

Monitoramento da UHE Curuá-Una: Elemento de Avaliação de Segurança

A. R. Saré, PUC-RIO; L. P. Ligocki, PUC-RIO; G.F. Pinheiro, REDE CELPA; D. M. S. Gerscovich, UERJ e A. S. F. J. Sayão, PUC-RIO

RESUMO

O presente trabalho descreve a avaliação das condições de segurança da barragem da UHE Curuá-Una, para diferentes cotas do reservatório. As análises foram realizadas por meio da simulação numérica dos regimes de fluxo, tendo como base os registros piezométricos. Graus de segurança (Normal, Atenção e Emergência) foram sugeridos, de acordo com os valores praticados na engenharia de barragens. Os parâmetros geotécnicos foram estimados a partir de informações de campo e laboratório. Os resultados mostraram que a barragem encontra-se em nível de operação Normal. Também foram definidos limites piezométricos, associados aos diversos graus de segurança barragem. Adicionalmente, simulações numéricas permitiram prever o regime de fluxo no interior da barragem após um possível alteamento.

PALAVRA-CHAVE

Barragem de terra, estabilidade, fluxo, instrumentação, monitoramento.

I. INTRODUÇÃO

A construção de uma usina hidrelétrica representa um elemento de vital importância para o desenvolvimento sócio-econômico de uma região, sendo que o monitoramento das condições de segurança das estruturas é fundamental para garantir a integridade do empreendimento.

Conseqüentemente, os diversos aspectos relacionados especificamente à segurança das estruturas de barragens têm constituído uma preocupação fundamental para projetistas e órgãos reguladores governamentais. Muito se tem discutido no sentido de se adotar uma legislação, visando os aspectos de segurança, bem como de se estabelecerem normas relacionadas às fases de: projeto, de construção e de aproveitamento [1]. Convém ressaltar que o conceito de segurança deve ser entendido em um sentido global, envolvendo aspectos de natureza geotécnica, estrutural, hidráulica, operacional e ambiental.

Agradecemos à CAPES, CNPq e REDE Celpa pelo apoio financeiro. L. P. Ligocki doutoranda do Dptº de Eng. Civil da PUC-RIO (*laryssa@civ.puc-rio.br*).

A. R. Saré doutorando do Dptº de Eng. Civil da PUC-RIO (*sare@civ.puc-rio.br*).

G.F. Pinheiro Mestre do Dptº de Manutenção da Geração da REDE CELPA (*giorgiana.pinheiro@redcelpa.com.br*).

D. M. S. Gerscovich Prof. Adjunta do Dptº de Engenharia Civil da UERJ (*deniseg@uerj.br*).

S. F. J. Sayão Prof. Associado do Dptº de Eng. Civil da PUC-Rio (*sayao@civ.puc-rio.br*).

O monitoramento de barragens assume diferentes características e finalidades dependendo da etapa da obra que se deseja analisar.

Durante a construção, os instrumentos fornecem dados que possibilitam avaliar o comportamento da obra e, com isso, corrigir e/ou aprimorar determinadas premissas de projeto. Nesta fase, os principais objetivos da instrumentação apontam para a verificação de hipóteses, critérios e parâmetros de projeto, verificação da adequação dos métodos construtivos, etc.; com isso, visa-se executar um projeto mais econômico e seguro. Já ao longo de sua vida útil, o monitoramento pode detectar variações nas condições de segurança das barragens, como resultado de processos de envelhecimento e/ou alterações ambientais.

Este trabalho apresenta um estudo dos níveis de segurança da barragem de terra da UHE Curuá-Una, para as condições atuais de operação e as condições simulando um possível alteamento do nível do reservatório. A condição de segurança foi avaliada com base em dados da instrumentação.

II. DESCRIÇÃO DA UHE CURUÁ-UNA

A UHE Curuá-Una é de propriedade da CELPA – Centrais Elétricas do Pará S/A (Grupo Rede). O projeto da usina consta de casa de força, com canal adutor e canal de fuga, vertedouro, barragem de terra e uma subestação (Figura 01). A Tabela 1 apresenta a ficha técnica da usina.

A usina localiza-se no interior da floresta Amazônica, a aproximadamente 70km ao sul da cidade de Santarém (PA). Atualmente, o empreendimento possui 3 turbinas, e potência instalada de 30 MW.

A barragem de terra situa-se na parte central do rio, ligando o vertedouro (ombreira direita) à tomada d'água (ombreira esquerda). A seção da barragem é do tipo zonada, constituída por aterros de areia pouco argilosa, nos espaldares, núcleo central impermeável de argila arenosa e um dreno tipo chaminé localizado a jusante do núcleo (Figura 2). O talude de montante é protegido com enrocamento enquanto que o de jusante é protegido com grama. A barragem está assente na cota 42m. O nível máximo previsto para o reservatório situa-se na cota 68m, correspondendo a uma borda livre de 3m.

A área onde foi implantado o aproveitamento localiza-se na região central da bacia sedimentar amazônica e a maior parte dos sedimentos é formada por areia, siltes e argilas não consolidados sendo pequenas as ocorrências de rocha, desta forma as estruturas de concreto e barragem de terra estão assentes em material permeável, por este motivo principal problema do ponto de vista geotécnico refere-se ao controle da percolação de água através das fundações, devido a subpressão gerada, que possibilita a ocorrência de “piping” e instabilidade da barragem.

A solução adotada para controle da percolação de água pelas fundações da UHE Curuá-Una foi a execução

de um tapete impermeável, localizado à montante, e um tapete horizontal, drenante, localizado sob a aba de jusante. O tapete impermeável, construído com mesmo material do núcleo, possui comprimento de 240m e espessura variando de 4m, no contato com a barragem de terra, a 1,5m na extremidade de montante. O tapete tem seu início na entrada do canal de adução e estende-se até o dique direito.

As características geológico-geotécnicas peculiares do local de implantação da obra exige um monitoramento adequado da percolação e subpressões geradas no solo de fundação e corpo da barragem.



FIGURA 1 - Planta esquemática da U.H.E. de Curuá-Una [2]

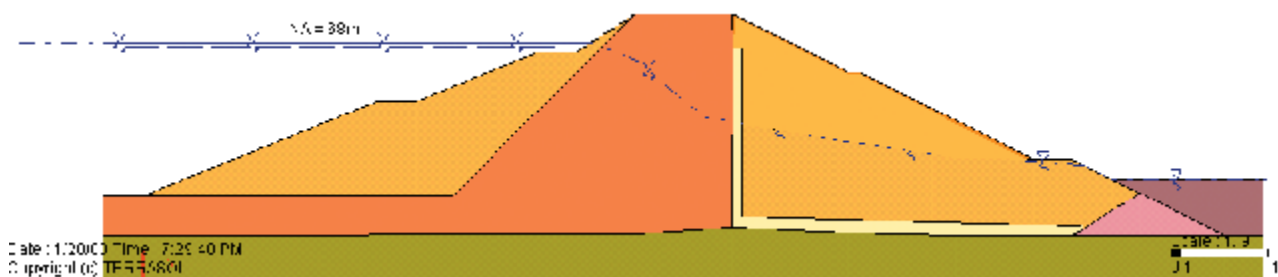


FIGURA 2 - Seção transversal da barragem

TABELA 1

Ficha técnica da usina

Reservatório

Área (NA 68,0m)	101,05 km ²
Vazão mínima média mensal	45m ³ /s
Vazão máxima registrada	640m ³ /s

Níveis d'Água Característicos

NA máximo normal Montante	68,00m
NA mínimo normal Montante	61,00m
NA máximo normal Jusante	49,00m
NA mínimo normal Jusante	43,00m

Barragem

Tipo	Zonada com núcleo central impermeável
Comprimento total	600m
Cota no coroamento	71m
Largura / altura	10 / 26 m

Vertedouro

Tipo	superficial, com comportas de setor
Comprimento	46m

Turbinas

Nº de unidades geradoras	3
Tipo	Kaplan
Potência máxima unitária	10,3MW

III. PREVISÃO DA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE TERRA PELA PIEZOMETRIA

A barragem vem sendo monitorada por piezômetros, instalados no corpo da barragem e na fundação, em duas seções de controle: estaca 35 e estaca 38 [3]. Até 2002, o sistema de leitura era manual. Atualmente este sistema está automatizado e é composto por 15 piezômetros elétricos, sendo 11 localizados na barragem (corpo da barragem e fundação) e 4 na casa de força [4], o mesmo sistema permite ao mesmo tempo o monitoramento dos níveis de montante e jusante da UHE. Neste trabalho serão apresentadas avaliações realizadas a partir das leituras piezométricas dos instrumentos instalados na estaca 35 da barragem de terra., nesta estaca os sensores foram posicionados no corpo da barragem . A Figura 3 mostra o posicionamento dos 05 piezômetros posicionados na estaca 35, em conjunto com a linha piezométrica registrada no mês de agosto 2002.

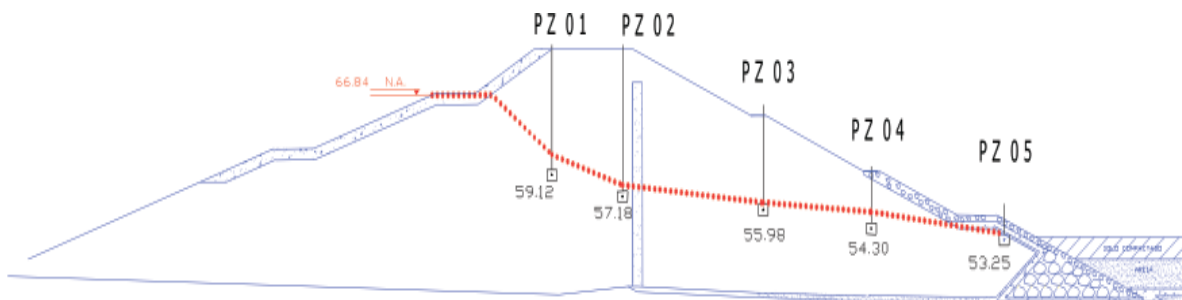


FIGURA 3 - Linhas piezométricas em agosto de 2002 - Estaca 35

Com base nesta instrumentação foi possível prever através de simulação, as cotas piezométricas associadas a diversos níveis do reservatório, inclusive considerando os níveis 69 e 69,5 m maiores que o máximo operacional da usina atualmente. As cotas são apresentadas na tabela 2. As análises consistiram na simulação do padrão de fluxo no corpo da barragem e fundação com o programa de elementos finitos Flow3D [5]. Os parâmetros geotécnicos adotados neste estudo foram extraídos de campanha de ensaios realizada na PUC-Rio [6], [7] e de campanhas anteriores de ensaios de campo e laboratório [8], [9] e [10].

TABELA 2.

Cotas piezométricas previstas para os diversos níveis do reservatório [6]

Cotas Piezométricas (m)								
NA (m)	66,84	67,00	67,50	68,00	68,50	69,0	69,5	
PZ-01	61,50	61,55	61,74	61,89	62,08	62,28	62,52	
PZ-02	58,87	58,89	59,02	59,09	59,20	59,30	59,46	
PZ-03	57,07	57,08	57,16	57,19	57,25	57,29	57,37	
PZ-04	56,40	56,41	56,47	56,50	56,54	56,57	56,63	
PZ-05	55,14	55,15	55,17	55,18	55,20	55,20	55,23	

Para um acompanhamento adequado das condições de segurança da barragem de terra de Curuá-Una, foram estabelecidas 3 categorias relacionadas às condições de operação: Normal, Atenção e Emergência. Para a barragem em operação, sob condição de fluxo permanente, considerou-se como situação de operação Normal, àquela em que os níveis piezométricos refletem uma condição de estabilidade associada a fatores de segurança (FS) superiores a 1,5. Este limite é recomendado pelo “Corps of Engineers” dos EUA, para estabilidade de barragens [11]. Como situação de Atenção, foram consideradas as condições de fluxo que resultam em fatores de segurança entre 1,50 e 1,20. Condições de estabilidade com FS < 1,20 foram classificadas na faixa de Emergência.

As possíveis condições de operação da barragem foram então testadas variando-se a cota do reservatório e calculando-se o fator de segurança associado. As análises foram realizadas com o programa Talren 97 [12], admitindo-se superfícies potenciais de ruptura circulares [13].

A Figura 4 mostra as cotas piezométricas previstas para os diferentes níveis do reservatório, em comparação com os valores estimados níveis Normal-Atenção-Emergência. Os resultados indicam que as cotas piezométricas na região central da barragem (PZ-01, PZ-02 e PZ-03) permanecem na zona de funcionamento Normal, para níveis do reservatório até a cota 69,5m. Entretanto, os piezômetros PZ-04 e PZ-05 indicam que independente do nível do reservatório, a região fornece uma condição de segurança definida como Atenção.

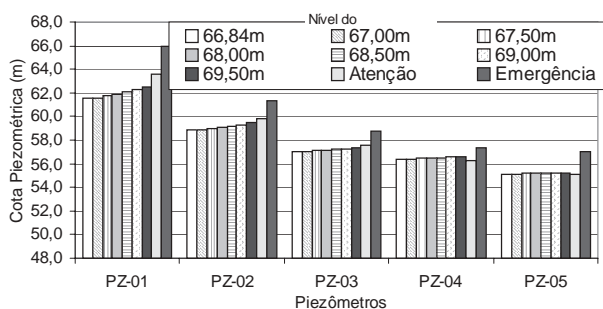


FIGURA 4 - Comparação entre níveis piezométricos previstos e níveis de alerta [6].

Estes resultados, quando plotados individualmente, para cada piezômetro, fornecem uma informação bastante útil no gerenciamento de operação da barragem. A Figura 5 mostra um exemplo deste tipo gráfico, previsto para o piezômetro PZ-03. Neste exemplo o trecho tracejado refere-se a condições hipotéticas (cotas do nível do reservatório acima do limite 69,5m), fisicamente impossíveis para a geometria atual da barragem, tendo em vista que a cota de coroamento das estruturas da casa de força da UHE é 70 m.

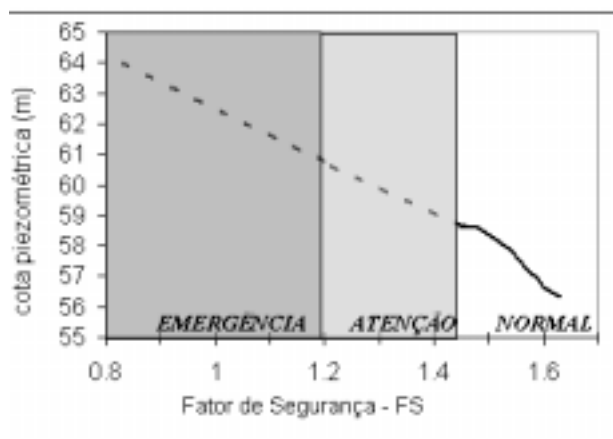


FIGURA 5 - Níveis de alerta PZ-03 [7].

IV. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como principal objetivo mostrar que um programa de monitoramento adequado, associado a um processo de análise, possibilitam um gerenciamento eficaz das condições de segurança de barragens.

A partir dos nos registros piezométricos, foram estudadas diferentes condições de fluxo no corpo da barragem

e fundação. As análises englobaram a condição atual de operação da barragem e condições futuras de alteamento do nível do reservatório. Foram definidas 3 categorias de operação: Normal, Atenção e Emergência, em função dos fatores de segurança atualmente recomendados em projetos de barragens.

As análises permitiram estabelecer limites piezométricos, associados aos diversos graus de segurança barragem de Curuá-Una Com estas informações, o controle das condições de estabilidade do maciço pode a ser feito com base em um simples acompanhamento da instrumentação.

V. AGRADECIMENTOS

Às Centrais Elétricas do Pará (Rede Celpa), em particular ao Eng. Armando Tupiassú, por disponibilizar os dados necessários para a realização desta pesquisa.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] RAMOS, C. M.; DE MELO, J. F. Segurança de barragens: aspectos hidráulicos e operacionais. LNEC – Departamento de hidráulica e ambiente, <http://www.dha.lnec.pt>. 1998.
- [2] PIERRE, L. F.; ÁVILA, J. P.; BICUDO, R. I.; SILVA, R. S. Curuá-Una Dam, Main Brazilian Dams – Design, Construction and Performance, Rio de Janeiro: Brazilian Committee on Large Dams – CBGB, p. 637 - 653. 1982.
- [3] ELETROPROJETOS. Análise dos registros piezométricos na barragem de Curuá-Una. Rio de Janeiro: ELETROPROJETOS, [1978], 4p. Relatório Técnico.
- [4] FRAIHA NETO, S. H. E PACHECO NETO, J. Automação da Instrumentação Civil da U.H.E. de Curuá-Una – Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento na U.H.E. de Curuá-Una. Belém: Centro Tecnológico – UFPA, 2002. 31p. Relatório Técnico.
- [5] GERSCOVICH, DMS. Fluxo em Meios Porosos Saturados e Não Saturados: Modelagem Numérica com Aplicações ao Estudo da Estabilidade de Encostas no Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1994. 232p. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio.
- [6] SARÉ, A. R. Análise do fluxo da barragem de Curuá-Una, Pará. Dissertação de Mestrado – PUC-Rio, Rio de Janeiro, 168 f. 2003.
- [7] LIGOCKI, L. P. Comportamento da barragem de Curuá-Una, Pará. Dissertação de Mestrado - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 173 f. 2003.
- [8] AMORIM, P. C. Análise da percolação na Barragem de Curuá-Una pelo método dos elementos finitos. Dissertação de Mestrado – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 86 f. 1976.
- [9] CENTRAIS ELÉTRICAS DO PARÁ (CELPA). UHE de Curuá-Una. Serviços de reforço no sistema de drenagem junto ao pé de jusante da barragem de terra. Relatório do desenvolvimento dos serviços. Relatório Técnico. Belém: CELPA, 1980, 3p.
- [10] ELETROPROJETOS. Relatório de Atividades em Curuá-Una (CA-0243). Relatório Técnico. Rio de Janeiro: ELETROPROJETOS, p.8-14. [1987].
- [11] FELL, R.; MAC GREGOR, P.; STAPLEDON, D. Geotechnical engineering of embankment dams. Rotterdam: A. A. Balkema, 1992. 675p.
- [12] TERRASOL. Manual técnico do programa Talren: França, 192 f. 1997.
- [13] BISHOP, A. W. The use of the slip circle in stability analysis of earth dams. Géotechnique, v. 5, p. 7-17. 1955.