

BARRAGEM DA REVERSÃO PRELIMINAR DO RIO CAPIVARI

Geol. JAYME DE OLIVEIRA CAMPOS (*)

Eng.º WALDO DUARTE DE MATOS (*)

1. INTRODUÇÃO

Dentre os projetos de vulto de adução de água para a Grande São Paulo, o do Guarapiranga prevê a captação e reversão para a represa de mesmo nome, dos rios Capivari, Monos e Juquiá, da vertente oceânica situados ao sul e sudoeste da capital.

A reversão do Capivari-Monos será obtida com a construção de várias barragens desde a cota 692,50 m até a 752,00.

As águas represadas serão sucessivamente recalçadas do reservatório de jusante para montante e dêste para a bacia hidrográfica do Guarapiranga. Prevê-se, com isso, o aproveitamento da vazão regularizada de 5,5 m³/seg.

Como todo êste sistema estivesse apenas com os estudos de viabilidade concluídos, o que não permitiria o início da adução a curto prazo, resolveu a COMASP construir uma barragem que possibilitasse um reforço provisório, mas quase que imediato, para o reservatório Guarapiranga.

A obra está situada no rio Capivari (fig. 1), a jusante da confluência do Ribeirão Embura, a 15 km a SE de Parelheiros.

Sua finalidade básica é elevar o nível d'água até a cota 740 m. Daí a água será recalçada através de um conduto de ferro fundido de 1 m de diâmetro por uma extensão de 2.600 m até a transposição do divisor de águas. A jusante, 8.000 m de canal conduzirão a água aduzida até o rio Embu-Guaçu.

Os projetos de nível básico foram desenvolvidos, optando-se por uma barragem de tipo enrocamento em virtude dos seguintes fatores condicionantes:

- 1.º Dificuldade de compactação de maciço de terra, com dimensões reduzidas em vale íngreme e sujeito à alta pluviosidade da região, o que viria reduzir consideravelmente o tempo efetivo do trabalho;
- 2.º Escassez de empréstimos de material argiloso numa distância economicamente viável;
- 3.º Tempo menor de construção. Fator de relevância em virtude do caráter de emergência do projeto.

Como se pode observar pelo esquema da figura 1, a implantação do sistema Capivari-Monos conduzirá à submersão desta barragem entre as B4 e B1b. Em se tratando da obra provisória e dada a impossibilidade de se fazer o desvio das águas dentro de um custo compatível com seu tempo de vida útil, uma barragem vertedouro foi a que melhor se adaptou a essas condições.

2. DADOS HIDROLÓGICOS

Os dados hidrológicos foram obtidos mediante correlacionamento com bacia hidrológicamente semelhante — Posto Fluviométrico da Light situado a jusante da futura barragem B2. A média das vazões do mês mais seco é de 0,6 m³/sêg e a vazão calculada da enchente com período de recorrência de 30 anos é de 80 m³/seg considerada satisfatória para o tempo de funcionamento da barragem. Para essa vazão deve-se ter 1,30 m de lâmina vertente sôbre o sangrador de 25 m de comprimento, daí resultando velocidades calculadas em 2,8 m/seg sôbre o coroamento e 8,5 m/seg no pé do talude de jusante.

(*) Da Divisão de Serviços Tecnológicos da Superintendência de Construções da COMASP.

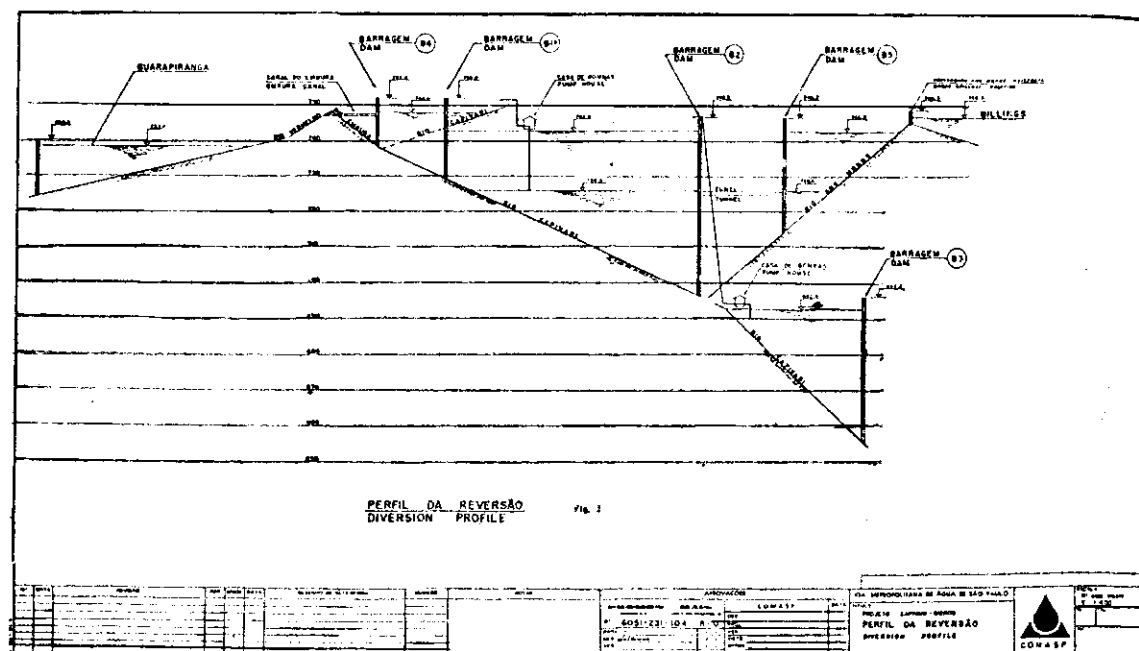


Fig. 1

3 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA REGIAO

A região de interesse inclui-se nos limites das províncias geomorfológicas denominadas Província Costeira, zona da Serrania Costeira, subzona Serra do Mar e Província do Planalto Atlântico, zona do Planalto Paulistano (1). A primeira denominação inclui terrenos pertencentes ao chamado Complexo-Brasileiro, de idade muito antiga, enquanto que a segunda engloba, além desses, terrenos, muito mais novos pertencentes à chamada «Bacia de São Paulo».

As rochas do Complexo Brasileiro que ocorrem na área, são principalmente biotita gnaisses, gnaisses graníticos e micaxistos com direções alinhadas segundo as direções estruturais predominantes, ENE. A questão da datação dessas rochas, pelo que sabemos, ainda não está satisfatoriamente solucionada. Parece que um dos critérios válidos para situar tais rochas em uma coluna estratigráfica correta, é o da intensidade de metamorfismo. De acordo com alguns autores, o grau de metamorfismo que apresentam aquelas rochas, permite que sejam enquadradas em determinada era geológica. Seguindo esse critério, observa-se que as rochas locais apresentam mudanças mais acentuadas, que representam uma maior evidência da ação dos fenômenos metamórficos, numa direção NW SE,

ou seja, normal às direções estruturais acima citadas ENE, desde as proximidades de Sorocaba até a Serra do Mar.

Nesse alinhamento, ocorrem rochas como filitos, metaconglomerados, calcários e dolomitos, quartzitos, micaxistos feldspatizados por granitização e gnaisses graníticos, além de pegmatitos e diques de intrusivas básicas. Essa sequência indica os produtos da ação crescente dos fenômenos metamórficos sobre rochas pré-existentes.

Estas evidências permitiriam incluir os micaxistos e gnaisses nos chamados pré-cambrianos Médio e Inferior.

Esta região apresenta estrutura e tectônicas, determinantes de sua morfologia, bastante complexas. Ocorrem dobramentos monoclinais e falhamentos, que condicionam os alimentos dos vales e os padrões da drenagem.

No local, a drenagem existente é tributária da vertente atlântica ou do rio Tietê, sendo que o divisor de águas são continuções da própria Serra do Mar que limitam o planalto paulistano ao sul. A drenagem da vertente atlântica é muito mais ativa, sendo que seus rios entalham profundamente os vales provocando, por erosão remontante, o recuo das escarpas da Serra do Mar, originando cursos encachoeirados que estabelecem níveis da base locais, sobre as soleiras das rochas gnáissicas graníticas resistentes.

4 CONDIÇÕES GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO

No local do eixo da barragem evidencia-se o que foi exposto no capítulo anterior. O rio Capivari, tem direção NE, mudando bruscamente para SSE, num cotovêlo acentuado, um pouco a montante da barragem, quando recebe as águas do rio Embura e do Córrego Ponte Sêca. O ponto escolhido para a implantação da obra de represa, foi um vale fechado, em forma de «V», com desnível local de amplitude máxima de pouco mais de 20 m, da cota 732 até 753. Na ombreira direita, as escavações mostraram que o rio entalhou um «terraço» fluvial, elevado entre as cotas 751, e 748 constituído em sua parte superior, de solo vegetal seguido por uma camada de areias finas e médias siltosas, cor marrom, que se assentam sobre um leito de seixos centimétricos, os quais indicam a base de sedimentação que constitui o «terraço». Abaixo desta cota até aproximadamente a 740 (do coroamento da barragem), ocorre um solo residual amarelado, siltoso, de alteração do gnaïsse local «in situ», no qual estão imersas massas masais ou menos alteradas, desta rocha, com estruturas bem conservadas. O solo de alteração numa mistura com «bica corrida» de pedreira, foi usado para a construção do núcleo «impermeável» da barragem. A curva granulométrica do mesmo assim como a da mistura, são mostradas na figura 2.

As mesmas feições observam-se na ombreira esquerda, inclusive o «terraço» com pequenas variações de cota.

A rocha que ocorre na área é um gnaïsse leucocrático, ou seja, onde predominam minerais ditos «claros» que conferem a cor à rocha. Sua composição mineralógica é quartzo, feldspatos, mica muscovita em grande quantidade, com poucos minerais «escuros» (ferromagnesianos) e granada. Os feldspatos apresentam diversos graus de alteração, dependendo da posição da rocha relativamente aos níveis onde o intemperismo foi menos ou mais ativo. Neste caso, eles estão quase que totalmente caolinizados, originando massas esbranquiçadas dentro da rocha. Quando ocorrem concentrações de minerais ferromagnesianos eles, como os feldspatos, alteram-se menos ou mais, e nesse caso transformam-se em faixas avermelhadas, limonitizadas. O quartzo e a mica muscovita são resistente ao intemperismo e permanecem inalterados dentro da massa rochosa. As micas separam pequenas placas, muito numerosas em leitos cuja concentração do referido mineral seja grande. As granadas estão, aparentemente, sofrendo o início de alteração, que proporcionará limonita ou óxi-

dos de manganês. Outros minerais não podem ser observados com lupa ou à vista desarmada. Os cristais são idioblastos (bem formados), como as micas, granadas e xenoblastos (mal formados), quais sejam, quartzo e os feldspatos.

A rocha possui texturas: tabular, linear e granular, ditadas pela forma, modo de crescimento e arranjo mútuo dos diferentes minerais que a constituem. Sua estrutura é gnáïssica.

O gnaïsse é uma rocha formada pelo chamado metamorfismo dinamoterneal, caracterizado pelo aumento de temperatura e pela pressão dirigida, e que se constitui num dos vários tipos de metamorfismo existentes. Esses fenômenos determinam na rocha, o alinhamento de seus materiais, numa direção normal ao maior esforço de pressão dirigida, ocasionando a estrutura gnáïssica a que já nos referimos. Este fato, aliado à existência do fraturamento da rocha provocado por forças de tração e cisalhamento durante a fase de consolidação da massa ígnea que deu origem à rocha inicial, conferem à rocha uma apreciável anisotropia de suas propriedades. Examinemos o comportamento tecnológico da rocha em questão face à existência da citada anisotropia em algumas de suas propriedades.

4.1 — Escavação dos «shoots» e das ombreiras

As resistências da rocha e do respectivo solo de alteração, aumentam gradativamente desde a superfície até o leito do rio. Abaixo do citado «terraço» fluvial até pouco acima da cota 740, o material terroso foi escarificado com facilidade pelo trator, pois tal é a intensidade de alteração nesse horizonte que as diferenças de resistência da rocha, praticamente desaparecem, embora os planos de lineações dos minerais estejam muitas vezes conservados no solo. Abaixo daquela cota, onde prevalecem massas mais resistentes de rocha dentro da massa terrosa, a escarificação tornou-se difícil, bem como a escavação com pá e picareta. Neste caso, o desmonte somente foi possível com rompedores pneumáticos, como grande parte das escavações para o plano de encosto do núcleo impermeável da barragem e para os «shoots» laterais, neste local principalmente quando próximo ao fundo do vale, onde a resistência da rocha é máxima.

4.2 — Permeabilidade

Esta propriedade é determinada por dois fatores: pelo sistema de diaclasamento e pela gnaïssificação.

A análise do sistema de diaclases permite concluir que suas direções predominantes são

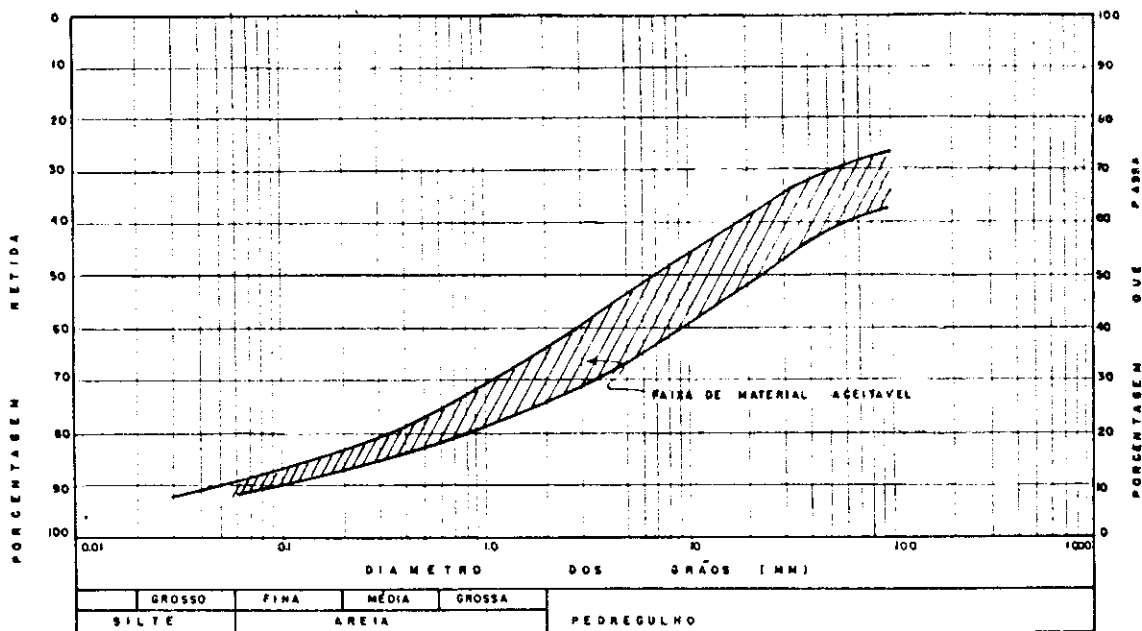


Fig. 2

E-W, N 40°E, N-S e N 60°W. No que tange aos planos de gnaissificação, as direções principais são E-W e N 40°E. A direção aproximada do vale é NNW ou SSE. Sendo as diaclases da rocha soluções de continuidade dentro da mesma bastante espaçadas entre si, no caso do local de implantação, e a gnaissificação planos alinhados que se constituem em superfícies potenciais de fluxos d'água, determinam posições onde a permeabilidade da rocha é máxima.

As direções que relacionamos são favoráveis à ocorrência de fugas d'água pelas ombreiras, através dos planos de diaclasamento e gnaissificação. Resta saber se este fato será significativo durante a fase de operação, quanto a manutenção do nível exigido para o bombeamento dos 1,3 m³/seg, já que a própria barragem de enrocamento vertedoura permite que seja escoado pelo seu corpo e pelos «shoots» um volume talvez maior que o a ser liberado pelas percolações nas ombreiras.

4.3 — Erodibilidade das ombreiras

Em condições naturais, o maciço rochoso local estava sob equilíbrio das forças nele atuantes. Porém, com a construção da barragem e o conseqüente represamento, aumentaram os gradientes de percolação, embora numa taxa não muito elevada.

Isto poderá conduzir a um aumento das forças de percolação pelas ombreiras através dos

planos de fraqueza da rocha mencionados, provocando lixiviação do material de preenchimento das diaclases e carreamento de minerais alterados nos planos de gnaissificação. Como conseqüência, ocorreria subsidência de blocos de rocha que se acomodariam em novas posições, o que deveria resultar numa progressiva abertura dos caminhos de percolação e num conseqüente aumento do valor de permeabilidade. Todavia, cremos que esses acontecimentos, se ocorrerem, não trarão implicação alguma sobre o maciço, dado que o mesmo foi reforçado a jusante pela armadura de proteção.

A eliminação do desvio do rio foi possível graças ao método construtivo que permitiu, sem solução de continuidade, a passagem das águas através do corpo da barragem. Isso implica num teste permanente da obra durante a construção, já que o maciço fica sujeito a constante solicitação dos esforços hidráulicos provenientes do escoamento. Convém salientar que a obra foi executada na época das cheias (fevereiro de 1971) sem que se tenha tido qualquer imprevisto quanto a estabilidade durante a execução.

5 SEQUENCIA CONSTRUTIVA

5.1 — Escavação das duas ombreiras até a formação de 2 patamares na cota 740 m. Com 7 m na ombreira esquerda e 5 m na direita. Juntamente com a crista da barragem esses

patamares constituem os elementos extravasores.

5.2 Escavação das ombreiras abaixo da cota 740 m com formação de dois planos regularizados (rugosidade ≤ 10 cm) para apoio da camada «impermeável» (item 6). Esses planos formam em planta ângulo de 20° com o eixo do rio, para montante, para proporcionar um contato comprimido da camada «impermeabilizante» com as ombreiras aproveitando-se o arqueamento da barragem ($R = 17$ m).

5.3 Escavação das duas ombreiras com formação de dois planos com declividade 1:1,8 (V:H) para jusante concordantes com o talude da barragem.

Esses planos constituem os «shoots» laterais para restituição do fluxo d'água ao leito natural do rio.

5.4 Execução do núcleo permeável constituído de pedras sãs de diâmetro entre 60 a 100 cm (ver fig. 3-1) originando um maciço com coroamento de 3 m de largura na cota 740 e taludes 1:1,5 (V:H) a montante e 1:1,8 a jusante, êste tornado ligeiramente superior aos taludes normais de enrocamento visando maior estabilidade para a barragem.

As pedras foram lançadas em camadas horizontais sendo que na parte de jusante o enrocamento foi armado mediante colocação de malhas de ferro entre as camadas (fig. 4). Essa armadura de proteção, constituída por ferros $\varnothing 3,1''$ CA 24, teve seu dimensionamento baseado nas experiências bem sucedidas na Austrália com barragens do mesmo tipo. (2)

Os vergalhões horizontais (P-6) previnem rupturas locais entre duas camadas sucessivas sendo o espaçamento função do tamanho das pedras.

A observação de ensaios em modelos leva a crer que essas rupturas serão improváveis se a distância entre as malhas for menos do que a metade do comprimento das barras. (3)

Três fatores devem ser levados em conta no dimensionamento: a) Resistência aos esforços hidráulicos; b) Resistência à flexão nula face ao peso das pedras e às condições de apoio das malhas para melhor amarração das camadas; c) Corrosão com o tempo.

O propósito da malha superficial é duplo: 1.) Previne a ruptura unravelling; 2.)

mo usado para descrever o mecanismo pelo qual as pedras sôltas na superfície são arrastadas pela água; 2º) Retêm a massa de pedras entre as camadas de vergalhões transmitindo para êstes tôda a carga.

5.5 Lançamentos de camadas de pedras (sãs) com granulometria decrescente de jusante ($\varnothing = 30$ cm) para montante ($\varnothing = 15$ cm) (fig. 3-2 e 3). Esta camada funcionando como um filtro invertido, tem a finalidade de impedir o carreamento do material lançado na fase seguinte.

5.6 Lançamento de material de granulometria fortemente desuniforme obtido da mistura em volume de 20% do solo residual (de alteração da rocha) existente no local e de 80% de «bica corrida» de pedreira (fig. 2).

Essa camada «impermeável» (fig. 3-4), ($k \leq 10^{-4}$ cm.seg.) não deverá permitir infiltrações maiores que 10 L seg. pelo corpo da barragem e portanto menores que 1,6% da vazão de estiagem.

5.7 Proteção com enrocamento armado dos patamares das ombreiras (item 1) nivelados com a crista da barragem. Esta proteção fêz-se necessária dada a possibilidade de erosão pelo escoamento das águas, pois nessa cota a rocha se encontrava mais alterada (item 4).

5.8 Proteção de parâmetro de montante com «rip-rap».

6 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Como já foi mencionado usou-se na construção do maciço:

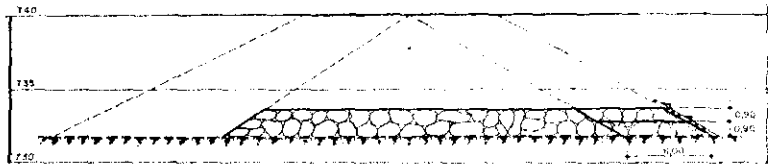
Pedras de granulometria variando de 60 cm a 100 cm;

Material desuniforme, obtido da mistura de 20% de solo de alteração de rocha siltosa existente no próprio local e de 80% de «bica corrida» de pedreira;

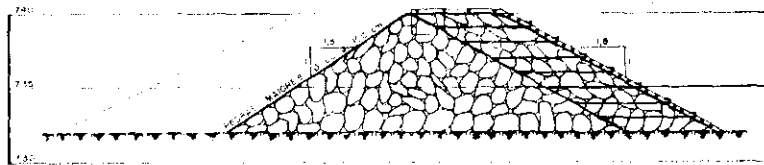
Ferros de $\varnothing 3,1''$, para a construção da armadura protetora do talude de jusante;

As pedras usadas foram importadas, dada a escassez de pedreiras próximas ao local de implantação. Trata-se de um granito típico.

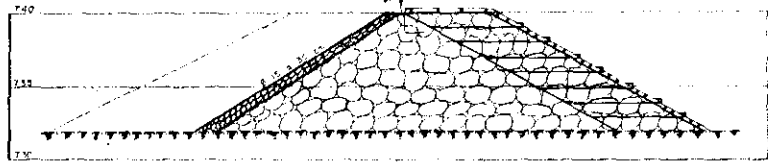
1



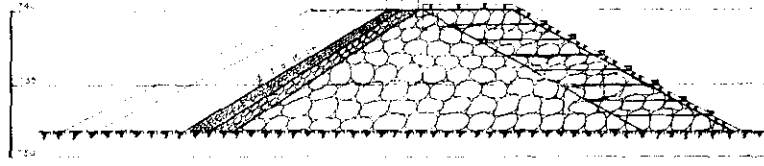
2



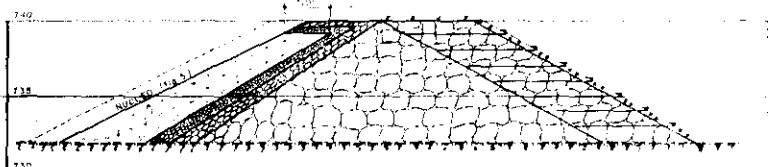
3



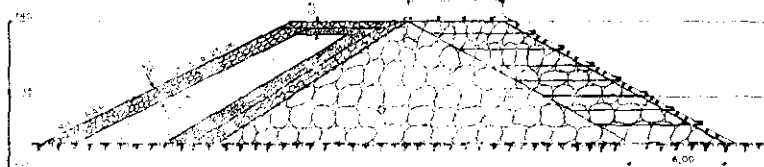
4



5



6

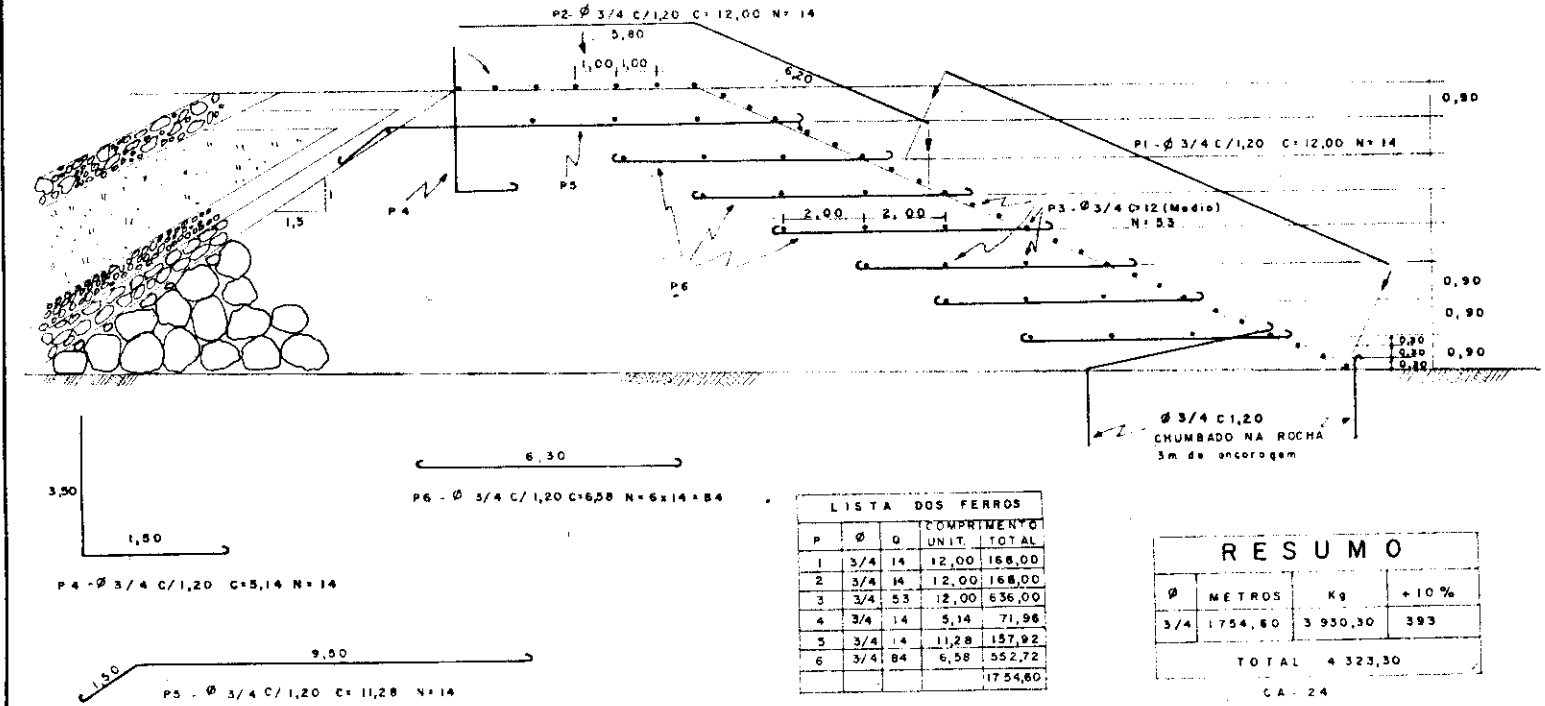


N.	DATA	REVISÃO	FOR	APROV	DATA	DESCRIÇÃO DE REVISÕES	NÚMERO	NOTAS	APROVAÇÕES			CIA. METROPOLITANA DE ÁGUA DE SÃO PAULO		ESC.
								MODIFICAÇÃO DA SEÇÃO DE PROJ. NA PLANTA Nº 0.248.000.01	DATA	COMASP	DATA	SISTEMA GUARAPIRANGA		1:200
									DES.			REVERSÃO PRELIMINAR DO RIO CAPNARI		R.
									PROJ.			ETAPAS DE CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM		FL.
									VER.					R.
									VISTO					
									APROV.					



Fig. 3

ESTE DESENHO ANULA E
SUBSTITUI O DE N.º 2248-023-D2



ESCOLA de ENGENHARIA SÃO CARLOS - U.S.P

N.º DATA		REVISÃO	POR	APR	DATA	DES. DE REFERÊNCIA	NÚMERO	NOTAS	APROVAÇÕES			CIA. METROPOLITANA DE ÁGUA DE SÃO PAULO		ESC. 1:100	
								ESTE DESENHO	DES.	DATA	COMASP	DATA	SISTEMA GUARAPIRANGA		R.
								SUBSTITUI O DE	PROJ.	DATA		21-8-70	REVERSÃO PRELIMINAR		FL.
								Nº 2248-023-B1	VISTO	DATA		20-8-10	DO RIO CAPIVARI		N.º
									APROV.	DATA		21-8-10	ARMADURA DE PROTEÇÃO DO		2248-023-D1
												21-8-10	FALDOE DE JUSANTE		



Fig. 4

de texturas holocristalina e fenerítica de granulacão grossa. Compõe-se de quartzo feldspato, mica biotita, além de minerais ferromagnesianos (provavelmente anfibólios) e dos costumeiros minerais acessórios. Apresenta-se no estado são, sem evidências de alteração. No entanto, dadas as condições peculiares da obra, com água percolando por entre as pedras, cabe uma observação cuidadosa após o enchimento do reservatório, a fim de poder-se concluir quanto ao comportamento do enrocamento sob essas condições, uma vez que quase nada se sabe a respeito da alteração de granitos continuamente submetidos ao ataque das águas.

O material desuniforme, usado na construção da camada «impermeável» de montante, não deverá permitir infiltrações maiores que 10 L/seg. pelo corpo da barragem. Pois tais razões, deverão ser efetuadas observações no sentido de se saber se poderá haver carreamento do material para jusante, o que conduziria a uma diminuição gradativa da espessura da camada e o conseqüente aumento da permeabilidade admissível para a operação da referida camada.

Quanto aos ferros que compõem a armadura do talude de jusante, é necessário também que se estude o progredir do processo de ferrugem da periferia para o centro dos mesmos.

7 CONCLUSÃO

Dois fatores que muito influem no custo das barragens são:

Capacidade de desvio para assegurar que a barragem seja construída com segurança;

Praticabilidade de vertedor barato.

Barragens desse tipo podem-se beneficiar substancialmente da redução ou eliminação das obras de desvio por permitirem a passagem das águas pelo maciço enrocado, durante e após a construção e também poderão prescindir de onerosos projetos de vertedores por serem auto-vertedoras.

Essas vantagens de ordem construtiva, poderão ser consideradas no projeto de outras obras maiores, que proventura venham a ser implantadas na região em aprêço, ou mesmo em outras, onde as condições naturais imponham diretrizes específicas de construção como as adotadas para esta obra.

Chamamos a atenção para o fato de que, sendo a barragem estudada a primeira do gênero a ser construída no Brasil, pelo menos no que temos notícia, cabe uma contínua observação do comportamento do maciço, armação protetora, fundações e ombreiras, para que possamos tirar proveito das particularidades dos fenômenos que proventura ocorrerem, durante a operação, a fim de analisar possíveis falhas de comportamento, e aplicar com mais segurança os conceitos da construção, em novos projetos.

REFERENCIAS

1. BOLETIM Nº 41 -- «Geologia do Estado de São Paulo» -- Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo, 1964.
2. PARKIN, A. K.; TROLLOPE, D. H. & LAWSON, J. D. -- «Rock-fill structures subject to water flow». Journal of The Soil Mechanics and Foundation Division -- ASCE, novembro 1966.
3. WILKINS, J. K. -- «The Stability of Overtopped Rock-fill Dams» -- IV Conferência Austrália Nova Zelândia (1963).