

DETERMINATION OF KINETIC ENERGY OF SIMULATED RAINFALL

DETERMINAÇÃO DA ENERGIA CINÉTICA DE CHUVAS SIMULADAS

FRANZ RAINER SEMMELMANN

Professor Adjunto

PIERRE CHEVALLIER

Chargé de Recherche ORSTOM (França), Consultor

WALMOR DE ALCÂNTARA

Professor Adjunto

ANDRÉ LUIZ LOPES DA SILVEIRA

Professor Assistente

Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Caixa Postal 530
90001 - Porto Alegre - RS

RESUMO -- Apresentam-se resultados da determinação, em laboratório, da distribuição espectral das gotas de chuva geradas pelo simulador ORSTOM, possibilitando o cálculo da energia cinética de chuvas simuladas, em função de suas intensidades. Os ensaios abrangeram intensidades entre 30 e 100 mm/h, intervalo em que estão compreendidas as intensidades do hietograma padrão definido para simulações de chuva no planalto basáltico riograndense. Os resultados deste trabalho destinam-se à comparação do efeito da chuva simulada em relação às chuvas naturais, de igual intensidade, no que se refere à quantidade de solo erodido nas parcelas alvo de 1 m² do simulador de chuvas ORSTOM.

ABSTRACT -- Drop size distributions generated by the ORSTOM rainfall simulator were determined in laboratory tests and used to calculate kinetic energy levels for simulated rain of different intensities. Tests comprised rainfall intensities from 40 to 100 mm/h, interval of the standard hyetograph defined for simulations in the region of the planalto basáltico riograndense. Data resulting from these tests allow to compare the amount of soil eroded by simulated and natural rain in this area.

21 FEV. 1992

ORSTOM Fonds Documentaire

N° 34.989 ex 1

- 89 -

M

Cote : B

P68

INTRODUÇÃO

A metodologia da investigação sobre as condições de formação do escoamento superficial e da carga de sedimentos associada, na região do planalto basáltico riograndense, baseia-se, em parte, no uso do simulador ORSTOM (Asseline e Valentin, 1978). Investiga-se com o emprego do simulador de chuvas e de instrumentação hidrológica convencional em diversas sub-bacias do rio Potiribu, na região próxima à Ijuí (RS), o comportamento hidro-sedimentológico desta área. O hietograma padrão aplicado pelo simulador de chuvas (Silveira e Chevallier, 1991) tem lâmina precipitada com a ordem de grandeza da precipitação diária natural de recorrência anual (Chevallier e Castro, 1991). A seqüência de intensidades e respectivas durações do hietograma padrão são aspergidas pelo simulador ORSTOM em processo contínuo e com alta precisão.

Para averiguar o grau de semelhança, no que se refere a níveis de energia cinética, entre chuvas naturais e chuvas simuladas de igual intensidade, foram programados levantamentos da energia cinética das chuvas naturais, em campo, e das chuvas geradas pelo simulador ORSTOM. No presente trabalho relatam-se os resultados preliminares de testes de laboratório referentes às energias cinéticas, ao nível do solo, das gotas de chuvas simuladas, em função da intensidade.

Ensaio da energia cinética de chuvas simuladas tornaram-se necessários devido à ausência de determinações específicas com relação ao simulador ORSTOM de segunda geração utilizado. Informações sobre níveis de energia cinética determinados em aspersores usados na irrigação (Kohl, 1974), não se mostraram relevantes. O motivo da verificação da energia cinética fornecida pelo simulador deve-se ao fato de que as gotas, na faixa dos diâmetros examinados, não alcançam suas velocidades máximas possíveis de queda (velocidades terminais), já que o aspersor está colocado a uma altura aproximada de 4 m apenas. Tal fato torna-se relevante quando se considera que o segundo termo, velocidade ao quadrado, da equação da energia cinética constitui um componente altamente significativo na sua determinação.

OBJETIVOS

No âmbito do Projeto Potiribu, a averiguação da energia cinética das chuvas simuladas tem como objetivo o conhecimento desta grandeza física nos ensaios com o simulador de chuvas para estudo da produção de sedimentos que são coletados nestes ensaios. Paralelamente, busca-se a comparação da energia cinética das chuvas simuladas com a das chuvas naturais de mesmas intensidades, para verificar o grau de semelhança entre a produção de sedimentos com chuvas simuladas e naturais.

EROSÃO DO SOLO E ENERGIA CINÉTICA

Em estudos quantitativos da erosão de solos, relatados por Ellison (1945), encontram-se o diâmetro característico, a velocidade de queda das gotas e a intensidade da chuva, entre outros parâmetros associados à erosão do solo pela chuva. Tentativas de relacionar outros parâmetros das chuvas naturais, como por exemplo, o total precipitado durante um evento ou a altura média da precipitação anual, elementos bem mais fáceis de serem determinados, revelaram-se insatisfatórios, como relata Gottschalk (1964). Na expressão da perda de solo de Wischmeier e Smith (1978) encontra-se, entre outros fatores relacionados à erosão, o fator R. Este fator relaciona a erosão de solo ao somatório da energia cinética de chuvas significativas, expressas em termos de intensidade, pela taxa máxima de precipitação calculada para 30 minutos. Estes autores usam para cálculo da energia cinética a expressão:

$$e = 0,119 + 0,0873 \log i \quad (1)$$

onde

$$e = \text{energia cinética (megajoules/ha mm)}$$
$$i = \text{intensidade da chuva (mm/h)}$$

Baseiam-se estes autores na relação entre intensidades e distribuição espectral das gotas de chuvas naturais originalmente desenvolvida por Laws e Parsons (1943), vinculando o aumento da intensidade da chuva ao aumento dos diâmetros representativos da distribuição das gotas. Wischmeier e Smith consideram que a equação da energia cinética acima apresentada é válida para chuvas até 76 mm/h, e que o valor desta taxa pode ser considerada, também, para intensidades maiores. Vários autores, como Hudson (1963), Lal (1980) e Roose (1980), investigaram espectros de chuvas intensas, assim como Roth, Henklain e Farias (1984) e Leprun (1984). Salientam estes e outros autores a necessidade de levantamentos das distribuições de gotas em chuvas intensas, seja por processo de amostragem seja por monitoramento contínuo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização dos experimentos de energia cinética foram utilizados basicamente dois conjuntos de equipamentos: o do simulador de chuvas ORSTOM e o do analisador de espectros de chuva (disdrômetro).

Simulador de chuvas

O simulador ORSTOM utilizado no Projeto Potiribu gera precipitações de intensidades variáveis sobre uma parcela alvo quadrada, no solo, de 1 m², fazendo oscilar um aspersor de vazão constante segundo diferentes ângulos de varredura. Uma descrição do equipamento e seu funcionamento é dada por Silveira e

Chevallier (1991). A calibração inicial obtida entre ângulos e intensidades é dada na tabela 1.

Tabela 1 : Calibração inicial do simulador ORSTOM (07/03/91)

Ângulo de varredura (graus)	Intensidade da precipitação (mm/h)
30	165
40	149
50	116
60	100
70	87
80	76
90	67
100	60
110	55
120	50
130	45
140	41

Para os experimentos de averiguação da energia cinética o simulador foi montado dentro de um pavilhão para não haver perturbações devido ao vento.

Disdrômetro

Utilizou-se para determinação dos espectros um disdrômetro RD-69 e analisador ADA-90 da Distromet Ltda. Este instrumento monitora, de maneira contínua, as chuvas e executa o processamento de dados concomitantemente à sua aquisição. Os arquivos de dados são gravados em disquetes por intermédio de um microcomputador portátil. A metodologia foi desenvolvida e descrita por Joss e Waldvogel (sd). O sensor é constituído por um transdutor de compensação automática que gera, quase instantaneamente, um sinal elétrico proporcional à força do impacto de cada gota interceptada. Para que haja registro individual de gotas é exigido um intervalo mínimo de tempo de 0,84 microssegundos, condição esta considerada atendida no monitoramento de chuvas de até 200 mm/h. Os pulsos elétricos do sensor são tratados e abrangem uma faixa de 0,16 mV a 10 V; posteriormente são analisados quanto à sua amplitude, ordenados e contados por classe.

A conversão dos sinais elétricos para os diâmetros das gotas é feita através da expressão abaixo:

$$U = 0,94 D^{1,47} \quad (2)$$

onde

U = sinal elétrico em Volt
D = diâmetro da gota em mm

Os diâmetros das gotas são agrupados em 20 classes e fornecidos pelo aparelho em espaços amostrais de 1 minuto. São desconsideradas gotas com diâmetros menores que 0,3 mm. As gotas com diâmetros maiores que 5,0 mm são incorporadas à última classe. A limitação do espectro entre 0,3 e 5,0 mm é justificada pelos autores pela baixa contribuição na energia cinética das gotas menores que 0,3 mm e pela reduzida frequência das gotas maiores que 5,0 mm.

As indicações feitas pelos instrumentos RD-69 e ADA-90, de diâmetros de gotas que têm alturas de queda finitas, como por exemplo a altura de 4 m das gotas geradas pelo simulador de chuvas, são consideradas neste trabalho como diâmetros equivalentes ou diâmetros correspondentes, de acordo com a aferição do instrumento relatada por Semmelmann e Alcântara (1991). Nos testes de laboratório com o simulador ORSTOM o sensor do disdrômetro foi colocado no centro da parcela alvo de 1 m², ocupando 0,005 m².

DETERMINAÇÃO DA ENERGIA CINÉTICA

Os dados colhidos pelo disdrômetro referentes à distribuição espectral das gotas de diferentes intensidades da chuva simulada são usadas para a determinação do diâmetro representativo, D₅₀, de cada espectro. Para o cálculo da energia cinética empregou-se a seguinte expressão:

$$e = mv^2/2 \quad (3)$$

onde

e = energia cinética da gota
m = massa da gota
v = velocidade terminal de queda

Os valores de velocidade de queda das gotas derivam de Gunn e Kinzer (1949) e das expressões ajustadas por Dingle e Lee (1972). Para os valores de D₅₀ ≤ 1,4 mm e D₅₀ > 1,4 mm são, respectivamente:

$$v = -17,8951 + 448,94898 d + 16,3719 d^2 - 45,9516 d^3 \quad (4)$$

$$v = 24,1660 + 448,83360 d - 75,6265 d^2 + 4,2659 d^3 \quad (5)$$

onde

v = velocidade terminal em cm/s
d = diâmetro da gota em mm

Resultados

A determinação do diâmetro representativo das distribuições espectrais relevantes para as intensidades de chuvas geradas pelo simulador, foi feita a partir de 32 amostras espectrais de diâmetros equivalentes, registradas pelo disdrômetro. O número de gotas registradas foi de 21.681. A largura dos espectros e as frequências relativas nas diferentes classes de diâmetro equivalente podem ser vistos em alguns exemplos de espectros apresentados na figura 1. A variação relativa dos espectros é relativamente homogênea, notando-se uma tendência de aumento dos valores de D_{50} com a diminuição do ângulo de varredura do jato do simulador de chuvas (vide a curva para o ângulo de 40 graus na figura 1). Uma vez que a vazão do aspersor do simulador é mantida constante, o aumento do diâmetro representativo das gotas com intensidades crescentes de chuva simulada (vide tabela 2) é atribuído à aglutinação de gotas durante a queda, dado o aumento da frequência de varredura do simulador. Na última coluna da tabela 2 encontram-se os valores da densidade horária da energia cinética correspondentes às diversas intensidades da chuva simulada. Estes valores de energia cinética podem ser relacionados, quanto à produção de sedimentos, com as energias cinéticas de chuvas naturais obtidas em campo.

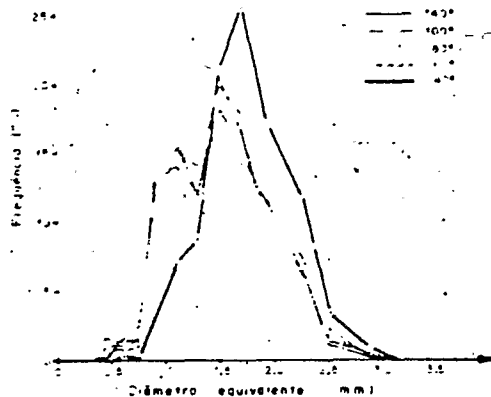


Figura 1 : Distribuição espectral das chuvas simuladas em função do ângulo de varredura

Tabela 2 : Energias cinéticas do simulador ORSTOM

Ângulo de varredura (graus)	Intensidade da chuva (mm/h)	Diâmetro equivalente (mm)	Velocidade de queda (m/s)	Densidade de energia (J/m ² /h)
140	41	1,30	4,92	496,1
100	60	1,31	4,95	735,0
80	76	1,32	4,98	942,2
60	100	1,39	5,14	1321,3
50	116	1,47	5,34	1653,6
40	149	1,55	5,54	2286,4
30	169	1,67	5,83	2871,8

Na ausência, até o momento, de medições de energias cinéticas de chuvas naturais na região de interesse do planalto basáltico riograndense, consultaram-se dados colhidos de outras regiões, para comparação. Constata-se, por exemplo, com dados de energias cinéticas naturais relatadas por Wischmeier e Smith (1978), para intensidades de chuvas de 40, 60 e 76 mm/h, que as energias cinéticas de chuvas simuladas correspondem a 0,467 ; 0,447 e 0,438 das energias cinéticas das chuvas naturais, respectivamente. Tais valores não são muito distantes, em ordem de grandeza, das observações de Bryan e Ploey (1983) que indicaram para um outro modelo de simulador o valor de 0,65 para a mesma relação, porém sem especificar os procedimentos de sua verificação.

CONCLUSÃO

No presente trabalho foram determinadas as energias cinéticas de diferentes intensidades de chuva correspondentes à faixa das intensidades simuladas na região do planalto basáltico riograndense.

Os valores de energia cinética obtidos das chuvas aspergidas pelo simulador ORSTOM revelaram-se menores que os valores médios encontrados em fontes bibliográficas, relativos a chuvas naturais de outras regiões. Este fato pode ser atribuído à distribuição espectral das gotas das chuvas simuladas.

Com o levantamento "in loco" da energia cinética das chuvas naturais na região de interesse, através do disdrômetro, em conjunto com os valores constantes no presente trabalho, poder-se-á, então, estabelecer relações quantitativas entre intensidades de chuvas naturais e simuladas, quanto ao poder erosivo.

REFERÊNCIAS

- ASSELINE, J., VALENTIN, C. (1978), Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol., V. 15, n. 4 p. 321-349.
- BRYAN, R.B., PLOEY, J. (1983), Comparability of soil erosion measurements with different laboratory rainfall simulators. Catena, suppl. 4, p. 33-56.
- CHEVALLIER, P., CASTRO, N.M. (1991), As precipitações na região de Cruz Alta e Ijuí (RS-Brasil). IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Rio de Janeiro.
- DINGLE, N.A., LEE, Y. (1972), Terminal fallspeed of raindrops. J. Appl. Meteorology, V. 11, p. 877-879.
- ELLISON, W.D. (1945), Some effects of raindrops and surface flow on soil erosion and infiltration. Trans. Am. Geophys. Union, 26 (3), p. 415-429.
- GOTTSCHALK, L.C. (1964), Reservoir Sedimentation; In : CHOW, V. (ed), Handbook of applied hydrology, Mac Graw Hill.
- GUNN, R., KINZER, G.D. (1949), The terminal velocity of fall for water droplets in stagnant air. J. Meteorology, V. 6, p. 243-248
- HUDSON, N.W. (1963), Raindrop size-distribution in high intensity storms. Rhodesian Journ. of Agric. Res., V.1 (1), p. 6-11
- JOSS, J., WALDVOGEL, A., Ein Spektrograph für Niederschlags-tropfen mit automatischer Auswertung. Pure and Appl. Geophys., V. 68, n. 3, p. 240-246
- KOHL, R.A. (1974), Drop size distribution from medium-sized agricultural sprinklers. Transactions of the ASAE, V. 17, n. 4, p 690-693.
- LAL, R., LAWSON, T.L., ANASTASE, A.H. (1980), Erosivity of tropical rains, p. 143-151, In: BOODT, M., GABRIELS, D.(eds), Erosion Assessment, J. Wiley, 563 p.
- LAWS, J.O., PARSONS, D.A. (1943), The relation of raindrop-size to intensity. Am. Geophys. Union, Trans., V. 24, p. 452-460.
- LEPRUN, J.C. (1984), Primeira avaliação do diâmetro de gotas de chuva no Nordeste. V Encontro Nacional de Pesquisas em Conservação do Solo, p. 73, jul., Porto Alegre.
- ROOSE, E.J., (1980), Approach to definition of rain erosivity and soil erodibility in West Africa, p. 153 -164. In: BOODT e GABRIELS (ed). Assessment of erosion. J Wiley, 563 p.
- ROTH, C.R., HENKLAIN, J.C., FARIAS, G.S. (1984), Avaliação preliminar do tamanho de gotas de chuva natural. V Encontro Nacional de Pesquisa em Conservação do Solo, p.71, jul., Porto Alegre.
- SEMMELMANN, F.R., ALCANTARA, W. (1991), Aferição em laboratório de medidor de espectros de chuva. IPH-UFRGS, 9 fls.
- SILVEIRA, A.L.L., CHEVALLIER, P. (1991) Primeiros resultados sobre infiltração em solo cultivado usando simulação de chuvas (Bacia do rio Potiribu - RS). IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Rio de Janeiro.
- WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. (1978), Predicting rainfall erosion losses. USDA, AH 537, Washington, DC, 61 p.