

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DE TERRENOS CRISTALINOS COM MANTO DE ALTERAÇÃO

I.N. Cavalcante¹
A.C. Rebouças²

- 1 Professor do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – Ceará.
2 Diretor do Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS) Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, SP.

RESUMO

Este trabalho mostra o desenvolvimento de um estudo hidrogeológico no contexto de rochas precambrianas com manto de intemperismo, a sudeste do Estado de São Paulo.

Foram cadastrados cerca de 250 pontos d'água e realizadas medidas "in situ" de pH, condutividade elétrica e nível estático.

Não existe a aplicação de critérios técnico-científicos referentes à locação, perfuração e completação dos poços tubulares; as medidas realizadas mostram que as águas do manto de intemperismo influenciam as dos poços tubulares; por fim, duas zonas aquíferas foram claramente distinguidas: manto de intemperismo e meio fraturado.

1. INTRODUÇÃO

O meio aquífero fraturado é heterogêneo e anisotrópico, possuindo baixíssima permeabilidade intergranular, de forma que a pesquisa hidrogeológica restringe-se, no geral, às zonas fraturadas.

Porém, tal configuração é modificada sob clima úmido, onde o intemperismo físico-químico propicia espessos pacotes de rochas intemperizadas que podem funcionar como bons aquíferos.

Este trabalho mostra a metodologia aplicada, bem como os resultados preliminares de um estudo hidrogeológico que está sendo desenvolvido em área piloto do Projeto "Hidrogeologia de Rochas Fraturadas Precambrianas no Estado de São Paulo", realizado no Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas – CEPAS/USP sob o auspício da FINEP/PADCT nº 42.86.049200.

A região selecionada para estudo é a bacia hidrográfica do rio Atibaia, situada na folha homônima, a sudeste do Estado de São Paulo, com área de 580 km², como mostra a Figura 1.

2. ASPECTOS GERAIS

O domínio hidrogeológico cristalino representa cerca de 58% do território nacional. Observa-se que, dos 5.340.000 km² de rochas ígneas e metamórficas aflorantes, aproximadamente 85% possuem manto de intemperismo, o qual chega a ter 150 metros de espessura (por exemplo, na região da Serra do Mar – SP). Neste caso, as falhas e fraturas podem constituir prolongamentos em profundidades do aquífero que o manto de intemperismo representa.

A pesquisa hidrogeológica no Brasil, dentro do contexto de rochas cristalinas precambrianas, desenvolveu-se à partir de 1960 quando iniciaram-se os primeiros trabalhos técnicos na região semi-árida do Nordeste, destacando-se SIQUEIRA (1963) que introduziu na literatura os termos "riacho fenda" e "fendas mestras" até hoje utilizados, COSTA (1965), DUARTE (1965), CRUZ (1968), dentre outros.

As vazões médias dos poços nas zonas aquíferas fraturadas sem manto de intemperismo são da ordem de 3 m³/h, com máximo em torno de 10 m³/h, pequenas, no geral, em comparação com aquelas obtidas em regiões onde o manto de intemperismo é significativo, com vazões oscilando entre 10 a 20 m³/h, alcançando-se valores de até 70 m³/h (AGUIAR et al, 1984).

Atualmente existe no país um número reduzido de publicações hidrogeológicas pertinentes a aquíferos fraturados com manto de alteração. A nível regional, cita-se o trabalho desenvolvido pelo DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE (1981) abrangendo a Região Administrativa nº 5 – Campinas (SP) e, em detalhe a pesquisa realizada por BERTACHINI (1987) na região de Jundiá (SP). Em termos de síntese bibliográfica encontram-se os trabalhos de AGUIAR et al (op. cit.), GIAMPÁ et al (1984), LOPES (1984) e FRANGIPANI

(1985, 1982).

Internacionalmente citam-se os trabalhos de BRIZ-KISHORE and BHIMA-SANKARAM (1982, 1981) e QUIST (1987).

3. ASPECTOS FISIO-CLIMÁTICOS

A área em estudo possui um clima subtropical com temperaturas de 37°C e 5°C, máxima e mínima respectivamente, e umidade relativa anual de 74% (CARVALHO et al, 1975). A taxa pluviométrica varia entre 1.200 a 1.400 mm anuais, caracterizando dois períodos distintos: abril a setembro (período seco) e outubro a março (período chuvoso).

A geomorfologia pode ser agrupada em três tipos característicos: várzeas terciário-quadernárias com altitudes entre 500 e 800 metros; colinas mamelonares com 800 a 1.000 metros e, por último, serras situadas em cotas acima de 1.000 metros, com um ápice de 1.420 metros (Morro da Pedra Grande – Serra de Atibaia) a sudeste da área.

4. OBJETIVOS E METODOLOGIA DE ESTUDO

O estudo tem por objetivos avaliar os critérios praticados de locação, perfuração e completação de poços tubulares em regiões precambrianas com manto de intemperismo, desenvolver metodologias hidrogeológicas de prospecção de zonas aquíferas e, por último, delimitar e caracterizar hidrogeologicamente as zonas aquíferas.

Inicialmente foram levantados e analisados os títulos pertinentes a hidrogeologia de rochas fraturadas precambrianas, publicações abordando o contexto físico-climático, mapas geológicos e topográficos na escala 1:50.000 da região estudada. Desta etapa, resultou um acervo de um pouco mais de uma centena de títulos, um mapa geológico e uma folha topográfica nos quais foi delimitada a área de estudo.

A fim de complementar os dados estruturais do mapa geológico está sendo elaborado um mapa de fraturas à partir de fotografias aéreas nas escalas 1:25.000 e 1:60.000.

O cadastramento de poços foi realizado, inicialmente, à partir do trabalho do DAEE (1981), dando uma visão da distribuição espacial dos poços tubulares na bacia do rio Atibaia, folha homônima. A seguir, foi completado nas companhias perfuradoras particulares que operam na região, obtendo-se uma total de 81 fichas técnicas de poços dentro da área de pesquisa.

Com mapas e fichas técnicas procedeu-se as etapas de campo tendo por objetivo realizar as aferições "in situ" dos elementos inventariados e coleta de dados específicos complementares e/ou avaliação das condições necessárias pa-

ra obtê-los.

Em uma primeira fase foi feito o controle da geologia e levantadas medidas de atitudes de fraturas (780 medidas) a fim de complementar o mapa de fraturas foto-interpretadas, observando-se se as mesmas eram abertas ou fechadas, preenchidas e o tipo de material que as preenchia, para posteriormente elaborar-se diagramas estruturais e, conseqüentemente, entender-se melhor a tectônica rúptil da região. Tais diagramas ainda estão em fase de elaboração.

Após esta fase, e face aos aspectos da pesquisa desenvolvida, optou-se por uma uniformização litológica, resultando em cinco principais domínios lito-estratigráficos: Aluviões (Qa), Coberturas Tércio-Quaternárias (TQc), Maciço Granítico de Atibaia (Psγ), Maciço Granítico de Socorro (sgr) e Complexo Amparo (migmatitos (amc, am), gnaisses (agn), xistos (ax) e metabásicas), visualizadas na Figura 2.

Em tese, o fraturamento facilita a ação do intemperismo devido a maior percolação da água e aumento da superfície específica do contato água/rocha, aumentando substancialmente as espessuras dos pacotes de rochas alteradas. Assim, o mapa de fraturas, associado ao litológico, será de fundamental importância na interpretação dos perfis de alteração.

O mapa de fraturas será, ainda, correlacionado ao mapa de drenagem, observando-se se a mesma é superimposta ao fraturamento ou se depende exclusivamente das características estruturais das rochas; assim, auxilia também na compreensão da recarga dos aquíferos à partir da drenagem superficial.

Em uma segunda fase de campo, foram levantados 49 poços tubulares, 156 poços escavados e 12 fontes. Todos foram plotados na folha topográfica gerando um mapa de pontos d'água.

Foram realizadas medidas "in situ" de nível d'água, pH, Eh e condutividade elétrica específica em todas as cacimbas e, excluindo-se as medidas de nível estático, em 39 poços tubulares e nas fontes.

Na terceira fase foi realizada uma campanha de coleta d'água para análises físico-químicas, objetivando ver as características das águas do manto de intemperismo, do meio fraturado e, assim ver a relação existente entre ambas. Os pontos a serem amostrados foram selecionados pelas condições geo-estruturais, morfológicas e hidrogeológicas, além das características apresentadas na fase anterior. Foram coletadas 19 amostras, sendo 11 de poços tubulares e 8 de cacimbas; as análises estão sendo realizadas nos laboratórios do CENA (Piracicaba - SP) e do CEPAS/USP.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Observa-se uma predominância acentuada de perfuração de poços tubulares no período de 1975 a 1980 (40%). Tal fato reflete o período de maior ocupação populacional da região, particularmente ligado ao fato do grande número

de chácaras de recreio e loteamentos. Posteriormente, decresce bastante a perfuração de poços devido ao elevado custo da perfuração e completção do poço e face aos resultados obtidos, os quais, no geral, são inferiores aos esperados.

Verifica-se que não existe nenhum estudo prévio para estimar-se as profundidades dos poços tubulares, e que as mesmas não refletem critérios de locação mas sim, o poder econômico do cliente e o "fôlego" da máquina, predominando intervalos de 100 a 150 metros (37%), como mostra a Figura 3.

A unidade litológica mais perfurada é o Complexo Amparo, detendo 78% dos poços. Isto porém, reflete-se no fato de que esta unidade ocupa baixa a média altitude (780 a 900 metros) e, conseqüentemente, espaço mais densamente povoado.

Comparando-se as profundidades dos revestimentos dos poços com os perfis litológicos encontrados, verifica-se que aqueles refletem com bastante precisão a espessura do manto de intemperismo, predominando o intervalo de 20 a 40 metros, como ressalta a Figura 4, com aquele intervalo detendo 68%. As maiores espessuras estão vinculadas às zonas mais fraturadas, geralmente associadas à rede de drenagem. Por vezes, observa-se uma superimposição da drenagem à fratura, condicionando uma maior percolação d'água, gerando assim maior superfície específica de contato água/rocha e, conseqüentemente, um intemperismo químico mais atuante proporcionando maiores pacotes de rochas intemperizadas.

Em termos litológicos o Complexo Amparo detém as maiores espessuras de alteração. Isto pode ser explicado pelas suas características estruturais e composição mineralógica de suas litologias que permitem uma ação intempérica mais atuante, além do fraturamento existente.

O manto de intemperismo, pela sua espessura, pode constituir um excelente aquífero. Porém, necessário se faz observar sua composição granulométrica, área de descarga/recarga e interação com o substrato.

As vazões dos poços tubulares são, no geral, abaixo de 10 m³/h (90%), com o intervalo de 0,3 a 5 m³/h detendo 55%, como é representado na Figura 5. Estes volumes refletem a não aplicação de critérios técnicos quando da locação, perfuração e completção dos poços. A perfuração sempre ultrapassa dezenas de metros na rocha sã, quase sempre sem fraturamento, e o manto de intemperismo é totalmente revestido, impossibilitando que este possa funcionar como aquífero.

Os intervalos de 0 a 9,0 (50%) e de 0,4 a 9,0 metros (81%) para os níveis estáticos de poços tubulares e escavados, respectivamente, predominam sobre os demais como ressalta a Figura 6. Os valores acima de 9,0 metros para os escavados mostram que estes estão situados em níveis topograficamente mais altos.

Existe, em princípio, um balizamento do nível estático pelas águas do manto de intemperismo naqueles locais onde o nível estático dos tubulares coincide com o dos escavados.

As medidas de pH apresentam valores de 5,5 a 7,0 (59%) e de 4,5 a 6,0 (75%) para poços tubulares e escavados, respectivamente, enquanto que para as

fontes é de 5,5 a 6,5 (58%), representados na Figura 7. A condição de pH muito baixo para os escavados, chegando a atingir 4,2, pode ser gerada pela alta produção de ácidos húmicos, já que existe vegetação abundante na região e os poços são rasos. Nos locais onde as profundidades dos escavados são maiores do que 15 metros, ocorre pH entre 6,0 e 7,0 já que o mesmo é regido basicamente pelo manto de intemperismo.

Os valores acima de 7,0 denotam uma adição substancial, no geral, de cal virgem ou cloro à água (informação verbal dos proprietários). Aproximadamente 80% das águas dos poços tubulares, 25% das cacimbas e 42% das fontes possuem pH aceito para águas potáveis pelas normas vigentes, tais como ABNT (pH = 6,0) e OMS (pH = 7,0 a 8,5).

As medidas de condutividade elétrica mostram comportamentos diferentes para os tubulares e escavados, com predominância de valores entre 80 a 210 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (87%) e de 10 a 80 μS (71%), respectivamente, mostrando que desta forma as águas dos poços tubulares são mais mineralizadas, como mostra a Figura 8. Os valores observados para as fontes são correlacionáveis aos das cacimbas, com predomínio total entre 10 e 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$; isto é explicado pelo fato de que as águas das fontes são rasas, provenientes do contato entre manto de intemperismo e rocha sã.

A diferença de mineralização é normal, vista que as águas dos poços tubulares permanecem mais tempo em contato com as rochas encaixantes, ao contrário das águas das cacimbas e fontes.

Valores menores do que 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para as águas dos tubulares mostram uma influência das águas do manto de intemperismo, já que também o pH dos tubulares oscila abaixo de 6,0 (74%), chegando a atingir 4,6 em concordância com o pH e condutividade das cacimbas.

6. CONCLUSÕES

Do exposto, verifica-se a falta de critérios técnicos na locação, perfuração e completação dos poços tubulares, tendo como consequências as baixas vazões e a diminuição gradativa de perfurações, reflexo dos altos custos da obra e dos volumes quase sempre abaixo daqueles esperados.

As medidas de pH, condutividade elétrica e nível estático mostram que as águas do manto de intemperismo podem influenciar na composição química das águas do meio fraturado.

Existem duas zonas aquíferas: o manto de intemperismo e o meio fraturado. Com o manto de intemperismo representando uma zona aquífera, surge a alternativa de poços rasos, bem locados e construídos de tal forma a amenizar os custos das obras de captação e, por outro lado, obtendo o volume de água necessário, pelo menos a nível de pequenas e médias demandas.

A metodologia utilizada mostra-se altamente adequada, permitindo a com-

preensão imediata dos resultados obtidos. Por outro lado, é passível de aplicação em regiões cristalinas sem manto de intemperismo, desde que sejam levados em conta os fatores intervenientes do contexto estudado.

BIBLIOGRAFIA

- AGUIAR, A.T. de; ANDRADE, E. de P.; HIRATA, R.C.A.; SILVA, R.G.B. – **DAEE – 10 anos de experiência acumulada na exploração dos recursos hídricos subterrâneos**. 3º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. ANAIS. Volume 1. Fortaleza – Ceará. pp. 1-29. 1984.
- BERTACHINI, A.C. – **Estudo das características hidrogeológicas dos terrenos cristalinos sob clima úmido na região de Jundiaí, em São Paulo**. Dissertação de Mestrado. Circulação Restrita. Instituto de Geociências/USP. São Paulo. 105 p. 1987.
- BRIZ-KISHORE, B.H. & BHIMASANKARAM, V.L.S. – **Analysis of groundwater hydrographs for defining a crystalline hydrogeological environment**. GROUND WATER. Volume 19, Número 5. pp. 478-481. 1981.
- BRIZ-KISHORE, B.H. & BHIMASANKARAM, V.L.S. – **Evaluation of aquifer behavior in a typical crystalline basement**. GROUND WATER. Volume 20. Number 5. pp. 563-568. 1982.
- CARVALHO, R.A.; LEPSCH, I.F.; OLIVEIRA, J.B.; VALDARES, J. – **Levantamento pedológico semi-detalhado do município de Atibaia - SP**. BRAGANTINA. Volume 34, Tomo Único. São Paulo. pp. 1-58. 1975.
- COSTA, Walter D. – **Análise dos fatores condicionantes que influenciam na hidrogeologia do cristalino**. ÁGUA SUBTERRÂNEA. Volume 4. Recife – PE. pp. 14-46. 1965.
- CRUZ, W.B. da – **Estudo geoquímico preliminar das águas subterrâneas do Nordeste do Brasil**. SUDENE. Série Hidrogeológica, 19 - Recife - PE. 146 p. 1968.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE) – SP. – **Estudo de águas subterrâneas**. Região Administrativa Número 5. CAMPINAS. Volume 1. São Paulo. 607 p. 1981.
- DUARTE, E.W. – **Aspectos hidrogeológicos de Santa Maria da Boa Vista – PE**. ÁGUA SUBTERRÂNEA. Recife – PE. pp. 1-12. 1965.
- FRANGIPANI, A. – **Águas subterrâneas nas rochas cristalinas da Grande São Paulo**. 2º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. ANAIS. Salvador – BA. pp. 122-134. 1982.
- FRANGIPANI, A. – **Revisão da literatura internacional sobre água subterrânea em rochas fraturadas**. I Simpósio Nacional de Águas Subterrâneas em Rochas Fraturadas. ANAIS. ABAS/MG. Belo Horizonte – MG. pp. 1-28. 1985.
- GIAMPÁ, C.E.Q. & SOUZA, J.C.S. – **Potencial aquífero do cristalino do Estado de São Paulo**. 3º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. ANAIS. Volu-

me 1. Fortaleza – CE. pp. 277-294. 1984.

LOPES, M.F.C. – **Água subterrânea no Estado de São Paulo – síntese das condições de ocorrência.** 3º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. ANAIS. Volume 1. Fortaleza – CE. pp. 305-316. 1984.

SIQUEIRA, L. – **Contribuição da geologia à pesquisa de água subterrânea no cristalino.** ÁGUA SUBTERRÂNEA. Número 9. Recife – PE. pp. 1-29. 1963.

QUIST, L.G. – **Groundwater utilisation in the precambrian crystalline basement rocks of Ghana.** Proceedings Workshop Held in Zimbabwe, Harare, Commonwealth Sciences Council. Technical Publication Series nº 232. 14 p. 1987.

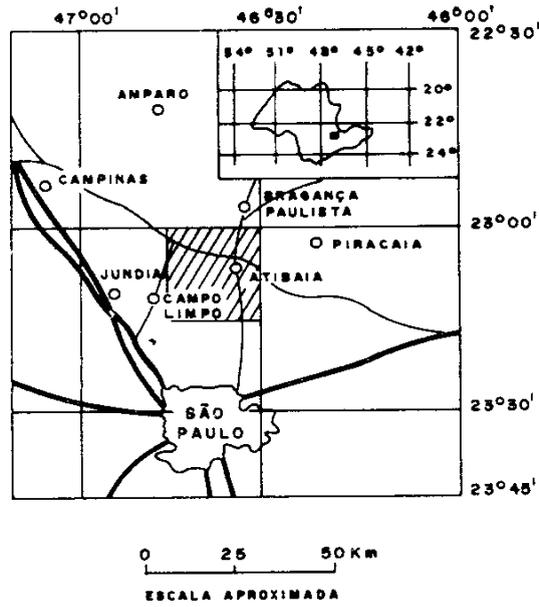
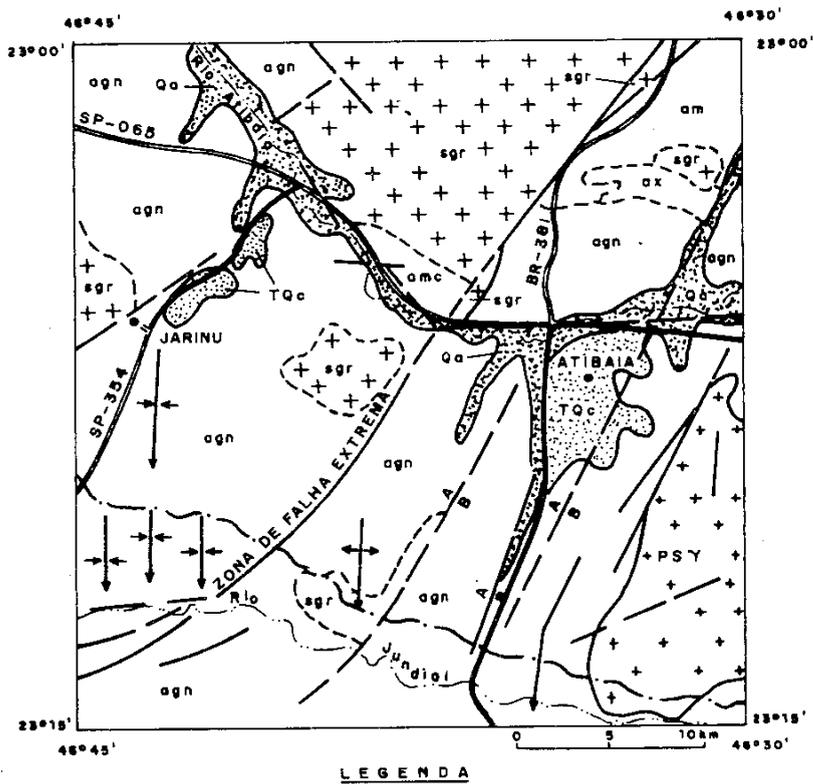


FIG. 01 - Localização da área de estudo



LEGENDA

QUATERNÁRIO				--- Contato definido e inferido - - - Falha definida e inferida A/B Falha normal ↓ Sinforme com caimento ↑ Antiforme com caimento --- Divisor de águas
Qa	Aluviões			
TERCIÁRIO QUATERNÁRIO				
TQc	Coberturas coluvionares			
PROTEROZÓICO SUPERIOR				
PSY	Maciço Granítico Atibaia			
PROTEROZÓICO INFERIOR				
sgr	Maciço Granítico de Socorro			
agn	amc	am	ax	
Complexo Amparo				

FIG. 02 - Mapa esquemático das suítes Geológicas da Folha Atibaia (Modif. do Mapa Geológico da Quadrícula Atibaia, 1965 - UNESP/PROTOMINÉRIO).

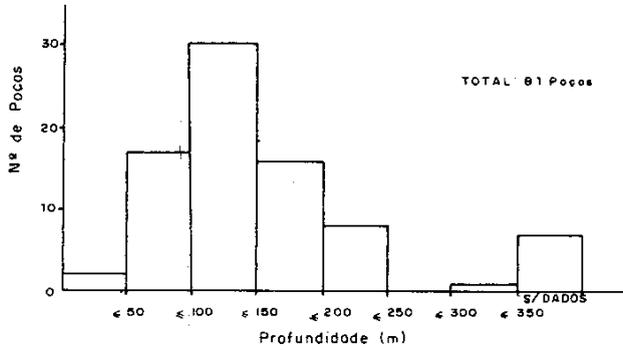


FIG. 03 - Distribuição de frequência das profundidades dos poços tubulares.

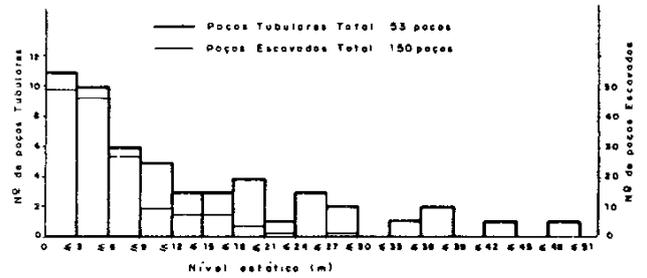


FIG. 06 - Distribuição de frequência dos níveis d'água dos poços.

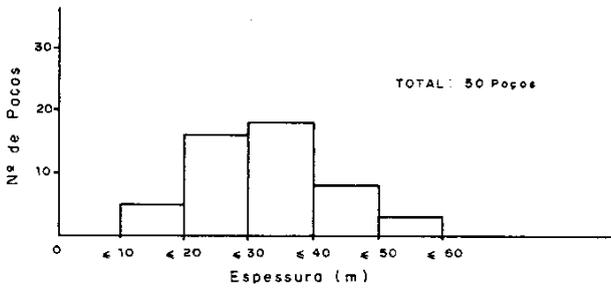


FIG. 04 - Distribuição de frequência das espessuras do manto de alteração.

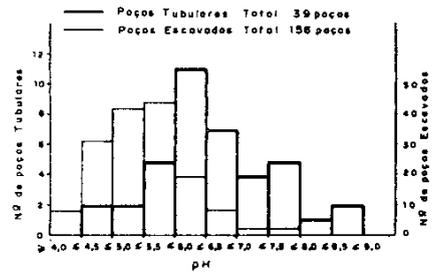


FIG. 07 - Distribuição de frequência das medidas de pH.

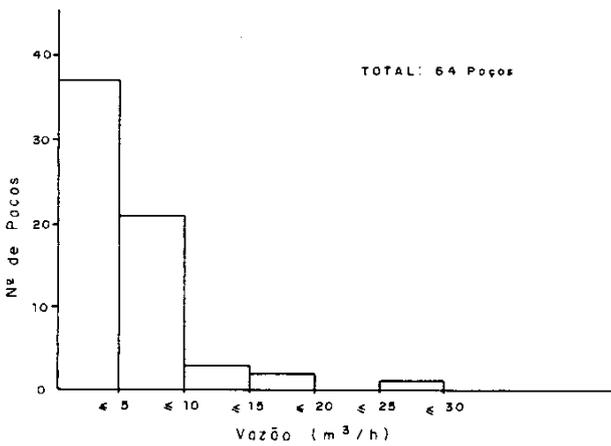


FIG. 05 - Distribuição de frequência das vazões dos poços tubulares.

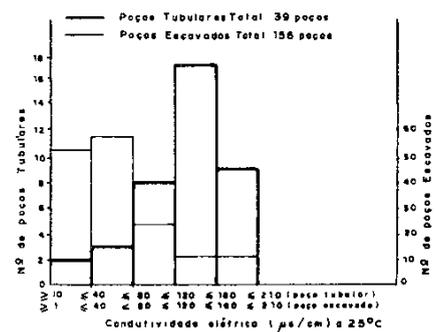


FIG. 08 - Distribuição de frequência das medidas de condutividade elétrica específica "in situ" das águas subterrâneas.

ABSTRACT

A hydrogeological study of Precambrian rocks with a weathered zone performed in the southeast of the State of São Paulo is related.

A total of 250 wells and springs were analysed measuring at the site pH, conductivity and the static level.

No scientific-technical criteria were applied in locating and drilling and the installation of the wells. The weathered zone and fractured rock were recognized as distinct aquifers. The measurements show the water from the weathered mantle has some influence on that of driven wells.