

BRAGANTIA

Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo

Vol. 23

Campinas, janeiro de 1964

N.º 1

RELAÇÃO CHUVA-PERDAS POR EROSIÃO EM DIFERENTES TIPOS DE SOLO (1)

DR. JOSÉ BERTONI e FRANCISCO I. PASTANA, *engenheiros-agrônomo, Seção de Conservação do Solo, Instituto Agrônomo*

RESUMO

Os autores analisam os dados de perdas por erosão obtidos em coletores especiais, durante cerca de dez anos, em quatro estações experimentais, e estudam suas relações com as características da chuva.

A duração da chuva, sua intensidade e distribuição, influenciam a intensidade e o volume total das perdas por erosão. Para cada local estudado, das perdas por erosão e do total e das intensidades máximas de chuva foram calculadas equações de regressão que indicam a relação chuva-perdas.

Foram correlacionadas as perdas de terra e água obtidas nos coletores das estações experimentais de Campinas, Pindorama, Ribeirão Preto e Mococa, com a chuva total, e também com as intensidades máximas de chuva de 5, 15, 30 e 60 minutos. Os resultados mostraram que as simples características de chuva, quando consideradas isoladamente, não foram suficientes para o estabelecimento de uma equação de regressão que represente substancialmente as perdas por erosão. Assim, em futuros estudos, outros fatores deverão ser considerados, tais como, o efeito da energia cinética do impacto da gota de chuva sobre a superfície do solo, a umidade do solo no momento de ocorrer a chuva (uso do índice de precipitação antecedente) e a duração da chuva.

1 — INTRODUÇÃO

Enxurrada é aquela porção da chuva que escorre na superfície. Antes de a enxurrada ocorrer, a precipitação deve satisfazer as demandas por evaporação, interceptação das vegetações, infiltração e retenção na superfície do solo.

A duração, intensidade e distribuição da chuva influenciam a intensidade e o volume total das perdas por erosão. Uma chuva de pouca intensidade e curta duração pode não produzir enxurrada; entretanto, numa chuva com a mesma intensidade, mas de longa duração, ela pode ocorrer.

(1) Trabalho apresentado à XV Reunião da Sociedade Brasileira Para o Progresso da Ciência, realizada em Campinas, São Paulo, de 7 a 13 de julho de 1963. Recebido para publicação a 15 de outubro de 1963.

A intensidade é o fator mais importante. Quanto maior a intensidade da chuva, muito maior a perda por erosão.

O conhecimento da relação chuva-perdas por erosão, além de sua importância, tem aplicação no cálculo da capacidade das estruturas que devem conduzir a enxurrada, tais como bueiros, pontes etc., e podem auxiliar no estudo de bacias hidrográficas, principalmente tendo em vista as suas características físicas.

Os dados de perdas por erosão obtidos nas estações experimentais de Campinas, Ribeirão Preto, Pindorama e Mococa, num período de cerca de 10 anos, foram correlacionados com as intensidades máximas de chuva em 5, 15, 30 e 60 minutos, e determinadas as equações de regressão que indicam a relação chuva-perdas por erosão.

2 — REVISÃO DA LITERATURA

A complexa função hidrológica de uma bacia depende de suas características físicas e meteoroclimáticas. Os fatores meteorológicos e climatológicos exercem efeitos determinantes nos processos de precipitação, evaporação, transpiração e no próprio escoamento fluvial (8).

O hidrograma é uma representação gráfica em ordem cronológica das variações de descarga em determinado ponto. O hidrograma constitui uma integração dos efeitos das características físicas e meteorológicas de uma bacia hidrográfica. O estudo das características físicas de uma bacia tem importância na avaliação do regime fluvial.

Várias tentativas têm sido feitas no sentido de relacionar as características físicas e sua influência na quantidade de enxurrada. Assim, Johnstone e Cross (5) apresentam o hidrograma como uma função das características de drenagem de uma bacia. Gregory e Arnold (3) apresentam fórmulas para determinação de enxurrada. Baseando-se em dados de chuva e outras características, Meyer (10) calcula a enxurrada.

O cálculo do suprimento de água pela utilização de dados hidrológicos, como sugere Foster (2), pode ser feito pela avaliação da enxurrada esperada com base na precipitação ocorrida.

Um dos mais importantes fatores que influenciam as perdas por erosão é a intensidade de chuva. Klingebiel (6) determinou a correlação entre a intensidade máxima de chuva, do período de quinze minutos, com as perdas de terra em terreno coberto com milho. Depois

dessa análise das intensidades de chuva é possível encontrar explicação para certas perdas, baixas ou elevadas.

A cobertura vegetal das bacias hidrográficas varia em extensão e natureza. A influência da vegetação sobre os processos hidrológicos é variada. A vegetação afeta a disponibilidade de água de uma área, interceptando a chuva, retardando ou desviando o escoamento superficial, facilitando a penetração da água no solo, influenciando nas perdas por erosão e aumentando a transferência de água à atmosfera (8).

Jarvis (4), estudando dados do efeito da cobertura vegetal na erosão, de várias localizações, conclui que os talhões experimentais são mesmo bem representativos para uma bacia.

A relação entre a chuva e a enxurrada está na dependência da umidade do solo quando do início da chuva e também das características da chuva, tais como quantidade e intensidade. As características da chuva podem ser facilmente determinadas pela instalação de pluviógrafos; entretanto, os dados de umidade de solo são, de modo geral, difíceis de determinar no início da chuva.

Em qualquer correlação, os dados de chuva usados para desenvolver uma relação com a enxurrada devem ser consistentes. Somente a chuva que produziu a enxurrada que está sendo estudada é que deve ser considerada (7).

3 — MATERIAL E MÉTODO

As determinações de perdas por erosão vêm sendo feitas pela Seção de Conservação do Solo do Instituto Agrônômico, com auxílio de talhões experimentais munidos de coletores especiais. As características dos sistemas coletores usados e a técnica adotada foram já descritas detalhadamente por Bertoni (1) e Marques (9).

Os dados utilizados na realização deste trabalho foram obtidos dos talhões experimentais, de 4 m de largura e 25 m de comprimento, cultivados com algodão continuamente, instalados nas estações experimentais de Campinas, Ribeirão Preto, Pindorama e Mococa.

Na Estação Experimental de Campinas, o talhão experimental está funcionando desde o ano agrícola de 1944/45, em terreno com declividade de 9,9%. O solo é do tipo terra-roxa-misturada, que é, como o nome indica, uma mistura do solo terra-roxa-legítima com os solos

arenosos dos períodos triássico e jurássico, ou mesmo com solos do glacial ou corumbataí; são, em geral, mais arenosos que a terra-roxa-legítima, apresentando características de transição entre esta e aqueles tipos de solos vizinhos.

Na Estação Experimental de Ribeirão Preto, o talhão experimental está funcionando desde o ano agrícola de 1947/48, em terreno com declividade de 6,5%. O solo é denominado terra-roxa-legítima, que provém de rochas eruptivas básicas, formado dos derrames de magma dos períodos jurássico e triássico; de topografia ondulada em grandes lançantes, caracteriza-se especialmente por uma grande porosidade, apesar de sua textura ser quase argilosa.

Na Estação Experimental de Pindorama, o talhão experimental está funcionando desde 1943/44, em terreno com declividade de 12%. O solo provém do arenito Bauru do período cretáceo de deposição fluvio-lacustre; sua topografia é ondulada, bastante fértil, e tem grande importância agrícola; o horizonte A é essencialmente arenoso, ao passo que o horizonte eluvial ou B, pode apresentar-se mais ou menos argiloso e adensado, a ponto de retardar a infiltração da água.

Na Estação Experimental de Mococa, o talhão experimental está funcionando desde 1945/46, em terreno de 9,4% de declividade. Os solos são do tipo denominado massapé-salmourão, que provém de rochas do arqueano; as principais rochas que lhe dão origem são gnaisses, granitos, micaxistos etc.; de conformação acidentada, algumas vezes pedregosas, não apresentam grande diferenciação no perfil, sendo, em geral, pouco permeáveis.

Os dados de intensidade de chuva foram calculados de diagramas obtidos de pluviógrafos, instalados junto aos coletores das Estações Experimentais de Campinas, Ribeirão Preto e Pindorama. Da Estação Experimental de Mococa foram usados os dados de um pluviógrafo, da Seção de Climatologia, localizado próximo aos talhões.

Foram calculadas as correlações existentes entre as perdas de terra e água, com a chuva total e também com as intensidades máximas de chuva nos períodos de 5, 15, 30 e 60 minutos.

4 — DADOS OBTIDOS

Estação Experimental de Campinas — Foram utilizados os dados de 80 chuvas que caíram, no período de 9 de fevereiro de 1949 a 15 de

junho de 1958, nos talhões experimentais munidos de sistemas coletores para determinação de perdas por erosão. Sòmente foram estudadas as chuvas que provocaram apreciáveis perdas por erosão.

O quadro 1 apresenta as correlações entre as perdas de terra e água obtidas em talhão coberto com algodão plantado continuamente e a chuva total, e também com as intensidades máximas de chuva em 5, 15, 30 e 60 minutos.

Estação Experimental de Ribeirão Preto — Foram utilizados os dados de 223 chuvas caídas no período de 18 de janeiro de 1949 a 19 de janeiro de 1959, nos talhões experimentais para determinação de perdas por erosão. Como no caso anterior, sòmente foram incluídas, nesse estudo, as chuvas que provocaram apreciáveis perdas por erosão.

No quadro 1 encontram-se as correlações entre as perdas de terra e água obtidas em talhão coberto com algodão plantado continuamente e a chuva total, e também com as intensidades máximas de chuva em 5, 15, 30 e 60 minutos.

Estação Experimental de Pindorama — Foram utilizados os dados de 49 chuvas que caíram, no período de 10 de novembro de 1949 a 16 de março de 1955, nos talhões experimentais para determinação de perdas por erosão. Sòmente foram incluídas, também, as chuvas que provocaram apreciáveis perdas por erosão.

O quadro 1 apresenta as correlações entre as perdas de terra e água obtidas em talhão coberto com algodão plantado continuamente e a chuva total, e também com as intensidades máximas de chuva em 5, 15, 30 e 60 minutos.

Estação Experimental de Mococa — Foram utilizados os dados de 185 chuvas que caíram, no período de 8 de janeiro de 1949 a 14 de janeiro de 1959, nos talhões experimentais munidos de sistemas coletores para determinação de perdas por erosão. Sòmente foram estudadas as chuvas que provocaram apreciáveis perdas por erosão.

O quadro 1 apresenta as correlações entre as perdas de terra e água obtidas em talhão coberto com algodão plantado continuamente e a chuva total, e também com as intensidades máximas de chuva em 5, 15, 30 e 60 minutos.

QUADRO 1. — Correlação entre a chuva total e intensidades com as perdas de terra e água por erosão nas diferentes Estações Experimentais

Dados Correlacionados		Graus de liberdade	Signif. cáncia P	Coef. de correlação r	Equação de regressão $Y = a + bX$
Chuva	Perdas de				
ESTAÇÃO EXP. DE CAMPINAS					
Total	Terra	79	n.s.	0,16	— — — — —
Idem	Água	79	1%	0,58	$Y = -139,9 + 17,94X$
Máxima em 5 min.	Terra	79	5%	0,25	$Y = 3,9 + 0,14X$
Idem	Água	79	1%	0,31	$Y = 102,6 + 6,95X$
Máxima em 15 min.	Terra	62	5%	0,27	$Y = 1,04 + 0,31X$
Idem	Água	62	1%	0,36	$Y = 113,1 + 17,02X$
Máxima em 30 min.	Terra	52	n.s.	0,23	— — — — —
Idem	Água	52	n.s.	0,20	— — — — —
Máxima em 60 min.	Terra	34	n.s.	0,04	— — — — —
Idem	Água	45	5%	0,37	$Y = 9,1 + 32,69X$
ESTAÇÃO EXP. DE RIB. PRÊTO					
Total	Terra	222	1%	0,38	$Y = 7,3 + 0,33X$
Idem	Água	222	1%	0,36	$Y = 292,5 + 9,76X$
Máxima em 5 min.	Terra	222	1%	0,52	$Y = -9,2 + 0,49X$
Idem	Água	222	1%	0,46	$Y = -102,9 + 12,48X$
Máxima em 15 min.	Terra	187	1%	0,98	$Y = -40,8 + 1,73X$
Idem	Água	187	1%	0,52	$Y = -241,2 + 24,89X$
Máxima em 30 min.	Terra	140	1%	0,62	$Y = -24,0 + 1,58X$
Idem	Água	140	1%	0,60	$Y = -476,9 + 40,22X$
Máxima em 60 min.	Terra	79	1%	0,65	$Y = -36,6 + 3,01X$
Idem	Água	79	1%	0,65	$Y = -802,7 + 78,37X$
ESTAÇÃO EXP. DE PINDORAMA					
Total	Terra	48	1%	0,62	$Y = -11,6 + 0,62X$
Idem	Água	48	1%	0,39	$Y = -124,6 + 23,25X$
Máxima em 5 min.	Terra	48	n.s.	0,10	— — — — —
Idem	Água	48	n.s.	0,18	— — — — —
Máxima em 15 min.	Terra	46	n.s.	0,04	— — — — —
Idem	Água	46	n.s.	0,09	— — — — —
Máxima em 30 min.	Terra	40	n.s.	0,04	— — — — —
Idem	Água	40	n.s.	0,23	— — — — —
Máxima em 60 min.	Terra	25	n.s.	0,22	— — — — —
Idem	Água	25	n.s.	0,26	— — — — —
ESTAÇÃO EXP. DE MOCOCA					
Total	Terra	184	1%	0,44	$Y = -2,9 + 0,43X$
Idem	Água	184	1%	0,63	$Y = -596,9 + 49,26X$
Máxima em 5 min.	Terra	184	1%	0,22	$Y = 7,7 + 0,12X$
Idem	Água	184	1%	0,29	$Y = 116,0 + 11,11X$
Máxima em 15 min.	Terra	160	1%	0,23	$Y = 1,4 + 0,22X$
Idem	Água	160	1%	0,35	$Y = -72,5 + 23,84X$
Máxima em 30 min.	Terra	119	5%	0,22	$Y = 1,7 + 0,32X$
Idem	Água	119	1%	0,40	$Y = -195,4 + 38,16X$
Máxima em 60 min.	Terra	61	n.s.	0,24	— — — — —
Idem	Água	61	1%	0,50	$Y = -824,9 + 84,15X$

5 — DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A intensidade é o fator pluviométrico mais importante na erosão. Dados de chuva em totais ou médias mensais e anuais pouco significam em relação à erosão. A apresentação dos dados de chuvas em totais diários, limitados pelas observações feitas em cada 24 horas, também não tem grande significado em relação à erosão, pois nunca a chuva se distribui uniformemente no período de um dia.

A duração da chuva é o complemento da intensidade; a combinação dos dois determina a chuva total. Quando inicia uma chuva de intensidade uniforme, a água se infiltra por um período mais ou menos largo, dependendo das condições de umidade do solo e da sua intensidade. Depois começa a enxurrada, que vai aumentando de volume em proporções cada vez menores, até alcançar uma quantidade estável.

Considerando que o objetivo do presente trabalho seria a determinação de uma expressão simples, que relacionasse a chuva com as perdas por erosão, foram usadas, além da chuva total, as intensidades máximas de cada chuva em 5, 15, 30 e 60 minutos, visto que a intensidade máxima é considerada como índice de severidade nos estudos de erosão.

Os resultados, porém, não tiveram, em todos os locais, o mesmo comportamento. Em Pindorama, somente a correlação entre as perdas por erosão (terra e água) e a chuva total foi significativa a 1%. Em Ribeirão Preto, a melhor correlação ($r = 0,98$) foi encontrada entre as perdas de terra e a intensidade máxima de chuva em 15 minutos. Em Campinas, foi a correlação entre as perdas de água e chuva total que se apresentou com maior significância. Em Mococa, as perdas de água apresentaram melhor correlação com os fatores estudados que as perdas de terra.

No cálculo de correlação, quando se usa grande número de observações, consegue-se significância para valores mais baixos de r . Assim, a mera significância dos resultados obtidos nas correlações simples, como as conseguidas no presente trabalho, não é suficiente para conduzir a boas estimativas da erosão esperada.

Conclui-se, finalmente, que as simples características de chuva não são suficientes, quando consideradas isoladamente, para o estabelecimento de uma equação de regressão que represente substancialmente as perdas por erosão. Em futuros estudos, outros fatores deverão ser

considerados, tais como, o efeito da energia cinética do impacto da gota de chuva sobre a superfície do solo, a umidade do solo no momento de ocorrer a chuva (uso do índice de precipitação antecedente) e a duração da chuva. É provável que uma equação de regressão múltipla, que leve em consideração os vários fatores individuais, conduza a melhores estimativas de perdas por erosão.

RELATIONSHIP OF RAINFALL-EROSION LOSSES IN DIFFERENT SOILS OF THE STATE OF SÃO PAULO

SUMMARY

Data on rainfall, soil erosion and water losses from runoff plots were recorded for a 10-year period in four experiment stations, Campinas, Ribeirão Preto, Pindorama, and Mococa.

Correlation studies were made between the soil and water losses, and total rainfall; also, the data were examined in relation to the 5, 15, 30, and 60-minute rain intensity in millimeters per hour.

Rainfall intensity and distribution influenced the intensity and total volume of soil and water losses induced by erosion. However, no definite relationship could be established based on the collected data. It is suggested that future studies, including determinations of soil humidity prior to rains (API — Antecedent Precipitation Index), rainfall duration and kinetic energy of rainfall drops, might show a clearer relationship.

LITERATURA CITADA

1. BERTONI, J. Sistemas coletores para determinação de perdas por erosão. *Bragantia* 9:149-155. 1949.
2. FOSTER, EDGARD E. *Rainfall and Runoff*. N. York, Macmillan Co., 1948. 487 p.
3. GREGORY, R. L. & ARNOLD, C. E. *Runoff-Rational Formulas*. Trans. A.S.C.E. Vol. 96. 1932.
4. JARVIS, CLARENCE S. Floods. *In Hydrology*. Editado por Oscar E. Meinzer. N. York, Dover Publications, Inc., 1942. p. 531-560.
5. JOHNSTONE, DON & CROSS, WILLIAM P. *Elements of Applied Hydrology*. N. York, Ronald Press, 1949.
6. KLINGEBIEL, A. A. Soil Management Research. Annual Progress Report. U.S.D.A. Bureau of Plant Industry. Illinois Agric. Exp. Sta., 1952. 64 p. (Mimeografado).
7. LINSLEY, RAY K., KOHLER, MAX A. & PAULHUS, J. L. H. *Applied Hydrology*. N. York, Mc Graw-Hill Book Comp., Inc., 1949. 689 p.

8. MAKSOD, HENRY. Características funcionais e físicas das bacias hidrográficas. Revista do Clube de Engenharia, n.º 250, junho 1957. (Separata).
9. MARQUES, J. Q. A. Determinação de perdas por erosão. Arch. Fitot. del Uruguay. 3, Vol. 4:505-556. 1951.
10. MEYER, ADOLPH F. Computing Runoff from Rainfall and other Physical Data. Trans. A. S. C. E. Vol. LXXIX. 1915.