

DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO MÉDIO DAS GOTAS DE CHUVA SIMULADA EMPREGANDO O MÉTODO DA FARINHA

Icaro Macedo Santana¹
Leandro Ferreira Silva²
Vitor Souza Viana Silva³
Bruno Rogério da Hora Lobo⁴
Miriam de Fátima Carvalho⁵
Jorge Luis Zegarra Tarqui⁶

RESUMO: *Com este trabalho, objetivou-se avaliar o diâmetro médio de gotas de chuvas simuladas, para diferentes combinações de pressão de serviço e diâmetro de bico. Após ter sido realizado os testes de diâmetro e massa média de gotas, utilizou-se um simulador de chuvas e empregou-se o método da farinha, variando a abertura do disco e a pressão, para se obter dados de diâmetro médio de chuva simulada. O resultado deste trabalho, além da obtenção de dados de diâmetro médio volumétrico de gotas de chuva simulada, relata, detalhadamente, o procedimento de execução do método da farinha, cuja literatura consultada não apresentava detalhes de execução do experimento.*

Palavras-chave: Chuva simulada; Diâmetro de gota; Método da farinha

INTRODUÇÃO

Os processos erosivos do solo são condicionados por fatores naturais interdependentes, como a topografia, o clima, a pluviosidade, a cobertura vegetal, propriedades do solo e a geologia. Associado a isso tem também as atividades antrópicas que influenciam bastante neste processo. A erosão é um processo complexo e a intensidade em que ela ocorre depende, basicamente das características da chuva, do solo e da superfície do solo (Watson & Laflen, 1986, p.98-102).

No caso específico de erosão hídrica, o desprendimento ou a desagregação das partículas de solo ocorre pelo efeito integrado da energia de impacto das gotas de chuva e da força cisalhante do escoamento superficial (Amorim et al 2000). O transporte ou arraste das partículas é feito pela ação do vento e, em maior escala, pelo escoamento superficial. O final do processo se dá pela deposição das partículas do solo, que acabam resultando em assoreamento de corpos d'água, redes de drenagem e outros problemas ambientais. A capacidade da chuva em provocar erosão do solo é conhecida como erosividade da chuva, e tem sido usualmente expressa como uma função potencial da intensidade de precipitação (Meyer & Wischmeier, 1969, p.754-758).

¹ Estudante, Escola de Engenharia - UCSal; icaromacedo.eng@hotmail.com: Autor.

² Estudante, Escola de Engenharia - UCSal; leoeng2@hotmail.com: Co-autor.

³ Estudante, Escola de Engenharia - UCSal; bruno.rhl@hotmail.com: Co-autor.

⁴ Estudante, Escola de Engenharia - UCSal; vitorsouza22@bol.com.br : Co-autor.

⁵ Prof., Dr., Departamento III / Escola de Engenharia - UCSal; miriam@ucsal.br : Orientador.

⁶ Prof., Dr., Departamento III / Escola de Engenharia - UCSal; jlztarqui@yahoo.com : Co-orientador.

Diferentes tipos de simuladores de chuva têm sido usados para o estudo de erosões na área de engenharia de conservação de solo e água, tais como por aspersão, infiltrômetros, dentre outros. O simulador com disco giratório é um equipamento que trabalha por aspersão de água a diferentes intensidades, que são obtidas variando o tipo de bico, pressão de serviço e abertura do disco. Para um mesmo diâmetro de bico, o aumento na pressão resulta em maior número de gotas de pequenas dimensões, ao passo que, para uma dada pressão, o aumento do diâmetro do bico resultará em gotas maiores. Essas variáveis interferem na velocidade de impacto das gotas aspergidas pelo simulador e portanto, na energia cinética transmitida ao solo para desagregar as partículas e disponibilizá-la ao arraste. As dificuldades na utilização de simuladores é que, em alguns casos, esses equipamentos não apresentam boa uniformidade de aplicação de chuva ou não são capazes de reproduzir precipitações com energia cinética próxima à das chuvas naturais.

Para avaliação da energia cinética das gotas de chuva simulada é necessário conhecimento do tamanho médio de gotas produzidas pelo equipamento. Segundo Salako (2003, p. 342) os seguintes métodos podem ser utilizados para obter o diâmetro médio e a distribuição das gotas, a saber: método da mancha, método da farinha, sensor piezométrico com transdutores de pressão e método da fotografia.

Este artigo apresenta o procedimento de ensaio e alguns resultados preliminares obtidos da determinação do tamanho das gotas do simulador, empregando o método da farinha.

MATERIAIS E MÉTODOS

A determinação do diâmetro médio das gotas de chuva produzidas pelo simulador (modelo FEL3), de disco giratório pertencente ao Laboratório de Solos da Escola de Engenharia da Universidade Católica do Salvador, será executada pelo método da farinha. O diâmetro médio das gotas produzidas pelo equipamento é uma das principais variáveis para calcular a energia cinética da chuva simulada. O simulador de chuva usado com é um equipamento que trabalha por aspersão de água a diferentes intensidades, que são obtidas variando o tipo de bico, pressão de serviço e abertura de disco.

Antes da realização do ensaio com o simulador propriamente dito, obteve-se uma curva de calibração que expressa a relação entre a massa de água da gota e a do grânulo de farinha ($M_{wgota}/M_{grânulo}$) em função do diâmetro médio do grânulo de farinha. Para obter essa relação, inicialmente, foi realizado um experimento para medir a massa de água média contida em gotas produzidas por agulhas hipodérmicas de várias aberturas e por micropipetas.

A massa de água da gota foi obtida com a ajuda de um sistema, conforme Figura 1, que envolve um frasco de soro fisiológico com regulador de gotejamento, uma balança eletrônica de precisão, um becker, água destilada e agulhas hipodérmicas de aberturas variadas. O frasco de soro cheio de água destilada foi fixado a uma altura de 40 cm de uma balança eletrônica de precisão e as agulhas foram acopladas na mangueira do gotejador. Com o regulador de gotejamento ajustou-se a velocidade de queda das gotas dentro do becker que está posicionado sobre o prato da balança de precisão. Após o gotejamento de 30 gotas, obteve-se a massa de água total e, em seguida, a massa de água média para cada agulha usada. Para maior representatividade, este ensaio foi repetido três vezes e trabalhou-se com o valor médio obtido das repetições. Com a menor agulha existente no mercado somente foi possível obter gota com diâmetro de 2,28mm e massa de água de 0,006g. Para a obtenção de gotas com menores diâmetros foi usada uma micropipeta de volume variável, (figura 2), mantendo-se as mesmas condições de realização do ensaio (gotejado nas mesmas condições de altura, número de gotas e modo de pesagem).

Para determinação da massa e diâmetro dos grânulos construídos através do gotejamento de água numa bandeja com farinha de trigo foi utilizado um sistema, conforme figura 3, que envolve um suporte metálico para fixar o frasco de soro fisiológico, gotejador, agulhas de várias aberturas, 4 bandejas com 20 cm de diâmetro e farinha de trigo. O suporte foi fixado de tal forma que a ponta da agulha ficasse a uma altura de 197cm da bandeja contendo a farinha. Essa altura é igual a altura de queda das gotas do simulador de chuva utilizado. Para realização do ensaio os seguintes passos foram executados:

- Regulou-se a altura de gotejamento e carga hidráulica (nível d'água no frasco) a cada início de ensaio;

- Em cada bandeja peneirou-se a farinha de trigo usando uma peneira de abertura de 1,18 mm, até atingir uma camada uniforme com espessura mínima de 2 cm. A farinha deve estar no seu estado solto, para facilitar o amortecimento das gotas. Segundo Rickson (2001, p. 37), o tempo entre o preparo da bandeja e a execução do ensaio não poderá exceder duas horas;

- Com velocidade constante, gotejou-se a água destilada sobre a farinha evitando-se a superposição das gotas. Um total de 36 grânulos foram confeccionados, sendo 6 em cada bandeja;

- Cobriram-se os grânulos com uma fina camada de farinha passada na peneira de 1,18mm, evitando-se assim a evaporação e assegurando que cada grânulo tenha o mesmo grau de contato com a farinha;

- Em seguida, as bandejas contendo os grânulos com farinha foram deixadas secar ao ar livre durante 24 horas e colocadas numa estufa à 60°C, realizando-se pesagens diárias e retirando-as da estufa quando houver uma constância na massa, ou seja, quando os grânulos estiverem totalmente secos.

- Depois de secados em estufa, os grânulos foram separados por peneiramento, utilizando as peneiras 0,710; 0,840; 1,00; 1,18; 1,41; 1,68; 2,00; 2,36; 2,83; 3,36 e 4,75 mm, obtendo-se a massa total e a massa média dos grânulos retidos na respectiva peneira;

A partir dos resultados dos ensaios descritos anteriormente, pôde-se calcular para cada diâmetro médio de grânulo a relação entre a massa de água da gota e a massa do grânulo. Conhecendo-se essa relação, partiu-se para realizar o ensaio com o simulador de chuvas empregando o método da Farinha, conforme figura 4, descrito por Oliveira (1991, p.103), o qual consistiu em:

- Ajustar a posição do bico e abertura do disco, bem como centralizar a mesa de ensaio;
- Realizar um ensaio de precipitação para verificar se a intensidade desejada está sendo atingida;

- Passar a farinha de trigo fresca pela peneira de 1,18 mm, preenchendo as 3 bandejas de área 0,28 cm², com uma camada uniforme e mínima de 2 cm de espessura, visando-se o amortecimento das gotas e evitando-se perdas de massa de água no impacto da gota com a bandeja;

- Posicionar a bandeja sobre a mesa de ensaio e cobri-lá com uma tábua com tamanho superior ao da bandeja, evitando que respingue água na farinha;

- Ligar o simulador, ajustar a pressão e aguardar a estabilização da vazão;

- Retirar a tábua sobre a bandeja, expondo a farinha à precipitação durante um período de 2 a 4 segundos aproximadamente;

- Cobrir a bandeja com a tábua, desligando o simulador;

- Lançar uma fina camada de farinha de trigo, passada na peneira de 1,18mm, por toda a superfície da bandeja. Isto ajuda a minimizar a evaporação e assegurar que cada grânulo tenha o mesmo grau de contato com a farinha.

- Após secados ao ar livre por um período de 24 horas, os grânulos são separados por peneiramento, utilizando as peneiras 0,710; 0,840; 1,00; 1,18; 1,41; 1,68; 2,00; 2,36; 2,83; 3,36 e 4,75 mm e depois secados em estufa à 60°C até a constância de massa;

- Depois da pesagem do material retido em cada peneira, faz-se a contagem do número de grânulos retidos em cada malha. Peneiras menores que 0,710mm não estão sendo utilizadas, pois a partir dessa abertura, os grânulos apresentam-se em grande quantidade e muito pequenos, tornando difícil de serem manuseados.

- Usando os resultados da curva de calibração que expressa a relação entre a massa de água e grânulo e os dados de massa e número dos grânulos obtidos para cada classe de peneira, pode-se calcular a massa de água média da gota, considerando-a como esfera. O diâmetro pode ser obtido segundo equação 01:

$$D \equiv \sqrt[3]{\frac{6 \times m}{\pi \times \rho}} \quad (01)$$

Onde: D é o Diâmetro médio da gota (mm); m é a Massa média da gota (mg); ρ é a Massa específica da água (mg/mm³).

Os ensaios estão sendo realizados com as aberturas de disco giratório de 5°, 10°, 20°, 30° e 40° e pressões de 0,2; 0,4 e 0,6 Bar, isto permite obter diferentes tipos de intensidade.

RESULTADOS E ANÁLISES

A tabela 01 apresenta a relação entre a massa de água da gota e massa do grânulo formado, obtidos para diferentes tamanhos de grânulos. Os resultados mostram um comportamento errático, dificultando o ajuste matemático. Segundo Rickson (2001, p. 37), a relação entre as massas não é linear, no entanto, gotas maiores que 4 mm de diâmetro tendem a ter relação linear entre massas, mas gotas de tamanho menores não.

Tabela 01 – Relação entre massa de água da gota e massa do grânulo formado, e o diâmetro do grânulo usando as agulhas hipodérmicas e a pipeta de volume variável.

	Diâmetro do Grânulo (mm)	Relação entre massas		Diâmetro do Grânulo (mm)	Relação entre massas
AGULHAS	3,36	0,960	PIPETAS	1,68	0,976
	2,83	0,954		1,41	0,788
	2,36	0,946		1,00	0,733
	2,00	0,966			

A Tabela 02 apresenta resultados típicos de ensaios obtidos com o simulador estudado, ajustado para pressão de 0,6 bar e abertura de disco de 5°. Os resultados obtidos são os números de gotas em cada peneira e a massa total delas. Dividindo a massa total pelo número de gotas,

encontra-se a massa unitária do grânulo por peneira. A massa grânulo multiplicada pela relação entre a massa de água/grânulo permite obter a massa média de água da gota, que quando utilizada na equação 01 fornece o diâmetro da gota. D50 foi determinado através do diâmetro médio apresentado por 50% das gotas.

Tabela 02 – Resultados obtidos a partir dos ensaios realizados no simulador de chuvas.

# Peneira (mm)	Nº Granulos	Massa Total do Granulo (g)	Massa por Granulo (g)	Relação das Massas	Massa da Gota (g)	Volume Total das Gotas na classe	Diâmetro da Gota (mm)	% Vol	Volume Acumulado
Pó	0	0,000	0,000000	0,000	0,000	0,0000	0,00	0,0	0,0
0,71	1276	0,466	0,000365	1,000	0,000	0,4660	0,89	7,6	7,6
0,84	614	0,378	0,000616	0,650	0,000	0,2457	0,91	4,0	11,6
1,00	590	0,550	0,000932	0,733	0,001	0,4029	1,09	6,6	18,2
1,18	323	0,472	0,001461	0,770	0,001	0,3634	1,29	5,9	24,1
1,41	400	1,044	0,002610	0,788	0,002	0,8230	1,58	13,4	37,6
1,68	143	0,677	0,004734	0,976	0,005	0,6606	2,07	10,8	48,4
2,00	125	0,992	0,007936	0,966	0,008	0,9579	2,45	15,7	64,0
2,36	41	0,660	0,016098	0,946	0,015	0,6242	3,08	10,2	74,2
2,83	17	0,571	0,033588	0,954	0,032	0,5449	3,94	8,9	83,1
3,36	28	1,075	0,038393	0,960	0,037	1,0318	4,13	16,9	100,0
4,75	0	0,000	0,000000	0,000	0,000	0,0000	0,00	0,0	100,0

De posse do D50 a ser obtido para cada combinação de diâmetro de bico (dois), pressão de serviço (0,2, 0,4 e 0,6 bar) e abertura do disco (10°, 20°, 30° e 40°) será possível avaliar a velocidade da gota e seu efeito na energia cinética da chuva por meio de um programa computacional que está sendo desenvolvido, como parte integrante deste trabalho de pesquisa.



Figura 1 – Equipamento utilizado para obter a massa da gota a partir de agulhas hipodérmicas



Figura 2 – Equipamento utilizado para obter a massa da gota a partir de uma micropipeta



Figura 3 – Equipamento utilizado para determinar a massa e o diâmetro dos grânulos.



Figura 4 – Ensaio com o simulador de chuvas empregando o método da farinha.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresenta o procedimento detalhado para execução do ensaio de determinação do diâmetro médio das gotas empregando o método da farinha. Cabe ressaltar que a literatura consultada não apresentava de forma muito clara alguns detalhes de execução do experimento, principalmente no que se refere ao processo de construção de gotas com diâmetros aproximadamente uniformes e com boa repetibilidade. Várias tentativas foram realizadas até obter a forma adequada para tal execução. Contudo, pode-se afirmar que, embora trabalhoso, o método da farinha tem permitido obtenção de resultados consistentes, imprescindíveis para o cálculo da energia cinética.

REFERÊNCIAS

AMORIN, R. S. S.; Silva, D. D.; Pruski, F. F.; e Matos, A T. **Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, V5, n.1, p124-130, 2001.

Meyer, L. D.; Wischmeier, W. H. **Mathematical simulation of the process of soil erosion by water.** Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.12, n6, p.754-758, 1969

OLIVEIRA, R. A. **Distribuição de gotas por tamanho e perfil de precipitação de um aspersor fixo.** Viçosa, MG: UFV, 1991. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, 1991.

Watson, D.A; Laften; J. M.. **Soil strength, slope, and rainfall intensity effects on interrill erosion.** Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.29, n1, p.98-102, 1986.

WISCHEMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, 23:246-249, 1959.

Salako, F. K. **Susceptibility of Coarse-textured Soils to Soil Erosion by Water in the Tropics.**, p. 341-361, 2003

Rickson, R. J. **Experimental Techniques for Erosion Studies: RAINFALL SIMULATION.**, p. 37, 2001.