

CONSIDERAÇÕES SOBRE ALGUNS ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS DA FORMAÇÃO BAURU

Eng.º MOACYR DE CARVALHO

ABSTRACT

The purpose of this work is to show some considerations about hydrogeological aspects of the "Bauru Formation" and the possibilities of an hydraulic net of communications between the "Bauru Formation" and the "Botucatu Formation", through the barrier of lava flow which is the cause of its separation.

The mentioned barrier is known as "Serra Geral Formation".

The tubular wells drilled by the Instituto Geológico, has constantly reached and even passed through the basaltic level ground, which is located the "Bauru Formation".

This occurrence has affected the hydraulic reaction of such wells, which is demonstrated in the analysis of 91 wells considered in this work.

The supposition on the inferior recharge of the "Bauru Formation" through the "Botucatu Formation", is based in some facts associated to geological and hydrogeological aspects.

The author thinks that under the hydrogeological point of view, both Formations, should be studied as a set due the possibility of an underground water dynamic comprising "Bauru Formation" and "Botucatu Formation".

RESUMO

A finalidade deste trabalho é tecer algumas considerações sobre alguns aspectos hidrogeológicos da "Formação Bauru" e a possibilidade da existência de uma rede de comunicações hidráulicas entre as Formações "Bauru" e "Botucatu", através da barreira de derrames basálticos que as separa.

Esta barreira é conhecida como "Formação Serra Geral".

Os poços tubulares perfurados pelo Instituto Geológico têm freqüentemente atingido e mesmo penetrado o piso basáltico sobre o qual repousa a "Formação Bauru". Este fato tem influenciado o comportamento hidráulico desses poços, comportamento este que pode ser sentido na análise do conjunto de 91 poços considerados neste trabalho.

A hipótese de recarga inferior da "Formação Bauru" através da "Formação Botucatu" se baseia em alguns fatos ligados a aspectos geológicos e hidrogeológicos conhecidos.

Acredita-se que, do ponto de vista hidrogeológico, ambas as Formações deveriam ser estudadas em conjunto, devido a possível existência de uma dinâmica de águas subterrâneas abrangendo ambas as Formações.

INTRODUÇÃO

Durante muitos anos o Instituto Geológico vem desenvolvendo estudos hidrogeológicos, incluindo a pesquisa e avaliação de recursos hídricos subterrâneos mais re-

centemente. Estes estudos vinculam-se à perfuração de poços tubulares, como uma forma de prestação de serviços à comunidade, tendo perfurado mais de 400 poços para atendimento de necessidades de empresas industriais, agrícolas e para o abas-

tecimento de água de aglomerados urbanos.

Esta atividade marca uma iniciativa pioneira do IG, cujos trabalhos têm se estendido predominantemente sobre a Formação Bauru, hoje geologicamente bem estudada do ponto de vista litológico, estratigráfico e estrutural, graças à abertura de poços que tem permitido um aprofundamento no conhecimento da geologia de subsuperfície.

A ocorrência de numerosos poços na área é consequência do fato de a Formação Bauru se constituir em excelentes reservatórios de água subterrânea, da expansão demográfica e da crescente poluição dos cursos de água de superfície. Este último fator é o condicionante principal do intenso interesse na pesquisa do potencial hídrico subterrâneo, abrindo um campo importante de exploração, onde se engajam entidades estatais e empresas particulares.

Tal é a sua importância que recentemente foi criada a ABAS — Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, tendo em vista a exploração de águas subterrâneas, associação esta que já se preocupa inclusive com o estabelecimento de uma política de controle e exploração de lençóis subterrâneos, voltada à racionalização do seu uso. Ademais a experiência tem demonstrado que em determinadas condições técnicas ou econômicas, a opção em favor da extração de água de origem subterrânea é vantajosa, por não exigir via de regra a instalação de um sistema de tratamento de água.

No caso do IG, a abertura de poços tubulares tem oferecido uma excelente oportunidade para o conhecimento do comportamento hidrogeológico de formações rochosas e principalmente da geologia de subsuperfície, de modo direto, pela análise do material coletado, permitindo consequentemente a ordenação estratigráfica dos sedimentos ocorrentes.

As várias centenas de poços perfurados, somente pelo IG, encontram-se devidamente cadastrados, com a descrição do perfil geológico dos materiais atravessados e registro do comportamento hidráulico do poço perfurado, durante os testes a que são submetidos.

A interação entre água que percola nas rochas e a própria estrutura destas, bem

como o comportamento hidráulico de poços, permite inferir o conhecimento de algumas características de aquíferos e a dinâmica do movimento de água subterrânea, bem como de sua estrutura.

É evidente que o conhecimento detalhado da geologia dos aquíferos é uma condição básica para os estudos de água subterrânea, mas também certas características estruturais são possíveis de serem concluídas, mediante a análise de uma massa suficientemente densa de dados distribuídos numa determinada formação geológica.

JUSTIFICATIVA

Um trabalho em que se pretende, sob um ângulo que nos parece pouco considerado, desenvolver um tema de interesse econômico-social, tem a sua razão de ser. Tal é o caso da água subterrânea, cujo interesse está hoje altamente ligado à atividade humana e econômica em várias regiões do mundo.

Cabe assinalar que atualmente a procura e exploração de água subterrânea através de poços tubulares tem crescido dentro de uma taxa de demanda sempre crescente, tal que se torna necessário um conhecimento cada vez mais preciso dos aquíferos, como base para a fixação de um disciplinamento de sua exploração.

Entretanto esse objetivo somente poderá ser alcançado lentamente, visto que uma pesquisa minuciosa exigiria investimentos proibitivos, uma das razões pelas quais se tem apelado para a técnica dos modelos matemáticos e mesmo físicos, tendo em vista as possibilidades atuais não somente oferecidas pelo desenvolvimento da matemática aplicada, mas também pelos modernos computadores. Uma técnica hoje visualizada é aquela dos elementos finitos, que vem sendo ensaiada no estudo do movimento de fluidos em meios porosos. Esta técnica está agora definitivamente assentada nas aplicações em engenharia estrutural.

Não obstante os modelos citados não podem obviamente prescindir de certas medidas. Quanto às técnicas de medição em hidrologia, elas são pouco precisas, mas oferecem certa margem de segurança dentro da precisão exigível.

OBJETIVO

O objetivo destas notas tem em mira analisar dados extraídos de mais de 400 poços tubulares e correlacionar com dados geológicos na área da Formação Bauru, tentando demonstrar que o comportamento hidráulico dos poços perfurados nesta Formação está influenciado pela Formação Botucatu, através de ligações hidráulicas constituídas por fraturas nas camadas de separação, onde ocorrem extensos derrames basálticos.

Os poços analisados concentram-se entre os rios Tietê e São José dos Dourados, os quais apresentam singularidades de comportamento em regime de bombeamento de teste. Foram tomados para estudo os poços perfurados ao longo do rio São José dos Dourados.

A análise faz supor a existência de área de recarga do Bauru, inferiormente por influxo de água contida na Formação Botucatu devido à diferença de carga hidrostática. Esta hipótese pode estar apoiada em conclusões do CENA — Centro de Energia Atômica na Agricultura, conforme se pode constatar às fls. 90 do Projeto de Água Subterrânea, Volume I, que transcrevemos “os poços profundos demonstraram uma homogeneidade nos valores de ^{18}O e D, porém, alguns deles apresentaram valores fora desses valores médios, indicando que a área de recarga, provavelmente, se encontra fora da bacia do Rio São José dos Dourados”.

METODOLOGIA

A metodologia de investigação consistiu na coleta de dados de poços perfurados somente pelo IG, durante um intervalo de tempo de pelo menos 40 anos. O cadastro de tais poços registram: cota de boca de poço, localidade (não existem coordenadas de locação em qualquer sistema, o que é uma falha a lamentar), profundidade de poço, nível estático e dinâmico, regime de bombeamento e equipamento utilizado, vazão e uma descrição geralmente sucinta do perfil geológico atravessado sem outras indicações de importância para o estudo de hidráulica de poços. Muitos poços atingiram o basalto, o que tem servido de base para o traçado do perfil geológico do Bauru em algumas direções.

A análise dos dados consistiu na verificação da vazão de teste de poços perfurados ao longo do rio São José dos Dourados, margem esquerda, onde se nota uma particular variação de vazão, cuja explicação, dada a relativa uniformidade da Formação Bauru, pode ser encontrada na suposição de que essa variação decorra de um fluxo de água ascendente, procedente da Formação Botucatu, armazenada sob certa pressão. Um poço perfurado na cidade de Lins, atingindo o Botucatu, fornece uma vazão da ordem de 600 m³/h. Também a baixa porcentagem de argila (menos de 10%) presente nessa formação, leva à conclusão de que possui uma alta permeabilidade, podendo ser imaginado como um conduto sob pressão e, nessas condições realimentar a Formação Bauru, através da Formação Serra Geral que separa o Botucatu do Bauru.

Linhas de fraturamento têm sido constatadas ao longo do derrame basáltico subjacente à Formação Bauru, conhecido como Formação Serra Geral, constituída essencialmente de basaltos, geralmente conhecida pelos afloramentos ocorrentes, onde se constata ora a compacidade, ora um certo grau de fraturamento.

DESCRIÇÃO SUCINTA DA FORMAÇÃO BAURU

A Formação Bauru que ocupa uma vasta área na região noroeste do Estado de São Paulo, avaliada em 104.000 km², é formada de arenitos, siltitos, conglomeratos, argilitos e calcários, componentes estes que apresentam variações tanto longitudinais como verticais. Apresenta boa porosidade e permeabilidade e por essa razão tem-se revelado como excelente aquífero, hoje intensamente explorado como fornecedor de água. A formação se assenta sobre a Formação Serra Geral, constituída essencialmente de basalto originado de sucessivos derrames, sob o qual repousa a Formação Botucatu. A Formação Bauru, graças à abertura de inúmeros poços tem a sua geologia de subsuperfície razoavelmente conhecida e constitui o capeamento da coluna geológica do Estado na área mencionada. Hoje é uma região densamente povoada e, exclusivamente por esse fato, o seu reconhecimento detalhado tem a sua razão de ser, já que o seu po-

voamento depende cada vez mais da água existente em seu subsolo.

Passemos agora a considerar os fatos fundamentais sobre os quais repousam estas considerações.

Como se trata apenas de uma análise que possa ter importância em futuros estudos em hidrogeologia, mencionamos que

além de considerações mais intensas, nos concentramos numa série de furos seguindo de perto o rio São José dos Dourados, que apresentam singularidades que servem para o nosso desideratum.

Segue um quadro contendo os dados de referência, partindo de Pereira Barreto para deter-nos nas imediações da foz do rio São José dos Dourados (fls. 10/11).

PEREIRA BARRETO			SUD MENNUCCI		
Alt.	360 m	310 m	391 m		380 m
Prof.	94,5 m	204 m	117 m		122 m
NE	29,5 m	22 m	19 m		20,8 m
ND	48,9 m	34,3 m	53,7 m		48 m
Vazão	13,4 m ³ /h	72,0 m ³ /h	22,5 m ³ /h		6,5 m ³ /h
A. Bauru	18-93m	8-25m	8-117m		21-121m
Basalto	93 m	25 m	—		121m

GENERAL SALGADO			MAGDA		
Alt.	505 m		500 m	450 m	495 m
Prof.	184 m		145 m	166 m	136 m
NE	20,8 m		21 m	27,4m	7,5m
ND	97,0 m		96 m	91,7m	37,5m
Vazão	10,2 m ³ /h		6,9m ³ /h	10,6m ³ /h	6,6m ³ /h
A. Bauru	18-184m		8-143m	6-166m	8-135m
Basalto	—		143m	166m	135m

NOVA LUZITÂNIA			BURITAMA		
Alt.	430 m		367 m		
Prof.	84 m		110 m		
NE	20 m		13,9 m		
ND	67,3 m		64,5 m		
Vazão	2,0 m ³ /h		33,0 m ³ /h		
A. Bauru	10-83 m		9-25 m		
Basalto	83 m		25-110m		

NHANDEARA			SEBASTIANÓPOLIS DO SUL		
Alt.	500 m	480 m	465 m		445 m
Prof.	128 m	106,3 m	81,3 m		90,3 m
NE	19 m	22,5 m	10,0 m		26,8 m
ND	92 m	80,6 m	59,6 m		75,8 m
Vazão	5,7 m ³ /h	7,2 m ³ /h	4,0 m ³ /h		4,4 m ³ /h
A. Bauru	0-127m	9-106m	8,5-80,5m		4,2-89m
Basalto	127-128m	106m	80,5-81,3m		89-90m

Nas imediações da cidade de Catanduva, a observação de 13 poços, com cotas de boca variando de 491 a 484 metros registram vazões em torno de 18 m³/hora, com dois poços registrando 29,3 e 38,0 m³. Todos os furos atingiram o Basalto.

ARID (in fls. 37 do Projeto de Água Subterrânea, vol. I, IG) observa que de 80 poços considerados na região de São José do Rio Preto, com profundidades de até 140 metros, as vazões mais frequentes estão entre 15,0 m³/h a 20,0 m³/hora. Também temos, dentro dos dados por nós coletados em outras regiões do Bauru, observado que poços que não atingiram o basalto e de pouca profundidade são de baixa produção.

Isto pode ser uma indicação da confirmação da hipótese da ligação com a Formação Botucatu. Sabe-se que no Bauru ocorrem argilitos, conglomeratos e arenitos cimentados por carbonato de cálcio, fatores redutores da permeabilidade dessas rochas com aumento apreciável da porosidade. Ora o fato de atingir o basalto, o furo permite uma comunicação livre com o basalto fendilhado em comunicação com a Formação Botucatu.

A seqüência de poços tubulares examinados fornece dados de vazões quase sempre superiores a 15,0 m³/h alguns com vazões altas para a Formação Bauru, com uma minoria deles registrando um débito pequeno. Estes últimos provavelmente encontram-se fora da área de fendilhamento.

A área geográfica onde se desenvolvem os cursos do rio São José dos Dourados e tributários é pobre em água superficial e alguns perfis geológicos que atravessam a região mostram que o leito do São José dos Dourados repousa bem acima do solo de basalto, ao contrário do rio Tietê. As baixas vazões do rio São José dos Dourados e tributários fazem pensar que eles recebem uma fraca contribuição que, por hipótese, provenha do Botucatu.

Um outro fato é de que a Formação Bauru mostra um declive contínuo nas direções do rio Paraná e Paranapanema, devendo o mesmo ocorrer com as formações subjacentes.

É possível que fenômenos de surgência ou nível estático negativo registrado em poços do Bauru, sem descartar aspectos geológicos puramente locais, tenham alguma correlação com recarga inferior. Ao contrário da idéia expedida pelo CENA, antes citada, entendemos que a contribuição por

recarga do Bauru uma parte se deva à própria área de infiltração do Bauru e, outra, à Formação Botucatu, sendo esta talvez muito importante.

Movimentos sísmicos são relativamente frequentes; mas alguns deles, devido a sua intensidade têm chamado a atenção.

O caso recente de Nuporanga estava relacionado com o movimento de águas subterrâneas em consequência de bombeamento de um poço tubular na cidade. Os casos registrados no enchimento de barragens no Estado de São Paulo, provocando ruídos semelhantes à explosões, também podem estar vinculados à dinâmica de água subterrânea. Estes acontecimentos são geralmente explicados como acomodações de maciços rochosos.

Do estudo "Interaction Between water flow phenomena and the mechanical behaviour of soil or rock masses", por C. Louis, J.; L. Resenne e B. Fenga, transcrevemos o seguinte relato:

"A água subterrânea também desempenha um ativo papel em fenômenos sísmico-tectônicos, especialmente tremores de terra. Evans (1966) observou atividades sísmicas em Denver, no período de 1962 a 1966, diretamente ligadas a injeções de líquidos industriais esgotados, em camadas profundas através de poços na região de Rocky Mountains, próximos a Denver. O aumento das pressões nos poros, induzido pela injeção, reduziram as tensões normais sobre planos descontínuos. A consequência foi um decréscimo da resistência às tensões de corte, com deslocamentos súbitos em consequência de tensões tectônicas pré-existent. Testes de permeabilidade geralmente indicam que valores mais altos de permeabilidade são obtidos quando medidas sob injeções (decréscimo da tensão efetiva e alargamento de aberturas) do que por bombeamento (incremento na tensão efetiva e estreitamento de juntas)".

O que se destaca é que nesses fenômenos ocorrem desequilíbrios devido a mudança repentina do equilíbrio hidrostático que engendram tensões longitudinais em camadas de rochas, fatos bem conhecidos da mecânica.

É, pois, perfeitamente admissível que fatos dessa natureza observados em áreas do Bauru possam ter correlação com injeções de água procedente de camadas inferiores, no caso da Formação Botucatu.

Dados de poços tubulares perfurados na região da cidade de Catanduva

Alt. m	Prof. m	NE m	ND m	Vazão m³/h	Ar. Bauru m	Basalto m
486	85	11,9	28,4	15,0	6 — 85	85
486	85	15,7	21,0	15,0	6 — 85	85
486	82	15,7	23,8	14,4	6 — 82	82
485	83	15	26,6	15,3	4,5 — 83	83
488	82,4	20,3	30	16,1	12 — 82	82
487	81,4	18,4	30,6	14,4	10 — 81,4	81,4
487	109	17,4	25	15,5	10,4 — 85,4	85,4
490	87	25	29,5	15,8	9,2 — 87	87
491	85	18	28	11,5	7 — 85	85
488	85	18	24	15,8	10,5 — 84	84
487	81	16	28	15,8	16 — 81	81
485	89	6	41	29,3	0 — 88	88
484	83	1	33	38,0	0 — 82	82

Todos estes poços atingiram o basalto a uma profundidade bastante uniforme; as altitudes de boca também pouco variam bem como as profundidades. Entretanto as diferenças de profundidade entre nível estático e dinâmico são algo significativas, bem como as respectivas vazões que não apresentam nenhuma correlação. A vazão em termos médios é de aproximadamente 18,0 m³/h. A camada de arenito Bauru atravessada é mais ou menos uniforme. O perfil geológico é pouco descritivo e, na falta de outras indicações (coordenadas de posição no plano), supomos que os poços estejam localizados em área restrita. Não obstante os dois últimos poços apresentam vazões relativamente elevadas. Se a área de distribuição dos poços é pouco extensa, é

provável uma certa uniformidade na litologia atravessada.

Os dois últimos poços da série, bem poderiam ter atingido o basalto, em pontos bastante fraturados em comparação com os demais.

Transcrevemos abaixo os dados dos demais poços observados desde Pereira Barreto até Matão, seguindo a maioria deles o curso do rio São José dos Dourados. As informações reunidas levam a supor que, com algumas exceções, eles atingiram uma linha de extenso fraturamento. Também a observação de todos os dados coletados, no seu conjunto, dá a impressão de que o fraturamento do basalto subjacente ao Bauru forma uma rede que se distribui por toda a área da Formação.

Dados de poços tubulares perfurados pelo IG, na Formação Bauru

ANDRADINA		ARAÇATUBA		ARARAQUARA	
Alt.	348 m	375 m		646 m	679 m
Prof.	82 m	79 m		69 m	87 m
NE	0,8 m	34,8 m		0,8 m	20 m
ND	27 m	51,6 m		25 m	59,3 m
Vazão	6,0 m³/h	8,0 m³/h		22,0 m³/h	12,2 m³/h
A. Bauru	60 m	15-78m		25-39m	0-78m
Basalto	82 m	78-79m		39-69m	78-87m

AURIFLAMA		BASTOS	BURITAMA
Alt.	449 m	425 m	367 m
Prof.	164 m	88 m	110 m
NE	29,6 m	4,5 m	13,4 m
ND	99 m	60 m	64,5 m
Vazão	5,0 m ³ /h	2,0 m ³ /h	33,0 m ³ /h
A. Bauru	20-163m	0-88m	9-25 m
Basalto	163-164m	—	24-110m

TUPÃ

Alt.	441 m	439 m	438 m	437 m	436 m	435 m
Prof.	87 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m
NE	4,3m	5 m	5 m	5 m	3,2m	3,9m
ND	12 m	40 m	40 m	30 m	35 m	40 m
Vazão	18,0m ³ /h	17,5m ³ /h	25,0m ³ /h	19,0m ³ /h	18,0m ³ /h	38,0m ³ /h
A. Bauru	22-87m	0-100m	0-100m	0-100m	8-100m	0-100m
Basalto	—	—	—	—	—	—

TUPI PAULISTA

Alt.	410 m
Prof.	90 m
NE	—
ND	39 m
Vazão	2,0m ³ /h
A. Bauru	0-90m
Basalto	—

TANABI

Alt.	539 m	493 m	420 m	525 m	520 m	523 m	530 m
Prof.	116 m	137,5 m	123,5 m	105 m	107 m	102,5 m	100 m
NE	31 m	19 m	17 m	15 m	19 m	22 m	22 m
ND	61 m	92 m	64 m	65 m	74 m	68 m	61 m
Vazão	13,6 m ³ /h	3,4 m ³ /h	15,0 m ³ /h	13,2 m ³ /h	11,3 m ³ /h	11,4 m ³ /h	9,7 m ³ /h
A. Bauru	0-116m	32-73m	30-120m	17-102m	6-99m	15-99m	17-99m
Basalto	—	73m	120m	102m	99-107m	99-102m	99-100 m ³

TAQUARITINGA

TRÊS FRONTEIRAS

Alt.	561 m	390 m	390 m	390 m
Prof.	65 m	131 m	110 m	102 m
NE	4,5 m	0,0 m	0,0 m	0,5 m
ND	46,6 m	76 m	64 m	79 m
Vazão	6,0 m ³ /h	10,5 m ³ /h	10,5 m ³ /h	0,4 m ³ /h
A. Bauru	0-64m	7-123m	0-34m	10-34m
Basalto	64m	123m	34m	34m

SÃO JOSÉ DO RIO PRETO				SEBASTIANÓPOLIS DO SUL	
Alt.	483 m	482 m		465 m	445 m
Prof.	131 m	139 m		81 m	90 m
NE	12 m	4 m		10 m	27 m
ND	50 m	39 m		60 m	76 m
Vazão	20,8 m ³ /h	49,5 m ³ /h		4,0 m ³ /h	4,4 m ³ /h
A. Bauru	0-131m	7-139m		8-80m	4-89m
Basalto	131m	—		80-81m	89-90m

SUD MENUCCI			SANTA ADÉLIA	RINÓPOLIS	
Alt.	380 m	391 m	—	440 m	392 m
Prof.	122 m	117 m	153 m	106 m	107 m
NE	30 m	19 m	5,4 m	1,5 m	—
ND	48 m	54 m	55 m	85 m	80 m
Vazão	6,5 m ³ /h	22,5 m ³ /h	27,7 m ³ /h	2,6 m ³ /h	8,5 m ³ /h
A. Bauru	21-122m	8-117m	0-153m	0-106m	0-75m
Basalto	122m	—	153m	—	75-161m

STA. FÉ DO SUL				STO. ANASTÁCIO
Alt.	397 m	381 m	370 m	391 m
Prof.	129 m	118 m	119 m	169 m
NE	0,0 m	3,5 m	0,0 m	10 m
ND	63 m	76,5 m	74 m	66 m
Vazão	6,9 m ³ /h	3,4 m ³ /h	4,8 m ³ /h	13,2 m ³ /h
A. Bauru	10-67m	20-69m	10-62m	5-169m

POMPEIA			
Alt.	466 m	463 m	459 m
Prof.	126 m	95 m	87 m
NE	22 m	10 m	2 m
ND	62 m	63 m	60 m
Vazão	10,0 m ³ /h	20,5 m ³ /h	26,4 m ³ /h
A. Bauru	0-126m	0-95m	0-87m
Basalto	—	—	—

PRESIDENTE BERNARDES				RANCHARIA
Alt.	381 m	375 m	—	505 m
Prof.	234 m	250 m	126 m	—
NE	10,5 m	11 m	neg.	—
ND	90 m	90 m	13 m	—
Vazão	19,0 m ³ /h	22,0 m ³ /h	61,0 m ³ /h	—
A. Bauru	5-233m	8-249m	0-100m	—
Basalto	233m	249m	100-126m	—

PEREIRA BARRETO

Alt.	310 m	360 m	360 m	310 m
Prof.	204 m	94,5 m	92 m	207 m
NE	22 m	29,5 m	27,8 m	15 m
ND	34,3 m	50 m	38 m	79 m
Vazão	72,0 m ³ /h	13,4 m ³ /h	6,9 m ³ /h	31,7 m ³ /h
A. Bauru	8-25m	18-93m	0-91m	0-22m
Basalto	25-204m	93m	91-92m	22-207m

PINDORAMA		PIRAPOZINHO	PIRATININGA
Alt.	492 m	492 m	446 m
Prof.	87 m	87,5 m	222 m
NE	-0,54 m	2 m	4,5 m
ND	40,1 m	24,7 m	79,3 m
Vazão	24,0 m ³ /h	26,5 m ³ /h	18,4 m ³ /h
A. Bauru	1,7-85m	3-86m	0-222m
Basalto	85m	86-87m	222m

PALESTINA

Alt.	508 m	505 m
Prof.	90,5 m	82,2 m
NE	4 m	4,6 m
ND	43 m	59 m
Vazão	9,0 m ³ /h	5,0 m ³ /h
A. Bauru	0-75m	0-81m
Basalto	75m	81m

PARAGUAÇU PAULISTA

Alt.	540 m	515 m	—
Prof.	135 m	101 m	137 m
NE	33 m	37 m	4,1 m
ND	67,3 m	52 m	68,5 m
Vazão	46,6 m ³ /h	26,4 m ³ /h	8,8 m ³ /h
A. Bauru	20-135m	4-93m	—
Basalto	—	93-101m	—

PENÁPOLIS

Alt.	402 m	410 m	413 m	408 m	410 m	402 m
Prof.	84,7m	120 m	126 m	110 m	108 m	73,3m
NE	10,4m	8,5m	6,7m	3,5m	1,6m	9,5m
ND	60 m	87 m	30,5m	70 m	31 m	47,5m
Vazão	3,8m ³ /h	3,0m ³ /h	24,0m ³ /h	2,9m ³ /h	13,6m ³ /h	2,6m ³ /h

MONTE APRAZÍVEL

Alt.	556 m	480 m	480 m	530 m	580 m
Prof.	156 m	80 m	104 m	175 m	118 m
NE	34,2m	14,3m	16 m	39,6m	30 m
ND	91,2m	42,8m	78 m	75,1m	66,9m
Vazão	17,6m ³ /h	2,5m ³ /h	5,05m ³ /h	10,0m ³ /h	7,1m ³ /h
A. Bauru	0-153 m	—	100-104 m	0-118 m	0-188 m
Basalto	153 m	—	104 m	—	—

	NIPOÃ	NOVA LUZITÂNIA	OSVALDO CRUZ
Alt.	438 m	430 m	396 m
Prof.	207 m	84 m	174 m
NE	62 m	20 m	8 m
ND	85 m	67,3m	61,2m
Vazão	16,0m ³ /h	2,0m ³ /h	6,6m ³ /h
A. Bauru	14-73 m	10-83 m	0-172 m
Basalto	—	—	—

	MERIDIANO			MIRANDÓPOLIS
Alt.	478 m	460 m	420 m	415 m
Prof.	111 m	111 m	52 m	136 m
NE	0,0m	0,0m	18,4m	16 m
ND	57 m	57 m	41,6m	47 m
Vazão	28,5m ³ /h	28,5m ³ /h	0,4m ³ /h	6,1m ³ /h
A. Bauru	4-87,5m	4-88,5m	13,8-45m	9-134m
Basalto	87,5-111m	88,5m	48-52m	134m

MIRASSOLÂNDIA		NHANDEARA	
Alt.	515 m	500 m	480 m
Prof.	75,5m	128 m	106 m
NE	19 m	19 m	22,5m
ND	48 m	92 m	80,5m
Vazão	17,6m³/h	7,2m³/h	5,6m³/h
A. Bauru	0-75,5m	0-127m	9-105m
Basalto	—	127-128m	105-106m

	DUARTINA		ECHAPORÃ	
Alt.	527 m	530 m	550 m	560 m
Prof.	285 m	116 m	151 m	188 m
NE	102 m	28 m	17 m	56 m
ND	146 m	90 m	102 m	134 m
Vazão	8,4m ³ /h	5,0m ³ /h	7,5 m ³ /h	3,2 m ³ /h
A. Bauru	17-114m	17-114m	0-151m	0-188m
Basalto	114-285m	114-116m	—	—

FERNANDÓPOLIS				GENERAL SALGADO	
Alt.	507 m	523 m		400 m	505 m
Prof.	152 m	163 m		45 m	184 m
NE	12 m	30 m		10,5 m	20,8 m
ND	110 m	60 m		41,2 m	97 m
Vazão	6,1m ³ /h	5,0m ³ /h		0,4 m ³ /h	10,2 m ³ /h
A. Bauru	0-152m	0-162m		9-44m	18-184m
Basalto	152-153m	162-163m		44-45m	—

CATIGUÁ			CEDRAL	
Alt.	482 m		543 m	550 m
Prof.	95 m		140 m	170 m
NE	2 m		12 m	18 m
ND	45 m		35 m	35 m
Vazão	18,0m ³ /h		20,0m ³ /h	22,0m ³ /h
Ar. Bauru	0-88 m		0-140 m	0-170 m
Basalto	88-95 m		—	—

COSMORAMA			DOBRADA	
Alt.	545 m		510 m	500 m
Prof.	131 m		141,6m	85 m
NE	20 m		0,0m	0,0m
ND	71 m		79 m	40 m
Vazão	12,0m ³ /h		11,4m ³ /h	41,7m ³ /h
A. Bauru	0-131m		27,2-141,6m	8,6-17,5m
Basalto	131m		141,6m	32,5-84,2m

MARABÁ PAULISTA

Alt.	495 m	312 m
Prof.	136 m	102 m
NE	7,5 m	0,0 m
ND	37,5 m	24 m
Vazão	6,6 m ³ /h	99,0 m ³ /h
A. Bauru	8-135m	9-48m
Basalto	135-136m	48-102m

MATÃO

Alt.	—	—	—	472 m	—	662 m
Prof.	180 m	45,6 m	140 m	—	164 m	97 m
NE	55 m	4 m	3,4 m	134 m	6 m	8,3 m
ND	86 m	30 m	21 m	—	92 m	38 m
Vazão	13,0 m ³ /h	2,0 m ³ /h	79,2 m ³ /h	19,0 m ³ /h	4,4 m ³ /h	9,0 m ³ /h
A. Bauru	0-75 m	0-45m	0-8 m	0-132 m	0-7 m	0-92 m
Basalto	177-180 m	—	8-140 m	132 m	7-164 m	92 m

IBITINGA		JALES			
Alt.	480 m	480 m	476 m	440 m	390 m
Prof.	185 m	130 m	106 m	105 m	110,5 m
NE	19 m	22 m	15 m	19 m	20 m
ND	60 m	40 m	63 m	60 m	59 m
Vazão	25,0 m ³ /h	9,8 m ³ /h	8,0 m ³ /h	6,9 m ³ /h	9,8 m ³ /h
A. Bauru	0-15 m	0-130 m	12-106 m	14-149 m	15-72 m
Basalto	15-154 m	—	—	149-150 m	—

LUCÉLIA		MAGDA	
Alt.	— 370 m	500 m	450 m
Prof.	113 m 100 m	145 m	166 m
NE	8 m 4 m	21 m	27,4 m
ND	40 m 53 m	96 m	92 m
Vazão	8,0 m ³ /h 8,0 m ³ /h	6,9 m ³ /h	10,6 m ³ /h
A. Bauru	0-113 m 0-100 m	5-143 m	6-166 m
Basalto	— —	143-145 m	166 m

BEBEDOURO

Alt.	544 m	544 m	544 m	530 m	529 m
Prof.	180 m	105 m	146 m	80 m	80 m
NE	11 m	10 m	8 m	2 m	1,38 m
ND	80 m	65,6 m	60 m	26 m	55 m
Vazão	7,5 m ³ /h	4,3 m ³ /h	11,3 m ³ /h	9,3 m ³ /h	9,0 m ³ /h
A. Bauru	53 m	46 m	0-63 m	0-60 m	0-58 m
Basalto	180 m	105 m	63-146 m	60-80 m	58-80 m

CAJOBI			IBIRÁ
Alt.	530 m	580 m	515 m
Prof.	98,5 m	120 m	89,4 m
NE	9,15 m	29 m	28,3 m
ND	60,4 m	74,5 m	53,3 m
Vazão	9,1 m ³ /h	8,3 m ³ /h	5,3 m ³ /h
A. Bauru	2-58,5 m	0-120 m	17-89 m
Basalto	—	—	—
			420 m
			101,6 m
			3,7 m
			75 m
			5,6 m ³ /h
			0-51 m
			51 m

CATIGUÁ		IBIRÁ	SANTA ADÉLIA
Alt.	482 m	420 m	
Prof.	95 m	101,5 m	153 m
NE	2 m	3,7 m	5 m
ND	45 m	75 m	55 m
Vazão	18,0 m ³ /h	5,6 m ³ /h	27,7 m ³ /h
A. Bauru	0-88 m	0-51 m	0-153 m
Basalto	88-95 m	51 m	153 m

DOBRADA				IBITINGA	MATÃO	
Alt.	510 m	500 m		480 m		
Prof.	142 m	85 m		185 m	180 m	46 m
NE	0,00 m	0,00 m		19 m	55 m	4 m
ND	79 m	40 m		60 m	86 m	21 m
Vazão	11,4 m ³ /h	41,7 m ³ /h		25,0 m ³ /h	13,0 m ³ /h	79,2 m ³ /h
A. Bauru	27-142 m	9-17 m		0-15 m	0-75 m	0-8 m
Basalto	142 m	33-84 m		15-154 m	—	8-140 m

NIPOÃ		MONTE APRAZÍVEL		
Alt.	438 m	556 m	530 m	580 m
Prof.	207 m	156,4 m	175 m	118 m
NE	62 m	34,2 m	39,6 m	30,1 m
ND	85 m	91,2 m	75,0 m	66,9 m
Vazão	16,0 m ³ /h	17,6 m ³ /h	10,0 m ³ /h	7,1 m ³ /h
A. Bauru	14-73 m	0-153 m	0-118 m	0-188 m
Basalto	73 m	153 m	—	—

SÃO JOSÉ DO RIO PRETO				CEDRAL	
Alt.	483 m	482 m		543 m	550 m
Prof.	131,3 m	139 m		140 m	170 m
NE	11,5 m	4,3 m		12 m	18 m
ND	49,5 m	39,4 m		35 m	35 m
Vazão	20,8 m ³ /h	49,5 m ³ /h		20,0 m ³ /h	22,0 m ³ /h
A. Bauru	0-131 m	7-139 m		0-140 m	0-170 m
Basalto	131 m	—		—	—

Nesta relação estão incluídos os dados referentes aos poços tubulares perfurados em Catanduva, já citados.

Muitos dos poços perfurados penetraram em parte o basalto e, por vezes, verificado o seu estado de fraturamento. O exame dos valores de vazão, geralmente altos para a Formação Bauru, sem perda dos aspectos diferenciais das características locais, faz supor a existência de uma rede de comunicação hidráulica entre as Formações Bauru e Botucatu, hipótese esta que poderia ser testada por exemplo com a injeção de indicadores de isótopos radioativos em pontos adequados da Formação Botucatu, para detecção em poços da Formação Bauru.

A idéia predominante no decorrer destas considerações é a de que a água acumulada na Formação Botucatu se transfere para a

Formação Bauru sob pressão, constituindo uma forma de recarga desta última. Se esta hipótese for efetivamente correta, pode-se imaginar que a barreira que separa as duas citadas formações possa sofrer fenômenos semelhantes a do "piping" que se verificam em barragens de terra, facilitando progressivamente a comunicação entre si, posto que é de se supor que o movimento de água ocorra no regime turbulento através das fendas irregulares da barreira basáltica. Se a transferência efetivamente ocorre sob pressão, a progressão no aumento de valores de permeabilidade na barreira de separação, tem explicação lógica do ponto de vista mecânico e é a mesma da já mencionada por Evans, citada às fls. 7.

Assim parece claro que quando os poços atingem o basalto na Formação Bauru, ou

Δh (m) f			Q (m³/h)																			ΣQ
0- 10	1	18.0																				18
10- 20	7	72.0 79.2 22.0 8.0 9.8 25.5 26.4																		249.9		
20- 30	16	24.0 26.5 19.0 22.0 20.0 17.6 16.0 6.0 9.3 5.3 6.6 2.0 9.0 5.0 0.4 2.5															191.2					
30- 40	21	20.8 49.5 22.5 17.5 25.0 32.0 38.0 25.0 41.7 17.6 46.6 25.0 12.2 9.8 8.0 13.0 0.4 6.1 10.0 7.1 9.0											437.3									
40- 50	11	24.0 20.0 27,7 15.0 18.0 8.3 8.0 6.9 8,0 8.4 2.0																		146.3		
50- 60	14	20.5 26.4 33.0 28.5 28.5 17.6 4.3 11.3 9.0 9.1 4.4 14.8 5.6 6.6																219.6				
60- 70	7	31.7 5.0 2.0 7.5 10.6 12.0 5.0																		73.8		
70- 80	10	18.4 19.0 22.0 5.6 6.9 11.4 5.0 3.2 10.2 7.2																		108.9		
80- 90	2	4.4 7.5																				11.9
90-100	1	6.1																				6.1

Amplitude — 90 metros

Δh — Intervalo de classes das diferenças ND-NE, em metros

f — frequência

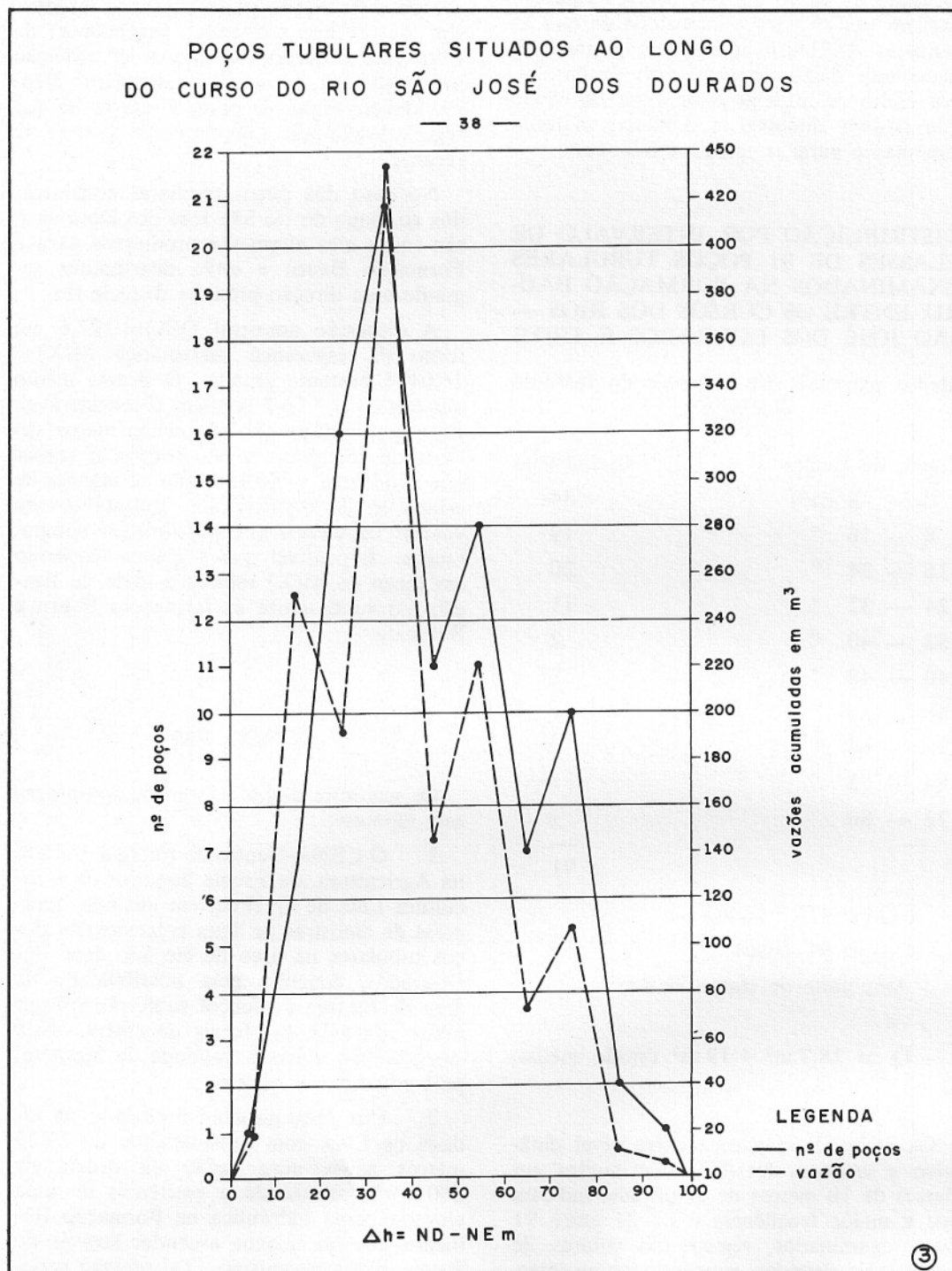
Q — Vazão de testes em m³/h

D(X) = 187.6 — Dispersão geral

M(X) — 16.01 — Esperança matemática

s = 13.7 — Desvio médio quadrático

n = 91 — Número de poços



mesmo nele penetram, os valores de vazão são mais elevados. É mesmo de se supor que durante algum tempo a tendência é a elevação da vazão em tais poços. Também existem razões para a suposição de que as camadas do Bauru apresentem permeabilidade mais baixa junto ao piso de basalto, por efeito de infiltração de água de chuva que poderá dissolver e conduzir material cimentante para as camadas inferiores.

DISTRIBUIÇÃO POR INTERVALO DE CLASSES DE 91 POÇOS TUBULARES EXAMINADOS NA FORMAÇÃO BAURU, ENTRE OS CURSOS DOS RIOS — SÃO JOSÉ DOS DOURADOS E TIETÊ

(dados extraídos dos arquivos do Instituto Geológico)

Classe de vazões	Frequências
0 — 8 (m³)	34
8 — 16 "	19
16 — 24 "	20
24 — 32 "	11
32 — 40 "	2
40 — 48 "	2
48 — 56 "	1
56 — 64 "	0
64 — 72 "	1
72 — 80 "	1
	91

$$\sum Q = 1.707,53 \text{ m}^3$$

$$\sum f = 91 \text{ poços}$$

$$\text{Amplitude de classe } 78,8 \text{ m}^3$$

—

$$Q = 18,7 \text{ m}^3 \pm 19 \text{ m}^3 \text{ (vazão média)}$$

Os dados de diferença entre nível dinâmico e estático, ND-NE, distribuídos em classes de 10 metros de amplitude, indicam que a maior frequência é de 21 entre 91 casos examinados, registrando valores de vazão mais elevados, concentrados no intervalo 30-40. Também existe uma marcada tendência na diminuição dos valores de vazão quando os níveis estáticos e dinâmicos encontram-se a maiores profundidades.

A amplitude total fica entre 8 e 98.

Sem colocar à margem a evidência da influência de fatores geológicos locais, o exame da distribuição pode sugerir a existência de recarga inferior procedente da Formação Botucatu. O tipo de distribuição provavelmente, se se pode identificar alguma, deverá seguir de perto a mesma lei que rege a distribuição pluviométrica na área de recarga.

No caso dos poços tubulares considerados ao longo do rio São José dos Dourados, são todos eles altamente produtivos para a Formação Bauru e estão distribuídos seguindo uma direção próxima daquele rio.

A dispersão amostral $D(X) = 187,6$ em torno da esperança matemática $M(X) = 16,01$ é bastante grande. O desvio médio quadrático $s = 13,7$ também é considerável. Estes parâmetros não são senão meros valores de referência e não fornecem razões que conduzam a identificação de alguma lei estatística de distribuição. Entretanto são valores numéricos que possibilitam comparações. É possível que a grande dispersão em torno de $M(X)$ reforce a idéia da ligação hidráulica entre as formações Bauru e Botucatu.

CONCLUSÃO

Os seguintes dados servem de apoio para esta hipótese:

1. O CENA-Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, em análises isotópicas de amostras de água coletadas em poços tubulares na área do rio São José dos Dourados, concluiu pela possibilidade da área de recarga do lençol subterrâneo estar muito afastada dos locais de coleta. Esta suspeita não afasta a validade da hipótese; pelo contrário: a reforça.

2. Um poço tubular perfurado na cidade de Lins, com profundidade de 3.459 metros acusa uma vazão da ordem de $600 \text{ m}^3/\text{h}$, mostrando a existência de uma elevada carga hidráulica na Formação Botucatu que faz a água ascender através do Bauru com artesianismo. Tal pressão poderá fazer com que a água contida no Botucatu também atravessasse fraturas existentes na barreira basáltica que separa as duas formações.

[illegible]

3. A Formação Botucatu apresenta permeabilidade mais elevada que a do Bauru, podendo assim oferecer condições de percolação a maiores velocidades, embora com redução da pressão oriunda da perda de carga no meio poroso. Assim a abertura de poços que atinjam o Botucatu deverá geralmente apresentar vazões elevadas, o mesmo acontecendo nas regiões de fraturamento com variações diretamente proporcionais ao grau de fraturamento em obediência à lei linear de permeabilidade.

4. Movimentos sísmicos-tectônicos observados na área do Bauru poderiam ser explicados por súbitas variações do equilíbrio hidrostático entre as duas formações, ou por acumulação em barragens ou por bombeamento de poços.

5. As singularidades de comportamento hidráulico de poços no Bauru, quase todos eles atingindo o basalto e muitas vezes nele penetrando como, a nosso ver, mostra o conjunto de poços examinados, parecem evidenciar a hipótese formulada.

6. Poços perfurados em duas localidades vizinhas, Dobrada e Matão, atingiram o basalto a pouca profundidade, e apresentaram comportamento que mostra a irregularidade na distribuição do fraturamento do basalto:

DOBRADA

Poço 1 — vazão 11.400 l/h, tendo atingido o basalto a 18 metros até a profundidade de 141 metros.

Poço 2 — vazão de 41.600 l/h atingindo o basalto a 17,5 metros até a profundidade de 84,20 metros.

Foi observado fraturamento do basalto.

MATÃO

Poço 1 — vazão de 79.200 l/h, atingindo o basalto a profundidade de 8 metros até a profundidade de 140 metros.

Poço 2 — vazão 4.400 l/h, atingindo o basalto a 7 metros de profundidade até a profundidade de 163,70.

Poço 3 — vazão de 9.000 l/h, atingindo o basalto a 89,3 metros e nele penetrando 97 metros.

Este comportamento de vazão entre poços perfurados relativamente próximos, em cada localidade, parece indicar que depende diretamente do fraturamento que se desenvolve em profundidade, provavelmente atingindo a Formação Botucatu nos pontos onde a vazão se mostra extremamente alta para poços considerados no Bauru.

BIBLIOGRAFIA

- BOGOMOLOV, G. — *Hidrologie et notions de géologie d'ingenieur/ traduit du Russe par Vladimir Frolov/ Moscou, Editions de La Paix, s.d. 277 p. il.*
- GUDEHUS, G. — c1977 — *Finite elements in geomechanics.* London, Wiley, c1977, 573 p. il.
- MEZZALIRA, Sérgio — 1974 — *Contribuição ao conhecimento da estratigrafia e paleontologia do arenito Bauru.* São Paulo, 1974. 163 p. il. (Instituto Geográfico e Geológico Boletim n.º 51)

SÃO PAULO. INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO — 1964 — *Geologia do Estado de São Paulo.* São Paulo, 1964. 263 p. l. (Boletim n.º 41).

SÃO PAULO. INSTITUTO GEOLÓGICO — 1978 — *Zoneamento agrícola do Estado de São Paulo; projeto de água subterrânea: levantamento dos recursos hídricos subterrâneos da bacia hidrográfica do rio São José dos Dourados com extensão para a bacia do Rio Tietê (margem direita); coord. Sérgio Mezzalira.* São Paulo, 1978. 2 vols. il.