

APRESENTAÇÃO DE UMA METODOLOGIA PARA ESTUDAR A INFLUÊNCIA DE CHUVAS ABUNDANTES E DURADOURAS SOBRE A ESTABILIDADE DE PEQUENAS BARRAGENS DE TERRA

Jean Pierre Demartinecourt  
José Bezerra da Silva

Centro de Ciências e Tecnologia  
Universidade Federal da Paraíba  
Departamento de Engenharia Civil  
Campina Grande, Brasil

RESUMO

O trabalho apresentado procura estudar a influência de chuvas abundantes e duradouras sobre a estabilidade de pequenas barragens de terra. Para isso, um programa de elementos finitos é usado para simular o regime hidrodinâmico que pode existir no corpo de uma pequena barragem de terra sob o efeito de chuvas abundantes.

Os resultados dessa primeira análise são usados como dados de entrada de um programa de estabilidade de taludes. Os coeficientes de segurança contra o deslizamento, calculados na ausência de chuvas e na presença de chuvas, são comparados.

ABSTRACT

This work wants to present the study of the influence of heavy and steady rains on the stability of small earth dams. For that purpose, a finite element program is used to simulate the hydrodynamic conditions which may occur inside the earth dam body under the heavy rains effects.

These first results are used as input data in a slope stability program. Values of the safety factors against sliding calculated under the heavy rains conditions and without them are compared.

## INTRODUÇÃO

Os arquivos da Engenharia Geotécnica registram uma grande variedade de problemas envolvendo taludes de terra, naturais e artificiais. De fato, toda massa de solo limitada por uma superfície superior em declive, tende a se por em movimento sob o efeito do seu peso, o qual é mantido em equilíbrio pela resistência ao cisalhamento do solo. Se essas forças de cisalhamento forem insuficientes para manter o equilíbrio, haverá movimento da massa do solo causando a ruptura do talude.

Vários métodos são utilizados para calcular a estabilidade dos taludes de uma barragem de terra. De maneira geral, todos esses métodos foram elaborados e são habitualmente usados para calcular um coeficiente de segurança contra o deslizamento  $F$  nas três situações seguintes:

1. Análise da estabilidade dos taludes durante a fase de construção e no momento final da realização da barragem. Nesse caso o regime das pressões intersticiais dentro do corpo do maciço de terra corresponde às pressões intersticiais surgidas e desenvolvidas dentro das camadas compactadas pelo efeito do peso das camadas superiores de material. O surgimento das pressões intersticiais ocorre principalmente com materiais de baixa permeabilidade compactados com alta energia de compactação (SKEMPTON, 1954, BISHOP, 1952).

2. Análise da estabilidade em fase de pleno funcionamento da barragem. Nesta situação o regime hidráulico é estabelecido depois da dissipação das pressões intersticiais surgidas durante a construção e depende essencialmente das características hidrodinâmicas dos materiais constituindo a barragem e das condições de contorno serem verificadas pelas funções carga hidráulica e fluxo, condições que foram estabelecidas durante o enchimento da barragem.

3. Análise da estabilidade durante o esvaziamento rápido de uma barragem de terra. O novo regime hidráulico depende das novas condições de contorno serem verificadas pelas mesmas forças carga hidráulica e fluxo, condições geradas pelo rebaixamento rápido do nível d'água na barragem. (MORGENSTERN, 1963)

É importante observar que na bibliografia escrita sobre estabilidade de barragens de terra, os autores de um modo geral não se preocupam com o estado de estabilidade do maciço de terra da barragem quando este for submetido ao regime hidráulico que pode se estabelecer por completa saturação do maciço e por percolação das águas de chuvas no interior dos taludes. É provável que a completa saturação do maciço pode somente se realizar quando se tratar de uma barragem relativamente pequena e constituída de materiais de permeabilidade média. A omissão dos autores em tratar esse aspecto da estabilidade de uma barragem pode ser devida a combinação dos dois fatos seguintes:

a) Todos os programas de estabilidade foram desenvolvidos em países de clima temperados onde há menor probabilidade de chuvas fortes e prolongadas do que no caso dos países de clima tropicais.

b) O outro fator explicativo é a dificuldade computacional encontrada de levar-se em consideração o regime hidráulico estabelecido pela percolação das águas de chuvas, dentro do processo de cálculo dos fatores de segurança contra o deslizamento. De fato, nenhum programa existente de estabilidade de taludes possui a autonomia suficiente para auto-

estabelecer o regime hidráulico de acordo com as condições de contorno dos problemas serem analisados. Sempre o regime hidráulico existente é implantado nas análises de estabilidade de taludes quer em função do quociente entre a pressão intersticial e o valor da pressão total devido ao peso das terras (coeficiente  $n_1$  de BISHOP, 1960) representando somente grosseiramente as verdadeiras pressões intersticiais no interior do maciço da barragem, quer usando uma malha de valores de pressões intersticiais obtida pelo desenho manual ou automático da rede de fluxo existente no corpo da barragem.

### OBJETIVO

O objetivo principal do trabalho consiste em mostrar uma tentativa de simulação a percolação das águas de chuvas abundantes e duradouras, usando um programa de Elementos Finitos. As três situações seguintes serão estudadas. A primeira delas é a condição de pleno funcionamento de uma pequena barragem na ausência de chuvas. A segunda representa a condição de chuvas abundantes e duradouras sobre a crista e os taludes da mesma barragem. A terceira possibilidade representa a condição de chuvas sobre uma barragem que acabou de ser realizada e que estaria na fase de preenchimento. O cálculo dos coeficientes de estabilidade será executado usando o regime hidrodinâmico criado nos casos anteriores. Os valores dos coeficientes para as duas primeiras situações serão comparados e poderá então ser quantificado o efeito de chuvas abundantes sobre a estabilidade de pequenas barragens de terra.

### ESTABELECIMENTO DOS DIFERENTES REGIMES HIDRÁULICOS

#### Programa de cálculo dos escoamentos.

O programa utilizado nessa pesquisa é o programa FPM-500 que foi desenvolvido por TAYLOR e BROWN (1967). Ele utiliza o método dos elementos finitos para a análise de fluxos estacionários bidimensionais e tridimensionais com simetria de revolução obedecendo a lei de DARCY generalizada. Ele pode tanto tratar de fluxo confinado como de fluxo não confinado determinando nesse último caso automaticamente a posição da linha freática por um processo iterativo. O elemento finito de base é o elemento triangular com aproximação linear para as funções carga hidráulica e pressão intersticial. Podem ser também usados elementos quadriláterais que na realidade são tratados como sendo formados de quatro triângulos básicos que são montados para formar o elemento quadrilateral por eliminação do grau de liberdade interno correspondente ao centro do quadrilátero.

#### Condições de contorno para o pleno funcionamento da barragem.

O corpo da barragem a ser analisado é mostrado na Figura 1. Ele é considerado como sendo homogêneo com um dreno triangular no pé jusante. Ele repousa sobre um maciço rochoso considerado como sendo impenetrável. Trata-se de um escoamento não confinado com posicionamento da linha freática. A malha de elementos finitos que foi utilizada para a análise apresentada comporta 596 elementos e 634 nós. Os nós do talude montante acima do nível de funcionamento, os nós na crista da barragem e os nós do talude jusante são deslocáveis e foram iterativamente rebaixados até a posição que eles ocupam sobre a linha freática. As condições de contorno no caso de pleno funcionamento são:

ao longo de ABC:  $h = H =$  profundidade do ponto.

CARACTERÍSTICA DO SOLO TIPO - 1

Peso Específico - 1,8 tf/m

Coesão - 1,4 tf/m

Ângulo de atrito (Graus) - 25

CARACTERÍSTICA DO SOLO TIPO - 2

Peso Específico - 1,9 tf/m

Coesão - 1,5 tf/m

Ângulo de atrito (Graus) - 20

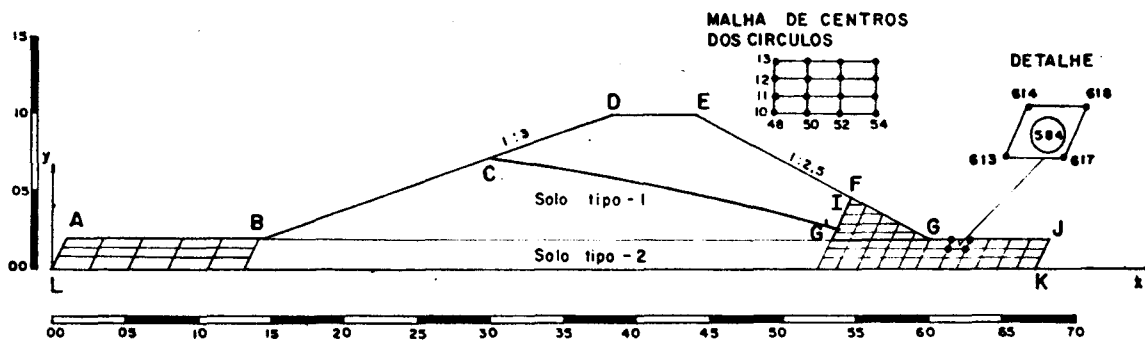


FIG. 1 -

ao longo de CG' :  $h = z =$  cota do ponto e  $\psi = 0$  (vazão nula)

ao longo de G'H :  $h = z =$  cota do ponto (condição de bom desempenho do filtro GII).

ao longo de HJ :  $h = z$

ao longo de JKLA :  $\psi = 0$  (vazão nula)

Condições de contorno do segundo caso.

No caso do pleno funcionamento da barragem com regime de chuvas abundantes e duradouras, as condições hidrodinâmicas de um possível regime estacionário correspondente a uma completa saturação do maciço são:

ao longo de ABC :  $h = H =$  profundidade do ponto

ao longo de CEFHIJ :  $h = z$  ( $u = 0$ )

ao longo de JKLA :  $\psi = 0$  (vazão nula)

Condições de contorno da terceira situação.

No caso da barragem vazia com regime de chuvas, as condições de contorno fornecidas ao programa são as seguintes:

ao longo de ABEFGHIJ :  $u = 0$  (pressão = pressão atmosférica)

ao longo de JKLA :  $\psi = 0$  (vazão nula)

#### O PROGRAMA DE ESTABILIDADE

O programa de estabilidade de taludes "SLOPE II" utiliza a análise bidimensional plana, em equilíbrio limite, pelo método das fatias. Ele é concebido para manejar os métodos de FELLENIUS, BISHOP simplificado, SPENCER, JANBU rigoroso e simplificado, e MORGENSTERN-PRICE. Existem além dessas diferentes hipóteses de cálculo, cinco opções para levar em consideração o regime das pressões intersticiais. A opção PORS é particularmente flexível e consiste em declarar valores arbitrários para a pressão intersticial em cada ponto de uma malha. Os resultados da análise do regime hidrodinâmico nas três condições descritas anteriormente foram então fornecidas ao programa usando essa opção e as respectivas malhas de elementos finitos como malha de pontos indicadores da opção PORS.

#### RESULTADOS E CONCLUSÕES

Os resultados somente puderam ser obtidos, até agora, nas duas últimas situações. Foram também calculados e apresentados os resultados da análise de estabilidade da mesma barragem vazia e sem chuvas, usando para isso o coeficiente  $r_u$  de Bishop. O valor de  $r_u=0$ , foi escolhido nessa análise, para simular a situação de uma barragem que foi compactada a seco (caso das pequenas barragens agrícolas da região do Nordeste do Brasil). Nesse caso, as duas análises em tensões totais efetivas coincidem. Todos os resultados estão apresentados nas tabelas 1 a 3 a seguir. 80 círculos de deslizamentos foram analisados e o menor valor do fator de segurança contra o deslizamento, para todos os círculos, é especificado pelas suas coordenadas na mesma linha da tabela.

x coordenada do centro	y coordenada do centro	raio do círculo	Fator de segurança
48	10	6,7	1,97
50	10	8,4	1,82
52	10	10,0	1,74
54	10	10,0	1,79
48	11	7,7	1,87
50	11	9,4	1,73
52	11	11,0	1,65
54	11	11,0	1,72
48	12	8,7	1,81
50	12	10,4	1,68
52	12	12,0	1,61
54	12	12,0	1,66
48	13	9,7	1,79
50	13	11,4	1,65
52	13	11,4	1,56
54	13	13,0	1,61

Tabela 1 - Situação 2 (barragem em funcionamento com chuvas)

x coordenada do centro	y coordenada do centro	raio do círculo	Fator de segurança
48	10	6,7	1,99
50	10	8,4	1,84
52	10	10,0	1,75
54	10	10,0	1,80
48	11	7,7	1,89
50	11	9,4	1,75
52	11	11,0	1,67
54	11	11,0	1,72
48	12	8,7	1,84
50	12	10,4	1,70
52	12	12,0	1,62
54	12	12,0	1,67
48	13	9,7	1,81
50	13	11,4	1,67
52	13	11,4	1,57
54	13	13,0	1,62

Tabela 2 - Situação 3 (barragem vazia com chuvas)

x coordenada do centro	y coordenada do centro	raio do círculo	Fator de segurança
48	10	6,7	2,82
50	10	6,7	2,69
52	10	8,4	2,63
54	10	8,4	2,62
48	11	7,7	2,66
50	11	7,7	2,52
52	11	9,4	2,50
54	11	9,4	2,51
48	12	8,7	2,59
50	12	8,7	2,40
52	12	10,4	2,39
54	12	10,4	2,42
48	13	9,7	2,55

50	13	9,7	2,33
52	13	11,4	2,31
54	13	11,4	2,34

Tabela 3 - (Barragem compactada a seco,  $r_u = 0$ )

Dos resultados obtidos nas 3 análises feitas pode-se concluir que o fator de segurança contra o deslizamento é fortemente influenciado pela percolação das águas de chuvas dentro do corpo de uma pequena barragem de terra. De fato, pode-se verificar que o fator de segurança foi reduzido do valor de 2,31 (barragem compactada a seco,  $r_u = 0$ ), para o valor de 1,57 (barragem vazia com chuvas), sendo essa diferença devido exclusivamente a influência da percolação das águas de chuvas.

#### REFERÊNCIAS

- (1) SKEMPTON, A.W., The Pore Pressure Coefficient A and B, *Geotechnique Journal*, vol. 4, p. 143 - 147 (1954).
- (2) BISHOP, A.W., The Stability of Earth Dams, University of London, Ph.D Thesis (1952).
- (3) BISHOP, A.W., MORGENSTERN, N., Stability Coefficients for Earth Slopes, *Geotechnique Journal*, vol. 10, p. 129 - 147, (1960).
- (4) MORGENSTERN, N., Stability Charts for Earth Slopes During Rapid Drawdown, *Geotechnique Journal*, vol. 13, p. 121-131 (1963).
- (5) TAYLOR, R.L. and BROWN, C.B., Darcy Flow Solutions with a Free Surface, *Journal Hidrological Division, ASCE* nº 93 no HY2(1967)