

# 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@redecelpa.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]

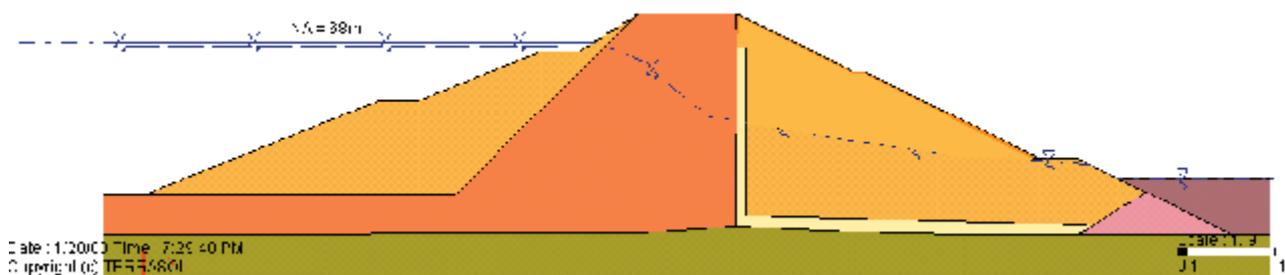


FIGURA 2 - Seção transversal da barragem

TABELA 1

## Ficha técnica da usina

## Reservatório

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

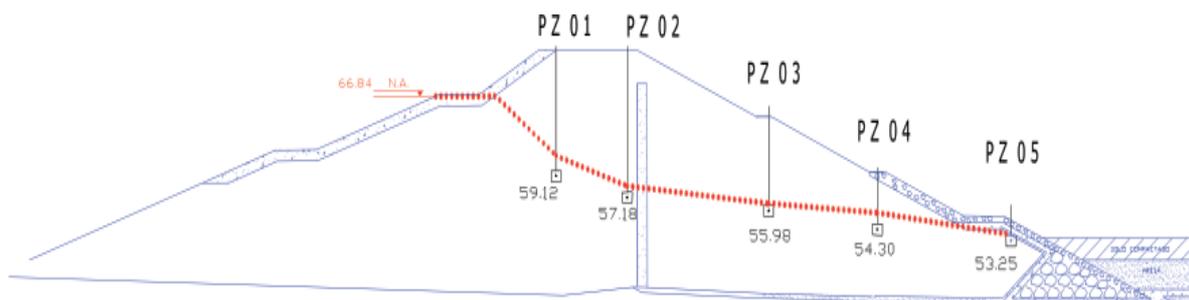


FIGURA 3 - Linhas piezométricas em agosto de 2002 - Estaca 35

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.

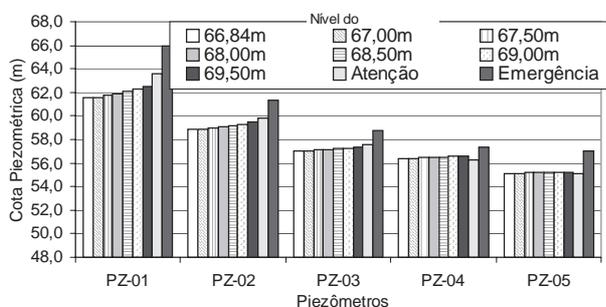


FIGURA 4 - Comparação entre níveis piezométricos previstos e níveis de alerta [6].

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.

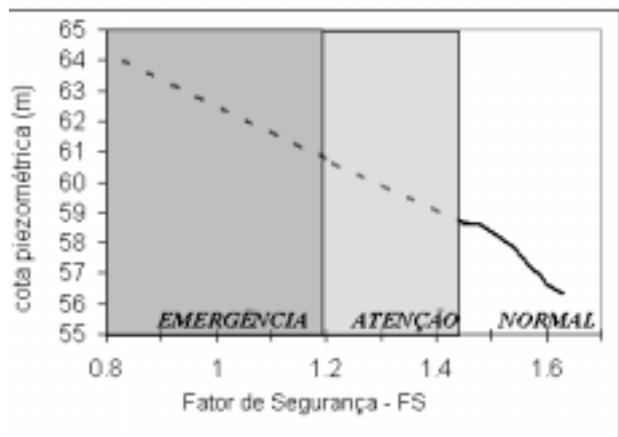


FIGURA 5 - Níveis de alerta PZ-03 [7].

#### 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.