

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO DA BACIA DE TAUBATÉ (VALE DO RIO PARAÍBA DO SUL) NA REGIÃO DE CAÇAPAVA (SP). EMPREGO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS¹

André Davino²

Resumo - A configuração topográfica do Embasamento Cristalino da Bacia de Taubaté (Tércio-Quaternário) é um dado fundamental para a avaliação da hidrodinâmica e do potencial hidrogeológico dos recursos hídricos subterrâneos dessa bacia.

Essa configuração topográfica pôde ser obtida a partir dos dados geológicos e dos dados dos poços tubulares profundos disponíveis. Utilizou-se, além disso, de informações fornecidas por 10 sondagens elétricas com alcance superior a 300 metros de profundidade e pela carta gravimétrica Bouguer executada por André Davino em 1965 – 1966.

A maior parte das sondagens elétricas indica estar o Embasamento Cristalino da região pesquisada em profundidades de 200 a 250 metros, exceto na área que denominamos **alto estrutural** de Caçapava, uma elevação do Embasamento, que aflora no município de Caçapava, e se estende, subaflorante, na direção NNE – SSW.

O mapa gravimétrico Bouguer apresenta uma anomalia positiva local que coincide com o **alto estrutural** de Caçapava.

Os dados dos poços profundos indicam claramente que a possibilidade de captação de água subterrânea de boa qualidade é maior no aquífero Caçapava, formação geológica superior do Grupo Taubaté. Assim sendo, traçou-se um círculo de 4 Km de raio tendo como centro a cidade de Caçapava. No interior desse círculo considerou-se desfavoráveis para o aproveitamento hídrico subterrâneo a área onde aflora ou subaflora o Embasamento Cristalino e a área onde poços tubulares podem penetrar o aquífero Tremembé, formação inferior do Grupo Taubaté, onde a experiência indica a baixa qualidade de suas águas.

¹ Realizado com auxílio da FAPESP: Projeto institucional de Hidrogeologia

² Engenheiro Geofísico pelo Institut Français du Pétrole, Pesquisador do IG-SP

Palavras-chave- métodos geofísicos em hidrogeologia, prospecção hidrogeológica da bacia de Taubaté.

GEOLOGIA

A cidade de Caçapava situa-se no vale do rio Paraíba do Sul, em terrenos pertencentes à Bacia de Taubaté, implantada em um gráben complexo, contendo sub-bacias definidas por basculamento de blocos longitudinais e por **altos** transversais do Embasamento. A Bacia de Taubaté é preenchida pelo Grupo Taubaté, constituído pelas Formações Tremembé, inferior, de ambiente lacustrino, e Caçapava, superior, de ambiente fluvial.

Quanto ao Embasamento Cristalino, as unidades mais antigas reconhecidas são: os Grupos Paraíba (pré-cambriano) e Açungui (pré-cambriano superior). A evolução dessas rochas, quanto às estruturas, metamorfismo e magmatismo, parece ser polifásica e policíclica. Essas rochas sofreram extenso sistema de falhas transcorrentes entre o final do Pré-Cambriano e o início do Paleozóico, originando expressivas faixas cataclásticas (IPT, 1978).

HIDROGEOLOGIA

A Formação Caçapava, por sua origem fluvial, contém camadas de sedimentos de mais alta permeabilidade em relação à Formação Tremembé, de origem lacustrina e contendo grande quantidade de argilitos e folhetos.

A configuração topográfica do Embasamento Cristalino é fator dominante na hidrodinâmica do aquífero. A espessura e a geometria dos sedimentos dependem dessa configuração.

Em princípio, é a Formação Caçapava que fornece a água de melhor qualidade. Matéria orgânica contida nos sedimentos da Formação Tremembé compromete essa qualidade.

A tabela abaixo resume os dados fornecidos pelos poços existentes por ocasião da presente pesquisa. Os números que designam esses poços são os que constam da SABESP – Companhia de Águas e Saneamento Básico de São Paulo.

POÇOS (SABESP)	ALTITUDE DO EMBASAMENTO CRISTALINO (METROS)
P 21	460
P 15	430
P 12	410
P 22	420
P 21-A	360
P 17	340
P 18	320
P 19	320

GRAVIMETRIA

O mapa gravimétrico Bouguer do Vale do Paraíba, executado por André Davino em 1965 – 1966, (figura1), apresenta uma anomalia local positiva ou “pesada” (de lourde, em francês), indicando uma estrutura geológica mais densa que os sedimentos do Grupo Taubaté. Essa anomalia coincide com o **alto estrutural** de Caçapava, uma elevação no Embasamento Cristalino que aflora na área urbana a oeste do município.

SONDAGEM ELÉTRICA

Uma sondagem elétrica consiste em uma sucessão de medidas de resistividade elétrica (dita resistividade aparente), feitas com uma separação crescente dos eletrodos, permanecendo fixos o centro da configuração e sua direção. A variação na resistividade aparente é causada essencialmente pela penetração crescente da corrente elétrica na terra.

No levantamento feito na área pesquisada foi utilizada a configuração de eletrodos Schlumberger, um quadripodo AMNB, no qual a distância entre os eletrodos de corrente A e B é aumentada, permanecendo, em princípio, infinitamente pequena a distância entre os eletrodos de potencial M e N. No levantamento realizado, o comprimento da linha foi AB = 400 a 800 m. O instrumento utilizado emprega corrente alternada de 0,4Hz e 5 Watts de potência.

As rochas e o solo possuem condutividade eletrolítica, graças às soluções salinas sempre presentes, em maior ou menor quantidade, em seus poros e fissuras. Essa condutividade eletrolítica das rochas obedece à lei de Ohm e permite definir o parâmetro

resistividade que as caracterizam. Esse parâmetro depende da porosidade, da umidade e do conteúdo de sais dissolvidos na água.

Quando um terreno é formado de “estratos” horizontais a resistividade aparente obtido na superfície com um dispositivo Schlumberger se exprime pela integral de Stefanescu:

$$\tilde{n}_s(r) = \int_0^{\infty} FS(\tilde{n}_i, h_i, \tilde{e}) \times J_1(\tilde{e}r) d\tilde{e}$$

onde:

FS é a função de estratificação que depende da resistividade ρ_i e da espessura h_i de cada uma das camadas.

J_1 é a função de Bessel de ordem 1 que depende do parâmetro de expansão do dispositivo ($r = AB/2 =$ meia distância entre os eletrodos de corrente).

Essa integral não pode ser expressa no caso geral com auxílio de funções elementares e diversos métodos foram utilizados para resolver o problema de seu cálculo numérico:

1. Método de série ou de imagens, preconizado por Mooney et al (1966);
2. Métodos expostos por Flathe (1955), C.G.G (1955) e Kunetz (1966);
3. Métodos modernos da convolução têm vantagem de poderem ser aplicados, quaisquer que sejam as espessuras dos terrenos, e de utilizarem um tempo de cálculo que não aumenta demais com o número de terrenos. Esses métodos consistem em efetuar na equação a mudança com a variável seguinte:

$$x = \log r \qquad y = \log \frac{1}{\tilde{e}}$$

Nota-se então que a resistividade aparente é o produto de convolução de 2 funções: uma f ligada à função de estratificação, outra g à função de Bessel:

$$\tilde{n}_s(\log r) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \times g(x - y) dy$$

Existem alguns procedimentos de realização numérica , seja em convolução simples, como C.G.G (1955), Kunetz, Koefoed e, posteriormente, Ghosh (1971, a, b) seja, convolução cíclica, como em Griveau (1977).

A figura 2 apresenta a localização das estações de sondagens elétricas e dos poços tubulares profundos existentes.

Na figura 3 tem-se os perfis geoeletricos das 10 sondagens elétricas e a interpretação em termos geológicos. De SE 1 a SE 7 tem-se profundidades de 200 a 250 metros de sedimentos. As SE 8, 9 e 10, situam-se em áreas de influência do **alto estrutural** de Caçapava: a SE 8 corresponde a um afloramento de gnaiss decomposto (notar as resistividades com valores bem dissonantes); a SE 9 atinge o Embasamento Cristalino a apenas 70 metros de profundidade, e a SE 10 o atinge a 150 metros.

No quadro a seguir tem-se os valores da altitude do Embasamento obtido a partir da interpretação das sondagens elétricas.

SONDAGEM ELÉTRICA	ALTITUDE DO EMBASAMENTO CRISTALINO (METROS)
SE 1	395
SE 2	370
SE 3	320
SE 4	320
SE 5	360
SE 6	310
SE 7	325
SE 8	555
SE 9	485
SE10	425

CONFIGURAÇÃO TOPOGRÁFICA DO EMBASAMENTO CRISTALINO E ÁREAS MAIS FAVORÁVEIS À CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

A partir dos dados geológicos de superfície, topográficos, de poços profundos, de gravimetria e de sondagens elétricas, foi possível traçar a carta da **configuração topográfica do Embasamento Cristalino de Caçapava e arredores** (figura 5). Nota-se nessa carta o **alto estrutural** alongado de Caçapava, que funciona como um **divisor de águas** de direção NNE – SSW, linear, no Embasamento, com altitudes acima dos 550 metros. Tanto num flanco como noutro desse **divisor**, o Embasamento mergulha e atinge altitudes abaixo dos 300 metros.

Em princípio, as áreas mais favoráveis à captação de água subterrânea seriam aquelas situadas nesses “vales” do Embasamento Cristalino com altitudes inferiores a 300 metros. As áreas menos favoráveis corresponderiam ao **divisor de águas** com altitudes acima dos 550 metros. (Vide figura 5). A faixa distal ao longo dos subafloramentos apresenta acentuado declive.

Partindo da premissa de que o potencial hídrico subterrâneo é maior onde a coluna saturada de sedimentos é mais espessa, o que já está comprovado na prática pelos dados fornecidos pelos poços perfurados, e de que a qualidade da água tende a ser melhor no aquífero Caçapava, traçou-se um círculo ao redor de Caçapava, com raio arbitrário de 4 Km e assinalou-se, no interior desse círculo, as áreas, teoricamente, mais e menos favoráveis à captação de água subterrânea. Além do **alto estrutural**, considerou-se também desfavoráveis as áreas onde estão presentes sedimentos da Formação Tremembé.

As áreas excluídas, no entanto, devem ser levadas em conta em situações em que as vazões ou a qualidade das águas não sejam fundamentais. Para o abastecimento público, porém, as áreas excluídas não devem, em princípio, ser utilizadas como locais de captação de água subterrânea.

É recomendável que os poços tubulares profundos atinjam o Embasamento Cristalino e penetrem-no uma ou duas dezenas de metros.

O projeto do poço deve ter como base os resultados de perfilagens geofísicas, pois que, diante do fato dos sedimentos serem de granulometria variada (argilas, arenitos, siltitos, cascalhos, etc), os pré-filtros e filtros deverão ser muito bem dimensionados.

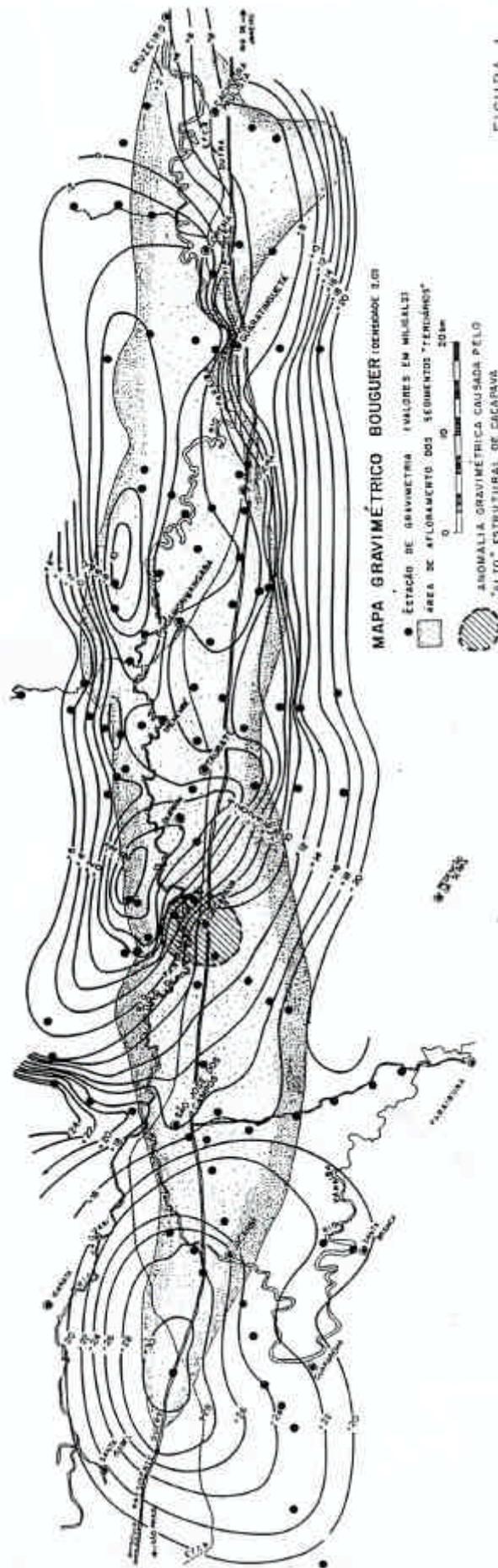


FIGURA 1

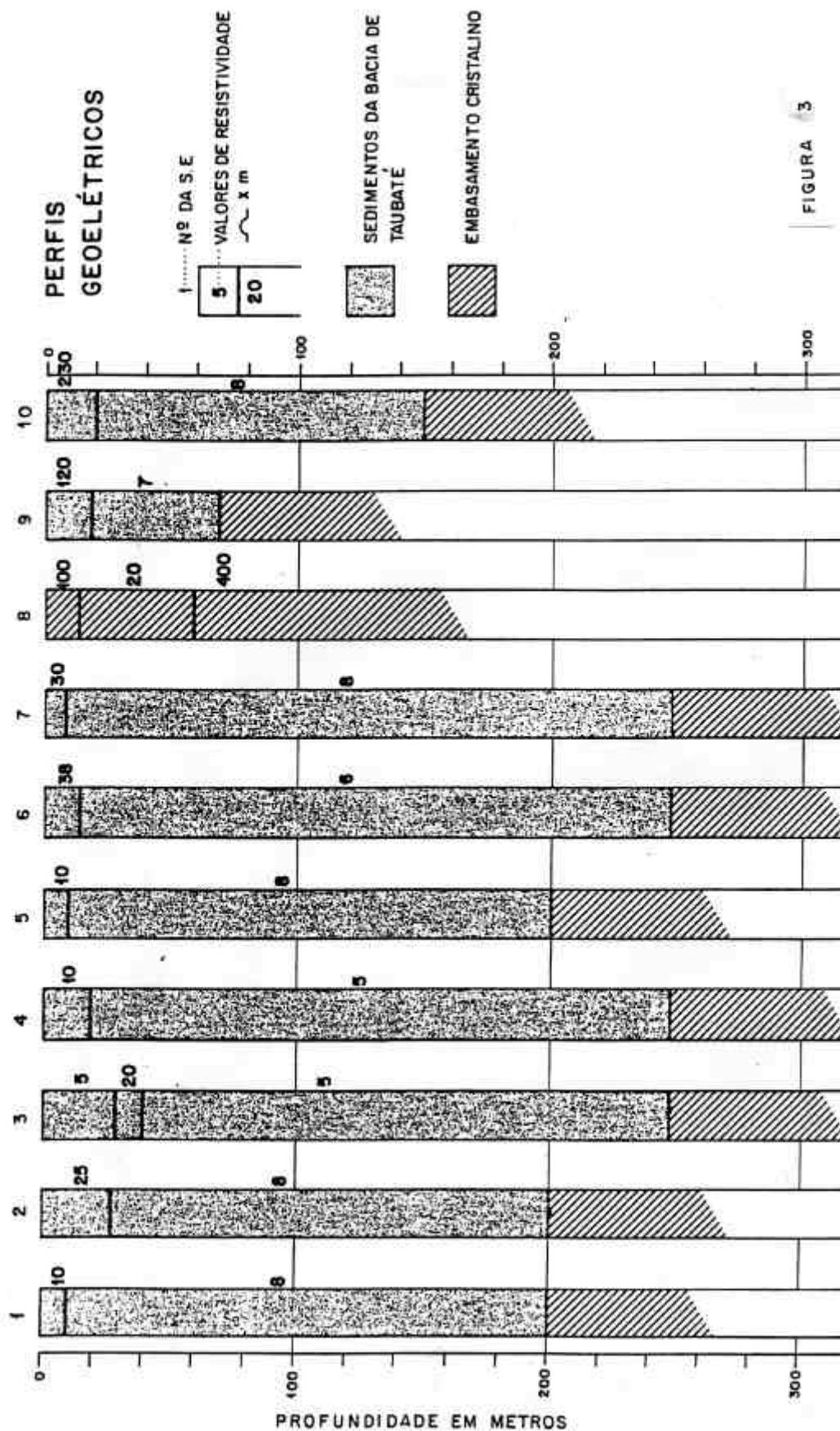


FIGURA 3

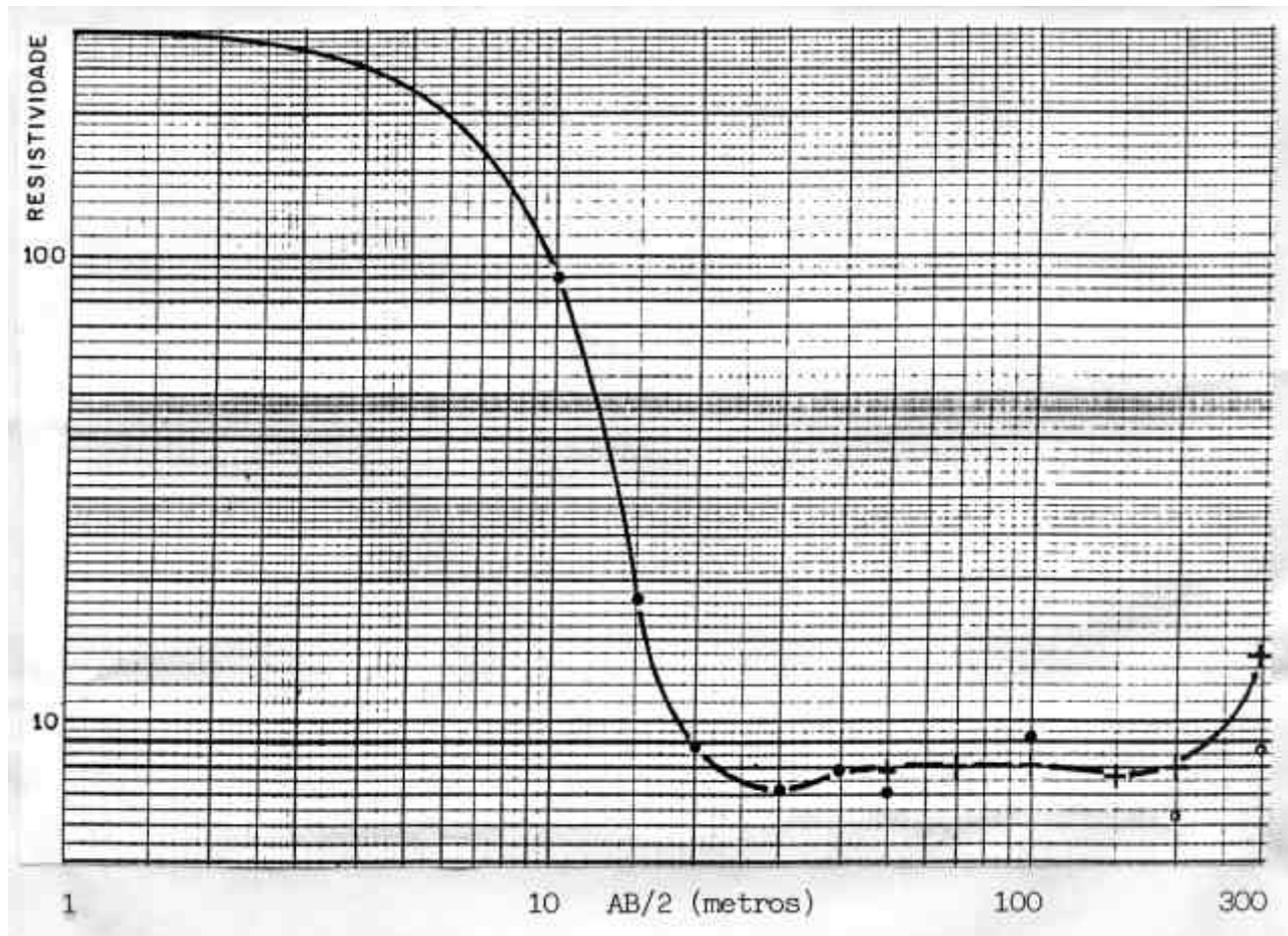


Figura 4. Exemplo de uma curva de sondagem elétrica típica da área pesquisada. Sondagem Elétrica nº 5, altitude do centro do arranjo: 560 metros; embasamento a 200 metros de profundidade.



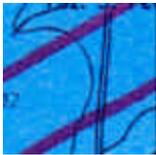
LEGENDA



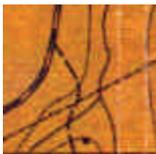
AFLORAMENTO OU SUBAFLORAMENTO DO EMBASAMENTO CRISTALINO ("ALTO ESTRUTURAL DE CAÇAPAVA").



CURVAS DE NÍVEL DA POSSÍVEL CONFIGURAÇÃO DO EMBASAMENTO CRISTALINO (VALORES EM METROS).



FÁCIES LACUSTRINA DA FORMAÇÃO TAUBATÉ COM COBERTURA DA FÁCIES FLUVIAL MENOR QUE VINTE METROS.



ÁREA MAIS FAVORÁVEL À CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA POR MEIO DE POÇOS TUBULARES PROFUNDOS.

Figura 5. Configuração topográfica do embasamento cristalino da Bacia de Taubaté nos Arredores de Caçapava (SP).

Fonte: Carta do Brasil SF-23-Y-D-11-2

BIBLIOGRAFIA

- C.G.G. (1955) *Abaques de sondages életriques*. Geophysical prospecting, vol. 3, supplément n° 3.
- FLATHE, H. (1955) *A practical method of calculating geoelectrical model graphs for horizontal media*. Geophysical Prospecting, vol. 3 pp. 266 – 294.
- KUNETZ, G. (1966) *Principles of direct current resistivity prospecting*. Geoexploration Monographs, Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- GHOSH, D. P. (1971a) *The application of linear filter theory to the direct interpretation of geoelectrical resistivity sounding measurements*. Geophysical Prospecting, vol. 19, pp. 192 –217.
- GRIVEAU, P. (1977) *Computation of geophysical correspondences through cyclic convolutions: application to electrical sounding curves*. EAEG, Zagreb. Abstract in Geophysical Prospecting, vol. 25, n° 3.
- MOONEY et al (1966) *A resistivity computing procedure for layered earth models*. Geophysics, vol. 31, pp. 192 – 203.
- I.P.T. – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1978) *Geologia da Região Administrativa 3 (Vale do Paraíba) e de parte da Região Administrativa 2 (Litoral) do Estado de São Paulo*. Monografia 1,78 p,1 mapa geológico em encarte separado. São Paulo.