

VERIFICAÇÃO DA ESTRUTURA FILTRO-DRENANTE DE UMA BARRAGEM CEARENSE

RENNAN LIBERATO RODRIGUES^{1*}; VANDA TEREZA COSTA MALVEIRA²;

¹Acadêmico de Engenharia Civil, UVA, Sobral-CE, rennanliberato@hotmail.com;

²Professora Dra. Em Engenharia Civil, UVA, Sobral-CE, tmalveira@hotmail.com;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

RESUMO: O presente trabalho apresenta um estudo de caso da barragem Taquara, localizada no interior do Ceará. Almejando estabelecer critérios para dimensionamento não apenas granulométrico, mas também em termos das espessuras dos filtros, tal pesquisa foi baseada em estudos realizados por (Silveira, 1964), (Pimenta, 2013) e (Musso e Federico, 1983), que desenvolveram uma teoria para determinação da distribuição dos vazios, a partir da qual é possível simular o carregamento das partículas de um solo. Portanto, objetiva-se calcular o diâmetro de vazios existente e traçar a curva correspondente, para que assim possa ser feito um correto dimensionamento do filtro da barragem em estudo bem como analisar a efetividade da estrutura filtro-drenante existente.

PALAVRAS-CHAVE: Barragem, estrutura filtro-drenante, dimensionamento, diâmetro de vazios.

VERIFICATION OF THE FILTER-DRAINING STRUCTURE OF A CEARENSE DAM

ABSTRACT: This article is a case study of the Taquara Dam, located in the interior of Ceará. Aiming to establish the basis for sizing not only granulometric but also in terms of thickness of filters, such research was complemented by Araken Silveira (Silveira, 1964) apud Marcos de Ávila Pimenta Filho (Pimenta, 2013) and Musso and Federico (1983), which has developed a theory for the determination of the distribution of particles, from there it is possible to simulate the carrying of the particles of a soil. Therefore, the goal is the existing diameter of voids and the corresponding trace, so that a correct sizing of the study dam filter can be made, with the effectiveness of the analysis of the existing filter structure.

KEYWORDS: Dam, filter structure, sizing, diameter of voids.

INTRODUÇÃO

Embora os projetos contem cada vez mais com processos automatizados e com novas tecnologias de análise disponíveis, observa-se que as falhas dos dispositivos de drenagem interna dos maciços de barragens de terra são causas frequentes de incidentes e acidentes nessas estruturas. Destes acontecimentos, os processos de erosão interna a causa de cerca da metade das rupturas de barragens de que se tem registro (Foster et al., 2000).

O adequado dimensionamento de filtros de barragens, além de estar atrelado a segurança tanto dessas estruturas quanto de cidades situadas na jusante da mesma, acarreta em importantes reduções na quantidade de materiais utilizados em um projeto, embora o volume de materiais envolvidos nesses sistemas não corresponda a parcelas significativas do orçamento da obra como um todo.

Das patologias presentes em sistemas de filtro, destacam-se as de maior ocorrência: o carregamento de partículas finas através de materiais granulares e a incapacidade de filtrar e drenar a água no interior do maciço seja por dimensionamento ineficiente ou por colmatação da estrutura, podendo provocar, respectivamente, formação de processos de erosão interna ou elevação do nível freático do maciço, ambos acarretando na ruptura da estrutura.

Com base em dados disponíveis sobre o histórico de incidentes em barragens construídas entre 1800 e 1986, e cujos mecanismos de falha são conhecidos, Foster et al. (2000) avaliaram as informações e apresentaram uma compilação destes dados sob uma visão estatística, visando possibilitar uma melhor compreensão sobre as principais causas, modos de falha e locais dos maciços onde ocorreram as rupturas

das barragens e observaram que erosões internas são responsáveis por cerca de metade das rupturas observadas se juntando aos galgamentos como principais causas.

Dados similares já haviam sido apresentados sobre barragens de terra e enrocamento construídas nos Estados Unidos desde 1914. De acordo com esse estudo, cerca de 60% das anomalias constatadas nessas barragens consistiam em problemas relacionados a galgamento ou erosão interna, destacando ainda a estabilização de taludes como causa de cerca de 15% das falhas. Portanto, para evitar o aparecimento de tais patologias, pretende-se com este trabalho, fundamentado nos estudos realizados por Silveira (1964) apud Pimenta Filho (2013) e Musso e Federico (1983), apresentar um método de dimensionamento do sistema de filtros, baseado na curva de distribuição de vazios.

O presente trabalho visa dimensionar corretamente estruturas filtro drenantes de uma barragem do estado do Ceará, a fim de promover a erradicação de acidentes e incidentes envolvendo estas estruturas.

OBJETO DE ESTUDO

A estrutura em estudo foi a barragem Taquara (Figura 1). O local onde o Açude Taquara foi construído é conhecido como Sítio do Barramento, está localizado no trecho alto do Rio Jaibaras, afluente pela margem esquerda do rio Acaraú. As coordenadas geográficas próximas dessa localidade são de 40° 30' 04'' de longitude a oeste e 03° 53' 32'' de latitude sul, o eixo do barramento está localizado a cerca de 1,5 km do distrito de Arariús, no município de Cariré.

O Taquara pode ser classificado como uma barragem de terra homogênea, não rígidas, ou seja, constituídas com materiais soltos. Tem capacidade de armazenamento de 274 milhões de metros cúbicos de água, com extensão de cerca de 2,5 km e 31 metros de altura.

Figura 1. Barragem Taquara.



MATERIAL E MÉTODOS

Para o dimensionamento de filtros proposto com essa pesquisa, se faz necessário seguir as seguintes etapas:

1. Obter os dados de ensaios granulométricos dos materiais que irão compor o maciço e o sistema de drenagem interna da barragem e classifica-los de acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos – USC. Vale salientar que os dados granulométricos da estrutura filtro-drenante deverão apresentar menos de 5% passante na peneira N° 200 a fim de garantir as características não coesivas para a estrutura. Após isso, organizar os dados encontrados em formato de gráfico do tipo dispersão: o eixo das ordenadas (y), representando as porcentagens passantes em escala aritmética; e o eixo das abscissas (x), o diâmetro das partículas em escala logarítmica. Com o gráfico pronto, deverão ser definidos os limites correspondentes a granulometria mais fina e mais grossa para cada tipo de solo e para a estrutura filtro-drenante;

- Realizar a leitura dos diâmetros nominais correspondentes a intervalos de 10% em 10% de porcentagem passante da curva estabelecida durante a Etapa (1). Os diâmetros necessários serão: D0, D10, D20, D30, D40, D50, D60, D70, D80, D90 e D100;
- Determinar os diâmetros médios nominais e suas porcentagens de ocorrência. Deverão ser determinados onze diâmetros médios nominais: DM0, DM1, DM2, DM3, DM4, DM5, DM6, DM7, DM8, DM9 e DM10. O DM0 será igual ao D0 estabelecido na etapa anterior. O restante dos diâmetros médios nominais será calculado através da média de dois diâmetros consecutivos, conforme a fórmula descrita abaixo.

$$D_{\frac{M_{i+10}}{10}} = \frac{D_i + D_{i+10}}{2}$$

Onde $i = 0, 10, 20, \dots, 90$. Conforme definido na ETAPA (3), os diâmetros nominais encontrados são correspondentes a intervalos de 10% em 10%, portanto as frequências de ocorrência, PM, para cada diâmetro médio será 10%, salvo para o DM0 que será igual a 0%;

- Determinar os agrupamentos para o arranjo característico do estado denso. Silveira (1964) apud Pimenta Filho (2013) desenvolveu uma metodologia de cálculo dos vazios de controle formados por um agrupamento de partículas em seu estado de máxima compactação. Em sua definição, o vazio de controle é formado por um arranjo de três partículas aleatórias. Para este dimensionamento, as partículas aleatórias estão associadas aos dez diâmetros médios nominais determinados na etapa anterior. O número total de agrupamentos será dado pela fórmula abaixo, onde x representa o número de partículas:

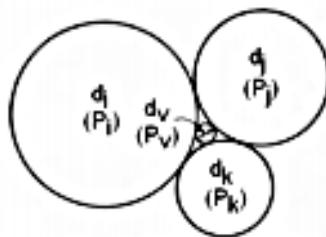
$$N = \frac{x \times (x + 1) \times (x + 2)}{3!}$$

Conforme definido, serão dez diâmetros médios nominais que irão formar 220 agrupamentos. Destes, 10 corresponderão ao arranjo de três partículas iguais, 120 corresponderão ao arranjo de três partículas diferentes e 90 corresponderão ao arranjo de duas partículas iguais e a terceira diferente;

- Determinar o diâmetro do vazio de controle. O vazio de controle será determinado como a esfera tangente às três partículas que formam o arranjo (ver Figura 2). O cálculo do vazio de controle será feito utilizando a equação proposta por Musso e Federico (1985), abaixo descrita:

$$\left(\frac{2}{D_i}\right)^2 + \left(\frac{2}{D_j}\right)^2 + \left(\frac{2}{D_k}\right)^2 + \left(\frac{2}{d_v}\right)^2 = 0,50 \times \left[\left(\frac{2}{D_i}\right) + \left(\frac{2}{D_j}\right) + \left(\frac{2}{D_k}\right) + \left(\frac{2}{d_v}\right)\right]$$

Figura 2. Arranjo das partículas de solo.



- Determinar a probabilidade de ocorrência do vazio de controle. A probabilidade de ocorrência do vazio de controle será a probabilidade de ocorrência do arranjo das três partículas. Será utilizada a fórmula descrita por Humes (1998):

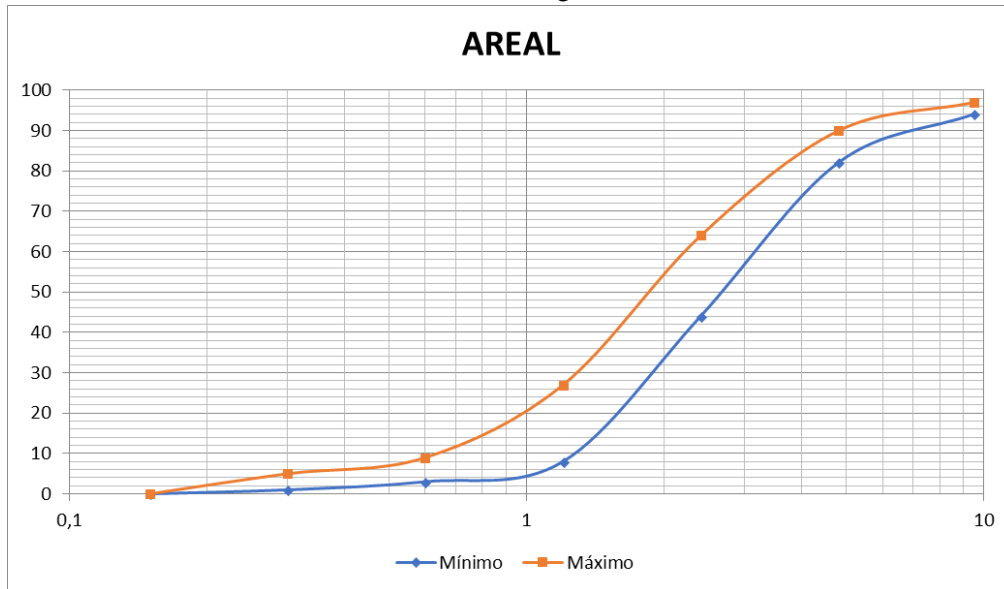
$$P_v = \frac{3!}{r_i \times r_j \times r_k} \times (P_i)^{r_i} \times (P_j)^{r_j} \times (P_k)^{r_k}$$

Onde P_i, P_j e P_k são as probabilidades de ocorrência das três partículas que formam o arranjo e r_i, r_j e r_k são o número de vezes que as partículas D_i, D_j e D_k aparecem no arranjo. A partir disso, como se tem o diâmetro de vazios de controle e suas respectivas probabilidades de ocorrência, traça-se a curva de distribuição de vazios.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

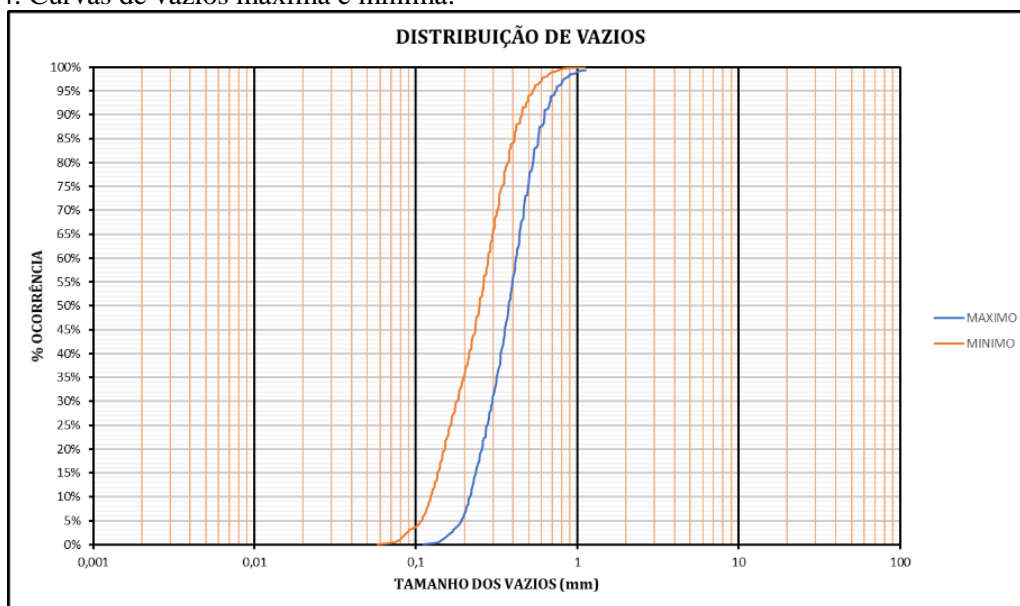
Com base nos dados obtidos no ensaio de granulometria das amostras de solo que compõem o maciço e o sistema de drenagem interna da barragem é possível traçar duas curvas, uma representando o diâmetro máximo das amostras e outra representando o diâmetro mínimo das amostras, como se pode ver na Figura 3:

Figura 3. Diâmetro máximo e mínimo do areal da barragem.



A partir das curvas estabelecidas, são encontrados os diâmetros nominais médios de cada curva. Após determinação dos diâmetros, é gerado, com a ferramenta Análise de Dados do Excel, uma série aleatória de 220 combinações tanto para os diâmetros mínimos quanto para os máximos. Também são calculados os diâmetros de vazios, com base na fórmula proposta por Musso e Federico (1985) e as suas respectivas probabilidades de ocorrência, utilizando-se da fórmula descrita por Humes (1998). A partir dos dados obtidos, obteve-se a curva de vazios, conforme mostrada na Figura 4.

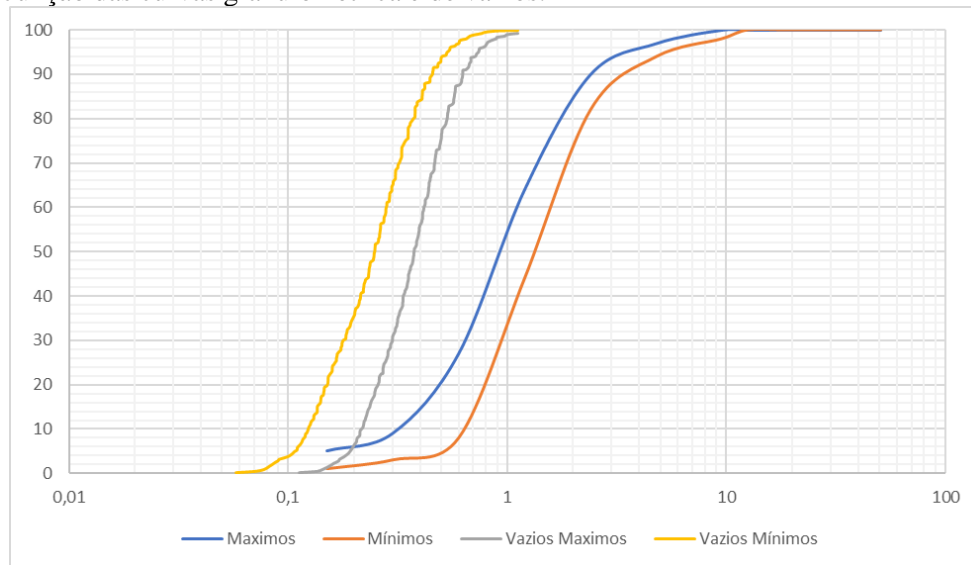
Figura 4. Curvas de vazios máxima e mínima.



As curvas definidas pela metodologia aqui exposta, isto é, a metodologia de Musso e Federico devem ser confrontadas com as curvas granulométricas das areias disponíveis para execução dos filtros-

drenantes. A efetividade do filtro só ocorrerá se as granulometrias das areias estiverem contidas pela faixa granulométrica das curvas de máximo e mínimo, conforme feito na Figura 5.

Figura 5. Junção das curvas granulométrica e de vazios.



CONCLUSÃO

Portanto conclui-se que, a partir da metodologia aplicada a granulometria desta barragem, o areal que compõe o filtro é fino demais, como se pode observar na figura, para evitar a passagem de água, o que leva a possível erosão e o arraste de material, tornando-se ineficiente.

Espera-se que com esse estudo e utilizando esta metodologia, se possa dimensionar corretamente o material para compor filtros-drenantes, evitando a ocorrência de acidentes envolvendo tais estruturas.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão de bolsa de pesquisa ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- Foster, M.; Fell, R.; Spannagle, M. The statistics of embankment dam failures and accidents. Canadian Geotechnical Journal, Vol.37, No.5, National Research Council Canada, Ottawa, out/2000. 1000-1024 p.
- Musso, A.; Federico, F. Un método geométrico-probabilístico per la verifica dei filtri. Rivista italiana di Geotecnica, anno XVII, 4, 1983. 177-193, p.
- SILVEIRA, A. Algumas considerações sobre filtros de proteção - Uma Análise do Carreamento. Tese de Doutorado. EPUSP, São Paulo, 1964.
- Pimenta Filho, M.A. Análise da Erosão Interna de Solos em Barragens com Base na Distribuição de Vazios. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. 2013.
- Humes, C. Considerações sobre a determinação da distribuição de vazios de filtros de proteção de obras geotécnicas. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1995.
- DNOCS - DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA SECA. Disponível em: <http://www2.dnocs.gov.br/>. Acesso em: 05 de maio de 2018.