

Nélio

585
17.000

COMITÊ BRASILEIRO DE GRANDES BARRAGENS

II SIMPÓSIO SOBRE INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS

ANAIS - VOLUME 2

Belo Horizonte, 19 a 21 de agosto de 1996

Patrocínio: FINEP

O COMPORTAMENTO DA BARRAGEM DO MORRO DO OURO NAS VÁRIAS ETAPAS DE ALTEAMENTO

Antonio Landi Borges, Eng^o
RPM Rio Paracatu Mineração S.A.

Paulo Roberto de Paiva, Eng^o
Geohyrotech Engenharia Ltda

Nélio Gaioto, Eng^o
EESC-USP

João Francisco Alves Silveira, Eng^o
Geohyrotech Engenharia Ltda

RESUMO: Apresenta-se neste trabalho os principais aspectos referentes ao comportamento da Barragem do Morro do Ouro, da Rio Paracatu Mineração S.A., localizada no município de Paracatu, em Minas Gerais. Trata-se de barragem em aterro convencional, que está sendo alteada anualmente cerca de 3,0 a 6,0 m, desde 1987, e que deverá atingir 80 m de altura máxima, em sua etapa final. A instrumentação da barragem concentrou-se principalmente na observação das pressões neutras, ao longo das juntas de construção do aterro, das subpressões na fundação e das vazões nos poços de coleta do sistema de drenagem interna. Os níveis piezométricos indicados por alguns dos piezômetros instalados nas juntas de construção da barragem, vieram indicar condições preferenciais de percolação através das mesmas, nas primeiras etapas construtivas, o que motivou uma investigação de suas causas e modificações nas especificações de projeto, para a atenuação do problema nas próximas etapas construtivas.

1. DESCRIÇÃO GERAL DO EMPREENDIMENTO

A barragem de rejeitos da mina do Morro do Ouro situa-se no município de Paracatu, em Minas Gerais, distante cerca de 6,0 km da cidade. Foi concebida como uma barragem de aterro compactado convencional, dotada de filtro vertical de areia tipo "chaminé" e tapete drenante horizontal tipo "sanduiche", constituído por dois tipos de material filtrante (areia e brita).

Para o escoamento das cheias de projeto foi concebido um extravasor de superfície, em concreto armado, com um canal de aproximação horizontal escavado em solo, um rápido e uma bacia de dissipação de energia, que desce ao longo da ombreira esquerda da barragem, dotada de dentes dissipadores de energia. Este extravasor foi concebido para uma cheia de projeto com período de recorrência de 10.000 anos, que resultou em uma vazão efluente de 60 m³/s, na primeira etapa construtiva.

O aproveitamento dos rejeitos oriundos do processamento do minério, como material de construção da barragem, não foi considerado conveniente em razão de sua granulometria muito fina, pois 95% do rejeito passa na peneira 200. Com o objetivo de reduzir o investimento inicial de capital, optou-se na fase de planejamento pela construção da barragem em etapas, tendo-se otimizado o investimento através da construção em 9 (nove) etapas construtivas. Em valor presente, os cálculos indicaram

SYSNO	0908655
PROD	000924
ACERVO EESC	

uma redução de custo da ordem de 31%, em relação à alternativa em etapa única. Em termos técnicos, esse procedimento apresenta o inconveniente de produzir uma extensa junta longitudinal de construção, no interior do maciço de terra, a cada nova etapa construtiva. A construção em etapas foi programada para acréscimos do maciço por jusante, conhecido como "downstream method", dedicando-se especial atenção às juntas construtivas, tanto à nível de tratamentos efetuados durante a construção, visando a redução de eventuais caminhos preferenciais de percolação, quanto pela instalação de uma instrumentação de auscultação e controle, que possibilitasse o aprimoramento do projeto ao longo das várias etapas construtivas.

2. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

Estratigraficamente, o reservatório da barragem se situa dentro na área do Grupo Bambuí, Supergrupo São Francisco, do período Pré-Cambriano Superior, composto por quartzitos, filitos, metasiltitos, rochas calcárias e xistos. Os estratos, na área do reservatório, consistem principalmente em calco-filitos e calco-xistos, pertencentes predominantemente à sequência Serra do Landim, da Formação Vazante, que está estratigraficamente envolvida por xistos e quartzitos da Formação Paracatu.

Com relação aos taludes marginais, a área do reservatório não apresenta problemas de estanqueidade ou de estabilidade, visto que a rocha é relativamente impermeável, com fraturas geralmente fechadas, sendo o solo de capeamento resistente e disposto em taludes geralmente suaves.

No local de implantação da barragem, o perfil geotécnico na região das ombreiras é constituído por uma camada superficial de solo argiloso de origem coluvionar, com 2,0 a 4,0 m de espessura, seguido por uma camada de solo residual maduro, com espessura semelhante, sobrejacente a cerca de 2,0 m de solo residual jovem. Os solos de empréstimos para a execução do aterro compactado foram obtidos sem maiores dificuldades, nas proximidades da barragem.

Na várzea ocorre uma planície aluvionar, com cerca de 4,0 a 6,0 m de solos de baixa resistência, sobrejacente a uma camada com 1,0 a 2,0 m de espessura de páleo-cascalho, bastante permeável. O filito, subjacente, apresentou em alguns trechos perda d'água total, durante os ensaios de perda d'água em furos de sondagem. Estes trechos são decorrentes do processo de lixiviação da rocha com maior teor de materiais carbonáticos, proporcionando a formação de canalículos milimétricos. A presença destes, entretanto, não causou maiores preocupações, por estar no interior da rocha, relativamente impermeável, e disseminados (os canalículos) de forma errática dentro do maciço rochoso.

3. A BARRAGEM E SUAS ETAPAS CONSTRUTIVAS

Dadas as características granulométricas do rejeito, com cerca de 95% passando na peneira 200 (0,074 mm.), e permeabilidade da ordem de 5×10^{-5} , ficou inviável o seu aproveitamento como material de construção no maciço de barramento, mesmo com a utilização de hidrociclones (Gaioto, 1989). Além disso, a disponibilidade de grande quantidade de solos argilosos e siltosos na área do reservatório e em ambas as margens, conduziu o projeto para a alternativa de barragem homogênea, de aterro compactado.

A previsão inicial de exploração de minério era de cerca de 100 milhões de toneladas, que iria requerer um barramento com aproximadamente 55 m de altura máxima (crista na elevação 625 m.). A produção inicial era de $6,7 \times 10^6$ t/ano. Atualmente, a produção é de 14×10^6 t/ano e, no próximo ano, atingirá 18×10^6 t/ano. No final da exploração da mina, a produção total está estimada em cerca de 270×10^6 t, o que irá requerer uma altura máxima da barragem da ordem de 80 m (crista na elevação 650 m).

A barragem foi então projetada para ser construída em etapas, em alteamentos sucessivos, inicialmente a cada ano e, à medida que a área do reservatório cresce, a cada 2 ou 3 anos (Borges et al, 1991). Os alteamentos são executados com deslocamento do eixo da barragem para jusante. Na Figura 1 estão apresentadas em seção transversal as 7 etapas já construídas da barragem. O talude de jusante foi subdividido em trechos com cerca de 8 m de desnível cada um, separados por bermas com largura variando entre 3 e 10 metros. Desta forma, além de proporcionar melhor proteção do talude contra erosão superficial, evitou-se a execução de uma junta de construção contínua, para não prejudicar a estabilidade do espaldar de jusante. Para verificação da estabilidade, foram retirados blocos indeformados, exatamente no talude das juntas, que foram submetidos a ensaios de compressão triaxial. Os resultados destes ensaios indicaram uma pequena redução da resistência ao cisalhamento, mas que não chegou a comprometer a estabilidade do talude, verificada por análise, processada segundo uma superfície passando pela junta (superfície composta, não cilíndrica). Para esta análise foi utilizado o programa Slope/W, Versão 3.0, elaborado pela Geo-Slope International (1995).

Nas primeiras etapas de construção o filtro vertical ficou deslocado para a zona de jusante, para que não resultasse muito próximo ao talude de montante, na construção das etapas seguintes. Este expediente procurou minimizar a percolação de água através do barramento nas etapas iniciais, quando ainda não se conhecia com segurança o comportamento quanto à sua estanqueidade. Nas etapas seguintes, à medida que se constatou que as vazões de percolação não cresciam linearmente com a carga do reservatório, em decorrência da deposição do rejeito sobre o talude de montante da barragem, foi possível aproximar o filtro vertical deste talude, em degraus sucessivos. Para avaliar o efeito da deposição do rejeito foi também desenvolvido um estudo de percolação, com utilização do método dos elementos finitos (Amorim & Gaioto, 1993), e com base no comportamento do rejeito, determinado em ensaios com consolidômetro de lama (Mello et al, 1991).

Dadas as características argilosas do material do aterro ($LL \approx 60\%$, 20 a 70% com $\phi < 0,002$ mm) e as condições climáticas bastante severas no período de estiagem, grande número de trincas de retração ocorreram na crista e no talude de jusante, o que requereu um rigoroso tratamento, para a remoção da camada fissurada, antes da sobreposição do novo aterro. Mesmo assim, em algumas seções verificou-se percolação preferencial ao longo das juntas, detectadas através dos piezômetros aí instalados. Entretanto, com o posicionamento do filtro vertical mais próximo ao talude de montante, qualquer trinca que não fosse eliminada no tratamento seria captada pelo sistema de drenagem interna, evitando-se subpressões nas proximidades do talude de jusante.

4. INSTRUMENTAÇÃO DE AUSCULTAÇÃO

Neste item é feita uma apresentação sumária dos instrumentos empregados na auscultação do aterro da barragem e em sua fundação.

- **Subpressões**

Em decorrência da elevada permeabilidade de algumas camadas presentes na fundação da barragem, os primeiros piezômetros foram instalados em furos de sondagem realizados a partir da superfície da fundação, com profundidades entre 3,0 e 4,0 m. Estes piezômetros são do tipo "standpipe", instalados em furos de sondagem executados antes do início da construção do aterro. Durante a execução do maciço seus tubos foram alteados, subindo juntos com a elevação do aterro. Foram constituídos por tubos de PVC rígido, com 3/4" de diâmetro, perfurados ao longo de uma extensão de 0,50 m na região do bulbo de leitura e protegidos por um tubo corrugado reforçado acima deste trecho, para se evitar o seu esmagamento quando da ocorrência do atrito negativo, que se desenvolve com os recalques da fundação e do aterro compactado.

- **Pressões Neutras**

A observação das pressões neutras no aterro compactado se concentrou ao longo das várias juntas de construção, entre as sucessivas etapas construtivas da barragem, uma vez que não havia preocupação com pressões neutras de período construtivo. Os piezômetros empregados para a sua medição também foram do tipo "standpipe", idênticos àqueles empregados para a observação das subpressões.

Em virtude da barragem ter sido construída em várias etapas, estes instrumentos também o foram, de modo que aqueles que necessitavam ser instalados mais a montante em determinada etapa, acabavam por ter que vir a ser desativados posteriormente, quando da construção das etapas futuras. Alguns destes instrumentos puderam ser preservados por mais alguns anos, procedendo-se a um prolongamento de sua tubulação para jusante, horizontalmente através do aterro compactado, de modo a possibilitar a sua leitura nas proximidades da nova crista da barragem. A Fig. 1 apresenta este detalhe, bem como a locação dos piezômetros instalados na Est. 63+00.

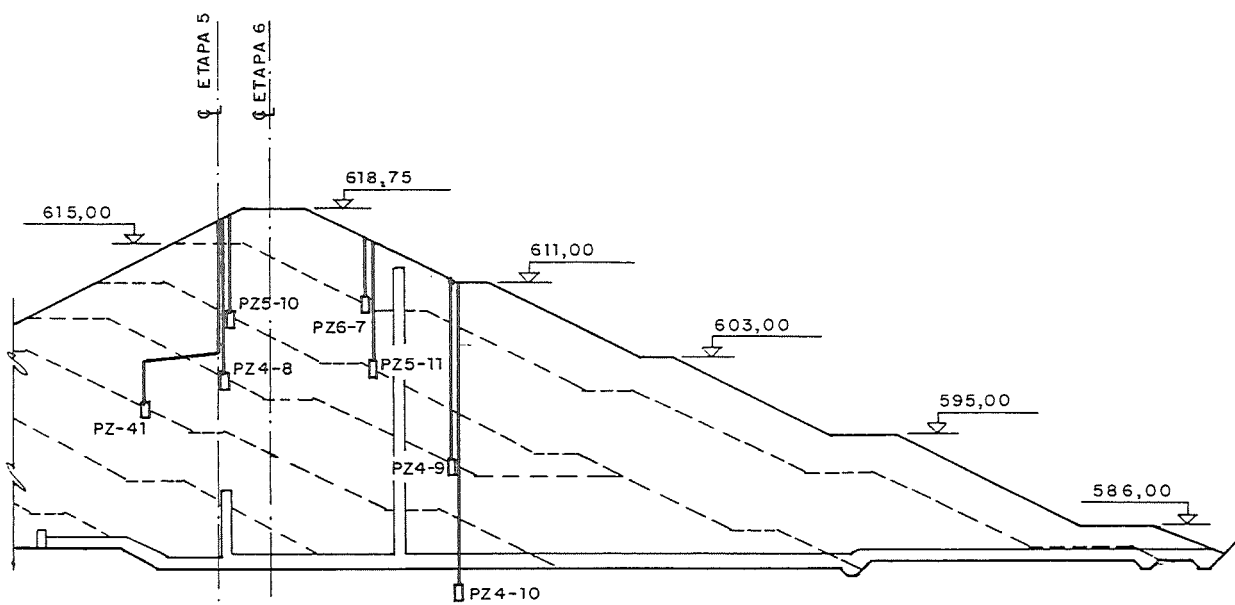


Fig. 1 - Locação dos piezômetros na seção da Est. 63+00.

- **Vazões de Drenagem**

Para a medição das vazões de infiltração foram utilizados medidores triangulares, instalados juntos aos poços de coleta do sistema de drenagem interna da barragem. Foi realizado um controle das vazões totais de drenagem, englobando fundação mais aterro compactado.

5. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA BARRAGEM

A análise do comportamento da barragem está sendo realizado a partir das informações fornecidas pelos instrumentos de auscultação, assim como pelas observações visuais de campo.

- **Subpressões na Fundação**

Os piezômetros instalados na fundação ocupam duas posições distintas, a montante e a jusante do filtro vertical. Aqueles instalados a montante refletem as subpressões que se estabelecem na fundação, em função das condições de percolação que ocorre através do maciço da barragem e da fundação, antes desta ser interceptada pelo sistema de drenagem interna da barragem. Estes piezômetros foram instalados cerca de 5,0 a 9,0 metros a montante do filtro vertical, acusando, nas últimas etapas construtivas, perdas de carga da ordem de 70% a 80%, em relação ao N.A. do reservatório. Esta constatação vem indicar um bom comportamento do maciço da barragem e da fundação, em função das elevadas perdas de carga observadas entre o reservatório e os locais instrumentados. Estas perdas de carga são atribuídas, em parte, à influência do rejeito sedimentado a montante, que acaba por funcionar como um tapete impermeabilizante, aumentando desta forma o caminho de percolação e reduzindo o gradiente hidráulico através da fundação.

Já as subpressões na fundação, a jusante do filtro vertical, estão indicando valores de baixa magnitude, em função do tapete drenante horizontal. As cargas hidráulicas no tapete drenante, indicadas por estes piezômetros, estão variando entre 0 e 2,4 m.c.a. (metros de coluna d'água), sendo suficientemente baixas para conduzir as águas de percolação para jusante, sem afetar a estabilidade do talude de jusante da barragem.

- **Pressões Neutras nas Juntas de Construção da Barragem**

Durante as primeiras etapas construtivas, alguns dos piezômetros instalados nas juntas de construção 1/2 e 2/3 passaram a indicar pressões neutras relativamente elevadas, que requereram algumas investigações adicionais, para a verificação da posição da linha freática. Na Fig. 2 apresentam-se as pressões neutras observadas em 31.07.90, após a terceira etapa de construção da barragem, pelos piezômetros PZ-1 e PZ-15, instalados respectivamente nas juntas de construção entre etapas 1/2 e 2/3, na seção transversal da Est. 24+00. Tendo em vista as pressões neutras indicadas pelo PZ-15, que apresentava níveis próximos à superfície do talude de jusante, decidiu-se realizar uma série de furos a trado, conforme locação indicada na Fig. 3, para a investigação da posição da linha freática. Estes furos foram realizados a partir da superfície do talude, até cerca de 0,5 m abaixo da junta de construção 2/3. Nesta mesma figura apresenta-se a posição da linha freática observada na época, o que veio descartar a possibilidade de

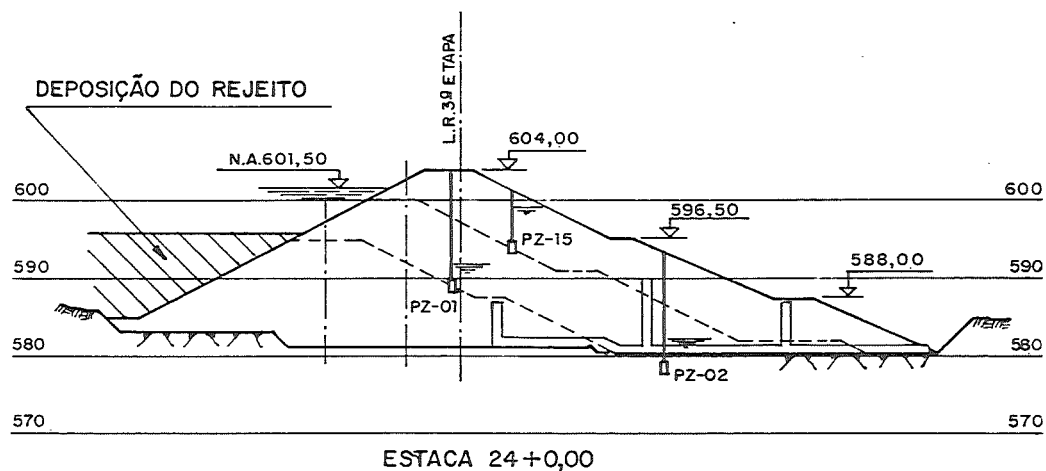


Fig. 2 - Pressões neutras na seção da Est. 24+00 em Julho/90.

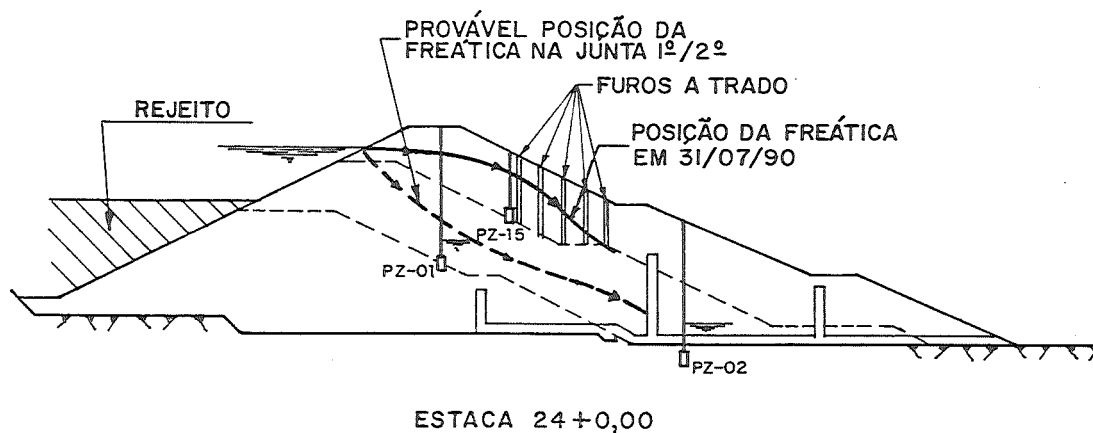


Fig. 3 - Investigações da linha freática na seção da Est. 24+00.

ocorrência de surgências d'água na superfície do talude de jusante e eliminar preocupações com relação à estabilidade deste talude.

Estas pressões neutras mais elevadas não foram observadas em todas as seções instrumentadas, mas sim em apenas duas delas, vindo indicar que se tratavam de problemas localizados. A causa destas juntas de construção mais permeáveis, em determinados locais da barragem, estava provavelmente associada a ocorrência de trincas de ressecamento na superfície do aterro compactado. Estas trincas foram observadas na crista da barragem, desde os primeiros estágios da construção, sendo causadas pela retração do solo argiloso, particularmente quando das paralizações da construção entre um ano e outro. Apesar de todos os cuidados tomados com as mesmas, quando da retomada da construção da barragem no ano seguinte, tais como a remoção da camada de proteção superficial e a remoção de cerca de 0,5 m de aterro compactado, a conclusão é que deve ter permanecido ainda, em alguns trechos da barragem, algumas fissuras com abertura milimétrica a submilimétrica, que facilitaram a percolação d'água ao longo das juntas. O fato das juntas de construção serem interceptadas mais a jusante pelo filtro vertical, veio descartar a possibilidade de pressões neutras mais elevadas, não afetando de forma significativa as condições de estabilidade do talude de jusante da barragem.

Os piezômetros instalados nas juntas de construção, a montante do filtro vertical, estão indicando perdas de carga (em relação ao nível do reservatório) entre 20% e 98%, dependendo da junta instrumentada e da sua posição em relação ao reservatório/filtro vertical. Na seção da Est. 56+00, onde se dispõem de 5 (cinco) piezômetros instalados em uma mesma vertical e em diferentes juntas de construção, conforme pode-se observar Fig. 4, estão sendo observadas perdas de carga entre 40% e 90%, em termos médios. Na Tabela 1 e no gráfico anexo são apresentadas as perdas de carga observadas em Ago/94 e Jan/95, após respectivamente as 6ª e 7ª etapas construtivas, onde podem-se observar valores da mesma ordem de grandeza, em cada um dos piezômetros, respectivamente.

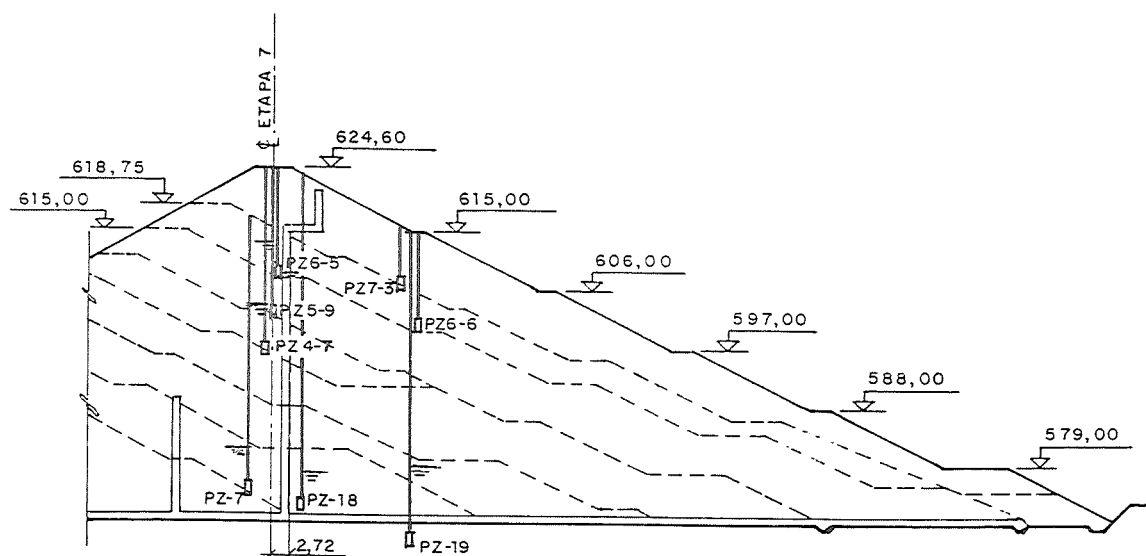
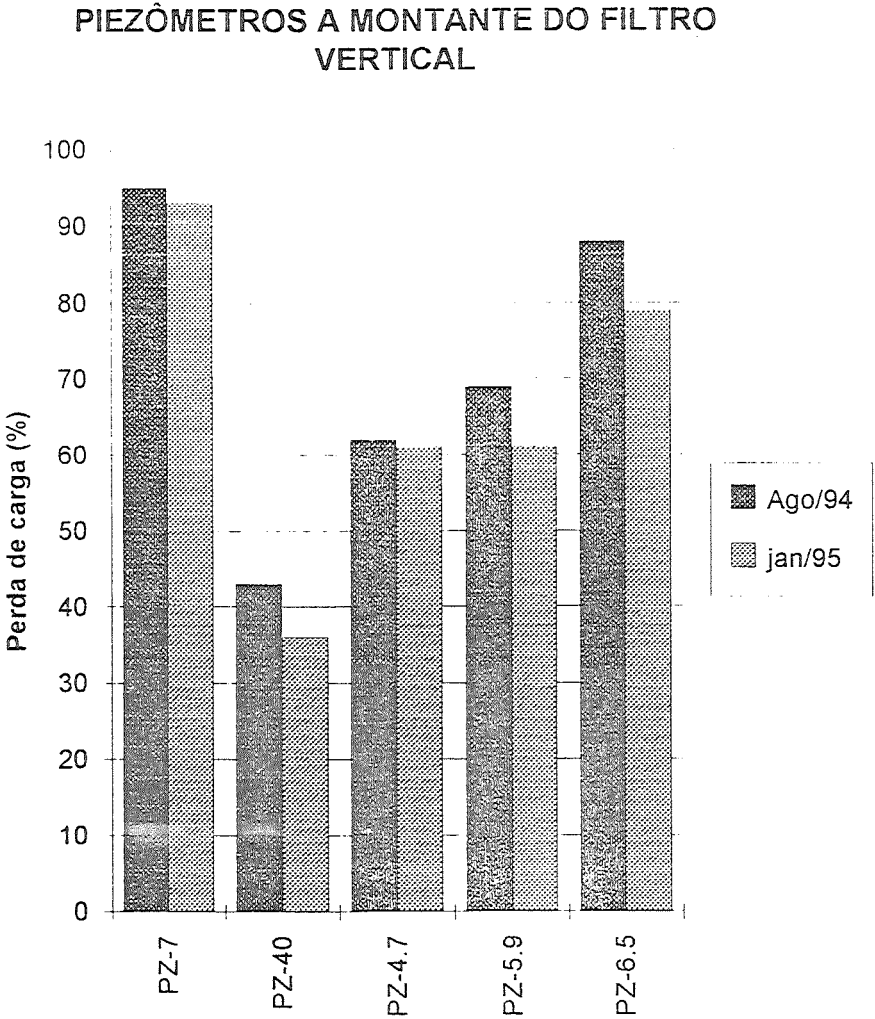


Fig. 4 - Níveis piezométricos na seção da Est. 56+00.

Tabela 1 - Perdas de carga nos piezômetros instalados a montante do filtro (Est. 56+00)

Piezômetro	Distância a montante do filtro (m)	Junta entre etapas	Perda de carga (%)	
			Ago/94 (NA=615,27)	jan/95 (NA=617,52)
PZ-7	6,0	junta 1/2	95	93
PZ-40	4,0	junta 3/4	43	36
PZ-4.7	3,0	junta 4/4A	62	61
PZ-5.9	3,0	junta 4A/5	69	61
PZ-6.5	2,0	junta 5/6	88	79



A grande perda de carga revelada pelo piezômetro PZ-7, instalado na junta de construção 1/2 reflete provavelmente a grande influência da depósito de rejeitos, a montante, na vedação do ponto de acesso das juntas inferiores de construção da barragem. Já os piezômetros PZ-40, PZ-4.7, PZ-5.9 e PZ-6.5, instalados nas quatro últimas juntas de construção da barragem, cerca de 3,0 metros a montante do filtro vertical, estão revelando perdas de carga crescentes (40% → 80%), da junta inferior (3/4) para a superior (5/6), o que se atribui à influência da carga hidráulica do reservatório a montante, no ponto de origem das juntas de construção.

• Vazões de Drenagem

Na Tabela 2 apresentam-se as vazões de drenagem observadas após a terceira etapa construtiva, quando a barragem estava com a crista na El. 604,00 e o nível do rejeito estava na El.595,00, aproximadamente, junto à barragem.

Tabela 2 - Vazões de drenagem após a terceira etapa de construção da barragem.

Poço de medição	Vazão de drenagem (l/min)	
	09/07/90	30/07/90
"C"	177	203
"D"	563	670
"E"	463	512
TOTAL	1.203	1.387

Em termos de vazão específica por metro linear de barragem, as vazões observadas estão revelando valores entre 1,0 e 1,1 l/min/m, uma vez que nesta etapa o maciço da barragem apresentava 1.240 m de extensão. Estas vazões específicas apresentam-se abaixo dos valores médios observados nas barragens brasileiras, conforme pode-se observar na Tabela 3, o que vem indicar um desempenho satisfatório do sistema de drenagem interna da barragem. O fato do rejeito, nesta etapa construtiva, estar depositado apenas na região da calha do rio, não havendo ainda uma contribuição significativa do mesmo na região das ombreiras, faz prever uma redução das vazões específicas de drenagem nas próximas etapas construtivas.

6. PRINCIPAIS CONCLUSÕES

A instrumentação de auscultação instalada na barragem Morro do Ouro, desde as primeiras etapas construtivas da barragem, tem possibilitado o acompanhamento do comportamento da barragem e a supervisão de suas condições de segurança, nas várias etapas de construção. A existência de condições preferenciais de percolação, ao longo das juntas de construção, pôde ser bem supervisionada pela instrumentação instalada, que veio alertar sobre a necessidade de tomada de medidas mais rigorosas, quando da retomada dos próximos estágios de construção. A deposição do rejeito a montante, veio constituir um tapete impermeabilizante, reduzindo ao longo do tempo não apenas as vazões de drenagem, mas também as pressões neutras observadas ao longo das juntas inferiores de construção da barragem.

TABELA 3 - Vazões específicas de drenagem em barragens brasileiras.

BARRAGEM	ALTURA MÁXIMA (m)	TIPO DE FUNDAÇÃO	SISTEMA DE DRENAGEM DA FUNDAÇÃO	VAZÃO OBSERVADA	
				Q (l/min)	Qesp (l/min/m)
Marimbondo	27	Solos coluvionares e residuais de basalto	Filtro horizontal	120	0,2
Água Vermelha - OD	50	Solos coluvionares e residuais de basalto	Poços de alívio a jusante	1500	0,8
Água Vermelha - OE	30	Lava aglomerática cavernosa	Trincheira dre- nante a jusante	2300	29
Jacareí	62	Solos residuais de gnaisse	Poços de alívio a jusante	480	0,4
Jaguari (SABESP)	62	Solos residuais de gnaisse	Poços de alívio a jusante	134	0,2
Paiva Castro (Juqueri)	19	Argilas e areias aluvio- nares e areias residuais	Poços de alívio a jusante	510	2,4
Águas Claras	22	Granitos e xistos	Filtro horizontal	480	4
Capivari Cachoeira	58	Solos residuais e ro- chas graníticas	Filtro horizontal	630	2
Atibainha	37	Solos residuais e sapro- litos de biotita gnaisse	Filtro horizontal	1050	2,4
Cachoeira	30	Solos residuais e sapro- litos de biotita gnaisse	Filtro horizontal	450	1,5
Jaguari (CESP)	76	Solos residuais de gnaisse	Poços de alívio no eixo	360	0,9
Dique do Jaguari	47	Solos residuais de gnaisse	Poços de alívio no eixo	270	1,4
Paraibuna	92	Solos residuais e ro- cha sã (biotita-gnaisse)	Filtro horizontal	18	0,03
Dique de Paraibuna	42	Solos residuais e ro- cha sã (biotita-gnaisse)	Filtro horizontal	90	0,15
Saracuruna	36	Solos residuais de migmatito	Trincheira dre- nante	1180 - 460*	8,4 - 3,3*
Itaipu - OD	10	Solos residuais de basalto	Filtro horizontal	1040	1,2
Itaipu - OE	35	Solos residuais de basalto	Filtro horizontal	2870	1,4
Paracatu	24	Solos resid.e coluvionares de xistos e filitos	Filtro horizontal tipo sanduiche	1390	1,1

(*) Após o tratamento da fundação com injeções de cimento.

Dentre as observações mais relevantes indicadas pela instrumentação, destacam-se:

- ♦ Os piezômetros de fundação instalados a montante do filtro vertical estão revelando perdas de carga entre 70% e 80%, em relação ao nível do reservatório, o que vem indicar um bom comportamento para o maciço compactado e sua fundação. Deve-se destacar a significativa contribuição que a deposição do rejeito, a montante, tem na redução das subpressões da fundação, ao longo do tempo de operação da barragem, a qual tende a se estender da região da calha do rio para a região das ombreiras, com o alteamento da deposição a montante.
- ♦ Nas primeiras etapas de construção da barragem alguns piezômetros instalados nas juntas de construção, a montante do filtro vertical, passaram a indicar pressões neutras relativamente elevadas, que foram atribuídas à existência de microfissuras superficiais na região da junta, apesar de todos os cuidados que foram tomados para evitá-las, por ocasião da retomada da construção do aterro. Estas pressões neutras não trouxeram, entretanto, preocupação em termos de estabilidade do talude de jusante, uma vez que as mesmas eram totalmente dissipadas pela interceptação das juntas de construção pelo filtro vertical de areia. Para as fases mais recentes de construção da barragem, estes piezômetros estão revelando perda de carga, em relação ao N.A. do reservatório, da ordem de 90%, para as juntas já bloqueadas a montante pelo rejeito, e da ordem de 40% a 80% para juntas de construção superiores da barragens.
- ♦ Após a terceira etapa construtiva, quando a altura da barragem era da ordem de 30 m e do rejeito da ordem de 15 m, as vazões totais de drenagem correspondiam a cerca de 1.400 l/min. Considerando-se que a barragem apresentava 1.240 m de extensão na época, verifica-se que a uma vazão específica correspondia a 1,1 l/min/m, que comparada aos valores de outras barragens brasileiras, posiciona-se um pouco abaixo da média. Com o alteamento do rejeito a montante e da sua contribuição como tapete impermeabilizante, tem se observado nas últimas etapas construtivas uma tendência de redução das vazões específicas máximas de drenagem.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de expressar os seus agradecimentos à Rio Paracatu Mineração S.A., a possibilidade de divulgação dos dados aqui apresentados sobre a Barragem do Morro do Ouro, localizada no Município de Paracatu, em Minas Gerais.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amorim, N.R., Gaioto, N. (1993) - " Barragem para Contenção de Rejeitos - Avaliação do Efeito da Deposição dos Rejeitos na Percolação de Água do Aterro e da sua Fundação " - Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Gaioto, N. (1989) - " Barragem do Morro do Ouro - Projeto Concebido para Construção em Etapas, com a Finalidade de Contenção de Rejeitos e Recuperação de Água ", XVIII S.N.G.B., Foz do Iguaçu.
- Borges, A.L., Conte, A.E., Paiva, P.R., Gaioto, N. (1991) - " Barragem Morro do Ouro - Um Exemplo de Projeto Otimizado das Etapas de Construção ", II REGEO'91 - Rio de Janeiro.

- Mello, L.G.F.S., Amorim, N.R., Meller, F.C., Quaresma Fo., A.R. (1991) - " Desenvolvimento e Ensaios Iniciais em Consolidômetro de Lama em Condições de Deformação Controlada ", II REGEO '91 - Rio de Janeiro.
- Geo-Slope Internation (1995) - " Slope/W - for Slope Stability Analysis - Version 3.0, Calgary, Alberta, Canada.