

# ESTUDO HIDROGEOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE ATIBAIA - ESTADO DE SÃO PAULO

*Itabaraci Nazareno Cavalcante \**

*Aldo da Cunha Rebouças \*\**

## RESUMO

Este trabalho mostra a pesquisa hidrogeológica desenvolvida em terreno cristalino com manto de intemperismo, na área piloto de Atibaia a sudeste do Estado de São Paulo, tendo por objetivo caracterizar as condições de ocorrência das águas subterrâneas e avaliar os critérios de locação de poços. Ele provém da Dissertação de Mestrado (CAVALCANTE, 1990) vinculada ao Projeto "Hidrogeologia de Rochas Fraturadas Precambrianas no Estado de São Paulo", realizado no Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas - CEPAS/USP sendo financiado pela FINEP/PADCT (Processo nº 42.86.049200).

Foram cadastrados, em campo, 79 poços tubulares, 157 poços escavados (cacimbas) e 12 fontes e realizadas medidas de pH, condutividade elétrica e nível estático, coleta de amostras de água para análise físico-químicas e implantação de piezômetros multiníveis.

Duas zonas aquíferas foram definidas: manto de intemperismo e meio fraturado, sendo que o primeiro recobre a área com espessuras predominando no intervalo de 20 a 40 metros, alcançando até 60 metros.

O nível estático das águas do manto situa-se de 0,4 a 9,0 metros (81%), vazão média de 1,0 m<sup>3</sup>/h e capacidade específica de 0,225 (m<sup>3</sup>/h)/m. Os poços tubulares possuem vazão predominantemente abaixo de 10 m<sup>3</sup>/h (90%) e capacidade específica média é de  $6 \times 10^{-2}$  (m<sup>3</sup>/h)/m.

No geral não tem sido utilizado critério técnico para locação, perfuração e complementação dos poços, fazendo com que a relação custo x benefício seja bastante afetada, pois as vazões obtidas são quase sempre muito inferiores as esperadas.

## INTRODUÇÃO

Com o crescente aumento populacional e industrial, a demanda de recursos hídricos tornou-se cada vez maior e as águas subterrâneas ganharam destaque em virtude das características qualitativas e da localização em relação a demanda, minimizando os custos com tratamento e educação.

O domínio hidrogeológico cristalino representa aproximadamente 58% do território nacional. Observa-se que, dos 5.340.000 Km<sup>2</sup> de rochas ígneas e metamórficas aflorantes, cerca de 85% possuem manto de intemperismo (CAVALCANTE & REBOUÇAS, 1989). A 5ª Região Administrativa (CAMPINAS) do Estado de São Paulo, onde está situada a área de trabalho, está totalmente inserida no contexto cristalino com manto de intemperismo, onde as vazões oscilam de 5 a 20 m<sup>3</sup>/h.

A pesquisa hidrogeológica mostra-se imprescindível e, na medida em que é desenvolvida, definindo as zonas aquíferas e buscando o local mais propício à perfuração do poço, a probabilidade de obter-se boas vazões aumenta significativamente.

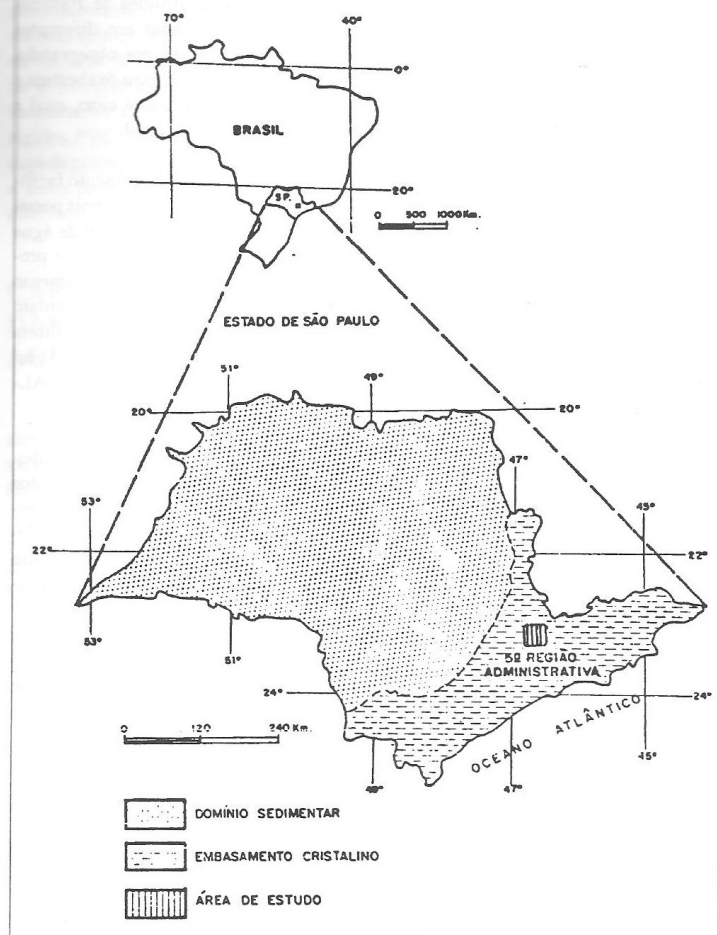
A área piloto escolhida para estudo abrange 590 Km<sup>2</sup> e está situada na bacia hidrográfica do rio Atibaia, Folha ATIBAIA SF.23.C.III/MI 2767-2, escala 1:50.000, a sudeste do Estado de São Paulo (Figura 01).

---

\* Departamento de Geologia (DEGEO) da Universidade Federal do Ceará (UFC)

\*\* Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS)/ Universidade de São Paulo (USP)

Figura 01 - Mapa de localização da área de estudo



## OBJETIVOS

O trabalho objetiva caracterizar as condições de ocorrência das águas subterrâneas e avaliar os critérios de locação dos poços.

O discernimento das zonas aquíferas e a avaliação técnica dos critérios empregados na locação das obras de captação servirá de suporte para um real dimensionamento do potencial hídrico subterrâneo da região e apoio para trabalhos de locação de poços.

## ASPECTOS FISIO-CLIMÁTICOS E GEOLÓGICOS

A região situa-se em um contexto serrano com altitudes mais frequentes entre 700 e 1000 metros, distinguindo-se três (3) tipos geomorfológicos: relevos montanhosos (1000 a 1400 m) representando os domínios graníticos; morros (800 a 1000 m) localizando-se quase que totalmente no Complexo Gnaissico-Migmatítico e um relevo de agradação representado por várzeas quaternárias (altitudes inferiores a 800 m).

A temperatura média anual oscila de 13,6 a 22,8° C com precipitação média anual de 1.350 mm, evapotranspiração de 919 mm e umidade relativa de 74% (CARVALHO et al, 1975), refletindo uma taxa de excedente hídrico de 431 mm/ano.

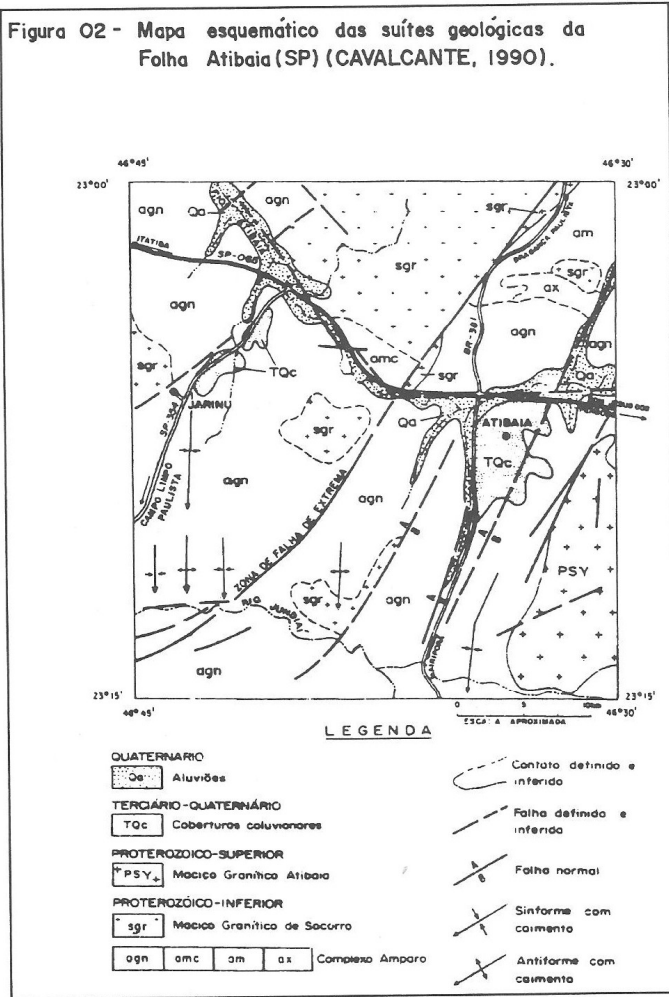
Os principais litótipos existentes na região, em termos de distribuição espacial, pertencem ao Complexo Gnaissico-Migmatítico de Amparo (55,5%) e aos maciços graníticos de Socorro (23%) e Atibaia (9%). Existem, ainda, as coberturas aluvionares (7,8%) e as coluvionares (3,9%) (Figura 02).

A região em apreço se caracteriza estruturalmente pela presença de dobras e falhas, distinguindo-se os grandes sinformes e antiformes com eixos caindo para SSW, observados na porção NE da área, e a falha que atravessa a região com direção geral N35 E, representando a continuidade de Falha de Extrema.

## METODOLOGIA DE TRABALHO

A metodologia utilizada constou de pesquisa bibliográfica, interpretação fotogeológica e geologia de campo,

Figura 02 - Mapa esquemático das suítes geológicas da Folha Atibaia (SP) (CAVALCANTE, 1990).



cadastro de pontos d'água, análises químicas das águas subterrâneas e implantação de piezômetros multiníveis.

O uso de fotografias aéreas é uma prática já consagrada em estudos hidrogeológicos e quando utilizada para pesquisa em terrenos cristalinos busca, especificamente, mapear as estruturas mais favoráveis à ocorrência de água subterrânea. Isto está associado à premissa de que no domínio das rochas cristalinas, as zonas de fraturas, contatos entre corpos rochosos e outras formas de descontinuidades, ampliam sensivelmente as condições de permeabilidade.

A geologia de campo teve por objetivo fazer o controle dos aspectos geológicos e levantar, especificamente, medidas de atitudes de fraturas, sendo estas tomadas em diferentes afloramentos e sempre observando, desde que possível, grau de abertura e preenchimento e, neste caso, qual a composição do material.

Em tese, o fraturamento facilita a ação do intemperismo pois possibilita uma percolação maior de água pelos planos de cisalhamento e produz, conseqüentemente, um aumento da superfície específica do contato água/rocha que é responsável direta pelo aumento substancial das espessuras de rochas alteradas (CAVALCANTE, 1990).

O cadastramento de poços tubulares teve pro finalidade obter dados técnicos da obra, características hidro-dinâmicas dos aquíferos, perfis litológicos e acompanhamento do quadro evolutivo das perfurações na região.

O conhecimento hidrogeológico foi complementado com um cadastro de poços escavados (cacimbas) que explotam essencialmente o manto de intemperismo. Atualmente esses poços abastecem, a nível de pequena demanda, quase toda a população rural dos municípios de Atibaia e Jarinu.

Ao fim, foram cadastrados 79 poços tubulares, 157 cacimbas e 12 fontes. Concomitantemente foram realizados medidas de nível estático, pH e condutividade elétrica das águas.

Uma primeira análise dos elementos coletados mostrou que em muitos casos existe uma estreita relação entre as águas do manto de intemperismo e meio fraturado. Procurando verificar o grau de transferência d'água do primeiro para o segundo e, se possível, qual o nível litológico alterado que mais contribui, foi que se procedeu a implantação de piezômetros multiníveis (3).

Cada piezômetro foi instalado próximo a um poço tubular (Figura 03), ficando restrito a zona alterada. A

perfuração para instalação era realizada inicialmente com trado manual, até atingir o nível estático e, posteriormente, com sonda rotativa até alcançar o contato zona alterada/rocha sã. O diâmetro do furo é de 4" e os piezômetros foram confeccionados com tubos plásticos rígidos PVC 3/4", telas de nylon, caps de proteção inferior e superior e selos de bentonita isolando os diferentes níveis.

## CARACTERIZAÇÃO DAS ZONAS AQUÍFERAS

Foram caracterizadas duas zonas aquíferas na região: o manto de intemperismo e o meio fraturado.

### ZONA DE INTEMPERISMO

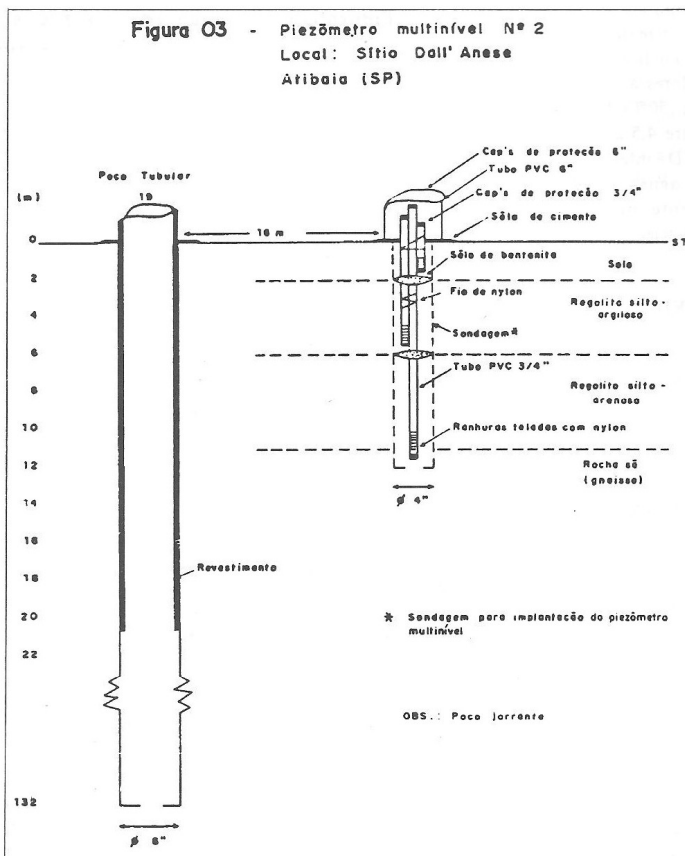
Neste trabalho este termo é utilizado para representar a zona de rochas alteradas pelo intemperismo físico-químico. A espessura considerada vai desde o solo até o contato entre rocha sã e alterada.

A extensão dos revestimentos dos poços tubulares foi utilizada como critério para se estimar as espessuras do manto de alteração, situando-se predominantemente no intervalo de 20 a 40 metros (68%), atingindo até 59 metros.

A espessura saturada é geralmente inferior a 10 metros. A condutividade hidráulica é baixa ( $10^{-4}$  a  $10^{-5}$  cm/s) e a porosidade efetiva é muito pequena (0,1 a 3%).

O intervalo de predomínio do nível estático nas cacimbas é de 0,4 a 9,0 metros (91%). Os valores acima de 9,0 metros mostram que os poços estão em níveis topograficamente mais altos.

O manto de intemperismo é totalmente revestido e, desta forma, aparentemente a água explotada pelos poços tubulares provém exclusivamente do meio fraturado, sendo



este o raciocínio predominante na região. Porém, dois piezômetros sofrem rebaixamentos similares aos dos poços monitorados, comprovando a transferência das águas do manto de intemperismo para o meio fraturado.

O último nível dos piezômetros é o que apresenta o maior rebaixamento, indicando ser este o nível que mais contribui para o meio fraturado.

Teste de vazão com duração de 4 horas foram realizados em cacimbas com lâmina d'água da ordem de 5 metros. A vazão média obtida foi de  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$  e rebaixamento médio de 4 metros, o que reflete uma capacidade específica média de  $0,225 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$ .

A condutividade elétrica das águas (156 medidas) ficam abaixo de  $80 \mu\text{S}/\text{cm}$  (71%), porém chegando a

210 $\mu$ S/cm. Para as fontes foram realizadas somente 12 medidas que refletem valores abaixo de 40 $\mu$ S/cm (50%). O pH situa-se entre 4,5 a 6,0 (75%), o STD é inferior a 80 mg/l e as águas são essencialmente bicarbonatadas cálcicas.

#### MEIO FRATURADO

Este meio é considerado como um domínio hidrogeológico heterogêneo e anisotrópico, onde o fluxo somente nas fraturas, e os seus parâmetros hidrodinâmicos estão estreitamente vinculados a intensidade, abertura e interconexão da rede de fraturas.

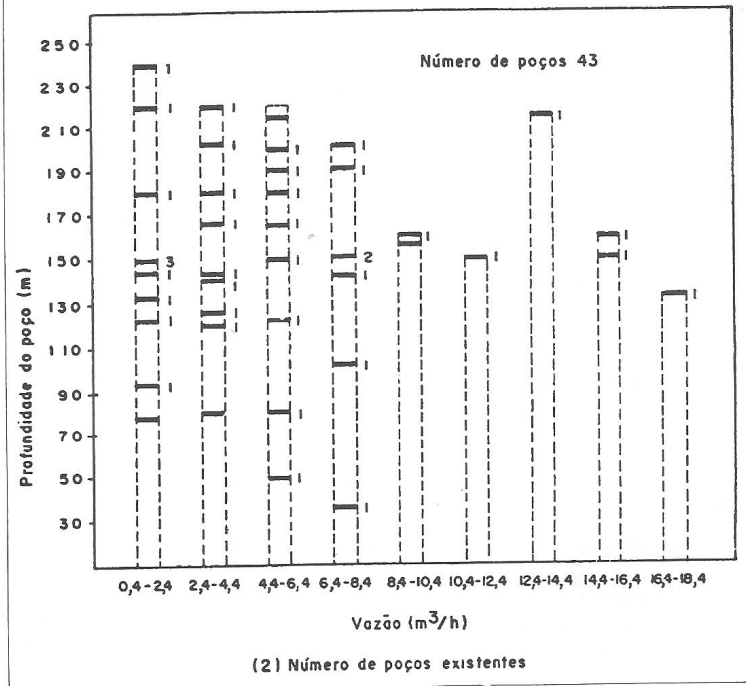
O intervalo de predominio da profundidade dos níveis d'água está entre 0,5 a 9,0 metros (50%). Relacionando-o com o do manto de interperismo (0,4 a 9,0 m (81%)), observa-se que existe uma estreita correlação que reflete, mais uma vez, a interação entre os dois meios aquíferos, com transferência das águas do manto para o fraturado.

As vazões são, no geral, abaixo de 10 m<sup>3</sup>/h (90%) e destas, o intervalo de 0,3 a 5 m<sup>3</sup>/h detém 55%. Não existe critério definido entre vazão e profundidade do poço e, normalmente os poços mais profundos estão localizados em áreas de recarga apresentando vazões inferiores a 2 m<sup>3</sup>/h. (Figura 04).

As entradas d'água estão em profundidades que variam de 24 a 220 metros, com 62% no intervalo de 24 a 102 metros e, se considerarmos até 154 metros, tem-se 85,7%.

A capacidade específica é de  $6 \times 10^{-2}$  (m<sup>3</sup>/h)/m (44 poços com dados) porém, este resultado deve ser utilizado com precaução, pois existindo, localmente, transferência

Figura 04 - Relação entre vazão e profundidade dos poços tubulares - Atibaia (SP)



das águas da zona alterada para o fraturado, a capacidade específica refletirá características de um meio com dupla porosidade e não exclusivamente do fraturado. A transmissividade oscila entre  $1,2 \times 10^{-6}$  a  $1,4 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s.

Analisando a locação dos poços em função dos condicionantes morfológicos, observa-se que 80,5% deles estão localizados em altitudes menores ou iguais a 810 metros (zona de descarga). Porém, isto está associado unicamente ao local da demanda, haja vista se ter um grande número de poços perfurados em altitudes de até 940 metros (área de divisor hidrográfico).

A análise de dados relativos a 11 poços efetivamente localizados sobre lineamentos de fraturas, mostra que eles possuem vazão média de 7,9 m<sup>3</sup>/h, com mínima de 3,2 m<sup>3</sup>/h e máxima de 18 m<sup>3</sup>/h, e capacidade específica média de 0,213 (m<sup>3</sup>/h)/m.

A condutividade elétrica das águas dos poços tubulares situa-se, predominantemente, entre 80 e 210  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (87%) porém, destas, 50% ficam restritas ao intervalo de 120 a 160  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . A concentração de STD varia de 60 a 142 mg/l, evidenciando águas mais mineralizadas do que as do manto de intemperismo, em concordância com os valores de condutividade elétrica.

O pH varia de 5,5 a 8,0 (82%) e as águas são bicarbonatadas mistas passando para sódicas e cálcicas.

## ESTIMATIVA DAS RESERVAS HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS

O dimensionamento do potencial hídrico subterrâneo no domínio de rochas precambrianas, onde somente existe condição de infiltração, circulação e armazenamento de água em fraturas (no caso de rochas não alteradas), é relativamente difícil. Desta forma, procedeu-se a estimativa de reservas para as unidades aquíferas porosas representadas pelo manto de intemperismo e aluviões.

O manto de intemperismo possui um potencial de  $93 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$  para as reservas renováveis e as aluviões,  $8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ .

Considerando uma espessura saturada média de 5,0 metros e porosidade eficaz de 5% para as aluviões, as reservas permanentes serão de  $12 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Para o manto de intemperismo a espessura saturada média é de 10,0 metros e a porosidade eficaz de 2%, o que resultará em um volume hídrico de  $109 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

As reservas exploráveis são de difícil quantificação por dependerem da locação e nível tecnológico das obras de captação. Na prática, considera-se que elas constituem 1/3 das reservas totais renováveis.

Foram cadastrados 79 poços tubulares e 156 cacimbas. Adotando-se para os primeiros uma vazão média de  $5 \text{ m}^3/\text{h}$  e considerando que operam em média 8 horas/dia, o volume explorado será de  $1,16 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ . As cacimbas operando com vazão média de  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$  e em regime de bombeamento de 3 horas/dia, já que o geral se prestam a uso doméstico, exploram um volume de  $471 \text{ m}^3/\text{h}$ , ou seja  $0,17 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ .

Desta forma, observa-se que  $1,3 \times 10^6 \text{ m}^3$  de água subterrânea está sendo explorado anualmente na região de Atibaia, representado, porém, somente 1,3% das reservas renováveis.

## CONCLUSÕES

Foram definidas duas zonas aquíferas, distintas entre si: manto de intemperismo e meio fraturado. Apesar dos baixos valores que predominam para a condutividade hidráulica do manto ( $10^{-3}$  a  $10^{-5} \text{ cm/s}$ ), suas espessuras fazem com que apresente uma média transmissividade, tornando-o potencialmente capaz de produzir boas vazões.

Os níveis estáticos das duas zonas aquíferas mostram que existe uma estreita correlação entre elas, o que reflete uma interação entre as mesmas. As medidas de pH e condutividade elétrica e os piezômetros multiníveis comprovam esta relação, deixando claro que existe transferência das águas do manto de intemperismo para o meio fraturado.

Não se observa na área em estudo, nenhum critério técnico de locação dos poços, sendo esta essencialmente associada a localização da demanda. A perfuração está ligada a premissa e ao ingênuo desconhecimento de que quanto maior a profundidade, maiores serão as probabilidades de se obter melhores vazões; a completação das obras carece de maior conhecimento das normas técnicas e de que o manto de intemperismo é uma zona aquífera, que deve ser explorada em sua máxima plenitude.

Os poços escavados são isentos totalmente de normas de locação e completação, existindo uma necessidade urgente de orientação técnica ao que se concerne aos aspectos de proteção sanitária.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, R.A.; LEPSCH, I.F.; OLIVEIRA, J.B.; VALADARES, J. - 1975 - Levantamento pedológico semidetalhado do município de Atibaia, São Paulo. Rev. BRAGANTINA, vol. 34. Tomo Único. São Paulo, pp. 1-58.
- CAVALCANTE, I.N. & REBOUÇAS, A.C. - 1989 - Caracterização hidrogeológica de terrenos cristalinos com manto de alteração. Rev. ÁGUA SUBTERRÂNEAS, nº 13, ABAS, São Paulo, pp. 9-19.
- CAVALCANTE, I.N. - 1990 - Estudo hidrogeológico de terreno cristalino com manto de intemperismo - Área piloto de Atibaia (SP). Dissertação de Mestrado. Departamento de Geociências da Universidade de São Paulo. Inédito. São Paulo, 123p.