

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO MACIÇO DA MINA DE ITATAIA COMO SUBSÍDIO PARA SUA CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA*

João Alberto Bottura
José Luiz Albuquerque Filho

Geólogos da Divisão de Minas e Geologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas
do Estado de São Paulo S. A. — IPT

ABSTRACT

The uranium orebody of Itataia-CE includes biotite gneiss rocks intercalated with pure marbles, and marbles with collophanite, which were geotechnically characterized into distinct zones.

The purpose of this research was to dimension the drainage pumping rate in the future excavation of shafts and galleries for mine design. It was possible to conduct the hydrogeological study based on geotechnical data of the orebody and performing pumping and in filtration tests, water table measurements and observing the water flow in some galleries. Furthermore, it was observed that portions of the orebody with different geotechnic properties show specific hydrogeologic behaviour.

This paper includes a description of the works in the field and the mathematical approaches to compute the water rate yielded in excavations.

1 RESUMO

O maciço da Mina de Itataia, localizado no município de Santa Quitéria - CE, é composto por biotita-gnaíse com intercalações de mármore e mármore com intercalações de colofanito, apresentando zonas constituídas por rochas de classes geotécnicas distintas.

Para possibilitar a caracterização hidrogeológica do maciço fraturado, foram executados ensaios de bombeamento e infiltração, medidas de vazão nas galerias e medidas piezométricas. Assim, foi possível avaliar as vazões de drenagem a serem esperadas nas futuras escavações de shafts e galerias. Além do que, foi constatado que porções do maciço com características geotécnicas distintas, apresentam diferenciação no seu comportamento hidrogeológico.

* Estudo executado para a NUCLEBRÁS — Empresas Nucleares Brasileiras S. A.

2 INTRODUÇÃO

Neste trabalho, objetivamos destacar a aplicação da Hidrogeologia em projetos para caracterização de maciços onde serão implantadas minas subterrâneas ou a céu aberto, durante a fase dos estudos de viabilidade de mineração.

Dentre os problemas causados pela água subterrânea nos projetos de mineração, destacam-se aqueles que poderão influir no processo de lavra, seja pelas subpressões atuantes, seja pelos volumes que deverão ser drenados.

O presente estudo foi desenvolvido na Mina de Itataia, município de Santa Quitéria - CE, pertencente a Empresas Nucleares Brasileiras S.A. - NUCLEBRÁS, objetivando a caracterização preliminar dos parâmetros hidrodinâmicos do maciço e a avaliação das vazões a serem drenadas nas futuras escavações de shafts e galerias.

Para atingir estes objetivos, foram executados ensaios de bombeamento e infiltração à carga variável em furos de sondagens e piezômetros instalados, medidas de vazão em galerias e medidas de nível d'água nas sondagens existentes e nos piezômetros instalados.

3 SÍNTESE GEOLÓGICA E GEOTÉCNICA

A área de interesse, está inserida em zona de ocorrência de rochas metamórficas pertencentes ao Complexo Caicó, ali representado por biotita-gnaisses, mármore, colofanitos e rochas pegmatóides, intensamente dobradas e falhadas. Em superfície, as litologias predominantes, segundo Mendonça et alli (1980) distribuem-se da seguinte maneira (Figura 1):

- biotita-gnaisses, na porção norte da área;
- mármore, nas porções sul e norte. Ao sul é a litologia predominante, enquanto a norte ocorre na forma de intercalações nos biotita-gnaisses;
- colofanitos, hospedeiras do urânio, ocorrem intercaladas aos mármore em fraturas, fissuras e cavidades de dissolução;
- pegmatóides, ocorrem associados aos biotita-gnaisses e mármore.

Geotecnicamente, segundo Relatório IPT (1981), o maciço constituiu-se em duas porções distintas, compostas pelo solo de alteração de rocha e rocha sã. A porção constituída pelo solo de alteração si

tua-se acima do horizonte saturado, e não foi objeto de análise.

Na porção do maciço constituída pela rocha sã, foram caracterizadas três classes geotécnicas de rochas, através da análise integrada do grau de fraturamento, de alteração e de RQD (Rock Quality Designation), descritas suscintamente abaixo:

CLASSE I - Maciço são ou praticamente são, pouco ou medianamente fraturado e RQD superior a 50%;

CLASSE II - Qualidades geotécnicas intermediárias entre as Classes I e III, pode ser praticamente são com altos graus de fraturamento e RQD, ou então medianamente alterado com graus de fraturamento e RQD variáveis;

CLASSE III - Maciço alterado, muito fraturado e com baixos valores de RQD.

4 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

Os resultados obtidos nos ensaios executados nas duas porções distintas do maciço, biotita-gnaiss com intercalações de mármore e mármore com intercalações de colofanita, foram interpretados visando definir o seu comportamento hidrogeológico e apresentaram os seguintes resultados.

Os biotita-gnaiss com intercalações de mármore, apresentam-se pouco alterados, e nos trechos ensaiados predominam rochas classificadas geotecnicamente como das classes I e II. O maciço apresenta planos de fraturas contínuas, sem alteração sensível e sem preenchimento; a permeabilidade média (Tabela 1), calculada através dos ensaios de bombeamento é da ordem de $1,6 \times 10^{-3}$ m/h, enquanto que o valor do coeficiente de armazenamento "S" situa-se ao redor de $1,6 \times 10^{-6}$.

É interessante notar que o valor do coeficiente de armazenamento, como calculado a partir dos ensaios, indica a existência de condições ótimas de confinamento das águas subterrâneas, devido provavelmente à pequena densidade de fraturamento da matriz rochosa.

Os mármore com intercalações de colofanita, apresentam-se intensamente alterados e fragmentados, e os trechos ensaiados apresentam rochas com as seguintes características geotécnicas: furos 203 e 205, rochas de classe III e furo 204 rocha de classe II. As permeabilidades médias obtidas (Tabela 1) para os trechos ensaiados é

a seguinte:

- Furo 203 - $K = 2,3 \times 10^{-5}$ m/h
- Furo 204 - $K = 5,0 \times 10^{-5}$ m/h
- Furo 205 - $K = 1,9 \times 10^{-5}$ m/h

Os valores acima mostram que na mesma porção do maciço ocorrem permeabilidades sensivelmente diferentes em zonas de classe de rochas diferentes do ponto de vista geotécnico, isto é, as rochas de classe III, mais alteradas, são menos permeáveis do que as da classe II, relativamente menos alteradas. Este fenômeno está provavelmente relacionado à presença de material de preenchimento nas fraturas, porquanto, sendo as rochas da classe III mais alteradas suas fraturas deverão estar preenchidas, parcial ou totalmente, com material de alteração.

Por outro lado, comparando-se as duas porções do maciço, observa-se também que os biotita-gnaisses com intercalação de mármore apresentam permeabilidade sensivelmente superior àquelas dos mármore com intercalações de colofanitos.

Finalmente, observou-se a partir de ensaios de curta duração executados no furo nº 206 uma forte tendência ao rápido esgotamento, indicando um aquífero limitado com reduzido armazenamento.

O mapa piezométrico (Figura 2) foi elaborado a partir dos níveis piezométricos medidos nos furos de sondagem existentes. A configuração das curvas piezométricas indica que o fluxo subterrâneo corre na direção S-N, a partir do extremo S da área estudada.

A distribuição dos potenciais hidráulicos nas áreas onde se localizam as galerias (Figura 2), indica que apenas a galeria G-1, intercepta o aquífero. A vazão medida (Tabela II) no seu emboque é de $0,48 \text{ m}^3/\text{h}$, com um trecho de interceptação da ordem de 300 m e carga atuante máxima, no trecho interceptado, da ordem de 8 m. A aplicação da equação proposta por Goodman, in Freeze (1979), nestas condições fornece o seguinte valor para a permeabilidade:

$$K = \frac{2,3 \log (2H_0/r)}{2 H_0} \cdot Q_0 = 6,6 \times 10^{-5} \text{ m/h, onde:}$$

H_0 = carga atuante

r = raio da galeria

Q_0 = vazão por unidade de comprimento de galeria

K = permeabilidade

A região interceptada pela galeria G-1 é constituída predominantemente pelos mármores com intercalações de colofanito e subsidiariamente de brechas.

5 ESTIMATIVA DE VAZÕES

Tendo em vista que serão perfurados shafts e a partir destes galerias, foram calculadas as vazões a serem fornecidas pelos mesmos, considerando a sua perfuração nas duas porções distintas do maciço, através da aplicação do Método do Poço Equivalente, para o cálculo das vazões no shaft e aplicação da equação de Goodman, para o cálculo das vazões nas galerias.

5.1 ESTIMATIVA DE VAZÕES NOS BIOTITA-GNAISSE COM INTERCALAÇÕES DE MÁRMORES

Foi considerado neste caso, um shaft escavado no local do furo 202, com diâmetro de 3,0 m, e galerias abertas nas profundidades de 50 m, 100 m, 150 m e 200 m. As condições impostas são apresentadas na Figura 3, e a vazão calculada para o shaft é a seguinte:

$$Q = \frac{2 Kb \pi (H-h)}{\ln \frac{R}{A}} = 81,40 \text{ m}^3/\text{h}, \quad \text{onde:}$$

$K = 1,6 \times 10^{-3}$ m/h (permeabilidade)

$b = 200$ m (espessura saturada)

$H = 180$ m (trecho saturado da escavação)

$h = 10$ m (diferença de nível entre o ND e o fundo do shaft)

$R = 100$ m (raio de influência do bombeamento)

$A = 1,5$ m (raio do shaft)

analogamente, para shaft com diâmetro de 4,0 m e 5,0 m, teremos:

$$A = 2,0 \text{ m} \quad Q = 87,40 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$A = 2,5 \text{ m} \quad Q = 92,40 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para galerias a serem perfuradas, a partir deste shaft, as condições impostas são também apresentadas na Figura 3 e os resultados obtidos, considerando galerias de seções quadradas de 2,5 m x 2,5 m, 3,5 m x 3,5 m e 5,0 m x 5,0 m, com raios equivalentes de 1,5 m, 2,0 m e 3,0 m respectivamente, são apresentados na Tabela III.

5.2 ESTIMATIVA DE VAZÕES NOS MÁRMORES COM INTERCALAÇÕES DE COLOFA NITO

Considerou-se neste caso, um shaft escavado no local do furo 206, com diâmetro de 3,0 m e galerias abertas nas profundidades de 50 m, 100 m, 150 m e 200 m. As condições impostas são apresentadas na Figura 4, e a vazão calculada para o shaft é a seguinte:

$$Q = \frac{2 Kb \pi (H-h)}{\ln \frac{R}{A}} = 1,30 \text{ m}^3/\text{h}, \quad \text{onde:}$$

$$K = 5,0 \times 10^{-5} \text{ m/h}$$

$$b = 150 \text{ m}$$

$$H = 125 \text{ m}$$

$$h = 10 \text{ m}$$

$$R = 100 \text{ m}$$

$$A = 1,5 \text{ m}$$

analogamente, para shaft com diâmetro de 4,0 m e 5,0 m, teremos:

$$A = 2,0 \text{ m}$$

$$Q = 1,40 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$A = 2,5 \text{ m}$$

$$Q = 1,50 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para as galerias a serem perfuradas a partir deste shaft, as condições impostas são também apresentadas na Figura 4 e os resultados obtidos, considerando galerias de seções quadradas de 2,5 m x 2,5 m, 3,5 m x 3,5 m e 5,0 m x 5,0 m, com raios equivalentes de 1,5 m, 2,0 m e 3,0 m respectivamente, são apresentados na Tabela IV. A primeira galeria situada à profundidade de 50 m, localiza-se acima do NE do aquífero no local.

6 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Diretoria da NUCLEBRÁS - Escritório Regional de Fortaleza - CE - pela autorização concedida para divulgação deste trabalho.

7 BIBLIOGRAFIA

CARLSTRON FILHO, C.; CORREA FILHO, D.; BOTTURA, J.A. 1978. Caracterização hidrogeológica baseada em dados piezométricos e caracte

rísticas hidrodinâmicas do maciço da mina de urânio Osamu Utsu mi, Poços de Caldas, MG, 2ª CBGE, São Paulo, vol. II.

CEDERGREN, H.R. 1967. Seepage, drainage and flow nets. John Willey and sons, New York.

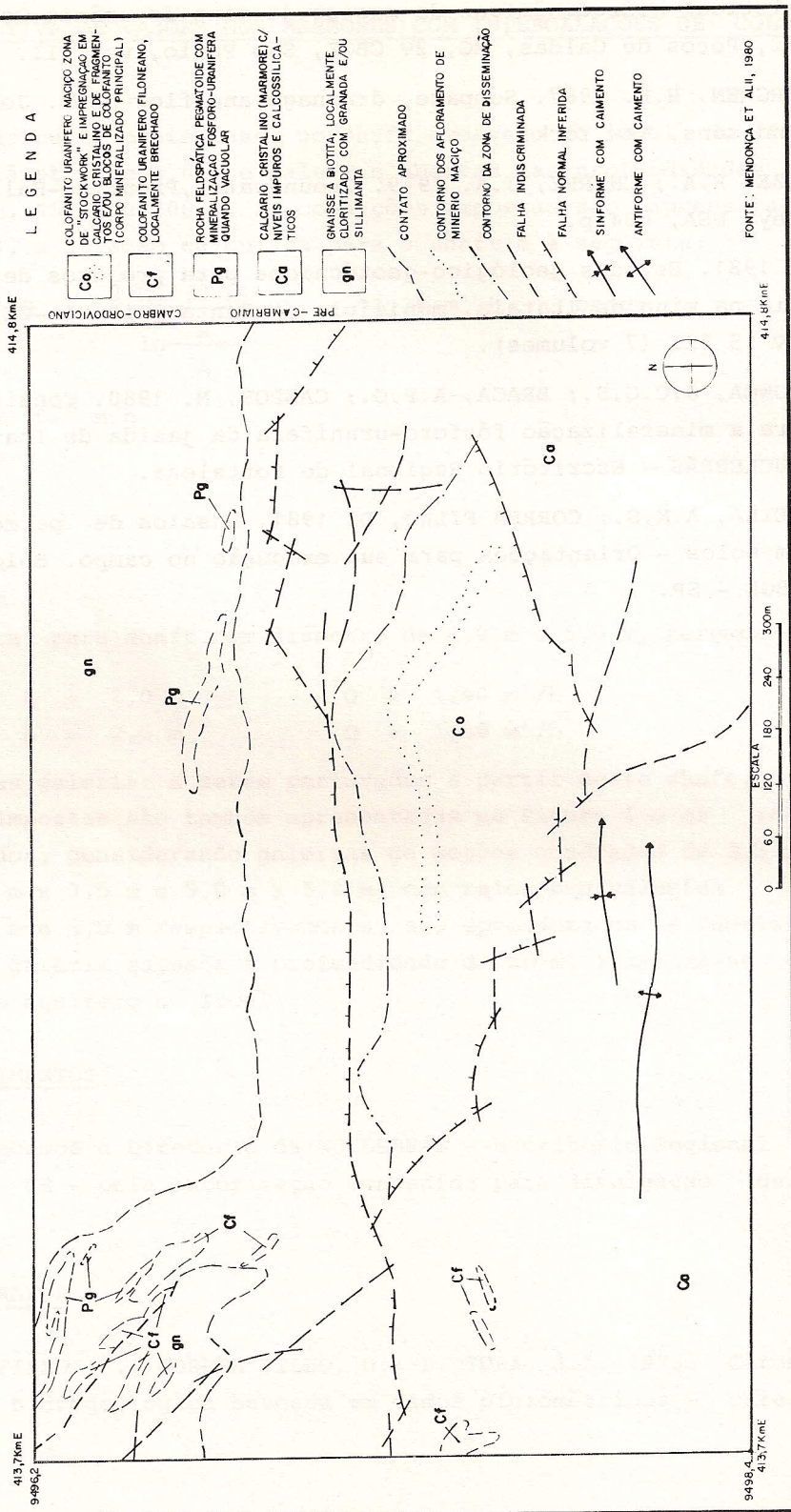
FREEZE, R.A.; CHERRY, J.A. 1979. Groundwater, Prentice-Hall, New Jersey, USA, 604 p.

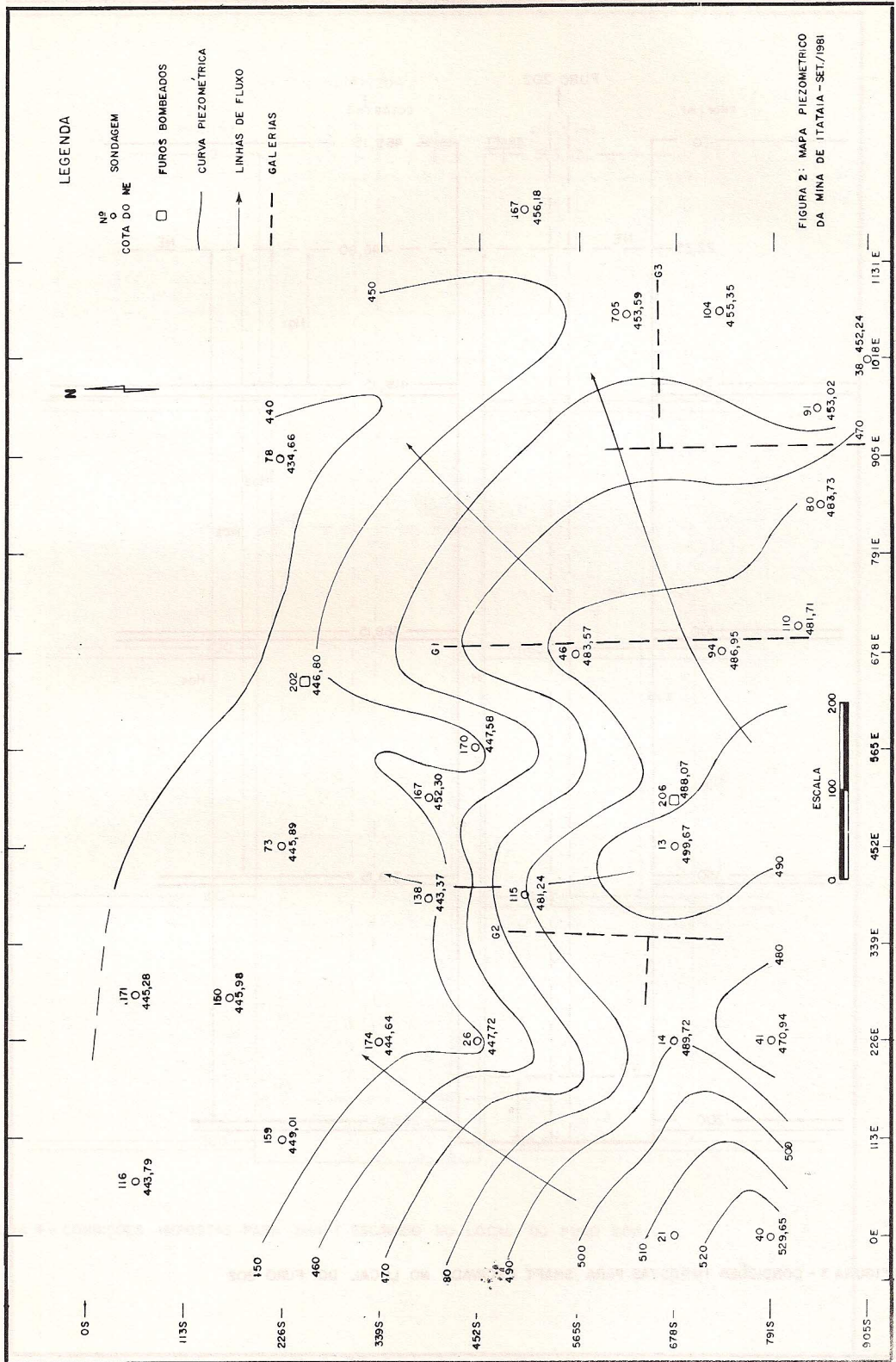
IPT. 1981. Estudos geológico-geotécnicos para projetos de engenharia na mina de Itataia, município de Santa Quitéria-CE, Relatório nº 15 523 (7 volumes).

MENDONÇA, J.C.G.S.; BRAGA, A.P.G.; CAMPOS, M. 1980. Considerações sobre a mineralização fósforo-uranífera da jazida de Itataia - CE, NUCLEBRÁS - Escritório Regional de Fortaleza.

OLIVEIRA, A.M.S.; CORREA FILHO, D. 1981. Ensaio de permeabilidade em solos - Orientações para sua execução no campo. Boletim 04, ABGE - SP.

FIGURA 1 — MAPA GEOLOGICO DA JAZIDA DE ITATAIA





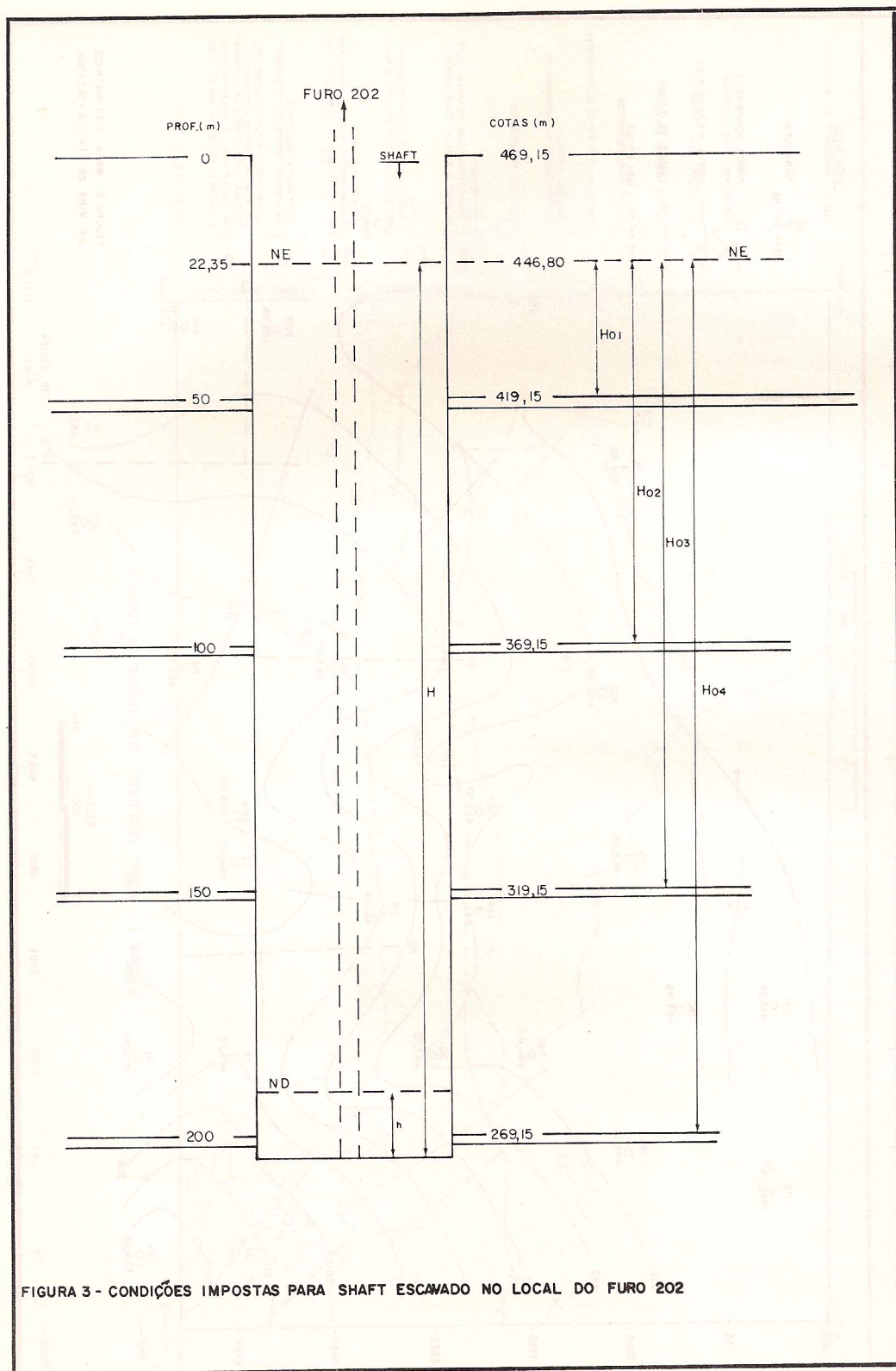


FIGURA 3 - CONDIÇÕES IMPOSTAS PARA SHAFT ESCAVADO NO LOCAL DO FURO 202

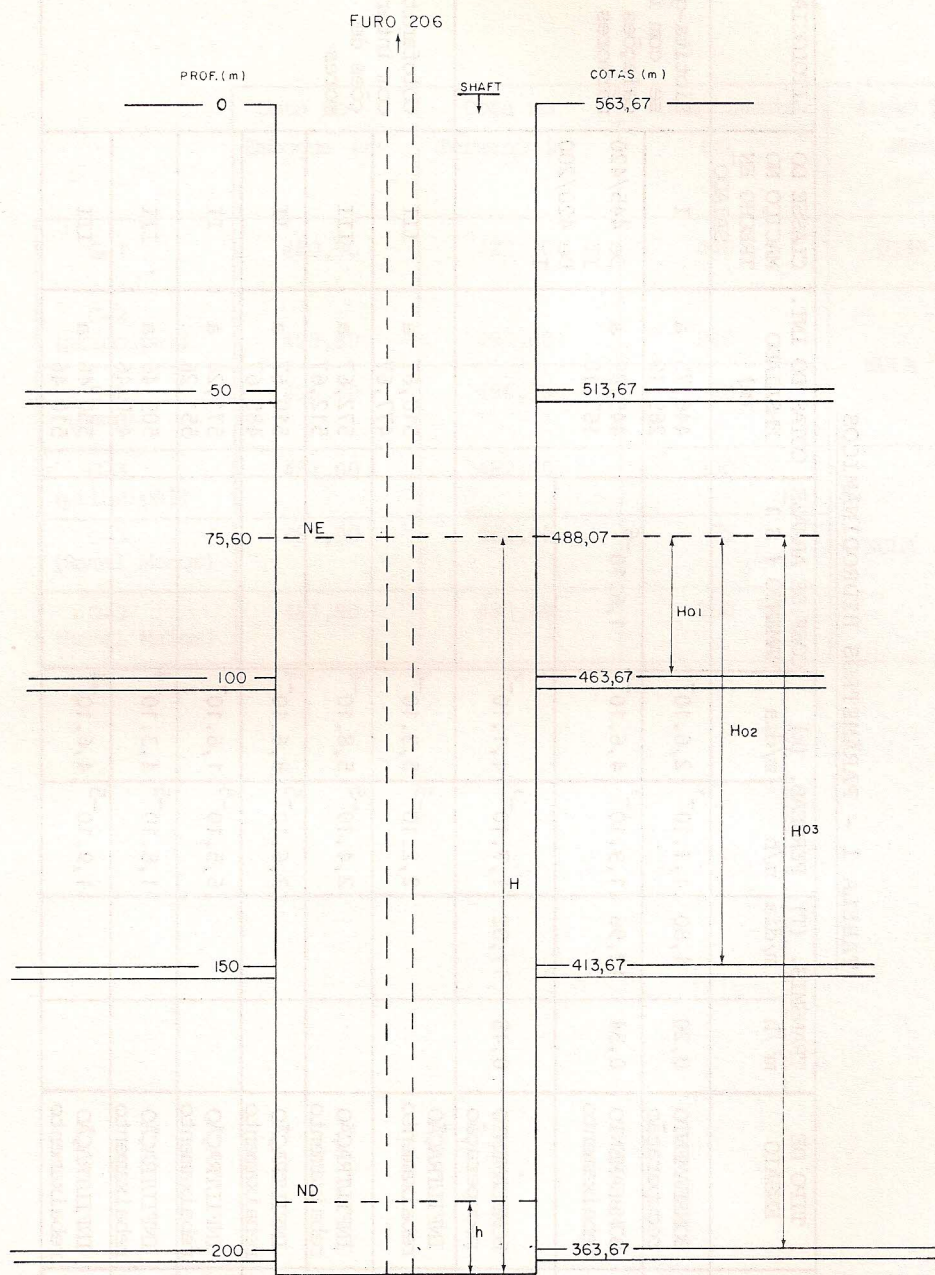


FIGURA 4 - CONDIÇÕES IMPOSTAS PARA SHAFT ESCAVADO NO LOCAL DO FURO 206

TABELA I - PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS

Nº DO FURO	Nº DO PZ	TIPO DE ENSAIO	TRANSMIS. (T)		PERMEAB. (k)	COEF. DE ARMAZ. ENF. DE ARMAZ. (S)	COTAS DO INT. ENSAIADO (m)	CLASSE DO MACIÇO NO TRECHO ENSAIADO	LITOLOGIA
			m ² /h	m/dia					
202		BOMBAMENTO recuperação	0,20	4,80	1,1.10 ⁻³	2,6.10 ⁻²	446,75 a 269,10	I	Biotita-gnais se com intercalações de marmores
73		BOMBAMENTO rebaixamento	0,54	12,96	1,9.10 ⁻³	4,6.10 ⁻²	445,89 a 167,10	De 445/420 II De 420/200 I	
73		BOMBAMENTO recuperação	0,48	11,52	1,7.10 ⁻³	4,1.10 ⁻²			
203	P-1i	INFILTRAÇÃO rebaixamento			2,2.10 ⁻⁵	5,3.10 ⁻⁴		III	Colofanito com intercalações de marmores
203	P-1s	INFILTRAÇÃO rebaixamento			2,4.10 ⁻⁵	5,8.10 ⁻⁴	510,67 a 477,67	III	
204	P-2i	INFILTRAÇÃO rebaixamento			3,6.10 ⁻⁵	8,6.10 ⁻⁴	572,67 a 512,67	III	
204	P-2s	INFILTRAÇÃO rebaixamento			6,5.10 ⁻⁵	1,6.10 ⁻³	510,67 a 485,67	II	
205	P-3i	INFILTRAÇÃO rebaixamento			1,8.10 ⁻⁵	4,3.10 ⁻⁴	571,26 a 551,26	II	
205	P-3s	INFILTRAÇÃO rebaixamento			1,9.10 ⁻⁵	4,6.10 ⁻⁴	509,46 a 450,46	III	
							550,46 a 510,46	III	

TABELA II - CARACTERÍSTICAS DAS GALERIAS

	Cota no Enboque (m)	Cota no Término (m)	Comprimento (m)	Vazão Total Medida (m ³ /h)
G-1	480,90	482,30	440	0,48
G-2 (principal)	495,80	497,00	240	NULA
G-2 (Ramal)	496,00	496,30	70	
G-3 (principal)	481,00	482,00	200	NULA
G-3 (Ramal Menor)	481,90	482,40	75	
G-3 (Ramal Maior)	481,80	483,00	250	

TABELA III - ESTIMATIVA DE VAZÃO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO, PARA GALERIAS LOCALIZADAS NOS BIOTITA-GNAISSES COM INTERCALAÇÕES DE MÁRMORES.

COTA DA GALERIA (m)	CARGA ATUANTE H_0 (m)	RAIO DA GALERIA (m)	VAZÃO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO (m ³ /h/metro linear)
419,15	$H_{O1} = 27$	1,5	$7,6 \cdot 10^{-2}$
		2,0	$8,2 \cdot 10^{-2}$
		3,0	$9,4 \cdot 10^{-2}$
369,15	$H_{O2} = 77$	1,5	$1,67 \cdot 10^{-1}$
		2,0	$1,78 \cdot 10^{-1}$
		3,0	$1,97 \cdot 10^{-1}$
319,15	$H_{O3} = 127$	1,5	$2,49 \cdot 10^{-1}$
		2,0	$2,64 \cdot 10^{-1}$
		3,0	$2,88 \cdot 10^{-1}$
269,15	$H_{O4} = 177$	1,5	$3,26 \cdot 10^{-1}$
		2,0	$3,44 \cdot 10^{-1}$
		3,0	$3,73 \cdot 10^{-1}$

TABELA IV - ESTIMATIVA DE VAZÃO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO , PARA GALERIAS LOCALIZADAS NOS MÁRMORES COM INTERCALAÇÕES DE COLOFANITOS

COTA DA GALERIA (m)	CARGA ATUANTE H _o (m)	RAIO DA GALERIA (m)	VAZÃO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO (m ³ /h/metro linear)
463,67	H _{O1} = 25	1,5	2,24.10 ⁻³
		2,0	2,44.10 ⁻³
		3,0	2,79.10 ⁻³
413,67	H _{O2} = 75	1,5	5,12.10 ⁻³
		2,0	5,46.10 ⁻³
		3,0	6,03.10 ⁻³
363,67	H _{O3} = 125	1,5	7,68.10 ⁻³
		2,0	8,14.10 ⁻³
		3,0	8,89.10 ⁻³