

# Estudos Geotécnicos na Barragem de Terra de Curuá-Una

Saré, A. R.

Doutorando, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil, sare@civ.puc-rio.br

Ligocki, L. P.

Doutorando, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil, laryssa@civ.puc-rio.br

Sayão, A. S. F. J.

Prof. Associado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil, sayao@civ.puc-rio.br

Gerscovich, D. M. S.

Prof. Adjunto, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil, deniseg@uerj.br

**Resumo:** O trabalho apresenta uma avaliação das condições de segurança da barragem de terra de Curuá-Una – Pará, para diferentes níveis do reservatório. As análises foram realizadas utilizando o método dos elementos finitos. As propriedades geotécnicas dos materiais foram definidas a partir de informações de campo e laboratório. Diversos regimes de fluxo foram simulados numericamente, tendo como base os registros piezométricos. Para a avaliação das condições de segurança foram estipulados três níveis de alerta (Normal, Atenção e Emergência). Os resultados sugerem que a barragem opera em nível Normal. Também foram definidos limites piezométricos, associados aos diversos graus de segurança da barragem.

**Abstract:** This paper presents the evaluation of safety conditions for Curuá-Una dam, corresponding to different reservoir levels. The analyses were carried out based on the finite elements method. The properties of geotechnical materials were determined taking into account field and laboratory information. Various reservoir levels have been numerically simulated, considering available piezometric measurements. For the evaluation of safety conditions, three operational levels were defined (Normal, Attention and Emergency). The results show that Curuá-Una dam operates in a normal level. Furthermore, piezometric limit values had been associated with the different safety degrees.

## 1 INTRODUÇÃO

As fases de construção e enchimento do reservatório de uma barragem constituem os momentos críticos relacionados à segurança da obra. No entanto, durante a fase de operação, a barragem também necessita um controle e previsão do comportamento.

O conceito de segurança deve ser entendido em um sentido global, envolvendo aspectos de natureza geotécnica, estrutural, hidráulica, operacional e ambiental.

O monitoramento das condições de segurança é fundamental para garantir a integridade das estruturas. Além disso, o projeto pode sofrer alterações durante a sua fase de operação. O alteamento do nível do reservatório é um exemplo. Para estes casos, deve-se tratar esta intervenção novamente como um momento crítico quanto à segurança. Para isto, previsões de comportamento precisam ser simuladas e comparadas com o comportamento real.

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

Durante a construção, a instrumentação fornece dados que possibilitam avaliar o comportamento da obra e, com isso, corrigir ou aprimorar determinadas premissas de projeto. Nesta fase, os principais objetivos da instrumentação são a verificação de hipóteses, critérios e parâmetros de projeto e a verificação da adequação dos métodos construtivos. Já ao longo de vida útil da barragem, o monitoramento pode detectar variações nas condições de segurança, como consequência de processos de envelhecimento e de alterações ambientais.

Este trabalho apresenta um estudo da barragem de terra da UHE Curuá-Una, em particular com referência aos níveis de segurança para as condições atuais de operação do reservatório. As análises tiveram por base os dados da instrumentação de campo.

As características geológico-geotécnicas peculiares do local de implantação da obra exigem um monitoramento adequado da percolação de água através do solo de fundação e do corpo da barragem.

## 2 DESCRIÇÃO DA UHE DE CURUÁ-UNA

A Usina Hidrelétrica de Curuá-Una foi a primeira construída na floresta amazônica. Os estudos de viabilidade iniciaram-se em 1952 e a implantação da usina ocorreu em 1977, quando a primeira turbina entrou em operação.

A usina é de propriedade da REDE Celpa (Centrais Elétricas do Pará) e localiza-se a cerca de 70km ao sul da cidade de Santarém, Pará. Atualmente, o complexo possui 3 turbinas instaladas, cada uma gerando 9,5 MW.

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).

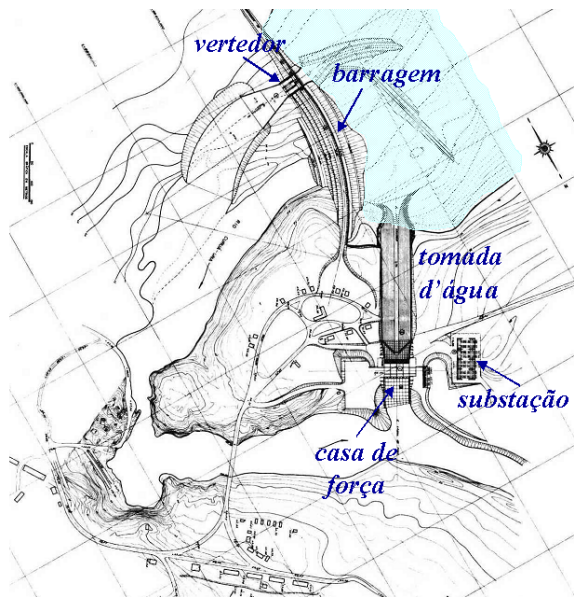


Figura 01: Planta esquemática da U.H.E. de Curuá-Una (Pierre et al, 1982).

A U.H.E. Curuá-Una possui uma barragem de terra com altura máxima de 26m e extensão de 600m, assentada sobre fundação arenosa. A barragem de terra situa-se na parte central do rio, ligando o vertedouro (ombreira direita) à tomada d'água (ombreira esquerda). O nível máximo previsto para o reservatório situa-se na cota 68m. A barragem foi construída com largura de crista de 10m e opera com uma borda livre de 3m.

Os taludes de montante possuem inclinação variando de 1 : 2,5 (V:H) na base a 1 : 1,5 (V:H) no topo. O talude de jusante possui inclinação de 1:2 (V:H). Ambos os taludes apresentam bermas intermediárias para facilitar a drenagem superficial. A face do talude de montante é protegida com enrocamento enquanto que a de jusante é protegida com grama. A seção da barragem é do tipo zonada, constituída por aterros de areia pouco argilosa, nos

espaldares e núcleo central impermeável de argila arenosa e fundação arenosa.

O sistema de controle de percolação é constituído por um tapete impermeável, localizado a montante, e por um tapete drenante horizontal, localizado sob a aba de jusante. O tapete impermeável 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 começa na entrada do canal de adução e estende-se até o dique direito.

## 3 AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA

O comportamento da barragem de terra, quanto à estabilidade e o fluxo, foi avaliado com base nas condições atuais de operação do reservatório. A metodologia de trabalho e os resultados obtidos estão detalhadamente descritos nas dissertações de Ligocki (2003) e Saré (2003).

### 3.1 GEOMETRIA E PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

A Tabela 1 resume as principais propriedades geotécnicas que compõem a seção da barragem.

Uma extensa campanha de ensaios de laboratório, para caracterização geotécnica dos materiais constituintes da barragem, foi realizada em amostras indeformadas, extraídas dos taludes de montante e jusante. O programa experimental foi executado no laboratório de Geotecnia da PUC-Rio e incluiu ensaios de caracterização, cisalhamento direto com diferentes condições de umidade, triaxiais drenados, permeabilidade e adensamento (Sayão et al., 2002).

As análises de segurança consistiram em simulações numéricas com o objetivo de reproduzir o padrão de fluxo tanto pelo corpo da barragem quanto pela fundação, utilizando o programa FLOW3D (Gerscovich, 1994). Foi feita também uma avaliação da deformabilidade do maciço de terra com o programa PLAXIS (Brinkgreve & Vermeer, 1998). Os estudos de estabilidade foram realizados para diferentes geometrias e condições de carregamento, com o programa de equilíbrio limite TALREN (Terrasol, 1997).

Paralelamente, foram analisados os resultados da instrumentação de campo, composta por piezômetros tipo Casagrande, instalados no corpo da barragem e na fundação.

Os parâmetros foram obtidos através dos ensaios laboratoriais realizados na PUC-Rio ou estimados com base em informações do projeto ou da literatura técnica, no caso de ausência de ensaios disponíveis. Nas regiões com submersão parcial (aba de jusante e núcleo), foram adotados parâmetros de resistência para o solo nas condições saturada e não saturada (Ligocki, 2003).

Tabela 1 - Parâmetros Geotécnicos da barragem de Curuá-Una (Ligocki, 2003).

Descrição	Local	c' (kPa)	φ' (°)
Areia silto- argilosa	Abaixo da L.F.	0	30
Areia silto-argilosa	Acima da L.F.	39	26
Enrocamento	Pé de Jusante	0	40
Areia	Filtro	0	34
Areia Siltosa	Fundação	2	32

### 3.2 LINHA FREÁTICA

A simulação das condições de fluxo permanente, através do corpo da barragem e da fundação, foi realizada com o programa FLOW3D (Gerscovich, 1994).

Os coeficientes de permeabilidade na condição saturada foram inicialmente estimados a partir de resultados de ensaios de campo e laboratório (Amorim 1976; Saré 2003). Devido à ampla faixa de valores encontrados para cada material, foram realizadas simulações sucessivas das condições de fluxo, até obter a que melhor reproduzisse a linha freática observada no campo.

O estudo de fluxo teve como base a condição atual de operação da barragem (reservatório na cota 68,0m). Os resultados estão apresentados na Tabela 2. A qualidade deste ajuste pode ser verificada na Figura 02, a partir da comparação entre as cotas piezométricas medidas no campo e as previstas numericamente.

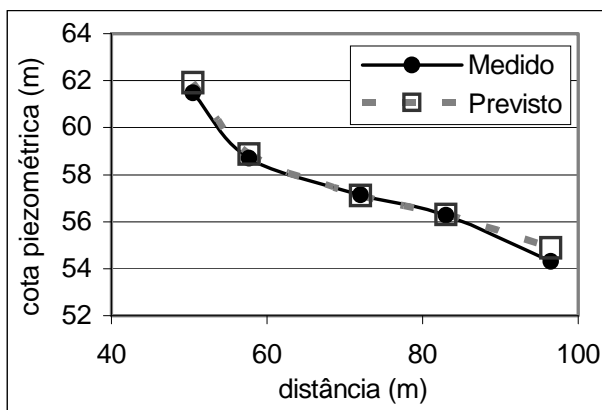


Figura 02 – Comparação entre os níveis piezométricos medidos em campo e previstos numericamente (Saré, 2003).

Tabela 2 - Coeficientes de permeabilidade (Saré, 2003)

Material	K (cm/s)
núcleo	5,0x10-7
abas	8,2x10-6
fundação	6,2x10-5
drenos	5,8x10-5

### 3.3 NÍVEIS DE ALERTA

Com o objetivo de avaliar a condição de segurança da barragem, foram estabelecidas três 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, quando o fator de segurança (FS) for igual ou superior a 1,50. 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 (Figura 03). Os respectivos fatores de segurança foram calculados com o programa TALREN97 (Terrasol, 1997), admitindo-se superfícies potenciais de ruptura circulares. Observa-se que, para as condições atuais de operação, a barragem pode ser considerada no nível Normal de operação.

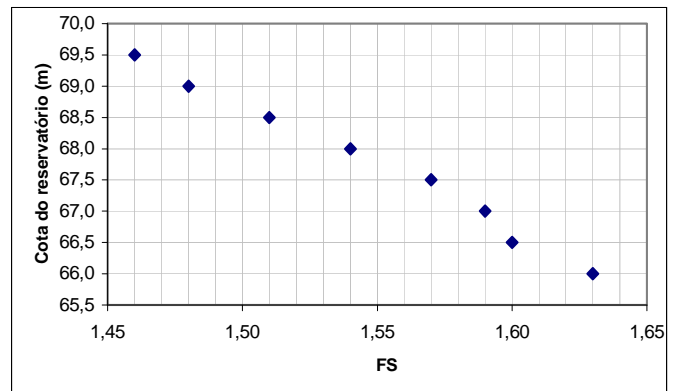


Figura 03 – Variação do valor de FS com o nível do reservatório (Ligocki, 2003).

A Figura 04 mostra as cotas previstas para cinco piezômetros instalados na barragem. Foram simuladas diferentes cotas de reservatório e as leituras piezométricas previstas foram comparadas com os limites dos níveis de alerta (Atenção e Emergência). Os resultados indicam que as cotas piezométricas permanecem na zona de funcionamento Normal, para níveis do reservatório até a cota 69,5m, para a maioria dos piezômetros.

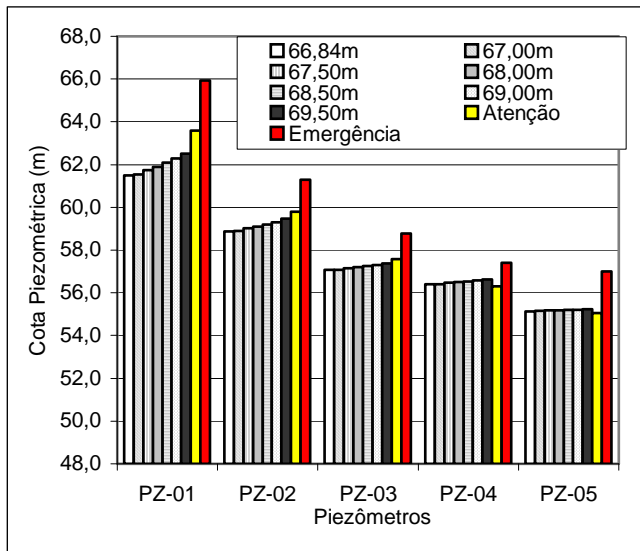


Figura 04 – Comparação entre níveis piezométricos previstos e níveis de alerta.

#### 4 CONCLUSÕES

A avaliação do comportamento e das condições de segurança foi composta por quatro fases distintas:

- levantamento bibliográfico sobre Curuá-Una, que permitiu definir a geometria da barragem e os valores preliminares dos principais parâmetros geotécnicos;
- investigação geotécnica de laboratório e campo, que possibilitou a definição de parâmetros para as análises;
- análise da piezometria, que permitiu identificar o comportamento de campo e comparar com as previsões numéricas;
- análises numéricas, que reproduziram a condição atual e permitiram avaliar as condições de segurança para diferentes níveis do reservatório.

Para as condições de fluxo simuladas no presente trabalho, verificou-se que a barragem situa-se dentro dos limites normais de segurança ( $FS \geq 1,5$ ), desde que o nível do reservatório não ultrapasse a cota 68,7m. Para a geometria atual, a cota máxima permitida para o reservatório está limitada a 69,5m

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

#### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amorim, P.C. (1976). Análise da percolação na Barragem de Curuá-Una pelo método dos elementos finitos. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 86p.
- Brinkgreve, R.B.J.; Vermeer, P.A. (1998). PLAXIS: Finite element code for soil and rock analyses, version 7.2. Technical Manual. Rotterdam: A.A. Balkema, 1998. 364p.
- Gerscovich, D. M. S. (1994). Fluxo em meios porosos saturados e não saturados: modelagem numérica com aplicações ao estudo da estabilidade de encostas no Rio de Janeiro. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, 232p.
- Ligocki, L.P. (2003). Comportamento da barragem de Curuá-Una, Pará. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, 173p.
- Pierre, L.F.; Ávila, J.P.; Bicudo, R.I.; Silva, R.S. (1982). Curuá-Una Dam. Main Brazilian Dams – design, construction and performance. Brazilian Committee on Large Dams – CBGB, Rio de Janeiro, pp. 637 - 653.
- Saré, A.R. (2003). Análise do fluxo da barragem de Curuá-Una, Pará. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, 168 p.
- Sayão, A.S.F.J; Saré, A.R.; Ligocki, L.P.; Gerscovich, D.M.S. (2002). Estudo de estabilidade e comportamento da barragem da U.H.E. de Curuá-Una. Relatório Técnico. Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento na U.H.E. de Curuá-Una, Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, 55p.
- Terrasol (1997). Manual técnico do programa Talren. França, 192 p.