	<0,20	<0,10	<0,01	0,02	<0,01	<0,02	<0,05	0,02	<0,05	0,02	<0,05	11,72	24,28	3,52	<0,10	<0,05	0,92	<0,10	<1,00
39	8,11	4,03	<1,00	4,14	1,60	0,44	<0,20	<0,10	<0,01	<0,02	<0,01	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	0,02	<0,05	3,64	10,00	2,06	<0,10	<0,05	0,49	<0,10	<1,00
40	<1,00	0,14	<1,00	0,89	<0,10	<0,10	<0,20	<0,10	<0,01	<0,02	0,01	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	0,02	<0,05	17,13	47,46	5,34	1,50	<0,05	1,22	<0,10	<1,00
41	<1,00	0,25	<1,00	0,95	0,36	<0,10	<0,20	0,22	0,39	<0,02	<0,01	<0,02	<0,05	0,01	<0,05	0,04	<0,05	2,04	5,72	1,69	<0,10	<0,05	0,17	<0,18	<1,00
42	6,30	0,83	<1,00	1,34	0,36	<0,10	<0,20	<0,10	0,07	<0,02	<0,01	<0,02	<0,05	0,13	<0,05	0,03	<0,05	2,01	2,50	3,52	<0,10	<0,05	0,19	<0,12	<1,00
43	<1,00	0,55	<1,00	1,27	3,01	0,30	<0,20	0,57	2,66	<0,02	<0,01	<0,02	<0,05	0,15	<0,05	0,02	<0,05	5,20	20,86	4,06	<0,10	<0,05	0,29	<0,10	<1,00
44	2,06	0,85	<1,00	0,20	1,21	0,11	<0,20	0,44	0,15	<0,02	0,02	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	0,03	<0,05	6,23	<0,10	13,39	0,80	<0,05	0,17	<0,10	<1,00
45	1,77	0,64	<1,00	0,67	<0,10	<0,10	<0,20	<0,10	<0,01	<0,02	<0,01	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	0,02	<0,05	3,15	5,31	5,34	<0,10	<0,05	0,63	<0,10	<1,00
46	9,21	3,36	<1,00	5,06	1,32	0,40	<0,20	0,40	4,92	<0,02	0,02	<0,02	<0,05	0,03	<0,05	0,02									



A qualidade de uma água está definida por sua composição, e o conhecimento dos efeitos que podem causar cada um dos elementos que ela contém ou o conjunto de todos eles, permite estabelecer as possibilidades de sua utilização. Deste modo, elas podem ser classificadas, de acordo com os limites estudados, para o emprego em bebidas, agricultura, indústria, etc. Dentro de cada um destes grupos existem usos específicos, com novas classificações e novos campos de aplicação, como por exemplo a utilização de água salobra, classificadas como não potáveis, em instalações domésticas que não sirvam para beber, tais como uso sanitário e para limpeza em geral.

No intuito de se conhecer melhor a qualidade das águas da região, foi procedida uma coleta de 75 amostras, seguindo um critério de locação mais representativo dos diferentes tipos de aquíferos. Das 75 amostras coletadas, 20 foram em poços rasos (cacimba) e 55 foram de fontes e/ou ressurgências (descrição do local e litologia em anexo).

Cada amostra foi coletada em dois frascos de 0,5 litros, sendo em um deles adicionado 0,5 ml de clorofórmio e no outro 0,5 ml de ácido sulfúrico concentrado, com objetivo de fixar os voláteis da amostra.

Foram analisados 25 elementos, a saber: cálcio (Ca), magnésio (Mg), manganês (Mn), amônia ( $\text{NH}_4$ ), sódio (Na), potásio (K), ferro (Fe), silício (Si), alumínio (Al), bário (Ba), cromo (Cr), cobre (Cu), chumbo (Pb), zinco (Zn), Prata (Ag), cádmio (Cd), níquel (Ni), arsênio (As), boro (B), nitrato ( $\text{NO}_3$ ), nitrito ( $\text{NO}_2$ ), sulfato ( $\text{SO}_4$ ), fósforo (P), cloro (Cl), e bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ ). Os resultados em mg/l são apresentados na tabela 1.

Para uma melhor interpretação da composição química, os valores de mg/l foram transformados em meq/l. Calculou-se o erro relativo, segundo método preconizado por SCHOELLER (1962) e, conforme mostra o histograma da figura 7, somente 6,7% apresentaram erro superior a 5%, considerando como limite máximo.

Utilizando-se o diagrama proposto por PIPER (1944) verificou-se que as águas corresponderam a quatro famílias distintas: (figura 8)

- 32,8% são calcomagnesianas sulfetadas
  - 60,0% são calcomagnesianas bicarbonatadas ou carbonatadas.
  - 5,0% são bicarbonatadas ou carbonatadas sódicas.
  - 2,2% são sulfatadas ou cloretadas sódicas,
- correspondendo em grande parte às diferentes litofácies presentes na área de estudo.

Quanto à potabilidade apenas as águas das zonas aquíferas da região sudeste da área provenientes da Formação Estrada Nova, apresentam sabor salobro. As suas características químicas, no que se refere à mineralização total, indicam teores de até 500 mg/l. Quanto aos outros parâmetros, destaca-se o Fe que atinge valores acima do limite de 0,3 mg/l em cerca de 18,5% das amostras.

Quando a água é destinada ao consumo humano, ela não deve conter bactérias patogênicas e agentes de poluição nocivos para o organismo. Ela deverá ser doce, ou seja, a mineralização total não deve ultrapassar os limites de tolerância fixados. Uma concentração de 500 mg/l corresponde ao limite superior de salinidade de uma água doce, mas em zonas áridas, águas com até 2000 mg/l são admissíveis para o consumo humano, conforme as normas da Organização Mundial de Saúde e geralmente aceita pela maioria das nações do globo.

Portanto, analisando a área globalmente, podemos dizer que, até o momento, ela contém águas de excelente qualidade, excetuando-se algumas localizadas dentro de áreas de cultivo, evidenciadas pelos teores mais elevados de fósforo, e pontos situados na parte sudeste (Formação Estrada Nova) onde o gosto salobro está associado aos maiores teores em magnésio.

No mapa 3 - Qualidade das águas (anexo) procurou-se



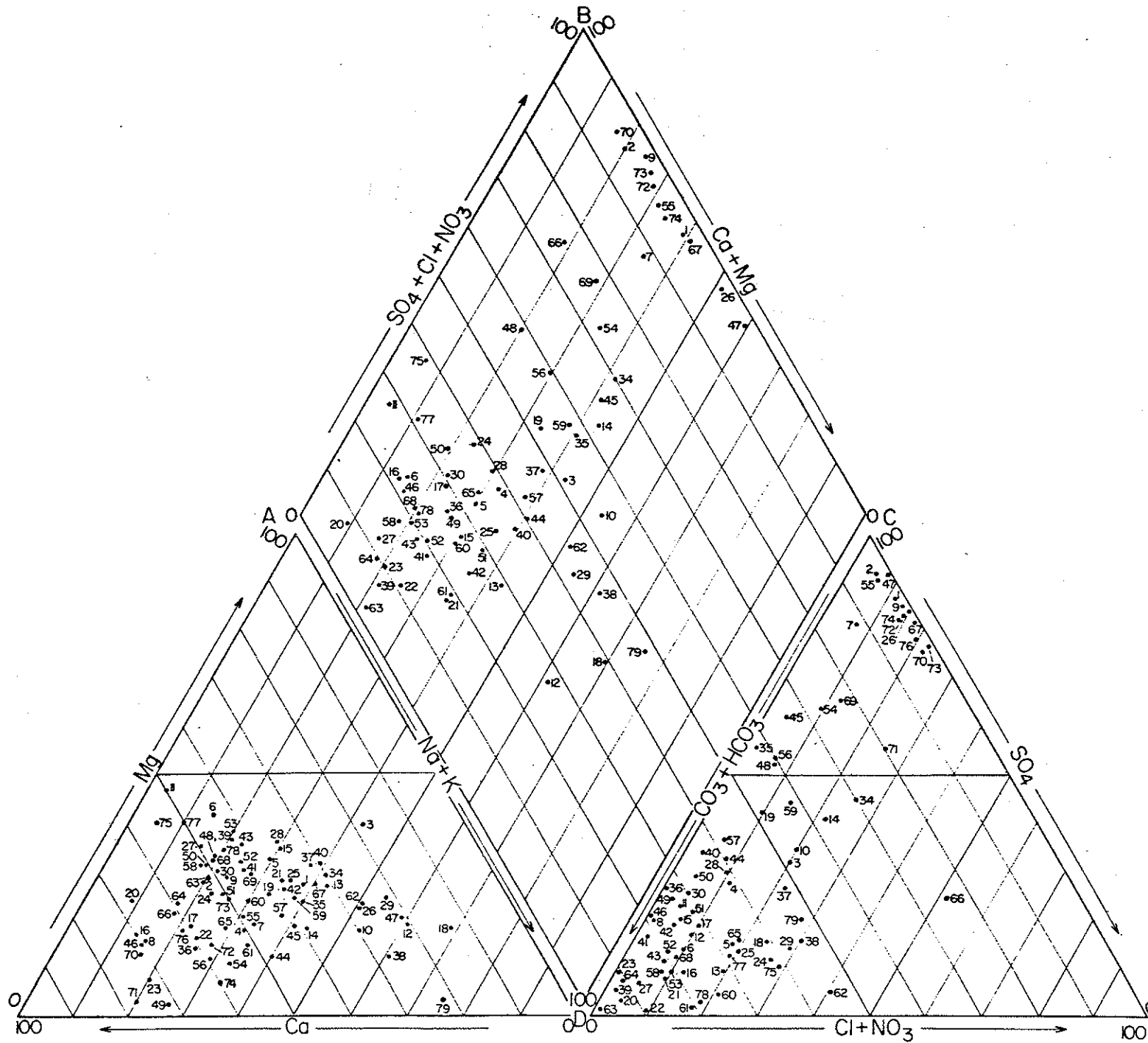


Fig.8 - DIAGRAMA DE ANÁLISE DE ÁGUA (Piper 1944)

fazer uma representação mais visual de seus componentes, utilizando para isto eixos escalares proporcionais, podendo então o observador, à primeira vista, comparar as variações dos elementos componentes. Os valores aí utilizados estão em meq/l.

#### 4. - COMPOSIÇÃO E ANÁLISE DOS FATORES CONDICIONANTES

Para que possamos fazer uma análise dos fatores condicionantes em Geologia Ambiental, faz-se necessário a composição de vários mapas técnicos, tais como o de cobertura, de clividade, vulnerabilidade, os quais visam definir constantes das condições geológicas e propriedades dos solos com vistas à implantação de distritos urbanos, industriais e toda uma infraestrutura a eles ligados (estradas, ruas, depósitos de lixo, fossas, cemitérios, áreas de lazer, etc).

Estes mapas, aqui apresentados, tem como objetivo fundamental mostrar a região como um todo, não dispensando uma campanha de detalhamento local para a implantação de uma obra.

A documentação cartográfica básica utilizada consta de folhas de Brotas, Itirapina, Santa Maria da Serra e São Pedro, fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística na escala 1:50.000. Foi adotada a escala 1:100.000 na apresentação por tratar-se de um estudo a nível regional.

Foi desenvolvida uma campanha de campo convencional de mapeamento geológico e amostragem de água, geologia de cobertura, aspectos geomorfológicos de inclinação e localização de áreas aproveitáveis como materiais de construção. Dados de Geotecnica foram extrapolados de áreas similares de ocorrência deste tipo de cobertura.

#### 4.1 - CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS DE COBERTURA (mapa 4, em anexo)

Os solos constituem um dos primeiros obstáculos encontrados pelas águas de infiltração, provenientes das chuvas, transbordamento de cursos d'água e despejos em geral característicos dos complexos urbanos. A sua caracterização constitue, portanto, informação indispensável à análise dos aspectos de Geologia Ambiental com vistas ao uso e preservação das águas do sub-solo. Os solos representam importantes reservatórios de transferência de água até o aquífero

A caracterização destes materiais foi possível pelo grande número de ensaios já realizados nestes sedimentos (SEIGNEMARTIN, 1979) e por controle de campo efetuado durante a campanha de mapeamento.

Tendo como premissa que todo o solo tem sua origem ligada à decomposição das rochas (intemperismo e erosão) sendo seu mecanismo de formação ligado a processos posteriores como transporte, deposição e evolução pedogênica, e mais a natureza da rocha-mãe, o clima e a topografia, surgiu uma classificação para esses materiais onde pontificam os seguintes tipos básicos na região:

##### 4.1.1 - COBERTURAS RESIDUAIS

São solos provenientes da decomposição e alteração das rochas "in situ", onde o transporte é inexistente ou praticamente inexistente. Sua principal característica é a angularidade dos grãos minerais que os compõem como no caso dos provenientes do basalto da Formação Serra Geral, quando temos blocos de rocha envolvidos por material totalmente alterado.

Na região temos três tipos de coberturas residuais, que são:

#### 4.1.1.1 - SOLOS RESIDUAIS DAS FORMAÇÕES PIRAMBÓIA, BOTUCATU E BAURU

Estes solos representam 77% da região, sendo cons  
tituídos de material homogêneo, não se mantendo as caracterís  
ticas da rocha-mãe.

Na classificação unificada de solos (VARGAS,1978 ),  
ele é enquadrado como tendo um símbolo de grupo S.W., tendo  
como característica areias bem graduadas, pedregulhosas, com  
pouco ou nenhum fino, proporcionando alta permeabilidade  
neste contexto geológico.

#### 4.1.1.2 - SOLOS RESIDUAIS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL E DIABÁSIO

Estes solos representam 9% da área, constituindo-se  
de blocos e material alterado, podendo haver uma coexistência  
de ambos ou somente um solo areno-argiloso desenvolvido.

Na classificação unificada de solos (VARGAS,op.cit),  
este tipo de solo recebe o símbolo de S.M., S.C., S.W e L.M.  
tendo como característica areias siltosas a argilosas, com  
mistura mal graduadas de areia, silte e argila, sem uma per  
meabilidade definida, motivada pela variação local das carac  
terísticas granulométricas.

#### 4.1.1.3 - SOLOS RESIDUAIS DA FORMAÇÃO ESTRADA NOVA

Estes solos estão presentes em 10% da área, repre  
sentados por solos areno-siltosos, ou solos argilosos, com  
pouco desenvolvimento.

Na classificação unificada de VARGAS (op.cit.)este  
tipo de solo recebe a denominação de S.C., L.M. e L.C., cons  
tituindo-se de silte, inorgânicos e areias muito finas, alte

ração de rocha e areias finas siltosas ou argilosas com pequena plasticidade. A permeabilidade destes solos é baixa devido a grande concentração de finos.

#### 4.1.2 - SOLOS TRANSPORTADOS

São os materiais originários da decomposição das rochas, onde o fator transporte é evidenciado. Conforme a ação desse agente estes solos são denominados aluviões, coluviões ou talus.

Na área estes três tipos coexistem sendo que o talus existe no sopê das serras de São Pedro e Itaqueri, assim como os coluviões. Ambos são frutos das escarpas da serra, evidenciando tombo por rompimento de blocos e pouco transporte. Devido a escala do mapa eles não são representados.

Os aluviões recobrem 4% da área sendo fruto de materiais transportados por água corrente. Sua granulometria é gradacional, evidenciando a competência sazonal das correntes superficiais, podendo ser enquadrados na classificação unifi cada de solos (VARGAS, op.cit.) como pertencentes às classes G.C., S.M., S.C., L.M. e L.C., tendo como seus constituintes característicos areias bem ou mal graduadas, com frações sílticas e argilosas em proporções variadas. A sua permeabilida de é variada, dependendo da maior ou menor homogeneização de sua granulometria

#### 4.2 - DECLIVIDADE (mapa 5, em anexo)

A declividade dos terrenos é fator básico condicionante do tempo de permanência do líquido infiltrável no solo. Na medida em que a declividade cresce, menor será o tempo de permanência do líquido em contato com o solo, engendrando um escoamento superficial muito rápido, não havendo portanto tempo para que a infiltração se verifique.

Também na implantação de um complexo urbano, os mapas de declividade ou de inclinação de terrenos ou clinométricos são indispensáveis. Para a obtenção deste, foi utilizado um mapa topográfico plani-altimétrico com a ajuda de um ábaco que serviu para transformar as distâncias entre curvas de nível em percentagem de inclinação a intervalos previamente escolhidos (DE BIASI, 1970; LIBAUD, 1975).

Quando da implantação do complexo urbano, este mapa tem uma utilidade econômica bastante grande, principalmente no custo de instalação e facilidade de escoamento dos líquidos.

Vale salientar que os significados são bem distintos com relação aos interesses geotécnicos e hidrogeológicos no que tange a escoamento líquido, pois a recarga dos aquíferos é enormemente favorecida em terrenos planos enquanto, como veremos adiante, a rede de esgoto ou de adutoras de água tem que ter um certo desnível para poderem funcionar.

Para melhor compreensão deste mapa- Declividade(anexo), foram adotados os seguintes percentuais de inclinação - (convenientes na escala adotada):

- menor que 2% - ótima para implantação do complexo urbano;
- 2 a 5% - muito boa para a implantação do complexo urbano;
- 5 a 15% - boa a razoável para a implantação do complexo urbano;
  
- maior que 15% - de restrito a impróprio para a implantação do complexo urbano.

Inclinações de 0 a 5% são ótimas à instalação de sistemas de saneamento, sendo que as próximas de 0% são restritivas a este tipo por dificuldade de escoamento; 15% seria o limite da faixa ótima à instalação de pistas de rolamento e sistemas sépticos, sendo que maiores que este índice são des

favoráveis a qualquer tipo de complexo urbano, a não ser implantação de residências, quando tenha suporte geológico.

Na região de estudo a maioria dos terrenos ( cerca de 80%) esta na faixa de 0 a 5%, e o restante nas faixas superiores, mostrando que nela, apesar de termos a presença de serras escarpadas, seus terrenos são relativamente planos.

#### 4.3 - PERMEABILIDADE

O estudo macroscópico do comportamento de um meio poroso é extraordinariamente complexo dada a forma complicada dos poros e canalículos pelos quais deve circular a água. Podem ser estabelecidas leis que consideram o meio contínuo com propriedades definidas. Estas leis estão baseadas em três parâmetros fundamentais que são: a permeabilidade, a porosidade e o coeficiente de armazenamento.

O parâmetro fundamental neste trabalho é a permeabilidade dos materiais de cobertura ligado diretamente com o tipo de ocupação do solo e com a quantidade de água infiltrada que irão recarregar os aquíferos.

Na região estudada, a permeabilidade dos materiais de cobertura está condicionada a dois grupos principais de solos, caracterizados pela sua homogeneidade granulométrica superficial, no caso dos solos provenientes das formações Bauru, Serra Geral, Botucatu e Pirambóia, e por uma heterogeneidade no caso dos solos provenientes da Formação Estrada Nova e Aluviões.

Os solos homogêneos apresentam uma alta permeabilidade, da ordem de  $10^{-1}$  a  $10^{-3}$  m/s, ocupando cerca de 80% da área, constituindo-se nas zonas de recarga pluvial das águas subterrâneas e, portanto em locais a serem preservados contra riscos de contaminação ou poluição, principalmente em se tratando de região na maioria plana, com um potencial de infiltração muito grande.

Os heterogêneos possuem uma permeabilidade bastante variada, dependendo dos fácies litológicos que lhes deu origem, merecendo portanto, um estudo de detalhe local quando de sua ocupação.

#### 4.4 - PROFUNDIDADE DO NÍVEL ESTÁTICO

Na região estudada foi feito um levantamento de nível freático, demonstrando este estar, na maioria dos casos em profundidades menores que 5 metros, ou seja em apenas 20% da área este se encontrou abaixo desta profundidade. Baseando-se nestes dados foi feito um mapa de isoprofundidade das águas, de maneira a caracterizar a forma dos diferentes aquíferos, notando-se que o comportamento do nível era semelhante em toda a região, a não ser nas zonas aquíferas da Formação Estrada Nova, devido a sua baixa permeabilidade ( $10^{-6}$  a  $10^{-8}$  m/s).

Normalmente, os altos topográficos correspondem a maiores profundidades de nível freático e são zonas de recarga naturais pluviais, as quais deverão ter sua ocupação de maneira a mais controlada possível no intuito da preservação do aquífero contra a poluição.

#### 4.5 - VULNERABILIDADE (mapa 5, em anexo)

A prevenção à poluição das águas subterrâneas implica em elaborar e difundir documentos que sensibilizem a opinião pública e dos serviços responsáveis. Estes documentos elaborados deverão conter informações que descrevam a existência ou não de fatores naturais que protejam as águas subterrâneas contra riscos de poluição acidental ou devido a negligências, quer sejam de origem atmosférica ou superficial, puntual ou em grandes áreas. Isto é necessário pelo fato de que a descontaminação de aquíferos poluídos é um empreendimento longo e custoso.



A noção de vulnerabilidade dos aquíferos à poluição integra diferentes fatores físicos e estáveis, determinando a situação em que se encontra o aquífero em suas condições naturais, mais ou menos exposto à poluição a partir da superfície do solo.

Estes fatores, de ordem hidrogeológica por excelência, são apreciados "a priori" de uma maneira geral, baseados em conhecimentos geológicos e hidrogeológicos. Assim, a vulnerabilidade à poluição pode ser objeto de uma cartografia de classificação que constitua ao mesmo tempo um método de expressão e difusão de informações, de uma maneira tal que seja compreendida pelas diversas categorias de utilizadores da sociedade ou pelos responsáveis pela prevenção, mas não apenas pelos especialistas em hidrogeologia.

O mapa de vulnerabilidade aqui apresentado (mapa-5 anexo), tem a finalidade de mostrar, segundo os terrenos encontrados em superfície (mais precisamente naqueles onde estão contidos o primeiro aquífero, geralmente livre), as possibilidades de penetração e de propagação dos poluentes nestes terrenos, onde estão ou estarão locados poços rasos e cacimbas captando água para alimentação. A partir deste mapa, é possível definir zonas sensíveis nas quais uma poluição pode afetar gravemente um aquífero.

Os princípios básicos que norteiam a classificação dos terrenos são a introdução, a propagação e a persistência de poluentes. A introdução ou tempo de trânsito, se dá segundo um trajeto quase sempre vertical de poluentes despejados na superfície de solo, através do solo e rochas não saturados em água. A propagação ou escoamento da água poluída, com o movimento natural da água do aquífero, pode ser mais lenta ou mais rápida, segundo as características da rocha aquífera e do gradiente hidráulico, estendendo-se a distâncias mais ou menos longas conforme as condições de drenagem. O terceiro fator é a persistência que, após a interrupção da causa inicial, está relacionada diretamente à renovação natural da água do re

servatório aquífero.

No mapa estão assinaladas por setas as direções preferenciais de fluxo subterrâneo, dando uma idéia das providências a serem tomadas, caso ocorresse alguma poluição no aquífero, podendo-se prever futuras áreas onde certamente ocorrerá o fenômeno.

Tendo em vista sempre a escala do trabalho, definiu-se nesta região quatro tipos de solos, com suas diferentes propriedades de vulnerabilidade frente à poluição de seus aquíferos.

#### 4.5.1 - ALUVIÕES

São separados devido a sua importância e condições particulares, pois seus aquíferos são pouco profundos, estando em comunicação quase direta com os cursos d'água superficiais, principais receptores e condutores de produtos poluentes. No mais e geralmente os aluviões drenam em parte as águas dos aquíferos adjacentes. Pode ocorrer uma inversão do fluxo subterrâneo, na medida em que haja uma super exploração das águas subterrâneas ribeirinhas, caso o nível do rio se torne mais alto que o nível do freático, fazendo com que toda a poluição superficial se propague no aquífero aluvial. O mesmo fenômeno também pode ocorrer por transbordamento dos cursos d'água superficiais, já que os aluviões normalmente se encontram em zonas de baixa altitude, nas várzeas ou planícies de inundação.

A permeabilidade destes aquíferos é um fator condicionante de sua vulnerabilidade, já que seu nível freático está pouco profundo. Ela pode variar de  $10^{-2}$  a  $10^{-5}$  m/s, dependendo de suas características litofaciológicas. Porém, uma poluição instalada neste contexto dificilmente teria condições naturais de ser deslocada devido ao baixo gradiente hidráulico.

#### 4.5.2 - TERRENOS COM DIFERENTES VELOCIDADES DE PROPAGAÇÃO À POLUIÇÃO

São constituídos de terrenos aquíferos fissurados, onde a densidade das fraturas ou dimensões das fissuras são os fatores mais importantes no fluxo subterrâneo. Neste sistema, os aquíferos da Formação Serra Geral, tem circulação bastante rápida (da ordem de até dezenas de metros por dia), coexistindo com escoamento lento nos contatos intertrapeanos ou no manto de intemperismo, devido a diferentes classes granulométricas presentes.

No caso de uma rápida circulação das águas, a filtração é bastante reduzida e a repercussão dum poluição de superfície sobre um aquífero são sempre rápidas (ou imediatas), assim como também rápida seria a sua despoluição caso o efeito fosse controlado.

A espessura do terreno entre a superfície do solo e o nível freático pode em certos casos diminuir o perigo da poluição ou mesmo retardá-la, já que o solo decomposto apresenta uma permeabilidade mais homogênea, menor que a das zonas fraturadas ou fissuradas, dificultando a chegada dos poluentes ao aquífero.

#### 4.5.3 - TERRENOS COM VELOCIDADES CONSTANTES DE PROPAGAÇÃO DA POLUIÇÃO.

Estes estão representados na área pelos solos das formações Pirambóia, Botucatu e Bauru, homogêneos em sua constituição superficial. Em se tratando de aquíferos presentes em 80% da área de estudo, sendo de ótima qualidade, cuidados especiais de proteção devem ser tomados para sua preservação.

Onde os níveis estão a pouca profundidade, as zonas normalmente são de maior gradiente e um foco poluidor aí localizado poderá naturalmente ser eliminado por escoamento do

aquífero. Já no caso onde o nível freático encontra-se mais profundo (12 metros), normalmente zonas topograficamente altas, onde se dá a recarga pluvial, um foco de poluição aí localizado dará, com certeza, muito trabalho na sua eliminação, devido ao seu alastramento no aquífero, podendo atingir grandes áreas, até atingir as vertentes. Nestes contextos a permeabilidade pode variar de  $10^{-2}$  a  $10^{-5}$  m/s, mas são relativamente homogêneas na escala local.

#### 4.5.4 - TERRENOS NOS QUAIS AS VELOCIDADES DE PROPAGAÇÃO DA POLUIÇÃO SÃO LENTAS

Estes terrenos estão presentes em 10% da área, sendo constituídos por solos advindos da Formação Estrada Nova. Devido a grande heterogeneidade de granulação, a permeabilidade é muito baixa ( $10^{-6}$  a  $10^{-8}$  m/s), fazendo com que não tenhamos uma recarga efetiva muito grande, daí termos em suas águas os maiores índices de mineralização total (pouca renovação).

Nestes domínios os riscos de propagação da poluição são função dos terrenos onde estão localizadas as fontes poluidoras e sua propagação é dificultada à medida que se aproxima da rocha sã.

Se uma poluição chegar a atingir zonas aquíferas, esta será muito difícil de ser retirada, devida a baixa permeabilidade do contexto geológico. As condições de propagação da poluição nestas zonas aquíferas é quase nula, permanecendo localizadas próximas às zonas de ocorrência.

#### 4.5.5 - CLASSIFICAÇÃO DA VULNERABILIDADE

Baseando-se nos parâmetros anteriores podemos dividir a área de estudo em quatro categorias de vulnerabilidade, representadas no mapa 5 anexo.

A primeira representa as planícies aluviais que , além de serem os exutórios dos aquíferos superiores, são zo nas sujeitas a inundações. Sua vulnerabilidade é muito alta pelos seus componentes granulométricos e pequena profundida de do seu nível freático.

A segunda, classificada como alta, representa os solos arenosos das formações Bauru, Botucatu e Pirambóia. Na sua parte exposta possuem uma permeabilidade da ordem de  $10^{-1}$  a  $10^{-3}$  m/s, tornando-os muito vulneráveis a qualquer ti po de poluição. Neste contexto cuidado especial deve ser to mado com as zonas de recarga pluvial (mais escuras no mapa ), já que são as únicas fontes de abastecimento destes aquífe ros, podendo também ser uma fonte de disseminação de poluição.

Na vulnerabilidade classificada como média incluem se os solos originários da Formação Serra Geral. Esta pode ria ser classificada como baixa se o solo tivesse alta percen tagem de finos e se o nível freático estivesse a profundida des apreciáveis, como também poderia ser classificada de mui to alta se estivessemos em zonas próximas a fraturas ou ní vel freático pouco profundo. Portanto neste contexto geoló gico faz-se necessário um estudo local de detalhe para ter mos idéia de sua real vulnerabilidade.

Vulnerabilidade baixa é encontrada em solos da For mação Estrada Nova, devido a sua granulometria tender para os finos com baixa taxa de selecionamento. Os níveis freáti cos destes solos são bem profundos, denotando a baixa permea bilidade deste contexto geológico, estando na ordem de  $10^{-5}$  a  $10^{-7}$  m/s. Portanto uma fonte de poluição aí localizada di ficilmente teria oportunidade de se alastrar, permanecendo então em seu lugar de origem ou a poucos metros dela.

#### 4.6 - POTENCIAL DE USO (mapa em anexo)

Fazendo-se uma síntese da cartografia elaborada ,

foi possível a apresentação em um único mapa final, chamado mapa de recomendações da geologia com vistas à ocupação racional do meio físico.

A elaboração deste mapa foi feito por processo de eliminação de áreas impróprias, começando pela declividade, passando para o de caracterização dos materiais da cobertura, permeabilidade, nível freático e por fim, o mapa de vulnerabilidade dos terrenos à poluição.

De fácil entendimento, o mapa de declividade elimina parte da área com vistas à ocupação, dado o alto custo e dificuldades da implantação de complexos urbanos em áreas com 15% para mais de inclinação. Estas zonas estão situadas nas escarpas da Formação Serra Geral, nas serras de São Pedro e Itaqueri, que em alguns locais, apresentam mais de 200 metros de desnível.

A este foi superposto o mapa de características dos materiais da cobertura, podendo assim serem eliminadas algumas áreas nas quais a cobertura não serviria ou não suportaria um complexo urbano, a não ser com desprendimento de altos custos, tendo em vista as aptidões destes solos expostos no quadro 2, de acordo com VARGAS (1978), HOFMANN (1976) e ROBERTS (1977).

Procurou-se, baseando-se nas características dos materiais de cobertura montar-se um quadro ( SEIGNEMARTIN, 1979) de potencial de uso destes terrenos, e os resultados, expressos no quadro 2, nos indicaram um resultado positivo para os solos das formações Pirambóia, Botucatu e Bauru; um resultado zero para os solos da Formação Serra Geral e, bastante negativos para os solos da Formação Estrada Nova e aluviões.

Em termos de geotecnia este zoneamento bastaria a uma classificação de ocupação, mas levando-se em conta a vulnerabilidade dos aquíferos, esta classificação fica prejudicada.

QUADRO 2 - POTENCIAL DE USO

COBERTURAS	RESIDUAIS		TRANSPORTADAS	
	Formações Pi rambóia, Botu catu e Bauru	Formação Ser ra Geral	Formação Estrada Nova	ALUVIÕES
PARÂMETROS				
Grupos de Mate riais de Cober tura	S.W.	S.M., S.C. S.W.e L.M.	S.C., L.M.eL.C.	G.C.,S.M.,S.C., L.M. e L.C.
Aptidão à Funda ções	A	M	I	I
Aptidão à Esca vações	I	M	M	M
Resistência ao Casalhamento (Compactado e Saturado)	A	A	M	I
Aptidão a Insta lação de Siste mas de Saneamen to	I	M	M	I
Drenabilidade	A	M	I	M
Utilizabilidade c/Material de Construção	A	M	I	M
Traficabilidade	M	M	I	I
Compressibilidade (Compacto e Satu rado)	I	I	I	M
Expansibilidade	A	A	M	I
Permeabilidade (Compactado)	A	M	I	M
Estabilidade Natu ral dos Terrenos	A	M	M	M
Resistência a Ero são	M	I	I	I
Coeficiente de Po tencial de Uso	+4	0	-7	-6

A= Aptº. (+1), M= Médio (0) e I= Inadequado (-1)

Os aluviões com certeza não se prestam à ocupação devido às suas características geotécnicas, baixa profundidade de nível freático, localizados em zonas sujeitas a inundação e altamente vulneráveis à poluição.

Os solos da Formação Estrada Nova, tendo como potencial de uso praticamente o mesmo dos aluviões, já têm uma grande utilidade no complexo urbano devido a sua baixa permeabilidade (quase nula). Neste contexto geológico poderíamos aconselhar a instalação de fossas sépticas, lagoas de depuração de esgotos (atualmente estas lagoas são perfeitas zonas de recarga, poluindo os aquíferos freáticos), zonas de depósito de lixo, zonas de tratamento de efluentes industriais, cemitérios, etc.. Todos estes projetos, quando feitos em outras áreas teriam certamente um alto custo e talvez um efeito nefasto na ecologia do sistema.

Os solos da Formação Serra Geral, tendo como potencial de uso zero, ou seja, pouco recomendável, de fato enquadra-se perfeitamente na classificação. Estes solos são bastante heterogêneos, ora aparecendo com granulação mais grossa, ora mais fina, carecendo de um estudo de detalhe para sua caracterização. Quanto a sua vulnerabilidade, ela está classificada como média, pois como já exposto, pode ser muito alta em determinadas zonas e bastante baixa em outras.

Os solos das formações Pirambóia, Botucatu e Bauru, classificados como de alto potencial de uso devido às suas características geotécnicas, são de alta vulnerabilidade. Este caráter invalida em grande parte o uso destes solos como áreas de potencial de uso elevado, pois estas são zonas que, além de serem susceptíveis a uma poluição intensiva, devem ser preservadas como zonas de recarga dos aquíferos freáticos.



## V. CONCLUSÕES

" O homem tem o direito fundamental à liberdade, à igualdade e de desfrutar de condições adequadas de vida , em um meio de qualidade tal que lhe permita levar uma vida digna e gozar do bem estar, assim como, tem a solene obrigação de proteger o meio ambiente para as gerações atuais e futuras" ( ONU, ESTOCOLMO 1972).

Nossa preocupação neste trabalho de síntese foi inserir um conceito de uso e preservação das águas subterrâneas, de maneira que um planejador possa, além de optar por locais de ocupação, ter idéia de como preservar os aquíferos em termos de qualidade e quantidade. Este bem natural serve a mais de 50% da população em centros urbanos mais desenvolvidos, como o caso da Grande São Paulo.

A finalidade deste estudo então, não é impedir a construção de centros urbanos em determinados locais, mas dar subsídios à alternativa de escolha, tendo como meta o menor custo de implantação e, primordialmente, preservação dos bens naturais exploráveis, no caso as águas subterrâneas.

Este trabalho mostra que a área estudada está sujeita a grandes riscos de degradação geoambiental, no que diz respeito à qualidade e quantidade das águas subterrâneas, caso aí se instale um complexo urbano sem um necessário planejamento de ocupação. Isto é devido a alta vulnerabilidade à poluição dos solos oriundos das formações Pirambóia, Botucatu, Serra Geral e Bauru, assim como do diabásio, presentes em quase 90% desta área e, também, por serem zonas de recarga de seus aquíferos, devendo assim serem preservadas. Somente em cerca de 10% desta área, nos solos oriundos da Formação Estrada Nova, os cuidados especiais de ocupação urbana poderiam ser desprezados, pois estes além de apresentarem uma baixa vulnerabilidade à poluição, possuem uma pequena quantidade de água em suas zonas aquíferas e sua qualidade natural deixa a desejar.

B I B L I O G R A F I A

- ALMEIDA, F.F.M. (1964) - Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista - Inst.Geogr.Geol., Bol. 41; 167-263, São Paulo.
- ALMEIDA, F.F.M. (1967) - Origem e Evolução da Plataforma Brasileira. DGM DNPM. Bol. 241. 29pp. 1 mapa. Rio de Janeiro.
- BARRETO, M.M.R. (1970) - Geomorfologia da Área de São Pedro Not.Geomorf. 10 (19), 47-61, São Paulo.
- BORTULUZZI, C.A. e BARBERENA, D.C. (1967) - The Santa Maria beds In: Int.Symposium of the Gondwana Strat. and Paleont. - 1, 169-196, Curitiba.
- BORTULUZZI, C.A. (1974) - Contribuição à Geologia de Santa Maria, Rio Grande do Sul - UFRGS. Inst.Geoc., Pesquisas, 4, 1-86, Porto Alegre.
- BÓRIO, N.J. (1973) - Geologia da Área de São Pedro - Tese de Doutorado - FFLC de Rio Claro, São Paulo.
- BRASIL, DAEE (1972) - Estudo de Águas Subterrâneas - Avaliação Preliminar. São Paulo.
- BRASIL, DAEE (1974) - Estudo de Águas Subterrâneas - 4 vol. Atlas. São Paulo.
- BOUDEVILLE, J.R. (1968) - L'Espace et les Poles de Croissance - P.R.F. - Paris, France.
- BOUDEVILLE, J.R. (1970) - Les Espaces Economiques - P.R.F. - Paris, France.

- CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA DA USP (1976) - Boletim Fluviométrico nº 5, SOMA/DAEE. São Paulo.
- CHAPIN, F.S. (1957) - Urban Land Use Planning - Harper Brothers Pub., 397p. - New York. USA.
- COHEN, P.; FRANKE, O.L.; FOXWORTHY, B.L. (1968) - An atlas of Long Island's water resources. New York Water Resources Commission Bull, nº 62, 57p.
- CONSTANZO, J.J.; VIRGILLI, J.C. e MACIEL, C.L.F. (1978) - Contribuição à Cartografia Geotécnica da Região de Santa Maria, R.S. - An. 2º Congr. Bras. Geol. Eng., vol. 3; p.267-280. São Paulo.
- COULON, F.K. (1974) - Mapa Geotécnico das Folhas de Morretes e Montenegros - FAPERGS, Tecnosolo S.A., 58p.
- COULON, F.K. (1976) - A Geologia e o Planejamento Urbano: Questões para Debate e/ou Reflexão - An. 1º Congr. Bras. Geol. Eng. vol. 3, p.370-373, Rio de Janeiro.
- DE BIASI, M. (1970) - Cartas de declividade: confecção e utilização - Geomorfol., v.10, pp. 8-13. São Paulo.
- DEARMAN, W.R. e MATULA, M. - Environmental Aspects of Engineering Geological Mapping - Bull Int. Ass. Eng. Geol, 14 p. 141-146. Germany.
- FARJALLAT, J.E.S. (1974) - Comportamento da Permeabilidade ao Ar de Alguns Basaltos do Sul do Brasil - XXVIII Congr. Bras. Geol. Bol. 1, Resumo das Comunicações, p. 69-70. Porto Alegre.

- FITZSIMMONS, S.J., SALAMANA, V. (1973) - The relationship between social psychological systems and water resources development: a summary. The social well-being and quality of life dimension in water resources planning and development. Proceedings conference of University Council Water Resources. Logan, Utah State University, p.117-158.
- FLAWN, P. - Environmental Geology - Pub. Harper Row, 313p. New York U.S.A.
- FRANGIPANI, A. (1964) - Mapa da Superfície Superior do Basal to Subjacente nos Arenitos Cretáceos no Estado de São Paulo - IGG, 15 : 67-72, São Paulo,
- FRANKE, O.L.; MCCLYMONDS, N.E. (1972) - Summary of the hydrological situation in Long Island, New York, as a guide to water management alternatives. (U.S. Geol. Surv. prof. paper 627-F). Washington D.C., U.S. Govt. Printer.
- FULFARO, V.J., LANDIM, P.M.B. e ELLERT, N. (1967) - A Tectônica de Santana e São Pedro (Serra Geral) - An . XXI Congr. Bras. Geol. 198-205.
- FULFARO, V.J. (1971) - A Evolução Tectônica e Paleogeográfica da Bacia Sedimentar do Paraná pelo Trend Surface Analysis - Esc. Eng. São Carlos, Geol . 14, 112 pp. mimeografado, ilustrado. (Tese de Livre-Docência). São Paulo.
- FULFARO, V.J. (1974) - Tectônica da Faixa Estrutural do Parapanema - XXVIII Congr. Bras. Geol. Bol. 1 : Resumo de Comunicações, 537-540. Porto Alegre.

- GAMERMANN, N. (1972) - Formação Rosário do Sul - UFRGS. Inst-Geoc., Pesquisas 2, 5-36. Porto Alegre.
- GREHS, S.A. (1970a) - O Papel do Geólogo no Planejamento-Sep. I.P.R., nº 446, p. 1-15. Rio de Janeiro.
- GREHS, S.A. (1970b) - O Uso de Mapas Geológicos, Mapas de Vegetação e Mapas de Drenagem de Irrigação. I. Sude-sul, Projeto Sudoeste. An. 2a.Sem.Paul. Geol. Aplic. vol. 1, p. 1-7. São Paulo.
- HAUSMANN, A. (1966) - Comportamento do Freático nas Áreas Basálticas do Rio Grande do Sul - Bol. Paranaense de Geografia, nºs. 18-20. Curitiba.
- HEBERLEIN, T.A. (1973)- Methodological strategies for evalua - ting the effect of water resources on social well-being and quality of life. The social well being and quality of life dimension in water resources planning and development. Proceedings Conference of University Council on Water Resources. Logan, Utah State University, p. 89 - 100.
- HOFMANN, G.W. (1976) - Mapping for Urban Land, Use Planning in Southeast Queensland, a First Approach. Bull Int.Ass. Eng.Geol., vol. 14: p. 113-117. Germany.
- HULMANN, H., SCHNEIDER, R.L., TOMMASI, E., MEDEIROS, R.A. e DAEMON, R.F. (1974) - Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná - XXVIII Cong.Bras.Geol., nº 1, Resumo das Comunicações. 812-815. Porto Alegre.

- LANGE, F.W. e PETRI, S. (1967) - The Devonian of Paraná Basin Problems in Brazilian Devonian Geology - Bol. Paranaense de Geol., n<sup>o</sup>s 21-22, 5-61- Curitiba.
- LEGEET, R.F. (1973) - Cities and Geology - Pub. Mc-Graw Hill Book Co, 624p. New York. U.S.A.
- LEGEET, R.F. (1974) - Engineering Geological Maps for Urban Development - In: Geologic Mapping for Environmental Purposes. Geol.Soc.Am. Eng.Geol. Case Histories, v. 10: p, 19-21. U.S.A.
- LEINZ, V. (1949) - Contribuição à Geologia dos Derrames Basálticos do Sul do Brasil - USP, FFCL Bol. 105, Geologia 5. São Paulo.
- LEINZ, V. (1953) - Águas Subterrâneas com Referência a São Paulo - Ciência e Cultura, vol. 3: 119-120. São Paulo.
- LEINZ, V., BARTORELLI, A., SADOWSKI, G.R. e ISOTA, S.A.L. -(1966) Sobre o Comportamento Espacial do Trapp Basáltico da Bacia do Paraná - Bol. Soc.Bras.Geol. 15 (4): 79-91. São Paulo.
- LIBAUD, A. (1975) - Geocartografia - Ed. Nacional Ed.USP, 388p. São Paulo.
- MAACK, R. (1970) - Notas Preliminares sobre as Águas do Subsolo da Bacia do Paraná-Uruguai - Trad. Ursula Maack. 162 p.Trab.Geof. Bibliogr.Curitiba.
- MACIEL, C.L.F. (1978) - Mapeamento Geotécnico e Planejamento da Ocupação Urbana de Santa Maria, R.S. - An.2<sup>o</sup> Cong. Bras.Geol.Eng.; v. 3, p.257-265. São Paulo.

- MATHEWSON, C.C. e FONT, R.G. (1974) - Geologic Environment: Forgotten Aspects in the Land Use Planning Process In: Geologic Mapping for Environmental Purposes, Geol Case Histories, 10; p.28.U.S.A.
- MCPHERSON, M.B., ZUIDEMA, F.C. (1977) - Urban hydrological modelling and catchment research: International Summary. New York, Urban Water Resources Research Program, Am. Soc. Civ. Engrs. ( Technical Memorandum, NO. IHP-13).
- NORTHFLEET, A.A., MEDEIROS, R.A. e HULMANN, H. (1969) - Reavaliação dos Dados Geológicos da Bacia do Paraná. Bol. Tec. Petrobrás, vol. 12, nº 3, julho setembro, 291-343. Brasil.
- PIPER, A.M. (1944) - A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses - Am. Geophys Union Trans., v. 25, p: 914-23.
- PRANDINI, F.L. (1974) - Condicionantes Geológicos e Geotécnicos da Degradação Ambiental, Alguns Casos Brasileiros - Bol. Ass. Bras. Geol. Eng., v. 1, p.1-11. São Paulo.
- RAMOS, A.C. (1970) - Aspectos Paleo-Estruturais da Bacia do Paraná e sua Influência na Sedimentação - Bol. Tec. Petrobrás, v. 13, nºs 3-4. 85-93, Rio de Janeiro.
- REBOUÇAS, A.C. (1976) - Recursos Hídricos Subterrâneos da Bacia do Paraná, Análise de Pré-Viabilidade - Tese de Livre-Docência. Depto. Geol. Econ. e Geof. Aplic. IG-USP. São Paulo.

- ROBERTS, A. (1977) - Geotechnology - Pergamon Press, 347 p.  
New York. U.S.A.
- RUEGG, N.R. (1975) - Modelos de Variação Química na Província  
Basáltica do Brasil Meridional - Tese de Livre-  
Docência. Depto. de Min. e Petrol., IG-USP. São Pau  
lo.
- SCHNEIDER, W.J., RICKERT, D.A., SPIEKER, A.M. (1973) - Role of  
water in urban planning and management. United  
States Department of the Interior, Washington-  
Geological Survey Circular 601-H.
- SEIGNEMARTIN, C.L. (1979) - Geologia de Áreas Urbanas: O Exem  
plo de Ribeirão Preto, SP. - Tese de Doutoramen  
to apresentada ao Instituto de Geociências da  
Universidade de São Paulo, 2 v., 126 p. e 10 ma  
pas.
- SCHOELLER, H. (1962) - Les eaux souterraines hydrologie, dy  
namique et chimique, recherche exploitation et  
evaluation des ressources. 642 p. il, Masson, Pa  
ris.
- SOARES, P.C. (1972) - Arenitos Botucatu e Pirambóia no Estado  
de São Paulo - XXVI Cong. Bras. Geol. Bol. 1, 250-  
251. São Paulo.
- SOARES, P.C. (1975) - Divisão Estratigráfica do Mesozóico no  
Estado de São Paulo. Rev. Bras. Geol., vol. 5, n°  
4. São Paulo.
- STANFORD, R.M. e LANGE, F.W. (1960) - Basin study approach to  
oil evaluation of Paraná Miogeosyncline, South  
Brazil - Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 44 (8).  
1316-1370. Rio de Janeiro.



TANK, R. (1973) - Focus on Environmental Geology. Publ. Oxford University Press. Inc. 474 p. USA.

UNESCO (1974) - Hydrological effects of urbanization (Studies and Reports in Hydrology 18). Paris, UNESCO.

VARGAS, M. (1978) - Introdução à Mecânica dos Solos - Ed. McGraw Hill do Brasil. Ed. USP. 509 p. São Paulo.

A N E X O

Descrição dos locais de amostragem

- AMOSTRA 1 - Fazenda dos Três Saltos. Fonte em provável con  
tato arenito - diabásio.
- AMOSTRA 2 - Fazenda Santa Eliza. Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 3 - Cidade de Brotas - Poço cacimba encravado no  
diabásio, com nível freático a 5,40m, de profundi  
dade.
- AMOSTRA 4 - Fazenda Pinheirinho. Poço cacimba escavado em  
arenito com nível freático a 3,20m, de profundidad  
e.
- AMOSTRA 5 - Fazenda Santa Cruz da Serra. Fonte no basalto ,  
com possível mistura de águas superficiais.
- AMOSTRA 6 - Fazenda Santa Angélica. Fonte em arenito supe  
rior ao basalto.
- AMOSTRA 7 - Retiro da Fazenda Três Barras. Ressurgência em  
arenito.
- AMOSTRA 8 - Fazenda Três Barras - Ponte Alta. Fonte no pro  
vável contato arenito superior e basalto.
- AMOSTRA 9 - Sítio Boa Vista. Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 10 - Sítio Tabuleiro. Poço cacimba com nível freáti  
co a 10,40 m, de profundidade, encravado no areni  
to.
- AMOSTRA 11 - Estrada Santa Maria da Serra-Torrinha. Fonte no  
basalto ou arenito intertrapp.

- AMOSTRA 12 - Fazenda da Serreta. Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 13 - Santa Maria da Serra. Poço cacimba com nível freático a 1,0 m, de profundidade, encravado no arenito.
- AMOSTRA 14 - Fazenda Barreiro Rico. Ressurgência no arenito.
- AMOSTRA 15 - Fazenda Barreiro Rico-Cristo Redentor. Poço cacimba com nível freático a 5,50 m, de profundidade, encravado no arenito.
- AMOSTRA 16 - Fazenda Santo Antonio. Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 17 - Fazenda São Francisco. Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 19 - Pau D'Alho. Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 20 - Artemis (próximo ao Rio Piracicaba). Poço cacimba com nível freático a 13,5m, de profundidade, encravado em terrenos sílticos-argilosos.
- AMOSTRA 21 - Fazenda Boa Esperança. Poço cacimba com nível freático a 10,70m, de profundidade, encravado em arenito.
- AMOSTRA 22 - Porto de areia. Poço cacimba com nível freático a 3,50m, de profundidade, encravado em terrenos sílticos-argilosos.
- AMOSTRA 23 - Chácara Camargo. Poço cacimba com nível freático a 13,00m, de profundidade, encravado em arenito.
- AMOSTRA 24 - Fazenda Samambaia. Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 25 - Sítio Bom Retiro. Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 26 - Fazenda Prainha. Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 27 - Fazenda São João. Fonte nas escarpas basálticas.

- AMOSTRA 28 - Fazenda Treze de Maio. Fonte nas escarpas basálticas.
- AMOSTRA 29 - Fazenda do Rosário. Fonte no talvegue de um riacho, em terreno arenoso.
- AMOSTRA 30 - Fazenda Santa Maria. Fonte nas escarpas basálticas.
- AMOSTRA 34 - Fazenda Altão. Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 35 - Fazenda Sertãozinho - Ressurgência em arenito, próxima a escarpa basáltica.
- AMOSTRA 36 - Araguá Mirim. Fonte em provável contato arenito e silte.
- AMOSTRA 37 - Fazenda São José. Ressurgência em arenito, próxima a escarpa basáltica.
- AMOSTRA 38 - Charqueada. Poço cacimba com nível freático a 11,00m, de profundidade, encravado em arenito.
- AMOSTRA 39 - Fazenda São Benedito. Ressurgência em arenito, próxima a escarpa basáltica.
- AMOSTRA 40 - Fonte Ubã (hidromineral). Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 41 - Sítio Floresta. Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 42 - Fazenda Jangada. Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 43 - Fazenda Canta Galo. Fonte nas escarpas basálticas.
- AMOSTRA 44 - Fazenda São Sebastião. Ressurgência em arenito.

- AMOSTRA 45 - Bairro dos Gomes. Poço cacimba com nível freático a 5,70m, de profundidade, encravado em basalto.
- AMOSTRA 46 - Fazenda Favoreto. Fonte de contato arenito superior e basalto.
- AMOSTRA 47 - Sítio Velho. Fonte de contato arenito superior e basalto.
- AMOSTRA 48 - Fazenda Gafanhoto. Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 49 - Torrinha. Poço cacimba com nível freático a 13,30m, de profundidade, encravado em arenito.
- AMOSTRA 50 - Fazenda Olivete. Poço cacimba com nível freático a 11,30m, de profundidade, encravado em basalto.
- AMOSTRA 51 - Fazenda São Luiz. Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 52 - Fazenda Baú. Ressurgência em arenito, próxima a escarpa basáltica.
- AMOSTRA 53 - Fazenda São José. Ressurgência em arenito, próxima a escarpa basáltica.
- AMOSTRA 54 - Sítio Morro Frio. Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 55 - Fazenda Lagôa. Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 56 - Brotas (estação de tratamento de água). Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 57 - Fazenda Santo Antonio. Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 58 - Fazenda São Francisco. Fonte na escarpa basáltica.

- AMOSTRA 59 - Fazenda Cassarova. Fonte no contato arenito superior e basalto.
- AMOSTRA 60 - Fazenda Cachoeira. Poço cacimba com nível freático a 6,80m, de profundidade.
- AMOSTRA 61 - Fazenda Limoeiro. Poço cacimba com nível freático a 10,60m, de profundidade, encravado em arenito.
- AMOSTRA 62 - Fazenda Glória. Poço cacimba com nível freático a 14,0m, de profundidade, encravado em arenito.
- AMOSTRA 63 - Sítio São Miguel. Poço cacimba com nível freático a 14,00m, de profundidade, encravado em terrenos silticos-argilosos.
- AMOSTRA 64 - Fazenda Grama. Poço cacimba com nível freático a 8,00m, de profundidade, encravado em arenito.
- AMOSTRA 65 - Fazenda Santo Antonio. Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 66 - Sítio Tuncum. Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 67 - Capim Fino. Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 68 - Charqueada. (próximo a estação de tratamento da água). Poço cacimba com nível freático a 6,60m, de profundidade, encravado em arenito.
- AMOSTRA 69 - Fazenda Boa Vista. Fonte nas escarpas basálticas.
- AMOSTRA 70 - Perobal. Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 71 - Fazenda Paciência. Ressurgência em arenito.
- AMOSTRA 72 - Fazenda Castelano. Ressurgência em arenito.

AMOSTRA 73 - Fazenda Passarelo. Ressurgência em arenito.

AMOSTRA 74 - Fazenda Santo Antonio. Ressurgência em arenito.

AMOSTRA 75 - Fazenda Benjamim. Fonte de contato arenito- ba  
salto.

AMOSTRA 76 - Fazenda Pires. Ressurgência em arenito.

AMOSTRA 77 - Fazenda Laranjal. Poço cacimba com nível freá  
tico a 15,00m, de profundidade, encravado em  
arenito.

AMOSTRA 78 - Fazenda Roseira. Fonte nas encostas basálticas.

AMOSTRA 79 - Sítio Pinheirinho. Ressurgência no arenito.

**GEOLOGIA AMBIENTAL  
DA ÁREA DE SÃO PEDRO - SP**  
- VETOR ÁGUA SUBTERRÂNEA -  
Por Uriel Duarte - 1979 -

T  
D812  
U.8  
e 30



**MAPA I - GEOLOGIA**

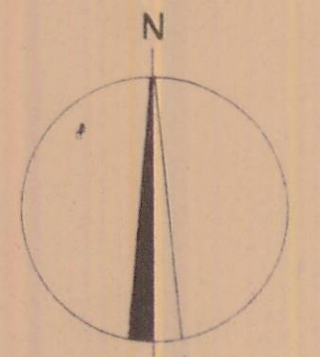
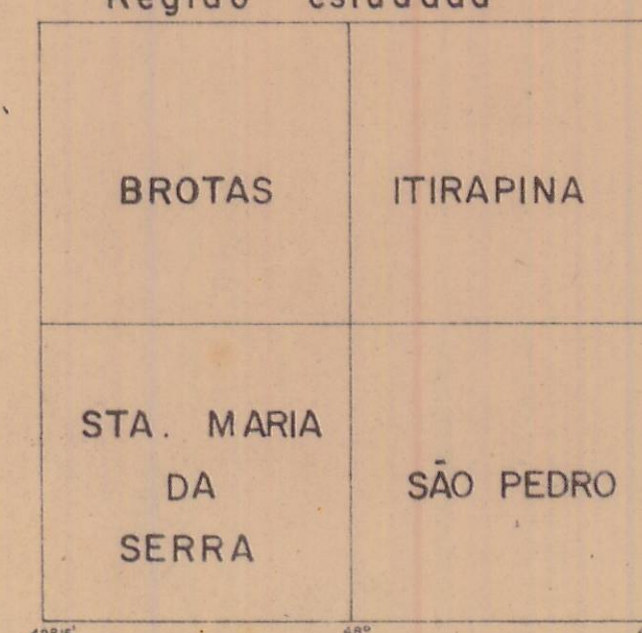
**convenções geológicas**

- contato geológico
- falha
- A** Aluvião
- BR** Formação Bauru
- SG** Formação Serra Geral
- Di** Diabásio
- Bb** Formação Botucatu
- Bp** Formação Pirambóia
- EN** Formação Estrada Nova

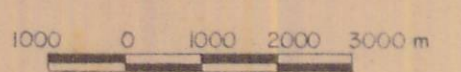
**convenções topográficas**

- cidades
- estrada pavimentada
- estrada não pavimentada
- ferrovia
- drenagem natural
- represas ou lagoas

**Região estudada**



Escala 1:100.000





**GEOLOGIA AMBIENTAL  
DA ÁREA DE SÃO PEDRO - SP**  
- VETOR ÁGUA SUBTERRÂNEA -  
Por Uriel Duarte - 1979



**MAPA 2 - HIDROGEOLOGIA**

**legenda**

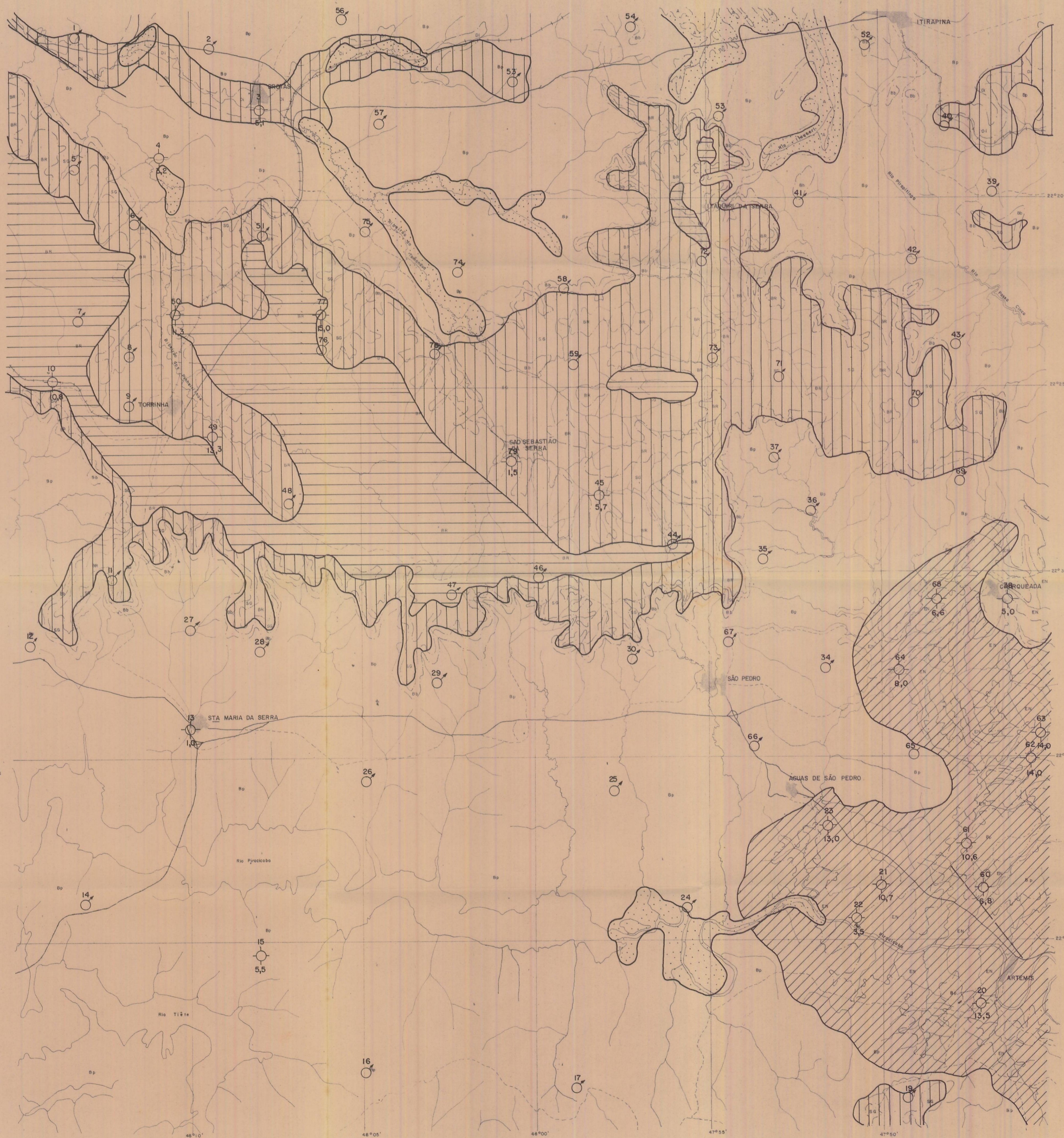
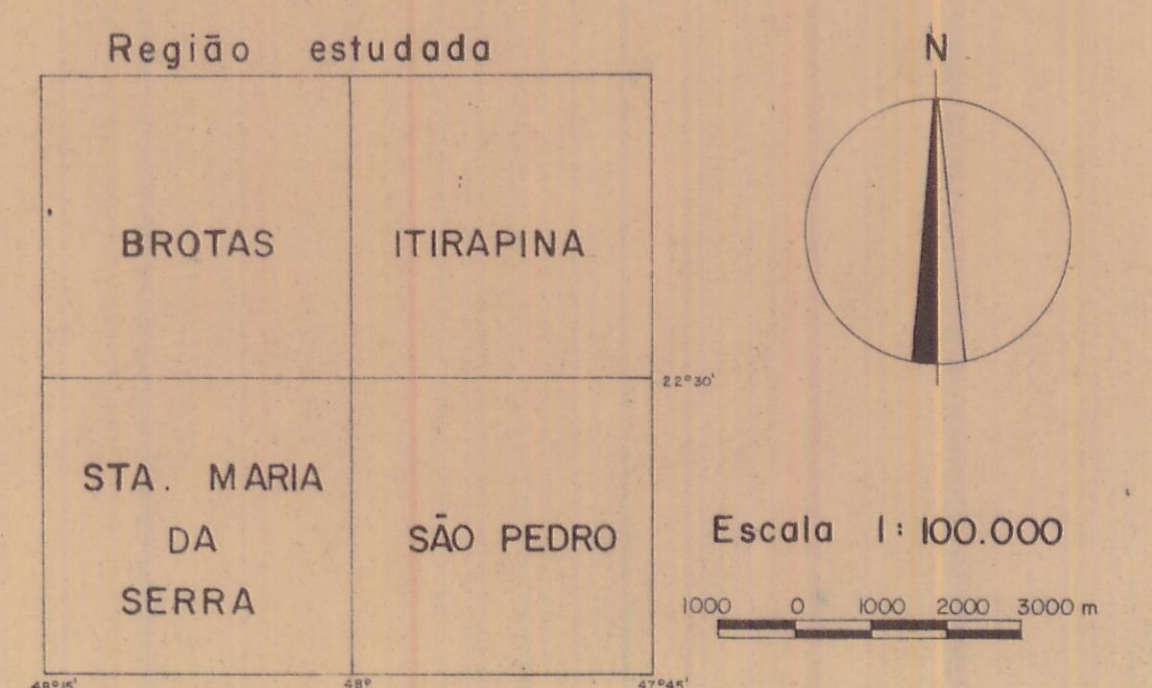
- sistema aquífero Botucatu
- sistema aquífero Bauru
- zonas aquíferas da formação Serra Geral e Diabásio
- zonas aquíferas da formação Estrada Nova
- zonas aquíferas da planície Aluvial
- 1-número da amostra  
poço cacimba 2-profundidade nível freático
- fonte e/ou ressurgência 1-número da amostra

**convenções geológicas**

- contato geológico
- falha
- Aluvião
- Formação Bauru
- Formação Serra Geral
- Diabásio
- Formação Botucatu
- Formação Pirambóia
- Formação Estrada Nova

**convenções topográficas**

- cidades
- estrada pavimentada
- estrada não pavimentada
- ferrovia
- drenagem natural
- represas ou lagoas





MAPA 4 - CARACTERÍSTICAS DOS  
 MATERIAIS DE COBERTURA

T 0812  
 U. 18  
 J. 13



legenda

- solos residuais for. Pirambóia, Botucatu e Bauru (SW)
- solos residuais for. Serra Geral e Diabásio (S.M. e S.C.)
- solos residuais for. Estrada Nova (M.L.)
- solos transportados (S.P., S.M. e S.C.)

SW, S.M., S.C., M.L. e S.P. da classificação unificada de solos (U.S.C. in VARGAS, 1978)

convenções geológicas

- contato geológico
- falha
- A** Aluvião
- BR** Formação Bauru
- SG** Formação Serra Geral
- Di** Diabásio
- Bb** Formação Botucatu
- Bp** Formação Pirambóia
- EN** Formação Estrada Nova

convenções topográficas

- cidades
- estrada pavimentada
- estrada não pavimentada
- ferrovia
- drenagem natural
- represas ou lagoas



Região estudada

BROTAS	ITIRAPINA
STA. MARIA DA SERRA	SÃO PEDRO

Escala 1:100.000

0 1000 2000 3000 m

GEOLOGIA AMBIENTAL  
DA ÁREA DE SÃO PEDRO - SP

- VETOR ÁGUA SUBTERRÂNEA -  
Por Uriel Duarte - 1979

MAPA5 - DECLIVIDADE

T 0812  
U.3  
13



legenda

- < 2% áreas ótimas para a instalação de complexos urbanos
- 2 a 5% áreas muito boas para instalação de complexos urbanos
- 5 a 15% áreas boas a razoáveis para instalação de complexos urbanos, já com algumas restrições
- > 15% áreas desfavoráveis para instalação de complexos urbanos

convenções geológicas

- contato geológico
- falha
- A Aluvião
- BR Formação Bauru
- SG Formação Serra Geral
- DI Diabásio
- Bb Formação Botucatu
- Bp Formação Pirambóia
- EN Formação Estrada Nova

convenções topográficas

- cidades
- estrada pavimentada
- estrada não pavimentada
- ferrovia
- drenagem natural
- represas ou lagoas

Região estudada

BROTAS	ITIRAPINA
STA. MARIA DA SERRA	SÃO PEDRO


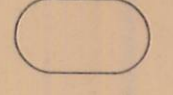

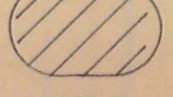
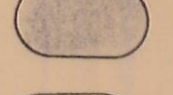
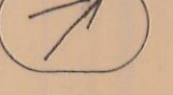
Escala 1:100.000

**GEOLOGIA AMBIENTAL**  
**DA ÁREA DE SÃO PEDRO - SP**  
 - VETOR ÁGUA SUBTERRÂNEA -  
 Por Uriel Duarte - 1979  
**MAPA 6 - VULNERABILIDADE**

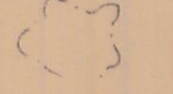
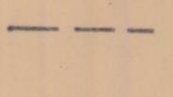
J812  
 U.9  
 213

Instituto de Geociências  
 BIBLIOTECA  
 I 650  
 U.S.P.


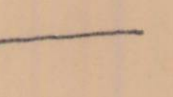

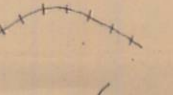
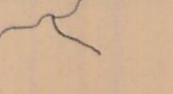
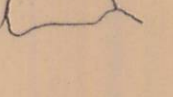
**legenda**

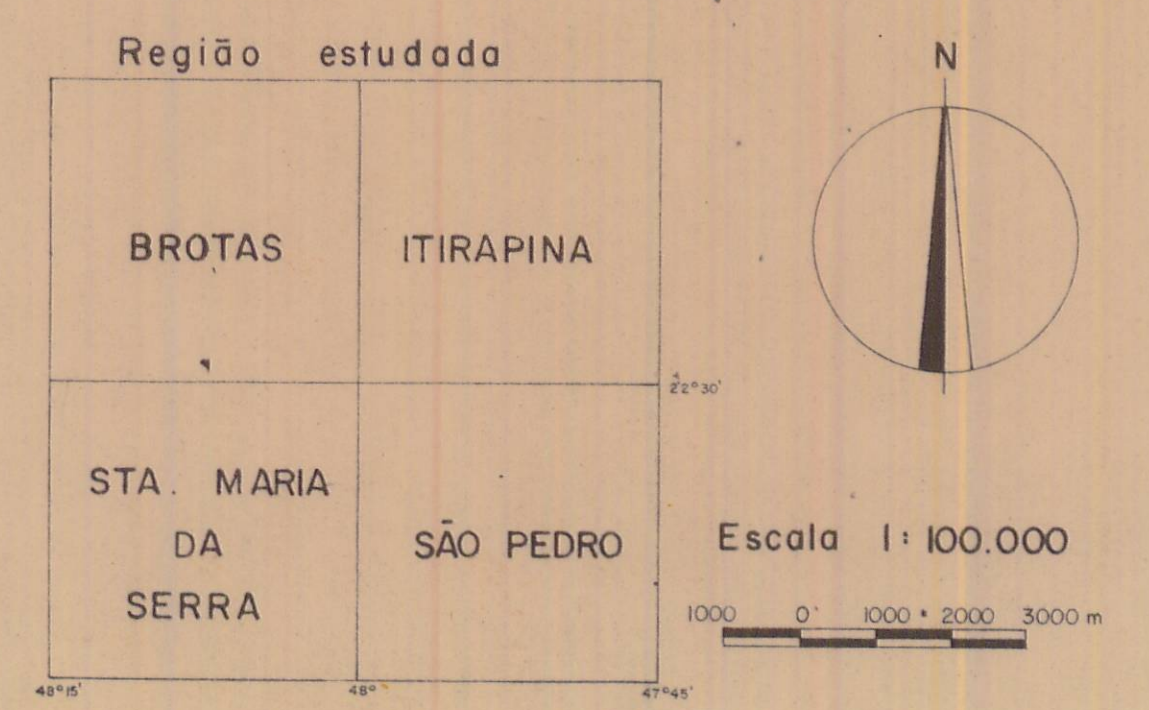
-  muito alta (areia, argila e cascalho)
-  alta (solos arenosos e arenitos)
-  média (solos areno-siltico argilosos)
-  baixa (solos silticos argilosos)
-  área de recarga pluvial
-  sentido do fluxo das águas subterrâneas

**convenções geológicas**

-  contato geológico
-  falha
- A Aluvião
- BR Formação Bauru
- SG Formação Serra Geral
- Di Diabásio
- Bb Formação Botucatu
- Bp Formação Pirambóia
- EN Formação Estrada Nova

**convenções topográficas**

-  cidades
-  estrada pavimentada
-  estrada não pavimentada
-  ferrovia
-  drenagem natural
-  represas ou lagoas



GEOLOGIA AMBIENTAL  
DA ÁREA DE SÃO PEDRO-SP  
- VETOR ÁGUA SUBTERRÂNEA -  
Por Uriel Duarte - 1979



MAPA 7 - POTENCIAL DE USO

legenda

- áreas recomendáveis com restrições geotécnicas
- áreas recomendáveis com restrições de vulnerabilidade a poluição
- áreas pouco recomendáveis devido restrições de zonas de recarga
- áreas impróprias por serem de recarga dos aquíferos
- áreas impróprias devido a elevada declividade ou riscos de inundação

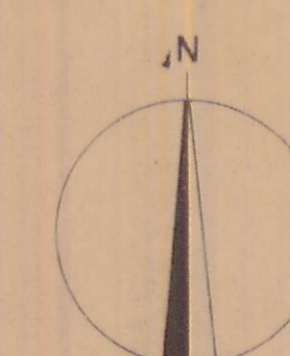
convencões geológicas

- contato geológico
- falha
- A Aluvião
- BR Formação Bauru
- SG Formação Serra Geral
- Di Diabásio
- Bb Formação Botucatu
- Bp Formação Pirambóia
- EN Formação Estrada Nova

convencões topográficas

- cidades
- estrada pavimentada
- estrada não pavimentada
- ferrovia
- drenagem natural
- represas ou lagoas

Região estudada



Escala 1:100.000

