

## DESENVOLVIMENTO E SIMULAÇÃO DE TAXAS DE EROÇÃO PARA VIABILIZAR MODELOS FÍSICOS REDUZIDOS

Rubens Gomes Dias Campos, Aloysio Portugal Maia Saliba, Raquel de Souza Camargos, Victor Hugo Brum Biscaro e Daniel Tuler Passos

Doutorando UFMG, Professor Adjunto UFMG, Graduanda UFMG, Graduando UFMG, Graduando UFMG.  
E-mail: rubensengenheiro2004@yahoo.com.br, asaliba@ehr.ufmg.br, raquel\_camargos@hotmail.com, victorhugobrubmbiscaro@gmail.com, danieltpassos@gmail.com

### Introdução

A modelagem física em laboratório pode ser utilizada para representar fenômenos que ocorram em estruturas hidráulicas como canais e barragens. Para representar barragens os fenômenos mais reproduzidos em modelos físicos reduzidos em laboratórios são as rupturas hipotéticas de maciços, com a verificação de formação de brecha, como proposto por Saliba (2009) em canais são comuns as representações das taxas de erosão relacionadas em fundos móveis.

Devido a impossibilidade de se trabalhar com materiais como solos argilosos e siltosos, pois os mesmos podem danificar o sistema de bombeamento (abrasão, cavitação), são usuais a substituição destes solos por materiais inertes e insolúveis, que possam ser coletados antes de se incorporar ao fluxo. Nesta pesquisa está sendo utilizado um granulado de borracha que tem coesão nula, e para que este material se torne mais representativo das características geotécnicas de um solo, são adicionadas pequenas parcelas de uma mistura cimento/água em proporção variadas (Mistura Borracha Cimento Água - MBCA).

Porém, as taxas mais adequadas da mistura cimento/água devem ser testadas para representar as taxas de erosão similares àquelas de um solo em estudo. Assim foi adaptado de Briaud *et al.* 2001 um aparato para esta finalidade, como exposto na Figura 1.

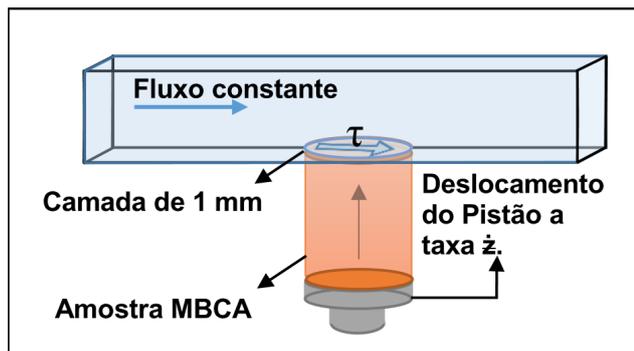


Figura 1 – Esquemático para determinação de taxa de erosão.

Inicialmente as formulações apresentadas por Briaud *et al.* (2001) demonstram que a tensão crítica de arraste é linearmente proporcional ao  $D_{50}$  de um solo. Conforme Briaud *et al.* as formulações foram desenvolvidas para solos que não possuem ação de forças eletromagnéticas ou eletrostáticas, assim, para solos tipos areais e pedrisco.

Porém, para esta pesquisa, o material difere do material do material ensaiado por Briaud *et al.* (2001), conforme dito trata-se de um material preponderantemente elástico (Mistura Borracha Cimento Água – MBCA).

### Objetivo

O objetivo da pesquisa é desenvolver um aparato adaptado, como descrito em Briaud *et al.* (2001), e obter taxas reais de erosão de uma mistura de granulado de borracha com cimento/água, as quais serão representativas das taxas de erosão de solos sobre efeitos de uma tensão cisalhante promovida por

um fluxo constante. O fluxo constante erosivo pode ser devido a turbulências que ocorrem em pilares de pontes, como descrito no próprio texto de Briaud *et al.* (2001), ou como ocorre em processos de erosões de maciços de barragens, como descrito por Campos *et al.* (no prelo).

Estas taxas de erosão da MBCA serão determinadas para várias vazões, de forma que sua aplicação em outros modelos físicos reduzidos em laboratórios seja representativa em várias condições hidrodinâmicas.

Inicialmente pretende-se utilizar as vazões de 20, 30, 40, 50 e 60 m<sup>3</sup>/h, contudo, com o desenrolar da pesquisa, outras vazões poderão ser verificadas, conforme necessário.

### Metodologia

O mecanismo de teste de erosão utilizado é o *Erosion Function Apparatus* (EFA) que utiliza amostras de solo em tubos de paredes finas para gerar uma taxa de erosão e de esforços cisalhantes por meio do fluxo d'água passante em determinada velocidade (Briaud *et al.* (2001).

A partir dos princípios utilizados para seu funcionamento, foi reproduzido um aparato de erosão semelhante no Centro de Pesquisas Hidráulicas (CPH/UFMG), no qual foram realizados os experimentos desta pesquisa.

Para a realização do teste de erosão o aparato apresenta uma caixa retangular com a dimensões transversais de 9,63 cm de largura e 7,875 cm de altura, com 18,3 cm de comprimento, revestidas lateralmente por acrílico, para ser possível à visualização do teste. A água captada de um reservatório, com ajuda de duas bombas ligadas em paralelo, é conduzida ao aparato e volta para o reservatório, concluindo assim, um circuito fechado. Na parte inferior dessa caixa, está localizado um furo que permite introduzir um tubo de ensaio com diâmetro interno de 40,0 mm, no qual a amostra a ser testada está inserida, com utilização de um pistão.

Devido as características elásticas do material a ser ensaiado, MBCA, foram necessárias as seguintes etapas para promover o adensamento do material, com expulsão do ar que preenche os vazios entre as partículas, conforme descrito pela metodologia de ensaio de confecção do corpo de prova a seguir:

1. Pesa-se uma parcela de borracha granulada (em torno de 130 g);
2. Pesa-se uma parcela de cimento (em taxas crescentes para cada tubo de ensaio);
3. Promove-se a mistura da borracha granulada e do cimento previamente pesado em recipiente hermeticamente fechado;
4. Proceda-se a umidificação da amostra (Verificando-se que não pode haver excesso que cause escorrimento de água ou formação de poças dentro da amostra);
5. Preliminarmente a colocação das amostras no tubo de ensaio é necessário a lubrificação da superfície interna do tubo, para que o atrito desta superfície não gere atrito e dificulte a subida da amostra, levando a possíveis fissuras ou fragmentação da amostra;

- A amostra é colocada em três camadas nos tubos de ensaio com 40,0 mm de diâmetro interno por 165,0 mm de altura média;
- A amostra é adensada em três camadas por uma carga estática padrão de 5 kg durante 1 minuto por meio de um pistão que cobre toda a área do tubo de ensaio;
- A amostra é compactada em três camadas por uma carga dinâmica padrão de 5 kg de uma altura de queda de 10,0 cm com 10 golpes, com o pistão que cobre toda a área do tubo de ensaio;
- As amostras são mantidas em uma câmara úmida durante 24 horas para promover a cura do cimento;

O procedimento de condução do ensaio do corpo de prova é feito cumprindo-se as seguintes etapas:

- Mede-se a altura efetiva do corpo de prova inserido no mecanismo;
- Colocação do tubo de ensaio com corpo de prova anteriormente produzido no pistão do aparato, com fixação das peças de encaixe;
- Estabelecimento de uma vazão constante, capaz de produzir um fluxo constante, levando a uma tensão de cisalhamento crítica ( $\tau$ ) constante;
- Inicia-se a contagem do tempo;
- Imprime-se uma velocidade constante ao mecanismo de ascensão do corpo de prova inserido no tubo de ensaio, de forma que sempre haja uma camada uniforme de 1 mm a ser erodida;
- Terminada a erosão completa do corpo de prova fênda-se a contagem do tempo;

Finalizado o ensaio pode-se determinar a taxa de erosão média das amostras ( $\bar{z}$ ) dividindo-se a altura total (h) pelo tempo total de erosão de cada corpo de prova (t),  $\bar{z} = h/t$  (Briaud *et al.* 2001), com resultados em mm/s.

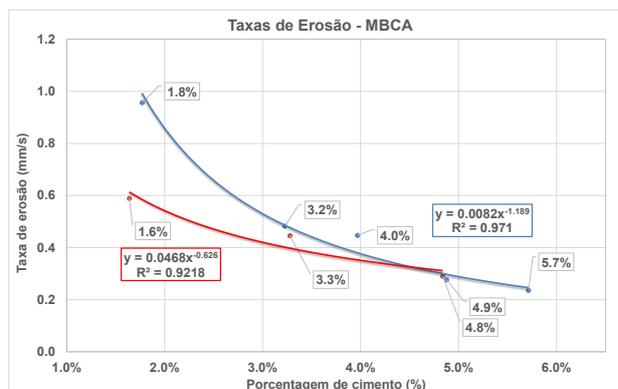
O item 5 deste último procedimento deve ser feito cuidadosamente, pois as taxas de erosão são de complexa determinação, notadamente para os solos coesivos, como argilas, sendo inclusive observado para estes solos, sobre efeitos de fluxos constantes, que fenômenos de soltura de pequenos blocos de 1 centímetro cúbico podem ocorrer, caso existam nas superfícies aparente destes solos fissuras que promovam o início deste fenômeno (Briaud *et al.* 2001). Para o caso específico desta pesquisa este mesmo fenômeno é observado se a velocidade de colocação do corpo de prova dentro do fluxo superar 1 mm, podendo ocorrer desagregação de um bloco da amostra e, assim, a erosão não é representativa de um efeito hidráulico superficial.

## Resultados preliminares

Foram elaborados oito ensaios completos, em duas séries de teste, CP1 a CP 5, e CP 7 a CP 9, conforme os resultados apresentados na Tabela 1 e Figura 2.

**Tabela 1** – Valores obtidos de duas séries de ensaios de taxas de erosão.

CP	Cimento (%)	Taxa de Erosão (mm/s)	Altura Efetiva (mm)	Tempo de Erosão (min.)
CP 1	1,8	0,95652	132,0	2,30
CP 2	3,2	0,48239	137,0	4,73
CP 3	4,9	0,27600	138,0	8,33
CP 4	5,7	0,23574	157,0	11,10
CP 5	4,0	0,44688	143,0	5,33
CP 7	1,6	0,58871	146,0	4,13
CP 8	3,3	0,44545	147,0	5,50
CP 9	4,8	0,28968	146,0	8,40



**Figura 2.**– Gráfico de duas séries de ensaios de taxas de erosão.

## Considerações finais

A pesquisa de taxas de erosão do material MBCA envolve uma série de etapas metodológicas laboratoriais, a serem cumpridas rigorosamente, para se evitar possíveis desvios. Nesta fase inicial da pesquisa foram desenvolvidas duas séries de ensaios com resultados satisfatórios que esboçam um comportamento de erodibilidade similar conforme taxas de cimento com valores próximos.

## Referências bibliográficas

- Briaud, J. L.,** Ting, F. C. K., Chen, H. C., Cao, Y. Han, S. W. Kwak, K. W. *Erosion Function Apparatus for Scour Rate Predictions. Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering. February 2001.*
- Campos, R. G. D.,** Saliba, A. P. M. Baptista, M.B. Modelagem física para determinação de parâmetros de brechas em rupturas de barragens em cascata. XXVIII Congresso Latinoamericano de Hidráulica, Buenos Aires, Argentina, Setembro de 2018.
- Saliba, A. P. M.** Uma nova abordagem para análise de ruptura por galgamento de barragens homogêneas de solo compactado. 2008. 179 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte, 2009.