

Potencial aquífero do cristalino no Estado de São Paulo

Geólogo Carlos Eduardo Quaglia Glampá (*)
Geólogo João Carlos Simanke de Souza (*)

RESUMO

A compilação de dados de 91 poços tubulares perfurados pela Cia. de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, para abastecimento de comunidades de pequeno porte, no período de 1977/1984, perfurados no domínio das rochas do Embasamento Cristalino, permitiu a elaboração de tabelas, mapas e correlações estatísticas das características hidrodinâmicas deste aquífero.

Considerado genericamente um aquífero pobre e problemático, verificamos entretanto que ocorrem poços com intervalos de vazões extremamente satisfatórios.

Numa parcela desses poços, foram localizados a presença e posição exata das fraturas aquíferas, o que permitiu estabelecer correlações com suas profundidades e características hidrodinâmicas.

O resultado obtido abrange uma gama de informações técnicas envolvendo capacidade específica, profundidades, níveis estático e dinâmico, vazões, faixas de entradas d'água, anomalias físico-químicas, espessuras de alteração, poluição do aquífero, tectônica presente e sua influência.

Recomendamos para futuras captações critérios metodológicos correlacionando custo x benefício, sugerimos cuidados para a preservação do aquífero e estabelecemos comparações do Cristalino do Estado de São Paulo com o do Norte/Nordeste do Brasil, suscitando dúvida e apresentando sugestões para um melhor aproveitamento deste importante manancial de água subterrânea.

INTRODUÇÃO

As rochas macrocristalinas, tanto ígneas como metamórficas, podem proporcionar um manancial hídrico economicamente explorável para muitas regiões e comunidades.

Sem dúvida, a exploração de poços e seu rendimento em zonas de rochas fraturadas suscitam algumas dúvidas entre os organismos públicos com res-

peito à confiabilidade e potencialidade desta fonte hídrica.

Estes mesmos organismos, normalmente encarregados de supervisionar a exploração e o funcionamento dos mananciais hídricos, têm a dupla função de proteger a saúde pública e também arrolar recursos financeiros próprios. Um abastecimento público de água deve distribuir água potável e ser confiável durante um longo período, de forma que a fonte, seja qual for sua origem, suponha um investimento viável e amortizável no decorrer do tempo. As perguntas levantadas a respeito da exploração de poços em rochas fraturadas refletem esta dupla finalidade. Dentre as objeções que normalmente surgem a este respeito cabe citar as seguintes:

1 — Os agentes contaminantes dispersam-se diretamente até o interior das fraturas e contaminarão as águas subterrâneas.

2 — A constância de rendimento não é previsível e, portanto, a distribuição não é confiável em termos de quantidade.

3 — Os agentes contaminantes podem ser transportados ao longo de fraturas e falhas desconhecidas procedentes de fontes situadas a vários quilômetros dos poços.

4 — Segundo as objeções 1 e 3 acima enumeradas, o perímetro de proteção necessário para os poços é indeterminado.

Não que estas objeções não sejam razoáveis, porém estão embasadas em conhecimentos insuficientes e experimentais, e em alguns conceitos errôneos.

Os aquíferos de rochas fraturadas constituem uma fonte de água subterrânea demasiado valiosa para deixar estas arguições sem uma resposta adequada e convincente.

CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS DO AQUÍFERO FRATURADO

O rendimento de um poço situado em um aquífero de rocha fraturada deve basear-se em um teste de bombeamento efetuado criteriosamente. Um problema comum é o relativo à capacidade específica, medida em m^3/hxm que diminui à medida que o nível da água

bombeada desce abaixo das fraturas aquíferas. Estas fraturas, descobertas, continuam fornecendo água, porém em menor proporção.

Deste modo, a capacidade específica determinada a partir de uma produção qualquer inferior à vazão máxima, não serve para calcular diretamente esta máxima produtividade de um poço em rocha fraturada; não se mantém uma certa proporcionalidade entre a vazão e o rebaixamento como ocorre normalmente em poços perfurados em aquífero sedimentar.

O procedimento utilizado para superar o problema da queda ou variação da capacidade específica, consiste em realizar um teste de bombeamento com um mínimo de 24 horas de duração ou escalonado de até 72 horas, com vazões da ordem de 20%, 40%, 60% e 80% da vazão máxima, naturalmente tanto mais degraus serão executados quanto maior for a vazão do poço a testar.

Os dados procedentes do teste de bombeamento com vazão constante são analisados utilizando algum dos modelos matemáticos disponíveis, que foram concebidos para aquíferos sedimentares.

Todos os poços medidos durante o teste de bombeamento seriam analisados de forma similar, para determinar as características do aquífero, especialmente a transmissividade. A transmissividade utilizada para calcular a vazão correta de exploração do poço deverá ser o menor valor medido, tendo-se o cuidado de não considerar valores atípicos, para conseguir-se uma estimativa ponderada e segura com relação à correta utilização do mesmo.

A avaliação global dos recursos hídricos subterrâneos disponíveis está condicionada ao conhecimento das características hidrodinâmicas dos aquíferos, portanto os parâmetros mensuráveis estão intimamente associados à descontinuidade e anisotropia do meio que apresenta em geral permeabilidade por porosidade de fissuras em zonas restritas e localizadas.

Dado ao fato que o aquífero é livre, fortemente anisotrópico e com porosidade regulada por fissuras descontínuas, suas características hidrogeológicas resultantes são muito variáveis; os valores mais elevados de permea-

(*) Sabesp - Cia. de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

bilidade (m/dia) e transmissividade aparente (m^2/dia), estão associados a fendas, fraturas e falhas ocorrentes. Os valores excepcionais de vazão específica são diretamente proporcionais à presença dos falhamentos secundários e principais, ocorrentes no Embasamento Cristalino.

Os poços cadastrados, tomados como base neste trabalho, num total de 91, foram criteriosamente acompanhados, possuindo todos, documentação técnica individual emitida por hidrogeólogo.

A média das profundidades é de 152,15 m, com um total de 13.845 m e 75 cm perfurados.

Os níveis estáticos oscilam de + 4,73 m até 22,23 m, caracterizando de fato um aquífero livre. Os níveis dinâmicos variam de 9,54 m a 143,73 m, revelando-se os maiores rebaixamentos para os poços de menores vazões, corroborando as afirmativas anteriores citadas em relação ao descobrimento das fraturas aquíferas.

Os valores de vazão específica variam de 0,02 até 20,19 m^3/hxm sendo apresentada na figura 5 com faixas de vazão específica e respectivas percentagens.

Destes 91 poços, 8 apresentaram-se improdutivos, representando 8,79% de erro, tal dado reflete a potencialidade dos aquíferos que por vezes possuem falhamentos, fraturas e fendas sem circulação local de água subterrânea.

Além disso, evidencia-se a importância da tectônica presente, seu conhecimento global e principalmente o mergulho e direção das fraturas, os quais se desconhecidos, podem mascarar o resultado final. É importante também citar a presença de cobertura sedimentar e espessuras de alterações de rocha, que por vezes apresentam contribuições significativas na vazão final dos poços.

POLUIÇÃO E CONTAMINAÇÃO DOS AQUIFEROS CRISTALINOS

A entrada direta de agentes contaminantes através de fraturas, não é ainda um problema muito comum em poços de rochas fraturadas no Estado de São Paulo.

As principais zonas de rochas fraturadas atingidas pelos poços estão geralmente associadas a depressões topográficas capeadas por materiais não consolidados; as cristas rochosas raramente estão bem fraturadas e em geral proporcionam lugares pouco idôneos para o desenvolvimento de fontes potenciais de contaminação, tais como instalações industriais, fábricas etc. Por outro lado, em alguns casos, a produtividade do poço em rocha fraturada, depende em parte da percolação das águas através dos sedimentos subjacentes dado ao fato de que os

hidrogeólogos preferem ou locam poços em cotas topograficamente baixas, onde existe certa cobertura destes materiais não consolidados; às vezes com espessuras significativas.

Desta forma a recarga procede de zonas onde as fraturas estão capadas por materiais saturados, e raramente onde as fraturas estão frescas e expostas na superfície terrestre. Porém, para maior tranquilidade, deverá ser efetuado um reconhecimento hidrogeológico do local, o qual determinará as áreas expostas com fraturas que possam causar tal preocupação.

Houve até um caso na cidade de São Paulo, bairro do Limão, em que detectou-se um foco de febre tifóide representado por um poço tubular em meio a região favelada; tal obra foi lacrada e reflete uma grave falha construtiva no que diz respeito à proteção sanitária.

O transporte de contaminantes através de fraturas que abastecem um poço de rocha fraturada poderia produzir-se particularmente dentro da zona de influência, causada pelo bombeamento e no gradiente ascendente do poço. A distância em questão, sem dúvida, não é de vários quilômetros como seguidamente se sugere, e sim oscila entre alguns metros até 1 km ou pouco mais em alguns casos raros.

Este problema detectado procede do fato de que um poço rochoso pode interceptar as fraturas aquíferas que fazem parte de uma extensa zona de falhas, as quais continuam em qualquer direção a uma distância considerável.

Entretanto, um poço bem situado não explora água de todo o sistema de falhas. O raio de influência será determinado pelo equilíbrio dinâmico que se cria entre a água contida nas fraturas e a água dos sedimentos subjacentes, quando ocorrentes.

Esta é, de certo modo, a mesma situação que apresenta um poço em uma formação arenosa, cuja influência se estende somente a uma parte do aquífero. Do mesmo modo que o aquífero sedimentar, a zona de influência causada pelo bombeamento dentro de um aquífero fraturado deverá ser determinada através de cuidadosa análise geológica e hidráulica.

DETERMINAÇÃO DAS ZONAS DE PROTEÇÃO NECESSÁRIAS

As zonas de proteção ao redor dos poços são determinadas para controlar a utilização de terras e proteger o poço de contaminação dentro da parte mais significativa da área de influência. No caso de baterias de poços em formações sedimentares — aquíferos livres — é comum um raio de até 200 m em média, com limitação e controle de vazões interferentes. A razão de se manter uma zona

de proteção baseia-se que os contaminantes que percolam através do solo, nas proximidades do poço bombeado, tenderão a dispersar-se em direção descendente ao longo de percursos curtos, cuja capacidade de diluição ou absorção é limitada. Sem dúvida, uma zona de proteção não impede a contaminação do poço, desde que a mesma proceda de fontes situadas no gradiente ascendente, ou alocados fora do perímetro de proteção.

A proteção do manancial subterrâneo requer, portanto, um bom domínio técnico e adequada administração dos recursos hídricos regionais, seja se tratando de um aquífero fraturado, ou de uma combinação de ambos. Tal domínio gerencial pode ser exercido desde que se efetuem cuidadosas análises geológicas e hidráulicas dos poços bombeados e estabeleçam-se suas relações com a hidrogeologia local e regional. Os poços em rochas fraturadas requerem uma análise da estrutura das rochas, assim como a estratigrafia e configuração dos sedimentos subjacentes, caso ocorram.

Os componentes, tanto horizontais como verticais, do fluxo da água subterrânea sob condições de bombeamento, deverão ser medidos a fim de se determinar a zona de influência e as características de fuga descendente através da cobertura de sedimentos.

Faz-se necessário a construção, nesse caso, de poços piezométricos de observação em várias disposições e a distâncias diferentes ao redor dos poços de exploração.

Além disso, deverá levar-se a cabo um reconhecimento completo da hidrogeologia da área, para determinar as fontes do gradiente ascendente e os cursos de dispersão dos contaminantes da água subterrânea.

Caso se tomem estas medidas, poderemos então delimitar e montar ao redor dos poços uma zona útil de proteção, seja qual for a natureza do aquífero.

DISPOSIÇÃO DO AQUIFERO FRATURADO NO ESTADO DE SÃO PAULO

As rochas macrocristalinas ocupam no Brasil uma área aproximada de 5.346 mil km^2 , sendo considerada significativa em termos de contribuição com relação ao manancial subterrâneo disponível. No Estado de São Paulo sua área aflorante é de 53.400 km^2 . Apresentamos anexo, mapa de localização geográfica da parte aflorante do aquífero.

Devido às condições hidrogeológicas bastante diversas, não estamos desconsiderando os derrames basálticos da Formação Serra Geral, como aquífero cristalino, portanto, não está representado no mapa da figura 1.

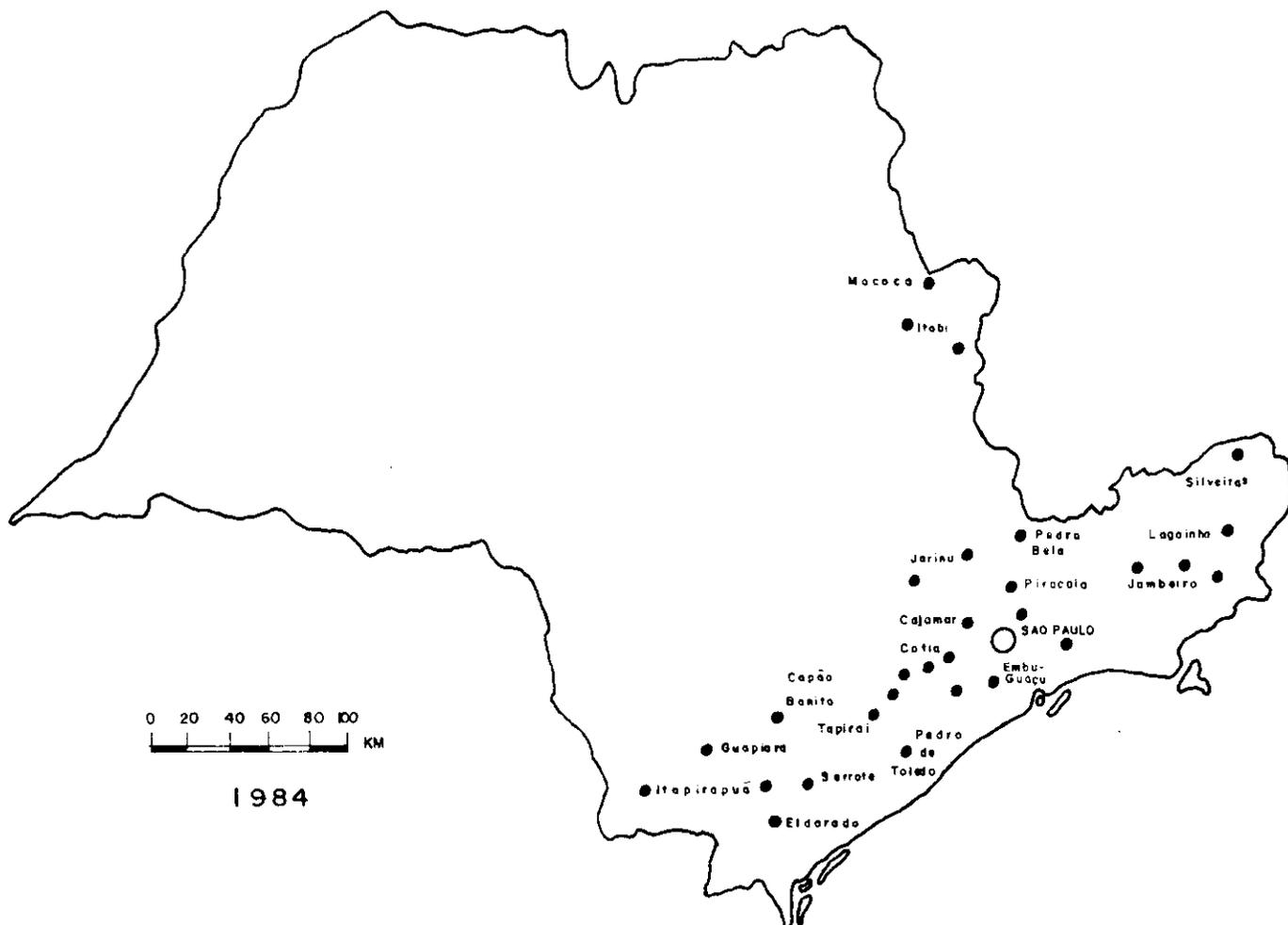


Figura 1 — Localização dos poços tubulares perturados pela Sabesp, captando o aquífero cristalino no Estado de São Paulo

ANOMALIAS FISICO-QUÍMICAS

Através das análises físico-químicas disponíveis, poderemos verificar que os elementos químicos cujos teores revelam-se anômalos, são basicamente o Ferro e o Flúor, conforme mostrado na tabela 1, constatamos a ocorrência de 11 poços com anomalias de Ferro com um mínimo de 1,33 ppm, até um máximo de 5,18 ppm, totalizando 13,25% dos 83 poços analisados. O teor de Flúor oscila entre um mínimo de 0,64 ppm, até 3,60 ppm, com 13 poços totalizando 15,66% de poços com anomalia.

A anomalia físico-química mais comum no N/NE do Brasil é o alto teor de sais medido através de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) no caso do Estado de São Paulo verificamos que 56 dos 91 poços conferidos têm média de 148,5 ppm, perfazendo 61,53% com poços acima de 100 ppm; 24,17% dos poços têm menos de 100 ppm de STD e 13 poços (13,28%) não têm o STD medido. Entretanto, como o valor máximo permitido é de 1 mil ppm e o valor máximo desejado 500 ppm, menos que 100% dos poços não apresentem problemas em relação ao Resíduo Seco.

Tabela 1 — Aquífero cristalino no Nordeste e no Estado de São Paulo

ESTADO	FORMAÇÃO GEOOLÓGICA % área	média Resid. Seco	média Esp. Aluv.	Q. média (m ³ /h)	média N. D. (m)	média Q / s	média Prof. Poço
MG	Cristalino 50%	—	19	3	36	0,05	58
BA	Cristalino 60%	3.000	6	5,4	30	0,3	60
SE	Cristalino 90%	2.928	5	2,59	32	0,09	53
AL	Complexo Metamórfico 70%	I 7.000	5 - 6	3,5	23	0,25	54
		II 5.000		2,5	29	0,16	55
		III 2.400		2,0	24	0,10	48
		IV 1.500		0,5	41	0,02	60
		V 1.300		3,9	30	0,14	53
PE	Cristalino 85%		8	2,5			55
PB	Cristalino 86,9%	2.741	5	1,12	19,29	0,10	48
RN	Cristalino 60%	500 1000	5	4,28		0,24	50
CE	Cristalino 67,33%	1.500	5 - 6	1,8	40	1,018	66
SP	53.400 KM ² Cristalino 21,48%	148,5	24,59	16,35	75,82	0,796	152,15

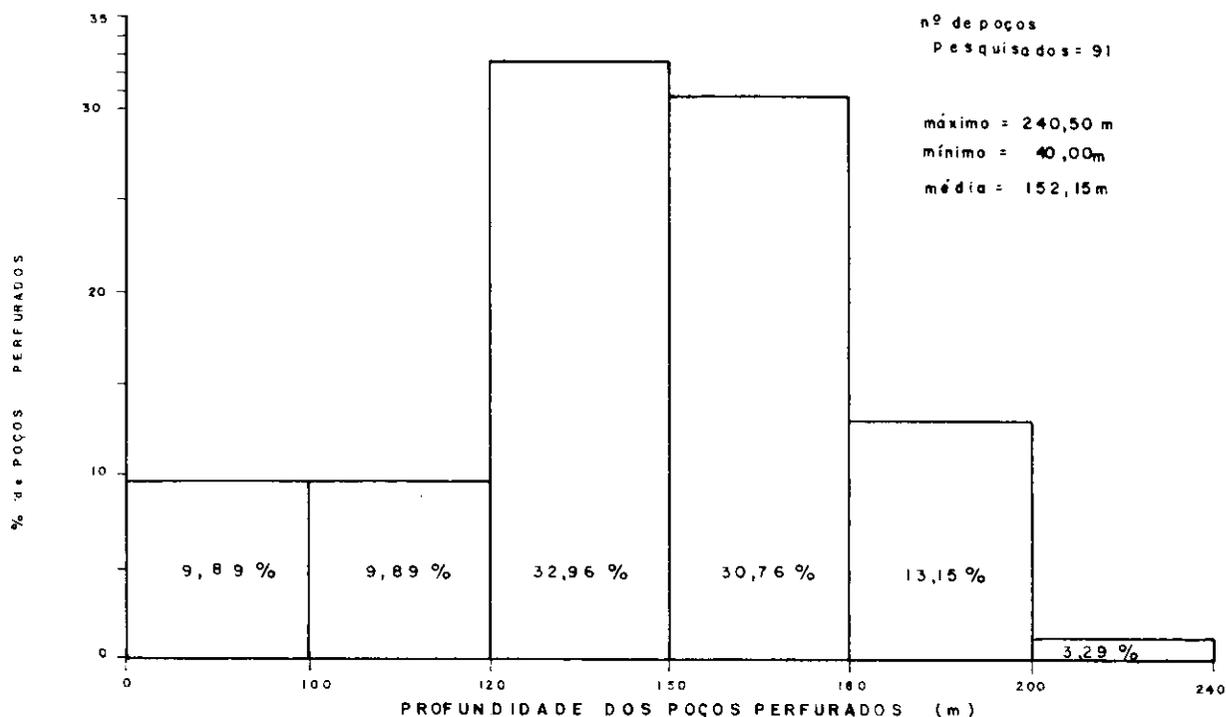


Figura 2 — Profundidade dos poços perfurados

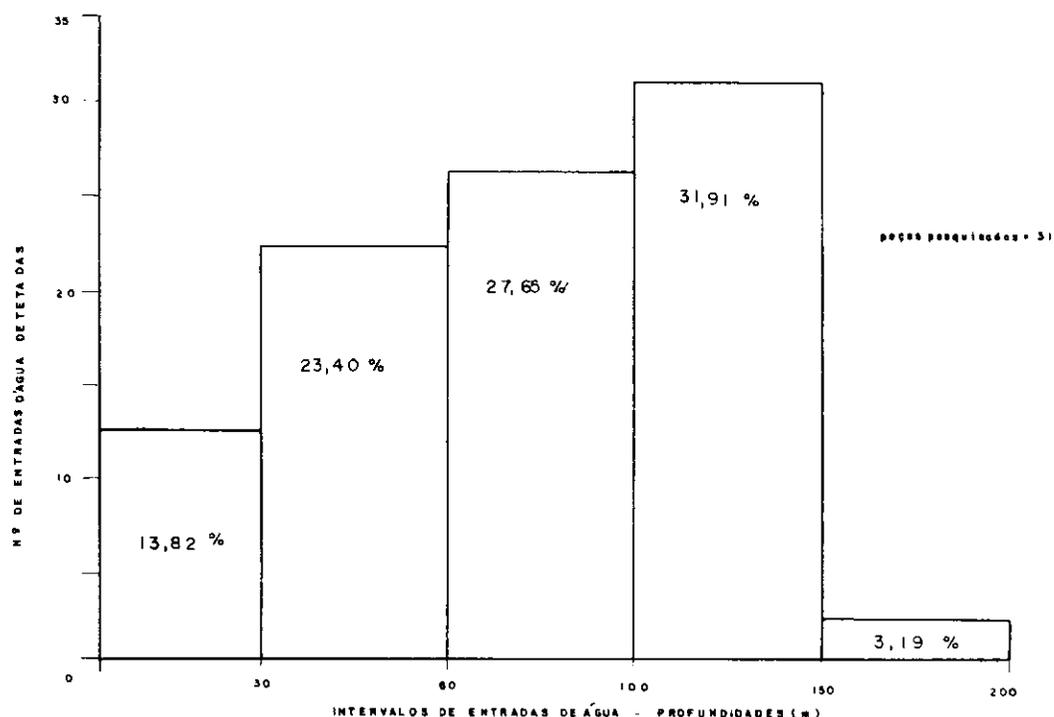


Figura 3 — Profundidades das entradas d'água dos poços

AQUÍFERO CRISTALINO NO NORDESTE DO BRASIL

Na tabela 1 em anexo, apresentamos as principais características do aquífero cristalino no Nordeste do Brasil e sua correlação com o ocorrente no Estado de São Paulo.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O aquífero cristalino no Estado de São Paulo denota potencial de captação das águas subterrâneas pela ocorrência de muitas estruturas armazenadoras, falhas, fraturas, fissuras etc.

doras, falhas, fraturas, fissuras etc.

A captação das águas subterrâneas através de poços tubulares deve ser precedida de estudo hidrogeológico prévio, para detectar-se estruturas reservadoras que propiciem a circulação d'água; locação adequada do ponto de perfuração; projeto técnico construtivo adequado e levantamento das características físico-químicas regionais.

Os dados obtidos com os poços estudados fazem com que cheguemos às seguintes conclusões:

As profundidades dos poços tubu-

lares entre 40 e 240 m, sendo que todavia, 63,72%, possuem de 120 a 180 m [vide figura 2].

Os níveis estáticos médios estão em torno de 3,46 m.

As entradas d'água detectadas durante a perfuração estão preferencialmente entre 100 e 150 m de profundidade (31,91%) e entre 60 e 100 m (27,65%) [vide figura 3].

As vazões obtidas nos poços perfurados variaram de 1,5 a 150 m³/h, média de 16,35 m³/h, sendo que a maior incidência ficou para vazões de até 10 m³/h (49,45%) [vide figura 4].

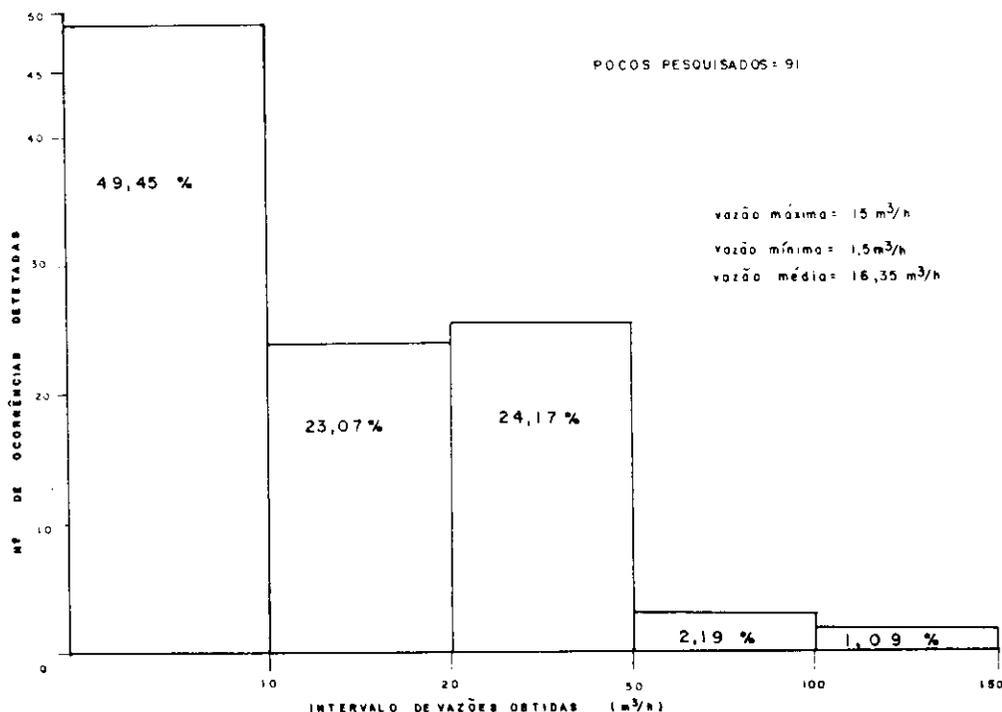


Figura 4 — Vazões obtidas nos poços tubulares

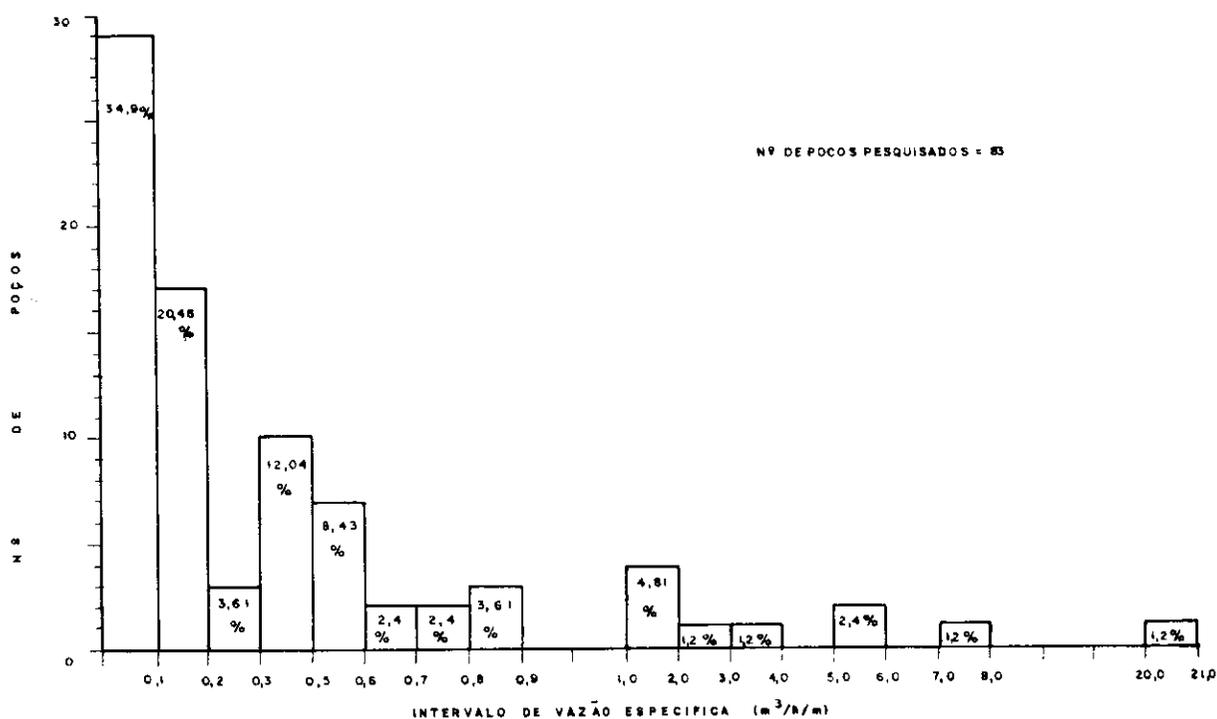


Figura 5 — Intervalo de vazão específica dos poços

As vazões específicas obtidas denotaram que 55,38% dos poços possuem na faixa de até 0,2 m³/h x m (vide figura 5).

Os níveis dinâmicos medidos situam-se na média em torno de 75,82 m.

A cobertura sedimentar ocorrente sobre os aquíferos cristalinos, rochas sedimentares ou aluviões, variam de 0 a 100 m de espessura, com média de 24,59 m. O aquífero cristalino não denota teores excessivos de Sólidos Totais Dissolvidos, não ocorrendo nenhuma amostra acima de 280 mg/l.

Cerca de 61,53% dos poços denotaram média de 148 mg/l.

Constatou-se em cerca de 11 poços (13,25%) teores excessivos de Ferro Total, em teores variando de 1,33 a 5,18 mg/l. Ressalte-se que dentre eles, oito ocorrem em poços com baixa vazão, a maioria, considerados improdutivos.

Em 13 poços, dos analisados (15,66% do total), encontraram-se teores de fluoreto, variando de 0,64 a 3,6 mg/l, também em condições de produção

similar ao detetado para o Ferro.

Pelo analisado e concluído, podemos recomendar o manancial subterrâneo em aquíferos cristalinos como potencialmente utilizáveis, sendo sua captação viável em função de sua finalidade de uso local de captação possível.

REFERÊNCIAS

São Paulo — Associação Brasileira de Águas Subterrâneas — Boletim Informativo n.º 14 — Janeiro de 1984.