

POR

J.R. de Araújo<sup>1</sup>, e S.G. de Azevedo<sup>1</sup>

Resumo--Inserido no projeto Grande Carajás, o Complexo Industrial Albrás/Alunorte torna-se um dos grandes responsáveis pelo desenvolvimento da região Amazônica, gerando divisas e tornando o Brasil auto-suficiente na produção de alumínio.

Apesar de situar-se numa região privilegiada em termos de recursos hídricos superficiais, os estudos preliminares de avaliação hidrogeológica/hidroológica permitiram concluir ser a captação por água subterrânea a alternativa economicamente mais viável para abastecimento do referido Complexo Industrial.

Assim sendo, foram então analisados os poços existentes - construídos na fase inicial da obra - bem como levados a efeito a perfuração de novos poços e também de piezômetros.

A análise das perfurações, a interpretação dos testes de bombeamento, assim como os dados técnicos de poços existentes, serviram de base para avaliação do comportamento local do aquífero Barreiras.

#### INTRODUÇÃO

A região abrangida pela Ilha de Marajó e circunvizinhas, da qual faz parte o município de Barcarena tem sido objeto de constantes investigações hidrogeológicas com a finalidade de se conhecer as potencialidades dos aquíferos locais.

Dentro desse contexto podem ser citados os trabalhos desenvolvidos na Ilha de Marajó pelo IDESP (1974), CAVALCANTI (1979), BÉZERRA (1979), NCGG (UFPa) e outros, somando-se agora os trabalhos desenvolvidos pelo IPT, na localidade de Vila do Conde, margem oriental da Ilha, separada pela Baía de Marajó.

O presente trabalho faz parte das investigações realizadas para abastecimento do Complexo Industrial da Albrás. As sondagens de reconhecimento, as perfurações dos poços e os ensaios realizados, permitiram individualizar e definir hidrogeologicamente o aquífero Barreiras superior e inferior, e ao mesmo tempo mostrar o elevado teor de ferro existente no nível inferior, comparativamente ao nível superior, como uma característica marcante entre estas duas águas.

<sup>1</sup>Geólogos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT

A área estudada está localizada no município de Barcarena, estado do Pará, distante cerca de 30 km a SW de Belém e situa-se entre os paralelos 2°00' e 1°30' e os meridianos 48°30' e 49°00', conforme mostrado na Figura 1.

O acesso principal é feito a partir de Belém, por via fluvial, podendo a área ser atingida também por via aérea através de helicópteros e pequenos aviões, e por via terrestre, através da Rodovia Belém-Brasília.

#### GEOLOGIA - ASPECTOS GERAIS

Na região em estudo, ocorrem sedimentos cenozóicos do mioceno inferior correspondentes à Formação Pirabas, sedimentos de idade miocênica-pliocênica da Formação Barreiras e sedimentos aluvionares atuais e sub-atuais, datados do Quaternário.

A Formação Pirabas é constituída predominantemente por calcários ricos em fósseis, alternados com níveis arenosos e argilosos. Apresenta-se geralmente em camadas horizontais, com espessuras bastante variáveis. Seu ambiente de deposição, segundo PETRI e OLIVEIRA (1952) apud MENDES (1956) é marinho, de águas profundas, próximo ao litoral.

A Formação Barreiras é um conjunto de sedimentos continentais, afossilíferos, que ocorre em grande parte da costa brasileira, desde o Rio de Janeiro até o Pará. Encontra-se, na área, sobreposta à Formação Pirabas, em contato discordante com esta.

Litologicamente é constituída, predominantemente, por arenitos finos, argilosos, com intercalações areníticas e conglomeráticas com grande variação de fácies no sentido vertical e horizontal.

Os sedimentos do Quaternário são representados por aluviões atuais e sub-atuais, constituídos predominantemente por areias, siltes, argilas e cascalhos, localizados principalmente nos vales dos rios e igarapês que drenam a região. É muito comum a ocorrência de restos vegetais e, raramente, conchas de moluscos.

#### GEOLOGIA LOCAL

A Figura 2 mostra uma correlação entre as diversas sondagens efetuadas na área. As perfurações realizadas atingiram um máximo de 250 m de profundidade e a análise das amostras de calha, revela que existe uma heterogeneidade dos sedimentos ao longo do perfil atravessado.

Assim, observa-se que no intervalo entre 0 e 100 m, a sequência sedimentar se caracteriza pela presença de material argiloso a siltoso, observando-se também intercalações de níveis ferruginos

A partir dos 100 m até a profundidade de 210 m, ocorre um aumento progressivo na granulometria desses sedimentos, com presença de arenitos médios a grosseiros, principalmente na porção basal. A partir de 210 m, voltam os sedimentos a apresentar uma granulometria mais fina, relativamente à anterior, com intercalações de folhelhos de coloração azul-esverdeada, dispostos em forma laminar.

As perfurações não atingiram a Formação Pirabas, sotoposta, motivo pelo qual não se consegue definir a espessura exata dos sedimentos sobrepostos.

#### CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO LOCAL

Em função do comportamento litológico, identifica-se na área da Albrás a ocorrência de duas formações aquíferas; uma superior, com níveis arenosos finos a médios, de espessura variável, e com fortes intercalações argilosas, recoberta por sedimentos recentes, e outra inferior com matriz argilosa, grosseira na sua porção média, e mais fina e com níveis argilosos à medida que se aprofunda. Ambos os aquíferos são semiconfinados; o superior, por siltitos e argilas presentes nos sedimentos recentes, enquanto o inferior o é por argilas e uma camada laterítica presente na base do aquífero superior.

Ambos constituem o sistema aquífero Barreiras.

As sondagens realizadas na área revelaram que os sedimentos aí presentes, mostram uma variação lateral de fácies, principalmente no intervalo de 0 a 80 m conforme mostrado nos perfis da Figura 2. Observa-se a partir da sondagem E e em direção a sondagem D uma descontinuidade das camadas aquíferas, observando-se na sondagem D, o total desaparecimento das mesmas. Os níveis arenosos são mais constantes no aquífero inferior, cuja espessura total não foi detectada, haja visto que a sondagem C, com 250 m de profundidade, não atingiu o topo da Formação Pirabas, subjacente.

Vale salientar que no âmbito local, esses sedimentos variam litologicamente e de espessura, tanto ponto a ponto como determinadas direções, o que é típico de ambiente estuarino. Assim sendo, observa-se a presença de carvão vegetal (linhito) nas sondagens a oeste do complexo, conforme visto nos perfis da Figura 2. Há registros de companhias perfuradoras que trabalham na região, mostrando uma variação espacial desses sedimentos, consequentemente impedindo uma maior extrapolação dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos.

As camadas argilosas que semiconfinam o aquífero superior, têm espessuras as mais variadas, enquanto as que semiconfinam o aquífero inferior, são melhor identificadas conforme deduzidas das sondagens A, B e C mostradas na Figura 2, cuja média de espessura é da ordem de 51 m. Vale salientar que dentro desse pacote existem pequenas intercalações arenosas, que não são consideradas.

Dentro desse contexto hidrogeológico, vale ressaltar a forte influência exercida pelas águas da Baía de Marajó sobre os aquíferos locais, haja visto situar-se a uma distância não superior a 1,5 km da área de bombeamento. Observações efetuadas em poços do aquífero superior, mostram oscilações do nível piezométrico influenciado pelas marés.

#### O AQUÍFERO BARREIRAS

O aquífero Barreiras, aqui sub-dividido em inferior e superior, mostra uma característica marcante entre esses dois níveis, que é a concentração de ferro total em suas águas. Enquanto no aquífero superior esta concentração não ultrapassa 1,0 mg/L, no inferior chega a atingir valores superiores a 10 mg/L.

Isto também se verifica em áreas adjacentes à Albrás.

O aquífero superior, que tem no topo os sedimentos recentes está compreendido, via de regra, no intervalo entre 15 e 70 m, enquanto o aquífero inferior tem seu topo em geral, a partir dos 110 m, porém a sua base não foi detectada na área, onde a profundidade máxima investigada foi da ordem de 250 m.

#### PROPRIEDADES HIDRÁULICAS DO AQUÍFERO SUPERIOR

No aquífero superior, só foi possível a realização de um único ensaio de bombeamento, tendo sido bombeado o poço G-2 e observado o poço G-3.

Os valores de T e S foram obtidos a partir da interpretação da curva de rebaixamento x tempo do poço G-3.

Os testes foram interpretados segundo os métodos de JACOB, da linha reta, e o de HANTUSH (1956) que leva em conta o efeito de drenança em aquíferos semiconfinados, regime transitório e com penetração total.

Assim sendo, os parâmetros hidrodinâmicos foram obtidos segundo as seguintes equações:

JACOB:

$$T = \frac{0,183 Q}{\Delta s} \quad (1)$$

$$S = \frac{2,25 T t_0}{r^2} \quad (2)$$

HANTUSH:

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(u, r/b) \quad (3)$$

$$S = \frac{4Ttu}{r^2} \quad (4)$$

$$B = r / (r/b) \quad (5)$$

Os parâmetros encontrados são mostrados nas Figuras 3 e 4, e sumarizados na Tabela 1. Os valores admitidos como representativos do aquífero superior são aqueles calculados através da equação de HANTUSH com curvas tipo de WALTON, que são os seguintes:

$$T = 16,19 \text{ m}^2/\text{h}$$

$$S = 5,19 \times 10^{-4}$$

$$B = 400 \text{ m}$$

#### PROPRIEDADES HIDRÁULICAS DO AQUÍFERO INFERIOR

Da mesma forma que no aquífero superior, as propriedades hidráulicas do aquífero inferior foram calculadas segundo os métodos de JACOB e HANTUSH. Tendo em vista o desconhecimento da espessura do aquífero, não se contempla o efeito de penetração parcial dos poços testados.

Assim sendo, e conforme mostrado na Tabela 1, os valores médios admitidos para o aquífero inferior, segundo HANTUSH (1956), foram da seguinte ordem:

$$T = 55,83 \text{ m}^2/\text{h}$$

$$S = 3,76 \times 10^{-4}$$

$$B = 1 \text{ 000 m}$$

#### PERMEABILIDADE DA CAMADA SEMICONFINANTE

De acordo com os perfis litológicos mostrados na Figura 2, tem-se para os poços G-2 e G-3 uma espessura  $b'$  para o aquífero, da ordem de 11 m, enquanto que para os poços B e C a espessura média é da ordem de 51 m.

Assim sendo, e considerando a transmissividade calculada pelo método de HANTUSH, a partir dos ensaios de bombeamento realizados nos poços G-2 e G-3 (aquífero superior), tem-se uma condutividade hidráulica da seguinte ordem:

$$B^2 = \frac{T \cdot b'}{K'} \dots K' = \frac{T \cdot b'}{B^2} = \frac{16,19 \times 11}{(400)^2} = 1,1 \times 10^{-3} \text{ m/h}$$

Conforme mostrado na Tabela 1, os valores médios da transmissividade e drenança segundo HANTUSH/WALTON, para o aquífero inferior, a partir dos ensaios de bombeamento nos poços B e C, propor-

cionam uma permeabilidade para o mesmo, da seguinte ordem:

$$K' = \frac{T \cdot b'}{B^2} \dots K' = \frac{55,83 \times 51}{(1 \text{ 000})^2} = 2,85 \times 10^{-3} \text{ m/h}$$

#### CONCLUSÕES

- As condições hidrogeológicas locais são bastante promissoras em termos de abastecimento por água subterrânea, podendo-se prever poços com vazões compreendidas entre 200 e 300 m<sup>3</sup>/h para rebaixamentos não superiores a 40 m nos poços com profundidades da ordem de 200 m. Para os poços rasos, com profundidades de até 80 m, podem ser obtidas vazões compreendidas entre 50 e 100 m<sup>3</sup>/h, para rebaixamentos não superiores a 20 m.

- Devido à descontinuidade lateral dos sedimentos na área da Albrás, torna-se necessário a execução de sondagens de reconhecimento para detectar as melhores áreas para implantação de novas unidades, além de permitir a identificação de possíveis barreiras impermeáveis.

- De uma maneira geral as águas dos dois aquíferos são agressivas. No superior, o pH é inferior a 5,0 enquanto que no inferior situa-se próximo de 6,0. Quanto ao ferro total não há restrições para o aquífero superior, enquanto no inferior há registros de até 15 mg/L de Fe<sup>+2</sup> no poço B.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Diretoria da Albrás - Alumínio Brasileiro S.A. pela cessão dos direitos de publicação deste trabalho.

#### REFERÊNCIAS

- BOWER, H. Groundwater hydrology. Tokio, McGraw Hill, 1978. 480p.
- GUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M.R. Hidrologia subterrânea. Barcelona, Edições Omega, 1976. 1157p.
- HANTUSH, S.M. Hydraulics of wells. London, the MacMillan Press, 1976. 331p.
- HUISMAN, L. Groundwater recovery. London, the MacMillan Press, 1972. 331p.
- MENDES, J.C. & PETRI, S. Geologia do Brasil. Rio de Janeiro, Instituto Nacional do Livro, 1971. 209p.il. (Enciclopédia Brasileira).
- MUSKAT, M. The flow of homogeneous fluids through porous media. New York, McGraw Hill, 1937. 763p.

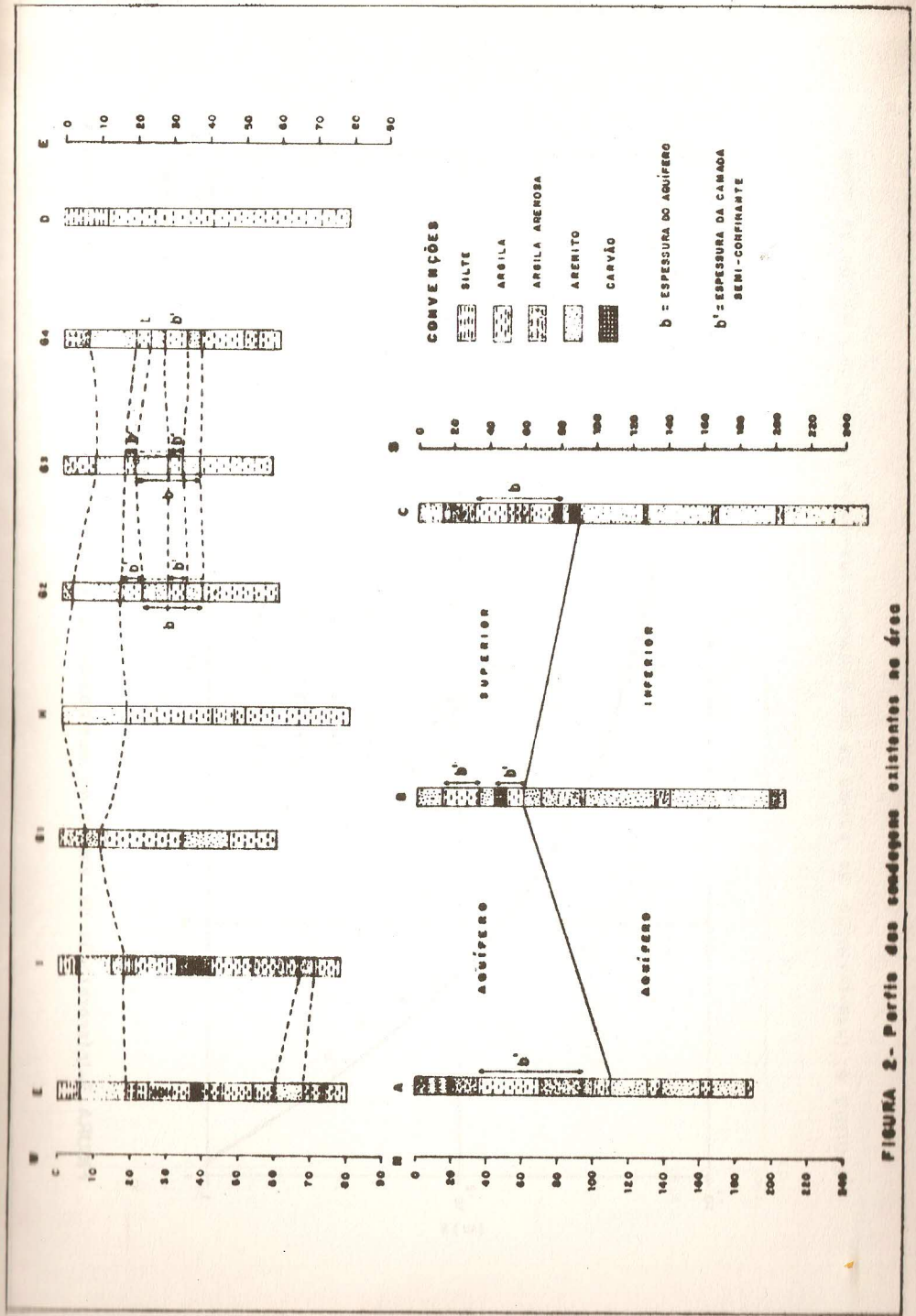
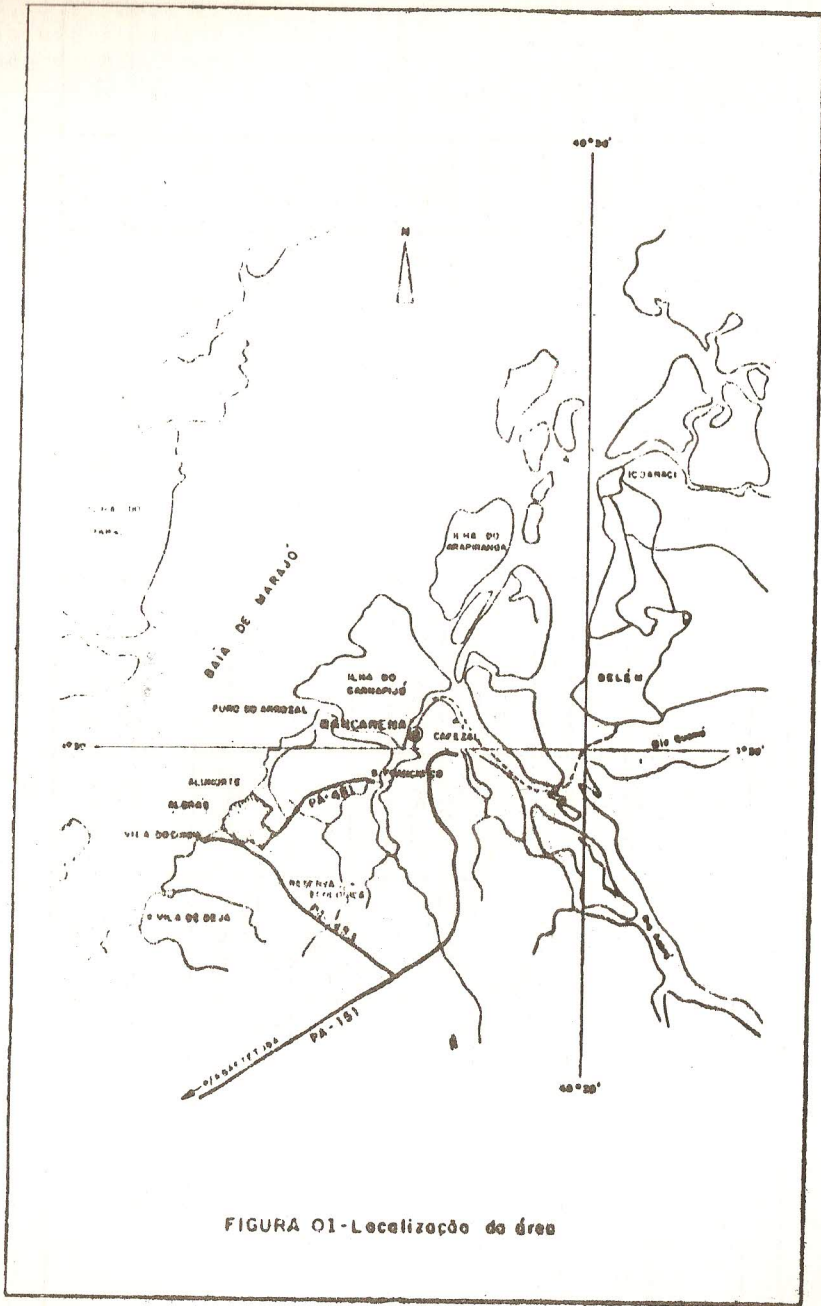
SANTOS, J.P. dos; AZEVEDO, S.G. de; ARAÚJO, J.R. de. "Caracterização hidráulica do Aquífero Barreiras na Costa Oriental do Estado do Rio Grande do Norte". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 4, Belo Horizonte, 1984. Anais. v2,p.349-360.

TERZAGHI, K. & PECK, R. Mecânica dos solos na prática de engenharia. Trad. por Antonio José da Costa Nunes e Maria de Lourdes Campos Campelle, Rio Janeiro, do Livro Técnico, 1962.659p.il.

WALTON, W.C. Groundwater resource evaluation. New York, McGraw-Hill, 1962. 664p.

"Tabela 1. Síntese dos dados obtidos dos ensaios de bombeamento".

Poços	Rebaixamento x Recuperação	Métodos	T (m <sup>2</sup> /h)	S	B (m)	K (m/h)	K' (m/h)	b (m)	b' (m)
Poço de observação G-2 r = 80,0 m	Reb.	JACOB	19,86	$4,65.10^{-4}$	-	-	-	-	-
		HANTUSH	16,19	$5,19.10^{-4}$	400	1,35	$3,0.10^{-3}$	12	11
		WALTON	61,25	$2,4.10^{-4}$	-	-	-	-	-
Piezômetro B-1 r = 131,0 m (1)	Reb.	HANTUSH	56,47	$2,8.10^{-4}$	1310	-	-	-	-
		WALTON	61,25	$3,07.10^{-4}$	-	-	-	-	44
		JACOB	52,94	$2,96.10^{-4}$	873	-	-	-	-
Piezômetro C-1 r = 109,0 m (2)	Reb.	JACOB	61,0	$3,27.10^{-4}$	-	-	-	-	-
		HANTUSH	57,87	$4,6.10^{-4}$	1090	-	-	-	-
		WALTON	55,24	$6,3.10^{-4}$	-	-	-	-	58
Valores Médios (1) + (2)	Rec.	JACOB	56,02	$4,7.10^{-4}$	727	-	-	-	-
		HANTUSH	59,69	$3,74.10^{-4}$	-	-	-	-	-
		WALTON	55,83	$3,76.10^{-4}$	1000	-	$2,8.10^{-3}$	-	51



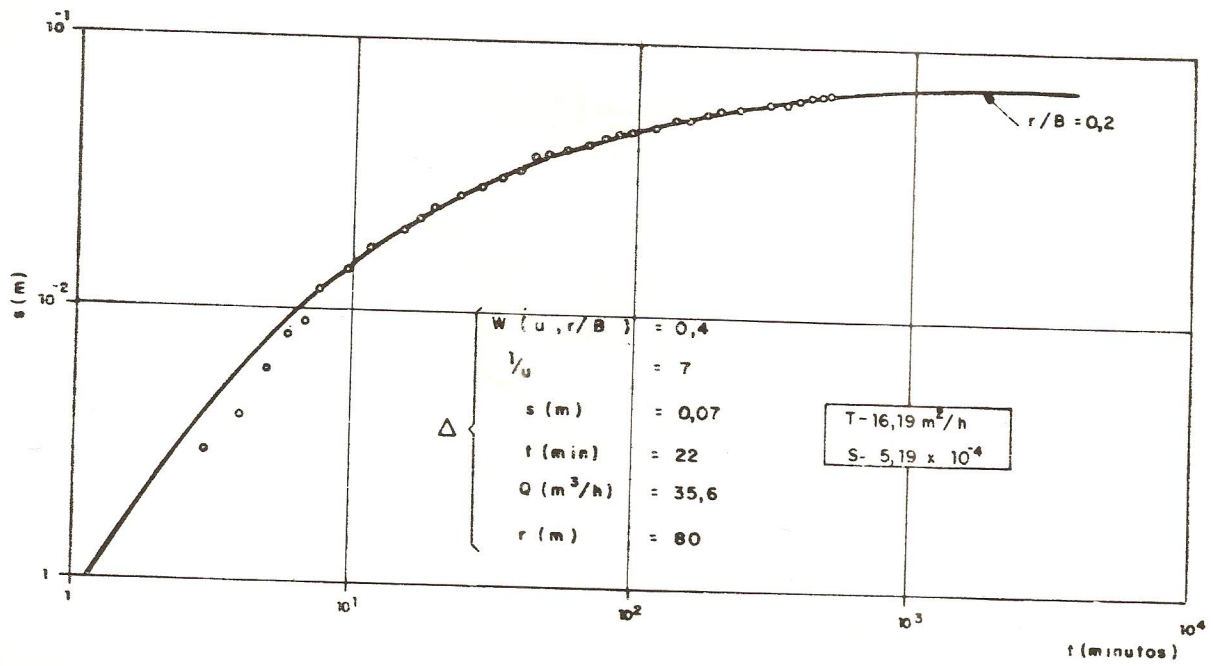


FIGURA 3-Interpretação de ensaio de bombeamento realizado no poço G-3. Método Hantush-Walton.

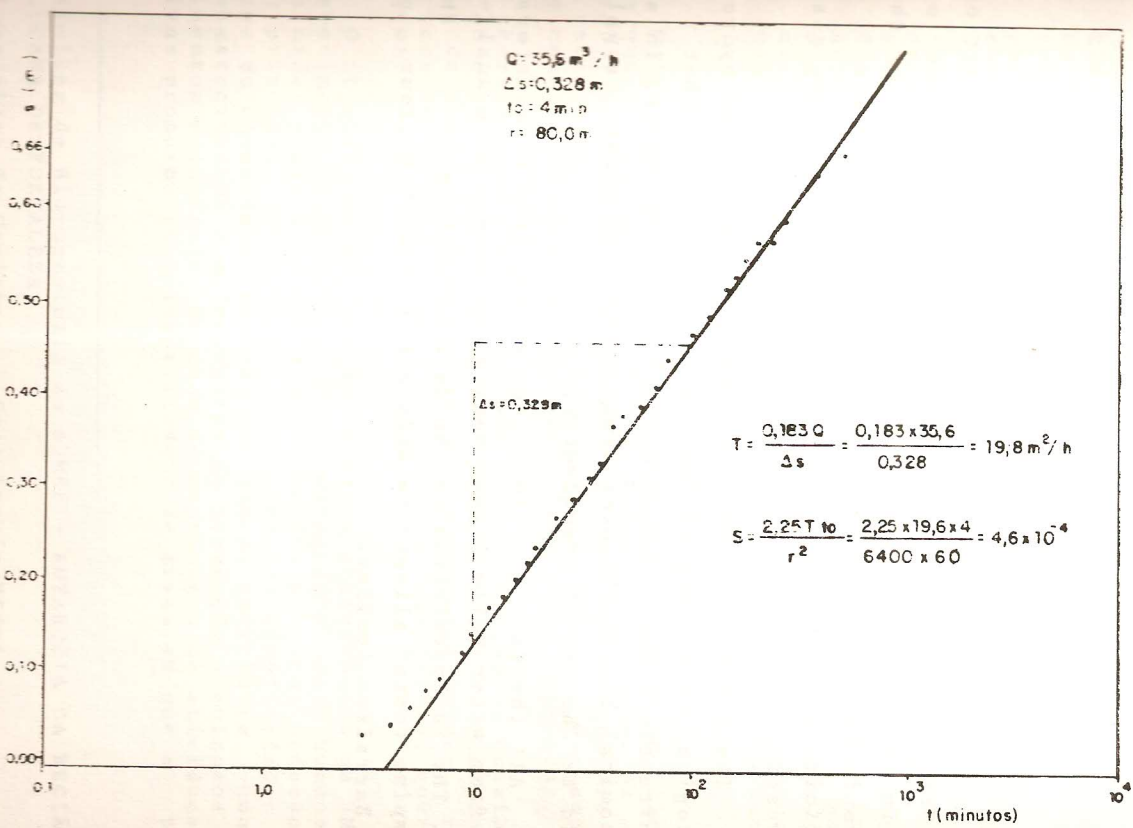


FIGURA 4- Interpretação de ensaio de bombeamento realizado no poço G-3. Método de Jacob.

ABSTRACT

The Albrás/Alunorte industrial plant which is part of the Grande Carajás project has been pointed out as one of the important plants for the economical development of the Amazonia region. Its activities have produced the self-sufficiency for the Brazilian needs in aluminium and also increasing the national exports.

The first assessments of the hydrological and hydrogeological conditions of the plant of area showed that, despite the singular resources of superficial water, in an economical basis, the best approach for the plant supply would be the use of groundwater.

All the data existing water wells, from piezometers and from water wells digged during our survey were analyzed. The interpretation on the data as well as of the "pumping tests" allowed to deduce the local behaviour of the Barreiras Aquifer.