

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO MACIÇO ROCHOSO DA JAZIDA CACHOEIRA, CAETITÉ, BA

JOÃO ALBERTO BOTTURA
JOSÉ LUIZ ALBUQUERQUE FILHO
LUIZ MASSAYOSI OJIMA

Geólogo: da Divisão de Minas e Geologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT
Estudo executado para Empresas Nucleares Brasileiras - NUCLEBRÁS

RESUMO

Neste trabalho, destacamos a aplicação da hidrogeologia em projetos para caracterização de maciços rochosos onde serão implantadas obras de mineração.

O estudo foi desenvolvido na jazida uranífera Cachoeira (Anomalia 13 - Projeto Lagoa Real), localizada no centro-sul da Bahia município de Caetité, pertencente a Empresas Nucleares Brasileiras NUCLEBRÁS.

O maciço rochoso da área da jazida é composto por um conjunto de rochas classificáveis genericamente como gnaisses, que apresentam diferentes classes geotécnicas.

Para consubstanciar a sua caracterização hidrogeológica/hidrogeotécnica, foram efetuados ensaios de bombeamento e infiltração, além de medições periódicas do nível d'água em piezômetros e furos de sondagem. Assim, foi possível efetuar a compartimentação hidrogeotécnica e avaliar quantitativamente o volume de água que será drenado, fornecendo subsídios necessários para a implantação de cavais de pesquisa e exploração.

INTRODUÇÃO

Nos projetos de mineração a água subterrânea pode ocasionar diversos problemas e neste trabalho os autores procuram destacar a aplicação da hidrogeologia na solução daqueles que podem influenciar diretamente o processo de lavra, quer pelas subpressões atuais, quer pelos volumes que deverão ser drenados.

Assim, torna-se necessário que, ainda na fase de estudos de viabilidade de implantação da mineração, sejam efetuados estudos dirigidos à caracterização hidrodinâmica do maciço mineralizado.

Este trabalho consta de uma síntese dos conhecimentos geológicos e geotécnicos da área, os trabalhos realizados, os dados obtidos e a interpretação dos resultados.

ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

Aspectos geológicos

As rochas presentes na área da jazida são classificadas genericamente como gnaisses. As texturas presentes são granoblástica,

gnáissica, augen, porfiróide e cataclástica; a granulação pode ser fina, média, grossa e bimodal; os minerais envolvidos são plagioclásio (albita), microclínio, quartzo, piroxênio, anfibólio, biotita, magnetita, granada e outros. Das combinações destes elementos resulta vasta gama de tipos petrográficos, a mineralização de urânio corre predominantemente associada aos albititos com piroxênio. Os corpos tem dimensões e associações variadas, com passagens transitórias ou abruptas, até em escala de afloramento.

Em relação às estruturas destacam-se na área a foliação, as lineações, pequenas zonas cisalhadas e juntas com variadas famílias.

Os aspectos mineralógicos, texturais e estruturas da área da jazida são indicativos de deformações, recristalizações e remobilizações bastante acentuadas, condizentes com condições de fácies anfibolito, que afetaram um conjunto litológico pré-existente.

Aspectos geotécnicos

Os estudos efetuados na área da jazida permitiram compartilhar o maciço em: aluvião, solo coluvionar, solo de alteração de rocha e maciço rochoso (FIGURA 1).

O maciço rochoso foi dividido em três classes (Classes I, II e III), mediante uma associação paramétrica envolvendo graus de alteração, fraturamento, recuperação e RQD. Os parâmetros utilizados foram aqueles obtidos pela análise dos testemunhos de sondagens.

Basicamente cada classe de maciço apresenta as seguintes características geotécnicas:

Classe I - caracteriza uma rocha sã, ou praticamente sã, pouco ou medianamente fraturada e com valores de RQD e recuperação acima de 75%.

Classe II - caracteriza uma rocha que possui qualidades geotécnicas intermediárias às das Classes I e III. A rocha pode ser praticamente sã, exibindo nestes casos altos graus de fraturamento e RQD variáveis.

Classe III - os parâmetros que constituem esta classe caracterizam geralmente um maciço com qualidades geotécnicas pobres, isto é, a rocha apresenta-se alterada, muito fraturada e com baixos valores de RQD.

Quanto à distribuição das classes de maciço rochoso na jazida, verifica-se que abaixo da cota 835 m, o maciço está constituído em sua quase totalidade, por Classe I. Da cota 835 a 855 há uma diminuição gradual da Classe I, que passa a ocupar cerca de 50% da área e as classes II e III distribuem-se numa faixa segundo a direção NW-SE, ocupando cerca de 30% da área total estudada.

Acima da cota 855 m até a superfície do topo rochoso há um considerável decréscimo da Classe I, passando a ocupar apenas a parte sul e sudoeste da área, à medida que se atingem cotas mais elevadas. As classes II e III se distribuem segundo uma faixa de direção E-W, passando a predominar na área.

O conjunto de solo de alteração, solo coluvionar e aluvião constitui um pacote pouco espesso, não ultrapassando em média 10 metros.

CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DO MACIÇO

Para que fosse consubstanciada a caracterização hidrogeológica e hidrogeotécnica da área estudada, e daí avaliar a parcela do fluxo subterrâneo que será drenado pelas cavas de pesquisa e exploração.

ração, foram executados ensaios de bombeamento-com observação simultânea em piezômetros instalados a várias distâncias do poço e em três direções diferentes - de infiltração a nível variável e medições periódicas do nível d'água em furos de sondagens pré-existent.

Os ensaios foram efetuados nas três principais zonas mineralizadas do maciço, que para o presente estudo foram designados como cavas I, II e III (FIGURA 2) e as condições gerais de execução são apresentadas na TABELA 1.

Os dados obtidos através dos ensaios de bombeamento foram interpretados pelos métodos de Theis e de Jacob, considerando para primeira análise cada piezômetro individualmente. Visto que o maciço estudado, comporta um aquífero fraturado, que por sua própria natureza é anisotrópica, em uma segunda análise os resultados obtidos através da interpretação individualizada de cada piezômetro foram avaliados qualitativamente em função das variações direcionais dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos e das respostas do maciço, no tempo e no espaço do ensaio.

Os resultados obtidos nesta análise, são apresentados a seguir, para cada uma das zonas mineralizadas avaliadas.

Cava I

As medições de níveis piezométricos efetuadas no período de estudo (nov/dez/82) denotaram que o horizonte superior do maciço acima da cota 845 m - constituído por rochas de classes I, II e III e, pelo, apresentava-se não saturada (TABELA 1).

O ensaio de bombeamento executado no furo 101 permitiu portanto, caracterizar a porção do maciço abaixo da cota 845 m, cuja carga piezométrica situa-se próximo à cota 858 m.

No trecho ensaiado, predomina o maciço rochoso de classe I, onde sobremaneira o fraturamento é pouco intenso, podendo-se ter ocasionalmente zonas muito fraturadas.

Os parâmetros hidrodinâmicos obtidos para essa porção do maciço são apresentados abaixo:

piezômetro observado	Método de Jacob			Método de Theis		valores médios		
	recuperação $T(m^2/h)$	rebaixamento $T(m^2/h)$	S	rebaixamento $T(m^2/h)$	S	$T(m^2/h)$	S	$K(m/h)$
101	$1,1 \cdot 10^{-1}$	—	—	—	—	$1,1 \cdot 10^{-1}$	—	$7,0 \cdot 10^{-4}$
83-31	$2,8 \cdot 10^{-1}$	$1,8 \cdot 10^{-1}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-1}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-1}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$7,1 \cdot 10^{-3}$
84-41	$0,8 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$0,5 \cdot 10^{-1}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$0,8 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$
59-21	$1,8 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-1}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$

A análise dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos denota que:

- os valores médios da transmissividade (T) variam entre $0,8 \times 10^{-1}$ e $2,1 \times 10^{-1} m^2/h$;
- os valores médios do coeficiente de armazenamento (S) variam entre $1,5 \times 10^{-4}$ e $3,0 \times 10^{-3}$;
- a maior transmissividade está orientada na direção NW e a menor na direção NE;
- os valores do coeficiente de armazenamento traduzem condições lo

cais do aquífero de semiconfinado a confinado. Essa variação parece refletir a densidade de fraturamento do maciço, ou seja, nas porções com menor grau de fraturamento as condições de confinamento do aquífero são melhores e se refletem através de um menor coeficiente de armazenamento e inversamente, nas porções onde o grau de fraturamento é maior as condições de confinamento são piores e resultam em maior coeficiente de armazenamento;

- os valores do coeficiente de permeabilidade variam entre $7,0 \times 10^{-4}$ e $1,2 \times 10^{-2}$ m/h, onde o limite inferior corresponde à toda porção ensaiada, o valor intercalado (piezômetro 83-3), à direção de menor transmissividade e os maiores valores (piezômetro 59-2), a direção de maior transmissividade.

Com base em uma avaliação qualitativa dos dados obtidos no ensaio de bombeamento foram estabelecidos valores característicos para os parâmetros hidrodinâmicos nesta porção do maciço, conforme apresentado abaixo.

	T(m ² /h)	K(m/h)	S
Direção NE	$0,8 \times 10^{-1}$	$1,9 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-5}$
Direção NW	$1,8 \times 10^{-1}$	$1,0 \times 10^{-2}$	$1,5 \times 10^{-3}$
Maciço total (considerado isotrópico)	$1,3 \times 10^{-1}$	$6,0 \times 10^{-3}$	$7,6 \times 10^{-4}$

Cava II

As medições de níveis piezométricos efetuados à época dos estudos, indicaram que a porção superior do maciço - acima da cota 865,0 m, constituída predominantemente por maciço rochoso classe II e III e pelo solo, apresentava-se não saturada (TABELA 1).

O teste de bombeamento possibilitou, portanto, ensaiar o trecho do maciço abaixo da cota 865 m, cujas cargas hidráulicas situam-se entre 862 e 866 m.

A porção ensaiada compreende sobremaneira maciço da classe I com níveis limitados de classe II e III. De uma maneira geral, o maciço é pouco fraturado.

Os parâmetros hidrodinâmicos obtidos através do ensaio de bombeamento executado no furo 102, são apresentados abaixo:

piezômetro observado	Método de Jacob			Método de Theis		valores médios			
	recuperação T(m ² /h)	rebaixamento T(m ² /h)	S	rebaixamento T(m ² /h)	S	T(m ² /h)	S	K (m/h)	
102	$0,3 \cdot 10^{-1}$	—	—	—	—	$0,3 \cdot 10^{-1}$	—	$1,7 \cdot 10^{-2}$	
35-1	s	$0,9 \cdot 10^{-1}$	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$
	m	$0,5 \cdot 10^{-1}$	$0,2 \cdot 10^{-1}$	$3,0 \cdot 10^{-6}$	$0,1 \cdot 10^{-1}$	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$0,3 \cdot 10^{-1}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$
72-3	i	—	$1,4 \cdot 10^{-1}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$
	s	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1,6 \cdot 10^{-1}$	$5,2 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$	$6,7 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$
88-4	i	$1,1 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-1}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-2}$
	s	—	$2,5 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$
	i	$1,9 \cdot 10^{-1}$	$3,6 \cdot 10^{-1}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-1}$	$6,1 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-1}$	$4,7 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$

A análise qualitativa dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos denota que:

- os valores médios da transmissividade (T) variam de $0,3$ a $2,4 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{h}$;
- os valores do coeficiente de armazenamento (S) variam de $1,2 \times 10^{-3}$ a $2,9 \times 10^{-6}$;
- a maior transmissividade, tal como na cava I, orienta-se na direção NW e a menor, na direção NE;
- o aquífero apresenta condições locais de semiconfinamento a confinado e, semelhantemente ao que foi observado na cava I, as variações no coeficiente de armazenamento refletem variações espaciais do sistema de fraturamento;
- o coeficiente de permeabilidade apresenta valores entre $1,7 \times 10^{-4}$ e $2,8 \times 10^{-2} \text{ m/h}$, onde o menor valor corresponde à seção tal ensaiada, os maiores valores (piezômetro 88-4) à direção de maior transmissividade e os valores intercalados (piezômetro 36-1) à direção de menor transmissividade;
- de uma maneira geral, onde o grau de fraturamento é maior a permeabilidade é também maior, entretanto, observa-se que nas porções inferiores do maciço - entre as cotas 780 e 840 m, não obstante o grau de fraturamento ser menor, a permeabilidade apresenta valores relativamente maiores devido, provavelmente, às condições de não preenchimento ou alteração dos planos de fraturamento;
- as porções inferiores do maciço, apesar de apresentarem menor grau de fraturamento relativamente às superiores, possuem uma transmissividade mais pronunciada. Este fato associa-se, tal como ocorre com a permeabilidade, ao não preenchimento ou alteração das fraturas.

Com base também, em uma avaliação qualitativa dos dados obtidos no ensaio de bombeamento, foram estabelecidos os valores característicos dos parâmetros hidrodinâmicos para esta porção do maciço conforme apresentados abaixo:

	T(m ² /h)	K(m/h)	S
Direção NE	$0,9 \times 10^{-1}$	$3,3 \times 10^{-3}$	$3,8 \times 10^{-6}$
Direção NW	$2,0 \times 10^{-1}$	$6,4 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-3}$
Maciço tal (constituido isótrópico)	$1,5 \times 10^{-1}$	$4,8 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-4}$

Cava III

As medições do nível d'água subterrânea, efetuadas à época do estudo, indicaram que a porção superior do maciço - acima da cota 860,0 m - constituída por rochas de classe II e III e pelo solo, apresentava-se não saturada.

O ensaio, portanto, permitiu caracterizar o maciço abaixo da cota 860,0 m, cujas cargas piezométricas situam-se entre 857,0 e 860,0 m.

O trecho ensaiado é constituído, predominantemente por maciço de classe I, com ocorrência limitada de classes II e III. Em termos gerais o maciço está pouco fraturado, com exceção da zona situada acima da cota 830 m, onde o fraturamento é mais intenso. Os parâmetros hidrodinâmicos obtidos através do ensaio de bombeamento executado no furo 103 são apresentados a seguir.

piezômetro observaç	Método de Jacob			Método de Theis		valores médios			
	recuperação	rebaixamento		rebaixamento					
	T(m ² /h)	T(m ² /h)	S	T(m ² /s)	S	T(m ² /h)	S	K(m/h)	
103	-	1,4.10 ⁻¹	—	—	—	—	—	8,9.10 ⁻⁴	
	s	2,1.10 ⁻¹	2,1.10 ⁻¹	2,3.10 ⁻⁴	1,8.10 ⁻¹	5,9.10 ⁻⁴	2,0.10 ⁻¹	4,1.10 ⁻⁴	2,2.10 ⁻²
04-2	m	1,9.10 ⁻¹	1,9.10 ⁻¹	2,0.10 ⁻⁵	1,2.10 ⁻¹	4,6.10 ⁻⁵	1,7.10 ⁻¹	3,3.10 ⁻⁵	4,1.10 ⁻³
	i	2,2.10 ⁻¹	2,1.10 ⁻¹	5,4.10 ⁻⁴	1,4.10 ⁻¹	1,5.10 ⁻³	1,9.10 ⁻¹	1,0.10 ⁻³	3,6.10 ⁻³
34-1	s	1,6.10 ⁻¹	1,4.10 ⁻¹	6,3.10 ⁻⁵	1,2.10 ⁻¹	9,2.10 ⁻⁵	1,4.10 ⁻¹	7,8.10 ⁻⁵	7,9.10 ⁻³
	i	2,2.10 ⁻¹	2,0.10 ⁻¹	9,4.10 ⁻³	1,4.10 ⁻¹	1,4.10 ⁻³	1,9.10 ⁻¹	5,4.10 ⁻³	5,0.10 ⁻³

A análise qualitativa dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos mostram que:

- a transmissividade (T) varia de 1,4 a 2,0 x 10⁻¹ m/h, o que de mostra que não há uma diferenciação pronunciada do maciço em termos deste parâmetro;
- o coeficiente de armazenamento (S) varia de 3,0 x 10⁻⁵ a 5,0 x 10⁻³;
- ao contrário das cavas I e II, não ficaram evidenciadas direções preferenciais de transmissividade;
- o aquífero comporta-se localmente como confinado;
- o coeficiente de permeabilidade varia de 8,9 x 10⁻⁴ a 2,2 x 10⁻² m/h, onde o menor valor corresponde à seção total ensaiada e os valores mais elevados, à porção mais superior do maciço - acima da cota 830 m - onde o mesmo apresenta fraturamento mais acentuado.

A partir da análise da distribuição espacial dos parâmetros hidrodinâmicos, foi possível estabelecer os valores característicos para esta porção do maciço, conforme apresentado abaixo:

	T(m ² /h)	K(m/h)	S
porção superior (acima da cota 830 m)	1,6 x 10 ⁻¹	6,0 x 10 ⁻³	5,0 x 10 ⁻⁵
porção inferior (abaixo da cota 830 m)	1,1 x 10 ⁻¹	4,0 x 10 ⁻³	3,0 x 10 ⁻³

UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

O maciço rochoso na área da jazida Cachoeira, pode ser com partimentado em duas unidades hidrogeológicas distintas: uma unidade superior fraturada, formada pelo conjunto solo de alteração/rocha alterada e uma unidade inferior pouco fraturada, constituída pela rocha sã ou pouco alterada.

Unidade Superior

Esta unidade é constituída pelos gnaisses alterados, com espessura da ordem de 10 m, capeados pelo solo de alteração cuja espessura média é de 2 m, porém atingindo em alguns locais espessuras de até 12 m.

Ela não constitui um aquífero propriamente dito, mas sim um horizonte de transmissão de águas meteóricas para a unidade subjacente, uma vez que permanece saturada apenas no período chuvoso (novembro-abril).

Os ensaios de infiltração a nível variável executados para sua caracterização hidráulica indicaram condições bastante variáveis. Enquanto em alguns locais não foi obtida a saturação para consecução do ensaio - o que indica elevado grau de absorção de água - nos outros pontos ensaiados a permeabilidade média obtida foi da ordem de 10^{-5} m/h - o que demonstra muito baixa permeabilidade.

A variabilidade nas características hidráulicas, relacionam-se não só às características de alteração e fraturamento do maciço - que são bastante variáveis - mas também às condições de alteração das paredes e preenchimento das fraturas.

Unidade Inferior

Esta unidade, cujo topo situa-se entre as cotas 860 a 880 m, é constituído basicamente por maciço da classe I, com intercalações das classes II e III na sua porção superior. Apresenta fraturamento variável, porém com maior grau na sua porção superior e inexistente ou mesmo inexistente abaixo da cota 760 m, porção onde o maciço não se apresenta saturado e comportando-se como substrato impermeável da unidade.

Desta maneira e em linhas gerais, acima da cota 760 m, a unidade hidrogeológica inferior constitui um aquífero fraturado e anisotrópico, semiconfinado a localmente confinado, com anisotropia hidráulica caracterizada por duas direções preferenciais, uma NE com transmissividade da ordem de $0,8 \cdot 10^{-2}$ m²/h e permeabilidade de $2,1 \cdot 10^{-3}$ m/h e outra NW, com transmissividade da ordem de $1,9 \cdot 10^{-1}$ m²/h e permeabilidade de $1,5 \cdot 10^{-2}$ m/h, esta última caracterizando a direção do eixo de maior transmissividade do aquífero.

ESTIMATIVA DAS VAZÕES QUE SERÃO DRENADAS PELAS ESCAVAÇÕES

O esboço da superfície piezométrica (FIGURA 2) da unidade inferior, foi elaborado a partir de níveis piezométricos medidos em furos de sondagens desobstruídos e nos piezômetros instalados.

A configuração das equipotenciais denota que na área prevista para a escavação do "pit" final, a água subterrânea escoará rumo ao córrego Cachoeira com gradientes hidráulicos entre $5,7 \times 10^{-2}$ e $1,3 \times 10^{-1}$ e potenciais hidráulicos entre - aproximadamente - as cotas 850,0 e 870,0 m.

A partir da análise do mapa piezométrico (FIGURA 2), seções piezométricas e dos parâmetros hidrodinâmicos médios, foi possível avaliar quantitativamente o volume de água que será drenado quando da abertura das cavas de pesquisa e de exploração, pela aplicação do método do poço equivalente:

$$Q = \frac{k (2 b H - b^2 - h^2)}{\ln R/A}$$

onde:

K = permeabilidade média do maciço
H = altura a partir da base impermeável até o nível estático (NE)
b = espessura do aquífero
h = altura a partir da base impermeável até o fundo da cava
R = raio de influência
A = raio equivalente da escavação

cuja aplicação consiste basicamente na simulação da vazão que deveria ser bombeada por um único poço localizado no centro da área, impondo um rebaixamento máximo ao longo de todo o perímetro escavado.

Vazão a ser drenada da unidade hidrogeológica inferior pela cava de exploração

Para avaliar o volume de água que será drenado após a abertura da cava de exploração, foi imposto um rebaixamento da ordem de 100 m em suas bordas. A FIGURA 3 ilustra as condições admitidas e os parâmetros utilizados foram:

$K = 5,0 \times 10^{-3}$ m/h; $H = 90$ m; $b = 80$ m; $h = 10$ m; $R = 1\ 000$ e $5\ 000$ m e $A = 250$ m.

Nessas condições, a vazão a ser drenada do maciço será da ordem de $90\text{ m}^3/\text{h}$, devendo entretanto cair para $40\text{ m}^3/\text{h}$ um ano após a implantação da cava.

Vazão a ser drenada da unidade hidrogeológica inferior pelas cavas de pesquisa

Para quantificar a vazão a ser drenada após abertura das cavas de pesquisa, foi considerado uma profundidade de 30 m para as mesmas e um rebaixamento máximo em suas bordas de maneira que a água escoe por uma frente de descarga - na base do talude - da ordem de 2 m de altura. A FIGURA 4 mostra as condições impostas e os parâmetros hidrodinâmicos médios utilizados são aqueles referentes a respectiva cava analisada.

Nessas condições, as vazões obtidas foram as seguintes:

	R_1	R_2
cava I	$18,0\text{ m}^3/\text{h}$	$10,4\text{ m}^3/\text{h}$
cava II	$9,2\text{ m}^3/\text{h}$	$7,1\text{ m}^3/\text{h}$
cava III	$12,1\text{ m}^3/\text{h}$	$9,2\text{ m}^3/\text{h}$

onde R_1 e R_2 são os raios de influência para, respectivamente, 30 dias e um ano após a implantação das cavas.

COMPARTIMENTAÇÃO HIDROGEOTÉCNICA

A análise dos dados obtidos, mostram que as duas unidades possuem comportamento diferenciado e definem a compartimentação hidrogeotécnica do maciço.

A unidade superior, que constitui um horizonte de saturação esporádica apresenta de maneira geral, permeabilidade da ordem de 10^{-5} m/h, com áreas restritas e pouco desenvolvidas, provavelmente relacionadas a zonas de fraturamento mais intenso ou então material de alteração mais arenoso, com permeabilidades ligeiramente maiores. Sua saturação ocorre entre os meses de novembro-abril e atinge apenas sua porção basal.

A baixa permeabilidade, características de saturação esporádica e pequena espessura saturada mostram que esta unidade apresenta pobres características hidrogeológicas e sua interferência frente às escavações serão insignificantes.

A unidade inferior, constituída pela rocha sã ou praticamente sã e com graus de fraturamento variáveis, representa a principal porção do maciço rochoso a ser drenado pela cava. Suas características hidrodinâmicas médias são apresentadas abaixo:

	T(m ² /h)	K(m/h)	S
Direção NE	0,8 x 10 ⁻²	2,1 x 10 ⁻³	9,0 x 10 ⁻⁶
Direção NW	1,9 x 10 ⁻¹	1,5 x 10 ⁻²	1,3 x 10 ⁻³
Maciço total (considerado isotrópico)	1,6 x 10 ⁻¹	5,0 x 10 ⁻³	1,5 x 10 ⁻³

Como já visto, seu eixo de principal transmissividade orienta-se na direção NW, e o de menor na NE. As variações destas que refletem a anisotropia hidráulica do aquífero que se relaciona à distribuição espacial das descontinuidades, enquanto as variações espaciais do coeficiente de armazenamento refletem modificações não apenas na extensão, densidade e abertura das descontinuidades, mas também nas suas características de preenchimento.

Verifica-se ainda, através das curvas vazão x tempo, (FIGURA 5) decréscimo contínuo de vazão durante o desenvolvimento do ensaio de bombeamento nas cavas I e II, o que evidencia ser o sistema de descontinuidade nestes locais pouco aberto e de extensão limitada. No ensaio executado na cava III a vazão estabilizou-se no decorrer do tempo, devido a ocorrência de aluviões nas proximidades que, provavelmente, mantêm constante a alimentação do sistema de descontinuidades.

As contribuições desta unidade, cujos horizontes principais de percolação situam-se acima da cota 760 m, imediatamente após o término da escavação da cava de exploração serão da ordem de 90 m³/h. Em consequência da limitada extensão do sistema de descontinuidades e da baixa taxa de recarga do aquífero, ela deverá de crescer continuamente, atingindo cerca de 40 m³/h um ano após o término da escavação.

Em função da anisotropia hidráulica do maciço, na direção NE-direção de menor transmissividade, o raio de influência da escavação será menor e consequentemente os gradientes hidráulicos serão maiores.

A porção do maciço situada abaixo da cota 760 m, comporta-se como substrato impermeável da unidade hidrogeológica inferior. Trata-se de maciço rochoso constituído preferencialmente por rocha de classe I com fraturamento incipiente. Qualquer contribuição a ela relacionada somente ocorrerá caso as escavações cortem zonas localizadas, onde o maciço encontre-se intensamente fraturado. No entanto, devido as pobres características hidrogeológicas da unidade sobreposta e as baixas taxas de recargas regionais, elas serão pequenas, podendo tornar-se significativas se o sistema de fraturamento tiver conexão hidráulica direta com alguma drenagem superficial.

Como visto, a unidade hidrogeológica inferior constitui a principal zona do maciço a ser drenada e suas contribuições, imediatamente após as escavações serão as seguintes:

	Q (m ³ /h)	Qp (m ³ /h/m)
cava de exploração	90,0	0,057
cava de pesquisa I	18,0	0,035
cava de pesquisa II	9,0	0,021
cava de pesquisa III	12,0	0,028

Os valores apresentados na tabela acima mostram que as vazões totais (Q) e vazões por metro perimetral de escavação (Qp) são pouco significativas e não deverão causar nenhum problema para o desenvolvimento das escavações.

BIBLIOGRAFIA

- BOTTURA, J.A.; ALBUQUERQUE FILHO, J.L. 1982. Caracterização hidrogeológica do maciço da mina de Itataia como subsídio para sua caracterização geotécnica. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2, Salvador. Anais. São Paulo, ABAS, p.317-323.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. 1983. Estudos geológicos, geotécnicos e geomecânicos para projetos de implantação do complexo Minero-Industrial nas Jazidas uraníferas de Lagoa Real-Jazida Cachneira, Município de Caetitê-BA. São Paulo. (Relatório IPT nº 13 558).
- PAPADOPULOS, I.S. 1965. Nonsteady flow to a well in an infinite anisotropic aquifer. Proc. Dubrovnik. Symposium on Hydrology of Fractured Rocks., p.21-31.
- ROFAIL, N. 1965. Analysis of pumping test in fractured rocks, Proc. Dubrovnik Symposium on Hydrology of Fractured Rocks, p.81-86.

TABELA 1 - Condições gerais dos pontos ensaiados

Cavas	Furo Bombado	Prof. do Furo (m)	Cotas (m)		Classes de Maciço Rochoso	Piezômetro Observado	Cotas (m)			Distância ao furo bombeado (m)-Direção	Classes de Maciço Rochoso	
			NE	ND			Trecho Ensaiado	NE	ND			
I	101	170,00	857,3	845,5	Predomina a classe I, com níveis subordinados das classes II e III	83-3	s	856,8-867,4	Seco		14,2 - N	Solo; II, Localmente III
							m	846,2-855,3	Seco		14,2 - N	I e II alternados
							i	815,1-844,8	858,2	855,1	14,2 - N	I, localmente II e III
						84-4	s	858,7-865,7	Seco		31,7-N 27 E	Solo; II e III alternados
							m	845,2-855,8	Seco		31,7-N 27 E	II, localmente II e III
							i	802,1-843,1	857,8	847,7	31,7-N 27 E	I, localmente II
						39-2	s	859,2-870,6	Seco		14,2 - E	Solo; II e III
i	838,8-856,4	857,1	852,0	14,2 - E	I, localmente II							
II	102	170,00	864,5	831,5	Predomina a classe I, com níveis subordinados das classes II e III	36-1	s	848,0-876,2	866,0	863,3	40,4-N 80 E	Solo; I localmente II e III
							m	808,7-843,1	863,9	834,1	40,4-N 80 E	I
							i	770,1-806,5	862,5	860,9	40,4-N 80 E	I, localmente III
						72-3	s	866,5-874,3	Seco		53,2-S 85 E	Solo
							m	810,6-863,7	866,5	863,8	53,2-S 85 E	I, localmente III
						58-4	i	789,4-807,1	862,9	861,0	53,2-S 85 E	I
							s	856,2-876,0	862,6	861,3	53,0 - N	Solo; I, II e III alternados
i	810,0-853,3	861,6	860,9	53,0 - N	I, localmente II							
III	103	170,00	856,8	844,8	Predomina a classe I, com níveis subordinados das classes II e III	04-2	s	849,0-870,2	858,2	855,5	28,2 - E	Solo e II
							m	823,6-845,3	857,8	852,5	28,2 - E	I
							i	790,0-822,7	859,7	857,8	28,2 - E	I
						34-1	s	819,6-864,4	857,3	851,3	28,2 - N	Solo; I, II e III alternados
							i	797,9-836,0	859,7	857,7	28,2 - N	I, localmente II

OE

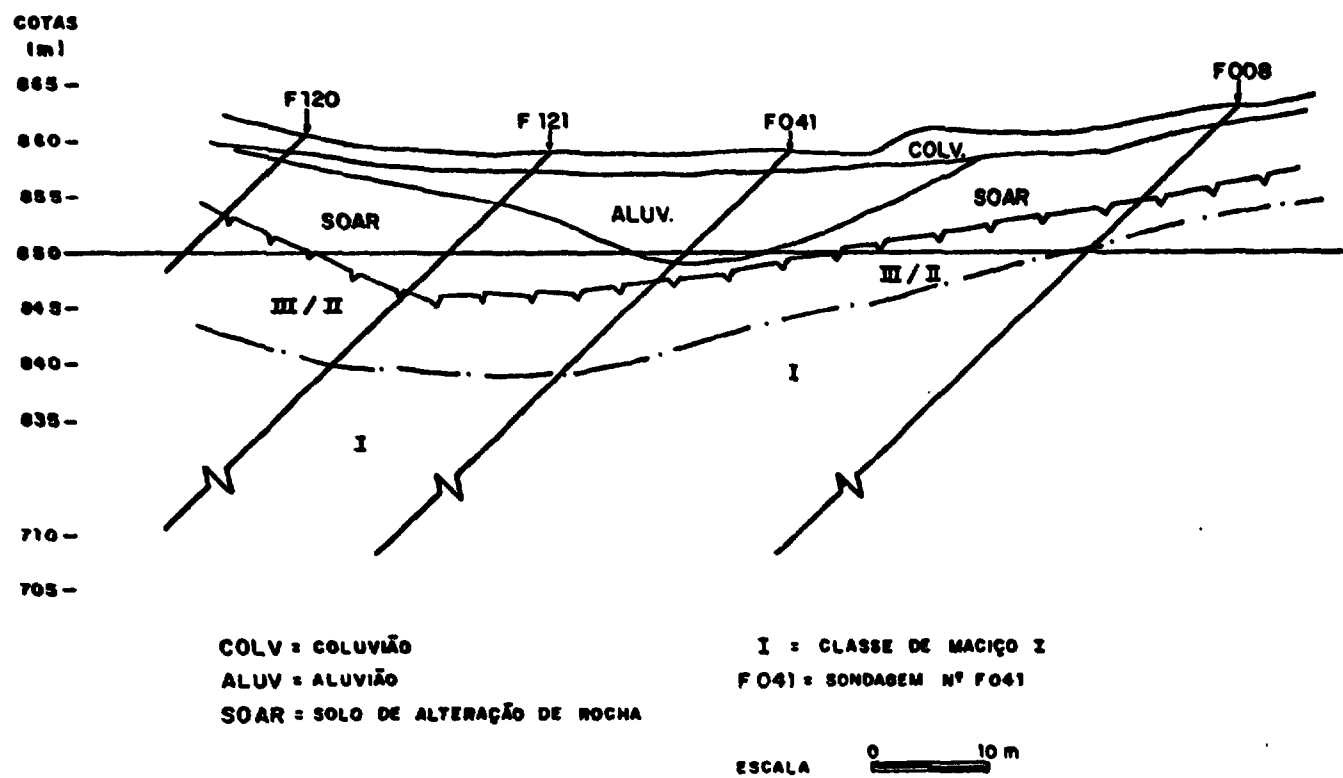
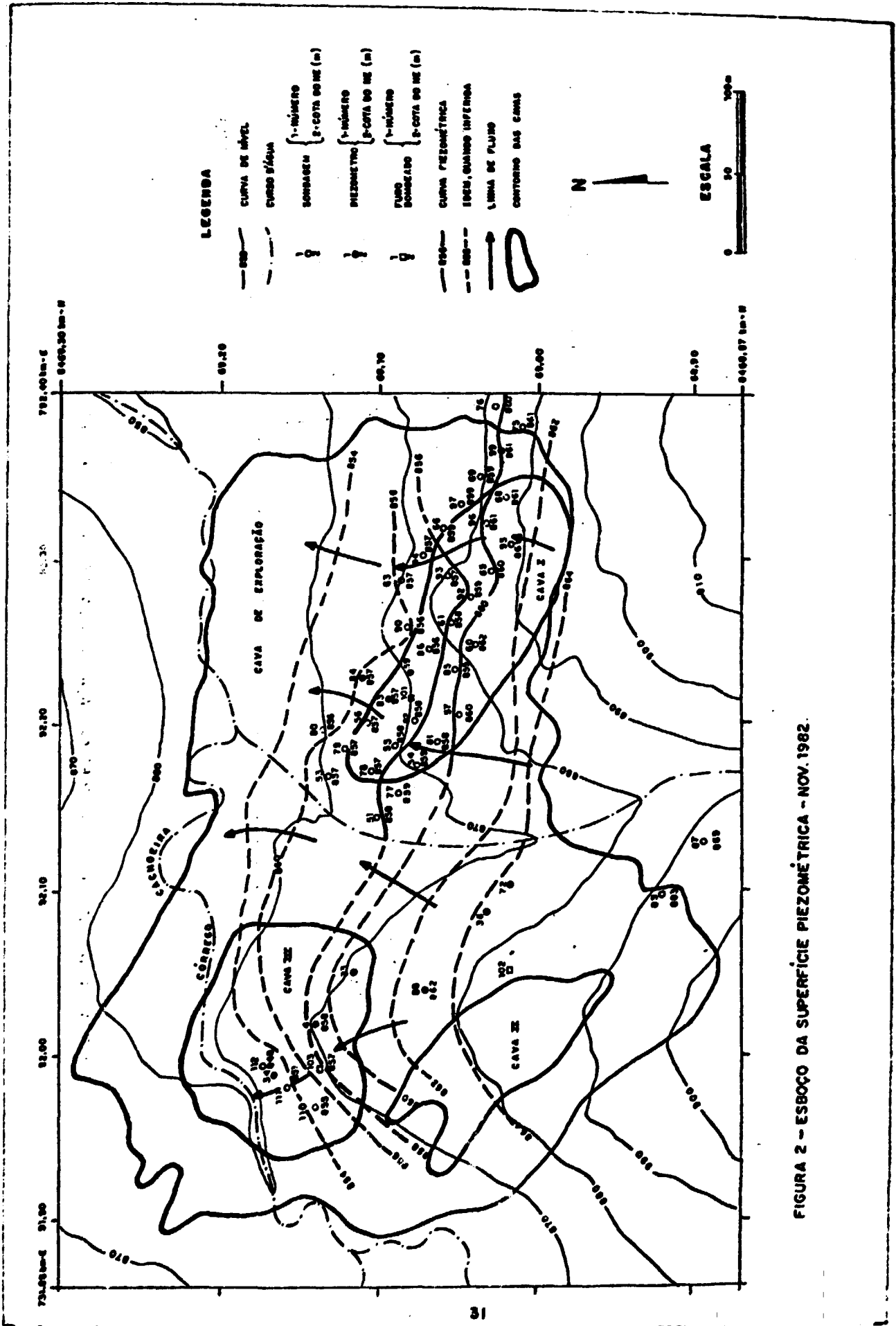


FIGURA 1 - SEÇÃO GEOLÓGICA/GEOTÉCNICA TIPO



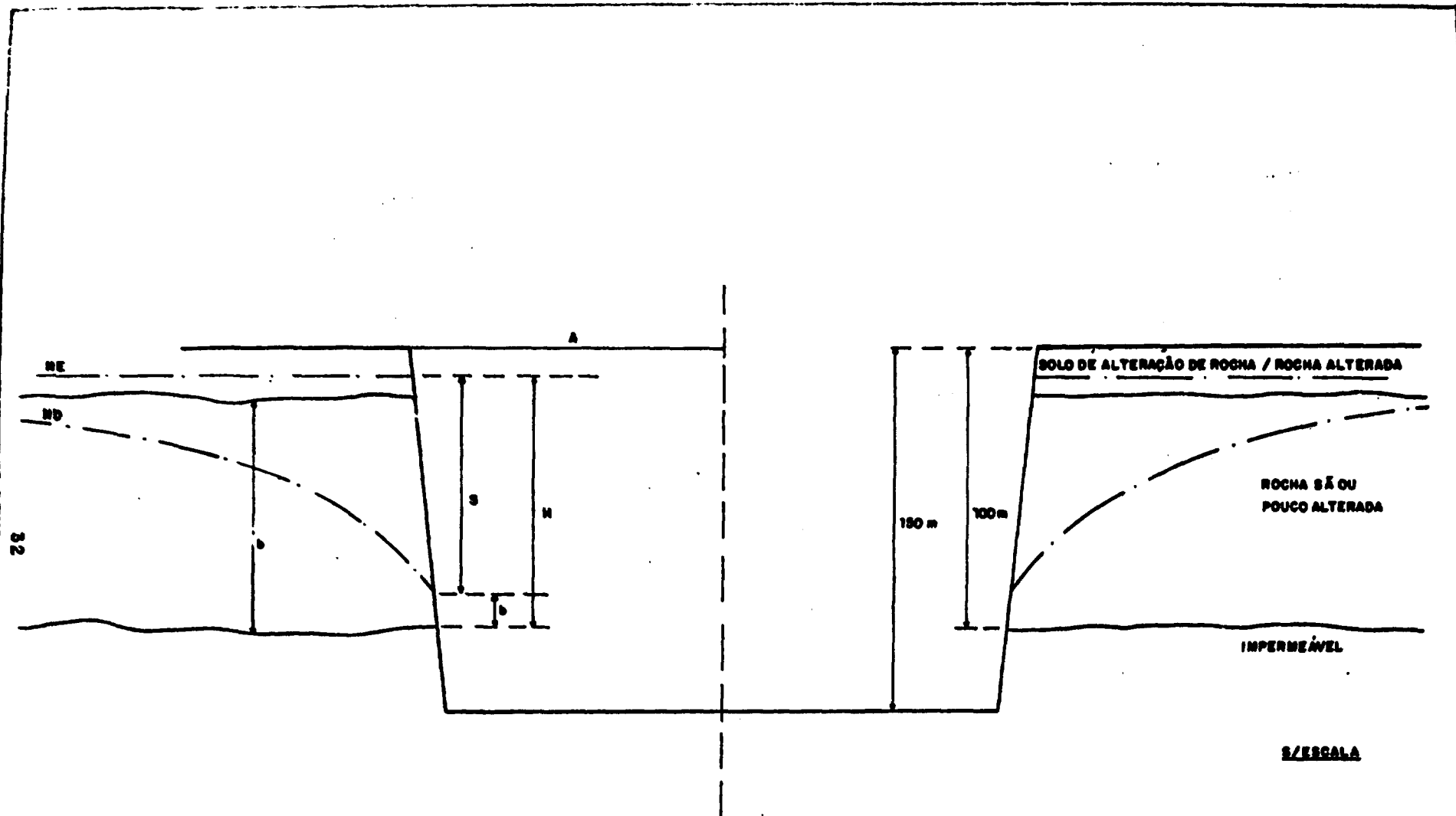


FIGURA 3 - CONDIÇÕES IMPOSTAS PARA AVALIAÇÃO DE VAZÃO DA CAVA DE EXPLORAÇÃO

FIGURA 5 - GRÁFICO VAZÃO x TEMPO

