

XVI ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

Universidade de Fortaleza
17 a 20 de outubro de 2016

Influência do Comprimento de Tapete Impermeabilizante a Montante no Fluxo Estacionário de Barragem de Terra com Núcleo Argiloso

Fernando Feitosa Monteiro ^{1*} (PG), Leila Maria Coelho de Carvalho ²(IC), Yago Machado Pereira de Matos ³ (PG), Marcos Fábio Porto de Aguiar ⁴(PQ), Francisco Heber Lacerda de Oliveira ⁵ (PQ)

1 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Geotecnia), Universidade Federal Do Ceará, Fortaleza-CE;

2 Programa de Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Fortaleza, Fortaleza-CE

3 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Geotecnia), Universidade Federal Do Ceará, Fortaleza-CE

4 Professor de Graduação em Engenharia Civil, Instituto Federal do Ceará, Fortaleza-CE

5 Professor de Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Fortaleza, Fortaleza-CE.

yago_mpm@hotmail.com

Palavras-chave: Barragens de terra. Elementos finitos. Fluxo em barragens. Tapete impermeabilizante a montante

Resumo

O tapete impermeável a montante de barragens é uma alternativa de controle de percolação com a qual amplia-se o comprimento de percolação, dessa forma, atenuando a vazão, as forças de percolação e conseqüentemente os gradientes de saída. Referida alternativa é umas das obras de menor custo dentre os elementos controladores de percolação pela fundação. O presente trabalho realiza uma análise do fluxo estacionário em barragens de terra, a partir da variação do comprimento do tapete impermeabilizante a montante. A análise da alternativa envolve o uso de técnicas numéricas, a partir da aplicação do método dos elementos finitos. As simulações realizadas no presente trabalho mostraram que quanto maior a extensão do tapete de impermeabilização a montante maior foi a redução da vazão de percolação pela fundação da barragem. Para a seção estudada, um aumento de 20 m de extensão no tapete de argila correspondeu a uma redução de aproximadamente 4,3% da vazão de percolação.

Introdução

Controle de percolação de uma barragem

Segundo o Bureau of Reclamation (1965), o projeto e a construção de barragens de terra devem levar em consideração critérios para a garantia da segurança da obra como: o dimensionamento do vertedouro, proteção dos taludes contra erosão, não transferir tensões excessivas às fundações e possuir um controle de percolação através do maciço e das fundações eficientes.

Existe a necessidade de compreender que a percolação em barragens depende de determinados fatores e que o dimensionamento de estruturas de controle de percolação estão diretamente vinculados ao coeficiente de permeabilidade da fundação, área transversal do fluxo, carga hidráulica disponível no reservatório e o comprimento de percolação ao longo da barragem (BOWLES, 1984).

Giroud e Bonaparte (1989) descrevem que tratamentos inadequados podem resultar em fundações excessivamente permeáveis, levando a gradientes de saída elevados no talude de jusante e, eventualmente, iniciar processos de erosão regressiva (*piping*). Os tipos de tratamento impermeabilizante mais utilizados em barragens são a trincheira de vedação (*cut-off*), a cortina de injeções de calda de

cimento, a cortina de estacas prancha, os diafragmas executados *in-situ* (plástico e rígido) e os tapetes impermeabilizantes a montante. Uma maneira de comparar o desempenho de alternativas de tratamento de impermeabilização da fundação é através de modelagem bidimensional de fluxo, utilizando o método dos elementos finitos, onde se extraem valores de vazão de percolação pela fundação da barragem, assim como gradientes de saída.

Tapete impermeabilizante a montante

Um tapete horizontal permeável a montante ocasiona um aumento do comprimento de percolação através da fundação, sua aplicação é indicada quando se tem uma camada permeável de grande espessura, podendo possuir maior eficiência do que um “*cut-off*” parcial em caso de uma fundação homogênea. A utilização de tapete impermeabilizante a montante é uma boa solução para regiões de sismos, dessa maneira evitando a utilização de materiais de rigidez diferente na fundação (SILVA FILHO, 1991). O dimensionamento do tapete consiste em se determinar o comprimento necessário para obter-se uma vazão admissível pela fundação e segurança quanto ao carreamento de “*piping*”. Uma camada natural de baixa permeabilidade na superfície do terreno pode funcionar como um tapete impermeabilizante (Figura 1), sendo usualmente constituídos por solo argiloso compactado, contando eventualmente com uma proteção mecânica com camada de enrocamento.

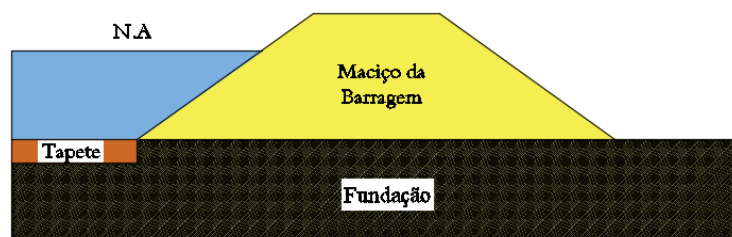


Figura 1: Seção típica com tapete a montante

Metodologia

A metodologia utilizada na composição deste trabalho consistiu, inicialmente de uma revisão bibliográfica feita a partir de livros, artigos e dissertações de mestrado. Nesta conjuntura, este trabalho exibe uma análise do fluxo estacionário em barragens de terra, a partir da variação do comprimento do tapete impermeabilizante a montante, objetivando a compreensão dos fenômenos envolvidos e o desenvolvimento de sua utilização. A análise da alternativa envolve o uso de técnicas numéricas, a partir da aplicação do método dos elementos finitos.

Resultados e Discussão

Este trabalho apresenta uma simulação numérica para a avaliação do desempenho do tratamento de fundações de barragens de terra com tapete impermeabilizante a montante. Na Figura 2 ilustra-se a seção de estudo da barragem modelada, onde a barragem possui uma altura de 35 m, cota do leito do rio a 26 m de altura a montante e 9,6m a jusante. Os taludes de montante e jusante possuem inclinação de 1:3 (V:H).

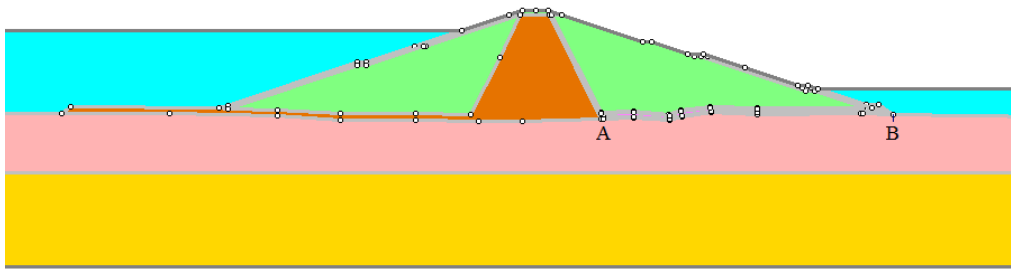









Figura 2: Seção de estudo da barragem

Na Tabela 1, têm-se a descrição dos parâmetros de resistência e permeabilidade dos materiais utilizados na modelagem. A barragem estudada possui um núcleo de argila compactada, com espaldares de solo argiloso e tapete impermeabilizante de material similar ao executado no núcleo. A fundação da barragem é composta por uma camada de arenito superficial com espessura de 19 m e assente sobre uma uma camada de 30 m de arenito profundo. Na seção, foram indicados dois pontos representados pelas letras A e B. O ponto A localiza-se no encontro do arenito superficial com o filtro, logo após o núcleo da barragem. Já o ponto B está localizado na interface entre o arenito superficial e o final do sistema de filtro horizontal.

Tabela 1: Parâmetros de resistência e permeabilidade dos materiais usados nos modelos

Convenção	Material	γ (kN/m ³)	ψ' ($^{\circ}$)	c' (kPa)	k (m/s)
	Arenito superficial	21	33	50	5×10^{-5}
	Arenito profundo	21	33	50	1×10^{-6}
	Solo argiloso compactado (Espaldares da barragem)	20	25	5	1×10^{-8}
	Solo argiloso compactado (Espaldares da barragem)	19	25	10	1×10^{-7}
	Filtro de areia compactada	19	34	0	1×10^{-4}
	Pedrisco	19	36	0	5×10^{-4}
	Brita	19	36	0	3×10^{-2}

Dessa forma, foram realizadas simulações com tapete a montante composto pelo solo que compõe o núcleo da barragem, com o objetivo de verificar a eficiência da solução. Foram realizadas simulações variando-se o comprimento do tapete (50, 70, 90 e 100 m) a fim de verificar os efeitos de tal variação. Na Tabela 2, estão apresentadas as vazões de percolação estudadas para o tapete impermeabilizante a montante composto por solo.

Tabela 2: Vazão de percolação da seção com tapete de argila compacta

Extensão do Tapete Impermeabilizante composto por solo (m)	Vazão (m ³ /s / m)
50	4,1709 x 10 ⁻⁷
70	3,9933 x 10 ⁻⁷
90	3,8162 x 10 ⁻⁷
100	3,7267 x 10 ⁻⁷

A partir dos resultados obtidos, verifica-se que quanto maior a extensão do tapete impermeabilizante, menor será a vazão de percolação pela fundação da barragem, ainda verifica-se que para a seção estudada, um aumento de 20 m de extensão no tapete corresponde a uma redução de aproximadamente 4,3% da vazão de percolação. Na Figura 3 pode-se observar a vazão para o tapete de 50m e a distribuição a carga total ao longo da barragem.

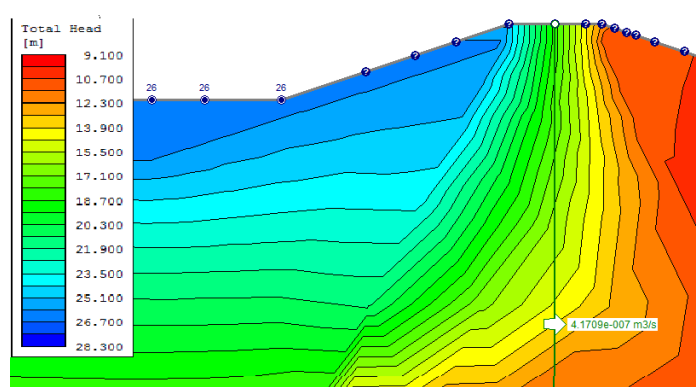


Figura 3: Vazão de percolação pela barragem-fundação

O gradiente hidráulico não apresentou alteração significativa no ponto A. Já no ponto B, passou de um gradiente de 0,05, para a seção com tapete de 50m, para um gradiente de 0,01, para a seção com tapete de 90m.

Conclusão

Os resultados mostram que a membrana impermeável atua principalmente aumentando o caminho de percolação do fluxo na fundação da barragem, resultando, dessa forma, em menores cargas de pressão sob a mesma. Como consequência, reduz-se a vazão d'água de percolação através da barragem e da fundação. As simulações realizadas no presente trabalho mostraram que quanto maior a extensão do tapete de impermeabilização a montante, maior foi a redução da vazão de percolação pela fundação da barragem. A vazão entre os tapetes de 50m e 70m diferem em 4,26%, já os tapetes de 70m e 90m possuem uma discrepância de 4,43%. Os tapetes com extensão de 90m e 100m apresentaram uma variação de 2,35% na percolação de vazão. Para a seção estudada, um aumento de 20 m de extensão no tapete de argila correspondeu a uma redução de aproximadamente 4,3% da vazão de percolação. As maiores variações de carga ocorrem na fundação, sob o tapete e sob o espaldar de montante da barragem. Entretanto, sob o espaldar de jusante é pequena a variação nas cargas de pressão.

Referências

- BOWLES, J. E. (1984). "Physical and Geotechnical Properties of Soils" – International Student Edition.
- BUREAU OF RECLAMATION. (1965). *Design of small dams – United States Department of the Interior*

GIROUD, J. P. e BONAPARTE, R. (1989) Leakage through liners constructed with geomembranes – part I Geomembrane liners. Geotextiles and Geomembranes, Vol. 8, p. 27-67.

SILVA FILHO, F. C. (1991) Tapetes impermeabilizantes a montante de barragens sobre aluviões permeáveis. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, COPPE/UFRJ.

Agradecimentos

Agradecemos a CAPES pela a bolsa de ¹