

CARACTERIZAÇÃO DE PADRÕES DE CHUVAS OCORRENTES EM SANTA MARIA (RS)⁽¹⁾

H. U. MEHL⁽²⁾, F. L. F. ELTZ⁽³⁾, J. M. REICHERT⁽³⁾ & I. A. DIDONÉ⁽⁴⁾

RESUMO

As características da chuva de uma região podem determinar a maior parte dos efeitos danosos da erosão. A variação da intensidade durante a chuva é uma dessas importantes características. Entretanto, pouco se sabe sobre os padrões de chuva ocorrentes no Brasil. Este trabalho teve como objetivos determinar os padrões das chuvas erosivas naturais verificadas em Santa Maria (RS), e estimar o período de retorno das chuvas em três padrões propostos. Pluviogramas diários foram cedidos pela Estação Central Experimental de Silvicultura e Conservação do Solo de Santa Maria, pertencente à Fepagro, compreendendo o período de 1963 a 1989 e 1991 a 1992. As chuvas foram classificadas em padrão avançado, intermediário e atrasado, de acordo com a posição do pico de máxima intensidade e, posteriormente, foi estimado o período de retorno das chuvas para cada padrão. Algumas características de interesse foram calculadas, como a intensidade média dos picos, duração das chuvas e dos picos com intensidade superior a 100 mm h⁻¹. Das 1.193 chuvas erosivas individuais analisadas, os padrões, avançado, intermediário e atrasado, corresponderam a 551, 295 e 347 chuvas, perfazendo 46,2; 24,7 e 29,1% do total de chuvas, respectivamente. Isso caracteriza o padrão avançado como o padrão de chuvas mais freqüente em Santa Maria. Das 79 chuvas com picos de intensidade superiores a 100 mm h⁻¹, os padrões analisados (avançado, intermediário e atrasado) corresponderam a 45, 18 e 16 chuvas, perfazendo 8,2; 6,1 e 4,6% do total de chuvas, respectivamente. A duração média das chuvas com picos de intensidade superiores a 100 mm h⁻¹ foi de 8 h, e a duração dos picos foi de seis min. e 50 seg. Foram calculados os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos para as durações estudadas e construídas curvas de intensidade, duração e freqüência para os padrões de chuva supracitados.

Termos de indexação: período de retorno, intensidade da chuva, perfil de precipitação.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Projeto parcialmente financiado pela FAPERGS e FINEP/PRONEX. Recebido para publicação em maio de 2000 e aprovado em dezembro de 2000.

⁽²⁾ Doutorando em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36571-000 Viçosa (MG). Bolsista da CAPES. E-mail: heronymehl@homenet.com.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. CEP 97105-900 Santa Maria (RS). Bolsista do CNPq. E-mail: feltz@ccr.ufsm.br e reichert@ccr.ufsm.br

⁽⁴⁾ Engenheiro-Agrônomo, MSc., Pesquisador da FEPAGRO. Rua Gonçalves Dias 570, CEP 90130-060 Porto Alegre (RS).

SUMMARY: *RAINFALL PATTERN CHARACTERIZATION IN SANTA MARIA (RS), BRAZIL*

Rainfall characteristics may determine most of the harmful effects of soil erosion. Intensity variation during a rainfall is one of these important rainfall characteristics. However, there is a lack of information about rainfall patterns that occur in Brazil. This research had as objectives the determination of natural erosive rainfalls patterns verified in Santa Maria (RS), and the estimation of rainfall return period for the three patterns proposed. Daily rainfall charts were obtained from the Research Center of Forestry and Soil Conservation, of FEPAGRO, from 1963 to 1989 and from 1991 to 1992. Rainfalls were classified in advanced, intermediary and delayed patterns, according to their maximum intensity peak position and afterwards, the rainfall return period for each rainfall pattern was estimated. Some interesting characteristics were calculated, such as the mean intensity peaks, duration of rainfalls and peaks with intensity over 100 mm h^{-1} . Out of the 1193 natural erosive rainfalls analyzed, the advanced, intermediary and delayed patterns had 551, 295 and 347 rainfalls, corresponding to 46,2; 24,7 and 29,1% of the total number of rainfalls, respectively. This characterizes the advanced pattern as the most frequent rainfall pattern in Santa Maria. From the 79 rainfalls with intensity peak greater than 100 mm h^{-1} , the advanced, intermediary and delayed pattern had 45, 18 and 16 rainfalls, corresponding to 8,2; 6,1 and 4,6% of the total number of rainfalls. The mean duration of rainfalls with peaks greater than 100 mm h^{-1} was of 8 hours, and mean peak duration was 6 minutes and 50 seconds. For the estimation of return periods, the maximum rainfall amount in 10, 20, 30, 60, 120, 240 and 480 minutes during the 29 years studied were identified, for the three rainfall patterns defined before. The maximum intensity values found for the specified duration were submitted to a computer program, and the extreme distribution type I had the best fit to the data. The return periods of 2, 5, 10, 20 50 and 100 years for the studied rainfall duration were calculated and intensity-duration-frequency curves were built for the three above-mentioned rainfall patterns.

Index terms: return period, rainfall intensity, profile of precipitation.

INTRODUÇÃO

Dentre os fatores que afetam a erosão, a chuva é o que tem maior variabilidade no tempo e espaço. A erosividade da chuva pode ser determinada por vários parâmetros, dentre os quais se destaca o EI_{30} , que é definido como o produto da energia cinética total pela intensidade máxima de 30 min. Esse índice é considerado adequado para as condições dos Estados Unidos (Wischmeier, 1959) e para as condições do Rio Grande do Sul (Morais et al., 1988).

De acordo com sua intensidade, as chuvas são classificadas em: padrão avançado, intermediário e atrasado, quando a localização dos picos de maior intensidade estão no início, meio ou fim do período de duração das chuvas, respectivamente (Horner & Jens, 1941).

Conhecer a relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas por meio de análise de risco é de grande importância para a otimização no dimensionamento de obras de controle de erosão e de estruturas hidráulicas de fluxo para águas pluviais (Eltz et al., 1992; Vieira et al., 1998). A possível variação nos períodos de retorno nos diferentes padrões de chuva podem sugerir mudanças no planejamento de obras de controle de

erosão e de estruturas hidráulicas nas diferentes regiões climáticas do Brasil.

Dessa forma, torna-se importante a tipificação das chuvas naturais de cada região, para posterior utilização em pesquisa de perdas de solo e água, bem como a determinação do período de retorno das chuvas de cada padrão.

Em uma região, o total pluvial anual poderá ser representado por um conjunto de chuvas de baixa intensidade e frequentes e, em outra região de igual precipitação anual, duas ou três chuvas de alta intensidade podem representar até 80% da chuva caída (Wischmeier, 1962). Nesse último caso, se as condições são semelhantes nos demais aspectos, o processo erosivo será mais intenso.

Dados de 28 anos de perdas de solo em nove microbacias foram coletados por Edwards & Owens (1991). Eles concluíram que apenas cinco grandes chuvas foram responsáveis por 66% das perdas de solo ocorridas e que o período de retorno estimado para estas chuvas foi superior a 100 anos. Flanagan et al. (1988) enfatizaram que, quando se estudam chuvas individuais com precipitação final igual, deve-se lembrar que somente a localização do pico de maior intensidade altera drasticamente os efeitos da erosão.

As chuvas naturais apresentam considerável variabilidade quanto à intensidade, não ocorrendo chuvas de intensidade constante em condições naturais (Horner & Jens, 1941).

Com a utilização da Equação Universal de Perdas de Solo, obtém-se uma estimativa média anual de perdas de solo (Wischmeier & Smith, 1978). Todavia, vários estudos mostram que as perdas de solo e água com a ocorrência de chuvas intensas são, freqüentemente, mais importantes que a média anual (Harvey, 1984; Edwards & Owens, 1991; Wainwright, 1996). Mesmo nesse caso, a variação da intensidade durante a chuva não é considerada, sendo registrada somente a precipitação total de uma chuva.

Utilizando dados de chuva de Santa Maria compreendendo o período de 1963 a 1988, Belinazo (1991) calculou os parâmetros das equações de intensidade máxima esperada para o ano todo, para os quatro trimestres e para cada mês do ano individualmente. Segundo o autor, isso seria útil ao dimensionamento de obras de controle de erosão e de estruturas hidráulicas para fluxo de águas pluviais que tenham vida útil curta. A distribuição extrema do tipo I ou Gumbel foi a que melhor se adequou aos dados. Apenas 2,7 eventos por ano contribuíram para a determinação das equações das chuvas intensas.

Sabendo da importância do conhecimento das intensidades máximas prováveis para a utilização em obras de engenharia agrícola e civil, Denardin et al. (1980) determinaram equações de intensidade máxima para 14 cidades do Rio Grande do Sul, incluindo Santa Maria. Essas equações baseiam-se no período de retorno, tempo de duração da chuva, e quatro parâmetros de ajuste que variam de local para local. Considerando as grandes variações locais dentro do Estado, chegaram à conclusão de não ser possível a utilização de uma única equação generalizada para todo o estado do Rio Grande do Sul.

Em Minas Gerais, Pinto et al. (1996) realizaram um estudo comparativo entre as intensidades máximas estimadas pela equação de intensidade, duração e freqüência, pelo método de Gumbel, para 29 localidades mineiras. Concluíram que a intensidade máxima obtida por meio da equação de intensidade, duração e freqüência ajustadas apresentam variação inferior a 10%, quando comparados com aqueles calculados pelo método de Gumbel, em 77,4% dos casos.

O presente trabalho teve como objetivos determinar os padrões das chuvas erosivas naturais verificadas em Santa Maria (RS), e estimar o período de retorno das chuvas nos três padrões propostos.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados pluviográficos foram obtidos de pluviogramas diários cedidos pela Estação Central

Experimental de Silvicultura e Conservação do Solo de Santa Maria, pertencente à Fepagro, compreendendo o período de 1963 a 1989 e 1992 a 1993, respectivamente. A amplitude de registro foi de 10 mm de precipitação, com precisão de 0,1 mm, o tempo de registro, de 24 h, com unidade de 10 min.

Santa Maria localiza-se na região fisiográfica denominada Depressão Central do Rio Grande do Sul. A estação meteorológica está a uma altitude de 153 m, latitude sul de 29°41' e longitude oeste de 53°48'. Segundo a classificação de Köppen, o clima é Cfa, ou seja, subtropical sem estiagem. Para o período de 1931 a 1960, a temperatura média, a média das máximas e a média das mínimas foram, respectivamente, de 19,2, 25,5 e 13,9°C, enquanto o total médio anual de chuvas foi de 1.707 mm. Para o período de 1912 a 1987, a precipitação máxima em 24 h foi de 182,3 mm, ocorrida em 23 de junho de 1944 (Porto Alegre, 1989).

Para determinar os padrões de chuvas, todas as chuvas individuais erosivas foram selecionadas, separando-se em segmentos de intensidade uniforme. A seguir, foram anotadas em planilha a hora onde havia variação de intensidade e a chuva acumulada até aquele ponto. Calcularam-se, por planilha eletrônica, para cada segmento de intensidade uniforme, o intervalo de tempo em minutos, a altura de chuva em mm e a correspondente intensidade (mm h^{-1}). Cada chuva individual foi separada de outra por um intervalo de no mínimo seis horas com precipitação inferior a 1 mm e foi considerada erosiva quando a precipitação total foi superior a 10 mm ou quando a precipitação foi igual ou superior a 6 mm em 15 min de chuva, segundo Cabeda (1976).

Posteriormente, para cada chuva erosiva individual, fez-se um gráfico de intensidade do segmento de chuva *versus* tempo total de duração da chuva. As chuvas foram separadas por padrões de acordo com a classificação proposta por Horner & Jens (1941) e modificada para este trabalho. Os padrões foram: chuva de padrão avançado, quando a maior intensidade ocorria em um período de tempo menor do que 30% a partir do momento inicial da chuva em relação ao tempo de duração total da chuva; chuva de padrão intermediário, quando a maior intensidade ocorria num tempo situado entre 30% e 60% do tempo total a partir do início da chuva, e chuva de padrão atrasado, quando a maior intensidade ocorria passados mais de 60% do tempo total de duração da chuva a partir do seu início. A classificação original das chuvas proposta por Horner & Jens (1941) separava o tempo total de duração das chuvas em três partes iguais, ou seja, os padrões estariam entre 0 e 33,3; 33,3 e 66,6 e 66,6 e 100% do tempo total de duração das chuvas.

Calculou-se a intensidade média dos picos, dividindo-se a intensidade máxima de cada chuva pelo número de chuvas, bem como a duração média

das chuvas e dos picos de intensidade iguais ou superiores a 100 mm h⁻¹. Chuvas com picos de intensidade iguais ou superiores a 100 mm h⁻¹ foram consideradas chuvas intensas.

Para a determinação do período de retorno das chuvas, foram anotadas as quantidades máximas de chuva ocorridas durante 10, 20, 30, 60, 120, 240 e 480 min nos 29 anos estudados, nos três padrões definidos anteriormente. As durações de chuvas podem representar um período menor dentro da duração total de uma chuva individual, porém nunca englobar mais de uma chuva individual, pois o objetivo principal foi a análise de recorrência das chuvas nos seus respectivos padrões. Períodos maiores que 480 min não foram utilizados neste trabalho, porque podem englobar mais de uma chuva individual, que, normalmente, abrange padrões diferentes.

Os valores de quantidade máxima de precipitação nas durações de 10, 20, 30, 60, 120, 240 e 480 min foram transformados em mm h⁻¹, usando a fórmula intensidade (mm h⁻¹) = quantidade de chuva (mm)/duração (min) x 60 min/1 h. Estes valores foram testados nas seguintes distribuições (Kite, 1988): lognormal com dois parâmetros; lognormal com três parâmetros; Pearson tipo III; logPearson tipo III; extrema tipo I e extrema tipo III. Foi usado um programa computacional, descrito em Kite (1988), que forneceu a média, o desvio-padrão e o período de retorno para 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos. Nos testes realizados para verificar a distribuição dos dados, a distribuição extrema tipo I foi a única a apresentar resultados satisfatórios, pelo fato de atingirem os dados valores máximos, razão por que os resultados referentes às outras distribuições não foram apresentados.

As intensidades médias e os respectivos desvios-padrão que deram origem aos parâmetros μ e σ foram obtidos por meio das equações (2) $\mu = \mu - 0,5772\sigma^{-1}$ e (3) $\sigma = \pi(\sigma\sqrt{6})^{-1}$, apresentadas em Eltz et al. (1992). Os períodos de retorno foram calculados pelo método da distribuição extrema tipo I com as equações (5) $T = 1(1-F)^{-1}$ e (6) $I = \mu + K\sigma$, apresentadas em Eltz et al. (1992), nos três padrões de chuva estudados. Para cada período de retorno foram ajustadas equações de segunda ordem, apresentadas em Eltz et al. (1992) como (7) e possuem a forma $\log I = a + b(\log D) + c(\log D)^2$, sendo: log o logaritmo base 10; I a intensidade da chuva; a, b e c os parâmetros de ajuste, e D a duração da chuva.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O quadro 1 apresenta as chuvas distribuídas nos três padrões estudados durante os 29 anos de registros pluviométricos utilizados. Das 1.193 chuvas erosivas individuais analisadas, 551 estiveram compreendidas no padrão avançado, perfazendo 46,2% do total de chuvas. O padrão atrasado alcançou 29,1% do total de chuvas erosivas individuais, enquanto o padrão intermediário alcançou apenas 24,7% (Quadro 1).

Os picos de maior intensidade ocorreram no início das chuvas na maioria dos casos, caracterizando o padrão avançado como o mais freqüente em Santa Maria. Picos de maior intensidade no início produziram menores perdas de solo e água quando comparados com chuvas de padrão intermediário e atrasado (Flanagan et al., 1988). As maiores perdas de solo e água no padrão intermediário e atrasado

Quadro 1. Padrão de chuvas naturais avançado (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT)

		Chuva erosiva individual					
		AV	IN	AT	Total	Média	
	Número	Nº 551	295	347	1193	--	
	Em relação ao total	% 46,2	24,7	29,1	100,0	--	
	Intensidade média dos picos, mm h ⁻¹	40,6	34,7	32,5	--	35,9	
		Chuva intensa ⁽¹⁾					
	Número	Nº 45	18	16	79	--	
	Em relação ao total de chuvas intensas	% 57,0	22,8	20,2	100,0	--	
	Em relação ao total de chuvas erosivas individuais em cada padrão	% 8,2	6,1	4,6	6,6	--	
	Duração média das chuvas intensas	7h 40'	9h 20'	7h 00'	--	8h 00'	
	Duração média dos picos	06'40"	07'12"	06'40"	--	06'50"	

⁽¹⁾ Chuvas com picos de intensidade superiores a 100 mm h⁻¹.

deveram-se, provavelmente, à maior umidade antecedente ao pico de maior intensidade da chuva. Em solo mais úmido, a capacidade de infiltração foi menor e a desagregação do solo pelo impacto das gotas também foi favorecida, causando selamento superficial e escoamento de enxurrada (Flanagan et al., 1988).

A intensidade média dos picos foi maior para o padrão avançado, alcançando 40,6 mm h⁻¹. Para os demais padrões (intermediário e atrasado), os valores foram próximos, sendo a média entre os três padrões de 35,9 mm h⁻¹.

Nos 29 anos estudados, foram encontradas apenas 79 chuvas intensas, ou seja, chuvas com picos de intensidade superiores a 100 mm h⁻¹. Isso perfaz uma média de 2,7 chuvas intensas por ano e 6,6% do total de chuvas erosivas individuais. Dessas 79 chuvas intensas, 45 delas estão enquadradas no padrão avançado, perfazendo 8,2% do total de chuvas erosivas individuais enquadradas neste padrão, enquanto o padrão de chuva intermediário e o atrasado alcançaram 6,1 e 4,6%, respectivamente (Quadro 1). As chuvas intensas do padrão avançado perfizeram 57,0% do total das chuvas intensas. A duração média das chuvas com picos de intensidade superiores a 100 mm h⁻¹ foi de oito horas e a duração dos picos foi de seis min e 50 seg (Quadro 1).

Períodos de alta intensidade durante a chuva parecem não se sustentarem por tempo muito longo, para as condições de Santa Maria. Isso sugere que, em simulação de chuva para estudos de erosão, períodos de alta intensidade não devem ser prolongados muito além desse tempo médio, sob pena de estarem excedendo as condições naturais e superestimando as perdas de solo e água.

O quadro 2 apresenta a precipitação máxima nas durações selecionadas para as chuvas enquadradas no padrão avançado. As precipitações máximas para os tempos de 10, 20, 30, 60, 120, 240 e 480 min foram de 20,0; 40,0; 47,0; 53,7; 71,2; 77,9 e 103,2 mm, respectivamente.

A precipitação máxima nas durações selecionadas para as chuvas enquadradas no padrão intermediário encontra-se no quadro 3. As precipitações máximas para os tempos de 10, 20, 30, 60, 120, 240 e 480 min foram de 20,0; 40,0; 48,0; 60,3; 73,1; 88,0 e 105,2 mm, respectivamente.

No quadro 4, encontra-se a precipitação máxima nas durações selecionadas para as chuvas enquadradas no padrão atrasado. Os valores da precipitação máxima para os tempos de 10, 20, 30, 60, 120, 240 e 480 min foram de 20,0; 40,0; 50,0; 63,9; 68,2; 70,0 e 101,5 mm, respectivamente.

As intensidades médias e os respectivos desvios-padrão que deram origem aos parâmetros u e α , respectivamente, estão no quadro 5. Observa-se que a intensidade média das chuvas de padrão avançado foi maior que a intensidade média do padrão de

Quadro 2. Precipitação máxima observada no padrão de chuva avançado para durações selecionadas de chuva

Ano	Duração da chuva (min)						
	10	20	30	60	120	240	480
	mm						
1963	20,0	36,8	40,0	43,6	49,8	60,1	69,0
1964	20,0	23,6	26,9	33,8	38,2	50,8	74,0
1965	11,7	20,0	30,0	38,8	45,8	54,7	58,7
1966	20,0	40,0	47,0	50,0	52,9	61,7	93,9
1967	10,0	20,0	28,0	30,8	42,0	43,6	63,1
1968	13,3	20,0	23,3	31,6	43,9	47,3	48,6
1969	8,7	13,5	21,7	27,3	40,7	57,4	69,6
1970	10,2	15,9	19,2	33,5	47,7	62,6	79,2
1971	10,0	12,7	15,5	16,8	23,1	30,9	42,0
1972	17,0	18,0	20,5	25,4	31,7	59,2	82,6
1973	13,3	20,0	26,9	35,8	44,1	47,1	67,0
1974	14,2	21,4	27,5	38,5	38,6	47,2	54,9
1975	10,7	16,6	20,0	27,9	35,0	41,4	71,6
1976	20,0	34,7	41,2	47,5	52,6	61,7	79,8
1977	18,5	27,0	28,5	29,8	39,3	54,5	81,7
1978	12,3	17,0	21,0	29,0	39,6	62,6	103,2
1979	11,0	20,0	25,9	35,0	39,6	49,1	58,1
1980	12,5	20,0	23,3	27,5	34,5	39,0	41,9
1981	20,0	28,0	32,5	53,0	71,2	75,4	75,4
1982	15,2	25,2	35,2	53,7	69,2	71,1	74,1
1983	18,0	27,5	28,5	40,4	49,4	77,9	85,7
1984	15,5	25,5	26,5	30,0	52,2	59,7	64,8
1985	13,3	20,0	21,5	23,9	32,5	45,5	49,6
1986	10,0	17,4	22,5	29,1	45,2	49,2	51,2
1987	10,0	19,1	21,7	34,5	39,4	46,9	61,5
1988	15,0	22,8	33,2	45,1	50,5	74,6	75,4
1989	10,0	16,7	22,5	26,5	27,3	33,9	62,3
1992	13,5	20,0	24,8	24,8	36,4	39,9	40,6
1993	20,0	28,5	34,5	34,8	34,8	35,9	40,5

chuvas intermediário, que, por sua vez, foi maior que a do padrão atrasado, em todas as durações estudadas. Os desvios-padrão foram maiores para as chuvas de padrão intermediário, nas durações de 10, 20, 240 e 480 min, e para o padrão atrasado, nas durações de 30, 60 e 120 min.

O padrão de chuvas avançado apresentou as maiores intensidades máximas esperadas para as sete durações estudadas e para os períodos de retorno de 2, 5, 10 anos, calculados pelo método da distribuição extrema tipo I com as equações (5) e (6), nos três padrões de chuva estudados (Quadro 6).

O padrão de chuvas avançado, além de ser o mais freqüente (Quadro 1), foi também o que apresentou as maiores intensidades máximas prováveis. Essa tendência do padrão de chuvas avançado de reunir as maiores intensidades máximas prováveis foi quebrada em chuvas longas (durações de 60, 120, 240 e 480 min) e de grande períodos de retorno (20,

Quadro 3. Precipitação máxima observada no padrão de chuva intermediário para durações selecionadas de chuva

Ano	Duração da chuva (min)						
	10	20	30	60	120	240	480
	mm						
1963	10,0	14,6	19,0	34,0	49,0	59,0	67,8
1964	5,5	6,4	7,4	14,0	14,3	28,8	36,7
1965	20,0	24,3	27,0	37,3	57,3	88,0	90,5
1966	10,0	20,0	27,0	39,4	51,9	66,2	74,9
1967	10,6	14,0	17,8	24,4	24,4	24,4	35,1
1968	5,3	7,8	14,3	15,6	15,8	32,1	48,3
1969	10,0	18,0	22,0	25,7	30,7	43,3	43,3
1970	6,7	12,0	13,3	17,3	22,8	31,7	57,8
1971	10,0	20,0	27,0	32,4	48,2	56,9	66,2
1972	20,0	24,4	26,1	30,2	31,1	33,5	35,1
1973	14,2	20,2	22,8	27,2	39,2	47,3	55,2
1974	16,9	23,4	26,9	29,5	32,5	35,6	40,6
1975	15,6	25,6	29,6	32,6	37,1	42,0	46,7
1976	15,0	23,3	30,0	37,7	56,3	83,4	102,6
1977	10,0	19,0	21,4	27,6	29,7	41,3	47,4
1978	7,1	8,0	9,0	11,4	14,4	18,3	21,3
1979	20,0	26,7	27,9	32,5	47,9	55,9	67,4
1980	7,5	8,2	9,0	16,5	22,1	28,4	43,6
1981	10,0	16,3	17,8	21,9	22,5	43,0	57,5
1982	20,0	40,0	48,0	60,3	73,1	73,3	78,3
1983	10,0	14,0	17,8	23,4	25,4	33,3	40,7
1984	15,0	25,0	31,0	33,9	50,0	85,1	105,2
1985	10,0	16,6	22,3	33,5	37,1	41,8	41,8
1986	20,0	30,0	36,6	59,4	73,1	77,2	84,8
1987	11,3	18,0	24,2	36,0	40,0	52,9	92,4
1988	10,0	13,2	13,9	22,0	36,1	48,4	74,6
1989	7,4	13,8	17,9	32,3	46,1	61,0	79,7
1992	19,5	24,0	26,4	29,8	30,5	39,9	39,9
1993	8,4	9,9	11,0	12,1	17,8	19,0	26,9

Quadro 4. Precipitação máxima observada no padrão de chuva atrasado para durações selecionadas de chuva

Ano	Duração da chuva (min)						
	10	20	30	60	120	240	480
	mm						
1963	10,0	11,2	14,0	24,0	32,0	41,7	54,0
1964	20,0	30,0	40,0	63,9	66,4	67,8	67,8
1965	7,1	10,0	14,3	26,0	41,3	56,0	101,5
1966	13,0	18,5	23,5	38,5	58,7	61,4	61,5
1967	6,0	10,0	13,6	21,5	27,3	38,1	54,7
1968	6,0	10,0	13,3	16,6	16,6	23,0	27,5
1969	9,4	15,0	21,7	30,0	30,0	54,0	60,3
1970	6,9	10,0	13,9	25,4	40,3	41,2	47,4
1971	10,0	12,0	13,6	16,6	16,6	31,9	36,3
1972	10,0	20,0	27,5	31,8	34,3	44,3	66,4
1973	12,8	20,0	22,4	29,6	37,6	41,8	46,2
1974	6,0	10,0	10,9	13,2	14,6	38,8	48,5
1975	20,0	40,0	50,0	60,5	64,5	68,0	72,0
1976	12,0	18,0	20,0	22,8	28,6	31,2	41,4
1977	20,0	26,5	33,1	37,5	40,8	43,2	51,2
1978	12,8	16,5	21,5	35,0	54,5	65,5	73,3
1979	5,0	7,0	9,0	15,7	22,7	33,4	37,4
1980	15,0	21,3	30,0	44,5	57,0	58,8	74,4
1981	14,2	20,0	20,4	21,1	28,7	34,8	43,7
1982	12,6	17,7	18,5	19,0	28,4	48,5	51,8
1983	9,2	10,0	10,0	12,2	13,7	24,9	38,9
1984	10,0	16,3	21,2	31,9	38,0	60,4	79,5
1985	13,3	20,0	22,9	31,6	56,6	69,3	72,1
1986	10,0	20,0	26,6	45,0	68,2	70,0	70,0
1987	10,0	16,7	22,6	36,9	41,9	46,0	68,7
1988	5,6	6,4	6,8	9,1	10,3	14,5	25,5
1989	10,0	13,4	17,0	17,5	34,3	49,5	60,3
1992	12,9	14,5	14,6	25,7	29,3	32,3	49,5
1993	10,0	20,0	25,0	39,7	40,7	40,7	40,7

50 e 100 anos), passando o padrão de chuvas intermediário a ter as maiores intensidades máximas prováveis. O padrão de chuvas atrasado apresentou as menores intensidades máximas prováveis na maioria das durações e períodos de retorno estudados, em comparação com os demais padrões. Registraram-se exceções nas durações de 60 e 120 min para os períodos de retorno de 20, 50 e 100 anos, onde as intensidades não seguiram uma tendência definida.

Aplicando a equação de intensidade máxima esperada ajustada por Belinazo (1991) para a região de Santa Maria, obtêm-se, por exemplo, para uma chuva com duração de 30 min, intensidades máximas esperadas de 63,0; 73,8; 83,1; 93,6; 109,7 e 123,6 mm h⁻¹, para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, respectivamente. Esses valores de intensidade são superiores aos valores estimados nos três padrões de chuva estudados neste trabalho

e assemelham-se aos valores encontrados por Eltz et al. (1992), pelo fato de ambos terem utilizado a mesma série de dados de precipitação para estimar as intensidades máximas anuais sem a segregação desses em padrões.

Os picos de alta intensidade registrados em Santa Maria chegaram no máximo a 120 mm h⁻¹ em durações de até 20 min. Todavia, outras regiões do Brasil, como, por exemplo, as regiões de Mococa e Pindorama, alcançaram intensidades máximas de 153,8 e 202,2 mm h⁻¹ em dez minutos, respectivamente (Vieira et al., 1994; Vieira et al., 1998). Em países como a Nigéria e Itália, as intensidades máximas foram frequentemente superiores a 200-300 mm h⁻¹ (Wainwright, 1996; Agnese & Bagarello, 1997; Lal, 1998).

Para a região de Santa Maria, Denardin et al. (1980) ajustaram uma equação de intensidade máxima esperada mais simples, com base no período

Quadro 5. Valores da intensidade média (μ), desvio-padrão (σ), em mm h^{-1} , e parâmetros α e u para diferentes durações da chuva, no padrão avançado, intermediário e atrasado

Duração	μ	σ	α	u
Padrão avançado				
min				
10	80,10	30,96	0,04142	66,16
20	62,70	25,40	0,05049	51,27
30	50,96	19,47	0,06587	42,20
60	32,21	12,30	0,10461	26,69
120	20,11	7,43	0,17261	16,77
240	12,43	4,48	0,28638	10,41
480	7,74	2,84	0,45138	6,46
Padrão intermediário				
10	68,88	33,73	0,03802	53,70
20	51,93	26,02	0,04929	40,22
30	41,58	20,46	0,06268	32,37
60	27,42	13,40	0,09572	21,39
120	17,36	9,04	0,14190	13,29
240	11,22	5,62	0,22815	8,69
480	6,86	3,31	0,38737	5,37
Padrão atrasado				
10	61,92	29,10	0,04407	48,82
20	46,56	24,27	0,05284	35,64
30	38,58	20,89	0,06139	29,18
60	27,19	14,77	0,08683	20,54
120	17,32	9,15	0,14019	13,20
240	10,73	4,62	0,27753	8,65
480	6,54	2,70	0,47528	5,33

Quadro 6. Intensidade máxima de chuva, em mm h^{-1} , para durações de chuva e períodos de retorno selecionados, no padrão avançado, intermediário e atrasado

Duração	Período de retorno (anos)					
	2	5	10	20	50	100
Padrão avançado						
min						
10	75,0	102,4	120,5	137,9	160,4	177,2
20	58,5	81,0	95,8	110,1	128,5	142,4
30	47,8	65,0	76,4	87,3	101,4	112,0
60	30,2	41,1	48,3	55,2	64,1	70,8
120	18,9	25,5	29,8	34,0	39,4	43,4
240	11,7	15,7	18,3	20,8	24,0	26,5
480	7,3	9,8	11,4	13,0	15,1	16,6
Padrão intermediário						
10	63,3	93,1	112,9	131,8	156,3	174,7
20	47,7	70,7	85,9	100,5	119,4	133,5
30	38,2	56,3	68,3	79,8	94,6	105,8
60	25,2	37,1	44,9	52,4	62,2	69,5
120	15,9	23,9	29,2	34,2	40,8	45,7
240	10,3	15,3	18,6	21,7	25,8	28,8
480	6,3	9,2	11,2	13,0	15,4	17,2
Padrão atrasado						
10	57,1	82,9	99,9	116,2	137,4	153,2
20	42,6	64,0	78,2	91,8	109,5	122,7
30	35,1	53,6	65,8	77,6	92,7	104,1
60	24,8	37,8	46,5	54,7	65,5	73,5
120	15,8	23,9	29,3	34,4	41,0	46,0
240	10,0	14,1	16,8	19,4	22,7	25,2
480	6,1	8,5	10,1	11,6	13,5	15,0

de retorno e da duração da chuva. Aplicando a referida equação, obtêm-se as intensidades máximas esperadas de 63,6; 79,3; 93,6; 110,6; 137,8 e 162,7 mm h^{-1} , para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, respectivamente, para uma chuva com 30 min de duração. Os valores de intensidade máxima esperada estimados para a região de Santa Maria, utilizando a equação ajustada por Denardin et al. (1980), são superiores aos encontrados neste trabalho e nos trabalhos de Belinazo (1991) e Eltz et al. (1992).

Os diferentes métodos de estimar a intensidade máxima esperada, juntamente com o tamanho da série de dados disponíveis, causam variação significativa nos valores finais de intensidade, podendo causar erros nos dimensionamentos de obras que dependem deste tipo de estimativa, o que deve levar o planejador a utilizar a maior base de dados possível.

O quadro 7 apresenta os parâmetros a , b e c , obtidos a partir dos dados deste trabalho e usando a equação $\log I = a + b (\log D) + c (\log D)^2$, a qual permite a determinação da intensidade máxima esperada para qualquer duração de chuva e período de retorno

especificados. As curvas que geraram esses coeficientes estão representadas na figura 1 e permitem estimar rápida e diretamente a intensidade, duração e período de retorno das chuvas de Santa Maria no padrão avançado, intermediário e atrasado, respectivamente. A intensidade pode ser estimada para uma duração e período de retorno especificados, assim como o período de retorno pode ser estimado para determinada duração e intensidade da chuva. Todas as equações apresentam alto coeficiente de determinação, permitindo, assim, uma grande confiabilidade nos resultados quando da utilização dessas, corroborando os resultados obtidos por Eltz et al. (1992).

Para fins de comparação, foram calculados os períodos de retorno (T) para uma chuva de 65 mm h^{-1} e duração de 30 min, para o padrão avançado, intermediário e atrasado. Foram usados os valores de intensidade média (μ), desvio-padrão (σ) e parâmetros α e u (Quadro 5). Os valores foram aplicados às equações (1) e (2) e, como resultado, chegou-se a $T = 5,0$; 8,2 e 9,5 anos, para o padrão avançado, intermediário e atrasado, respectivamente.

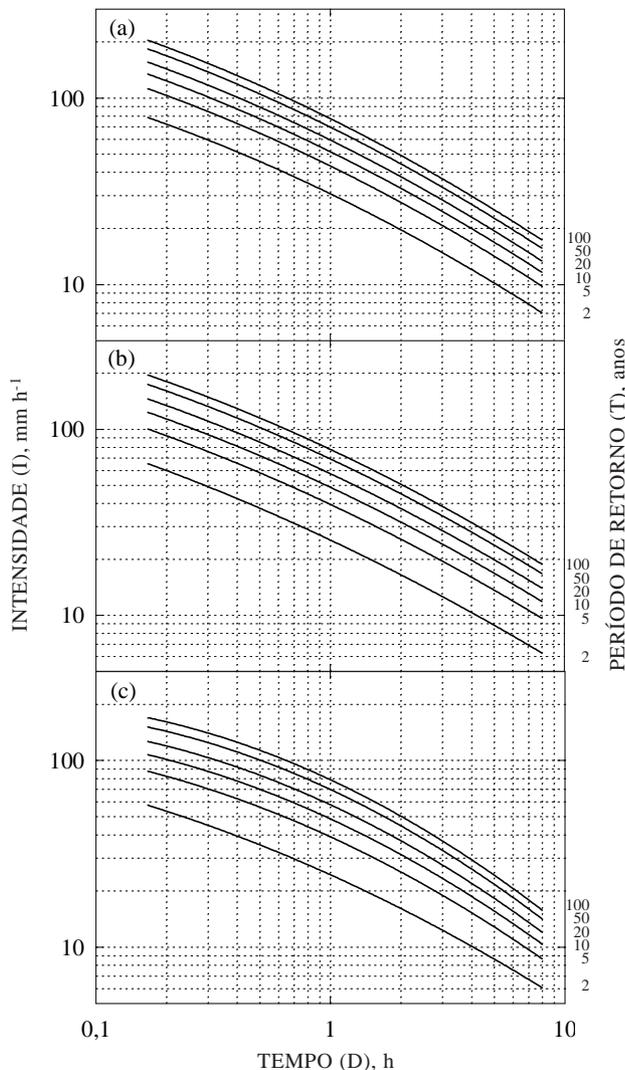


Figura 1. Períodos de retorno do padrão de chuvas avançado (a), intermediário (b) e atrasado (c) em Santa Maria (RS), considerando a intensidade e duração das chuvas.

Os períodos de retorno encontrados nos três padrões realizados neste trabalho foram superiores aos períodos de retorno encontrados por Eltz et al. (1992), que trabalharam com a mesma série de dados pluviométricos, excluindo os anos de 1992 e 1993, e encontraram $T = 3,14$ anos. Pode-se atribuir esse fato à desagregação dos dados totais em três padrões distintos, onde os valores máximos têm ocorrência aleatória. O padrão avançado mostrou um período de retorno menor em relação aos outros, em decorrência do maior número de eventos chuvosos compreendidos nesse padrão, tendo, assim, maior probabilidade de ocorrer chuvas de alta intensidade.

Para a região de Mococa (SP), Vieira et al. (1998) encontraram, para uma duração de 10 min, intensidades máximas prováveis de 122,8; 138,7; 158,9; 173,8; 188,6 mm h^{-1} , para os períodos de

Quadro 7. Parâmetros das regressões (a, b e c) entre log da intensidade da chuva (I), em mm h^{-1} , e log da duração da chuva (D), em horas, para os períodos de retorno (T) estudados e respectivos coeficientes de determinação (R^2), no padrão avançado, intermediário e atrasado

T	$\log I = a + b(\log D) + c(\log D)^2$			
	a	b	c	R^2
Padrão avançado				
ano				
2	1,4869	-0,6082	-0,1073	0,998
5	1,6360	-0,6153	-0,1073	0,998
10	1,7124	-0,6181	-0,1074	0,997
20	1,7749	-0,6201	-0,1076	0,997
50	1,8444	-0,6219	-0,1076	0,997
100	1,8900	-0,6229	-0,1075	0,997
Padrão intermediário				
2	1,4049	-0,5942	-0,0863	0,999
5	1,5964	-0,5929	-0,0939	0,999
10	1,6884	-0,5924	-0,0965	0,999
20	1,7614	-0,5922	-0,0981	0,999
50	1,8408	-0,5919	-0,0998	0,999
100	1,8920	-0,5917	-0,1008	0,999
Padrão atrasado				
2	1,3884	-0,5666	-0,1139	0,999
5	1,5914	-0,5771	-0,1620	0,999
10	1,6874	0,5809	-0,1789	0,999
20	1,7630	0,5835	-0,1901	0,999
50	1,8447	0,5860	-0,2005	0,999
100	1,8972	0,5872	-0,2060	0,998

retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, respectivamente, superiores aos valores calculados neste trabalho para todos os padrões de chuva. Para a região de Pindorama (SP), Vieira et al. (1994) encontraram valores de intensidade máxima provável maiores que os encontrados neste trabalho e também por Eltz et al. (1992), para a região de Santa Maria (RS).

Para o estado de Pernambuco, Silva et al. (1999) determinaram as intensidades máximas prováveis para uma duração de duas horas e período de retorno de dois anos. O estado de Pernambuco abrange quatro regiões distintas onde as precipitações máximas prováveis chegam a 1,4; 1,6; 1,8; 2,0 mm em duas horas de chuva com período de retorno de dois anos. Estes valores diferiram muito dos obtidos neste trabalho, considerando a enorme disparidade entre as regiões brasileiras.

Esses estudos confirmam a grande variabilidade das precipitações entre regiões do Brasil, reforçando a importância da obtenção de dados locais para serem usados em obras de engenharia agrícola e civil, com vistas em minimizar os riscos nestes tipos de dimensionamento.

CONCLUSÕES

1. O padrão de chuva de maior ocorrência na região de Santa Maria foi o padrão avançado, seguido do padrão atrasado e intermediário. O padrão avançado teve também a maior intensidade média dos picos.

2. A maioria das chuvas intensas ocorreu no padrão avançado.

3. Os menores períodos de retorno foram estimados para o padrão avançado, seguido pelo padrão intermediário e atrasado.

LITERATURA CITADA

- AGNESE, C. & BAGARELLO, V. Describing rate variability of storm events for infiltration prediction. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 40:61-70, 1997.
- BELINAZO, H.J. Metodologia computacional para análise das chuvas intensas: desenvolvimento e aplicação aos dados de Santa Maria (RS). Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1991. 157p. (Tese de Mestrado)
- CABEDA, M.S.V. Computation of storm EI values. West Lafayette, Purdue University, 1976. 6p. (não publicado).
- DENARDIN, J.E.; FREITAS, P.L.; WÜNCHE, W.A. & WENDT, W. Características fundamentais da chuva no Brasil: I. Rio Grande do Sul. *Pesq. Agropec. Bras.*, 15:419-421, 1980.
- EDWARDS, W.M. & OWENS, L.B. Large storm effects on total soil erosion. *J. Soil Water Conserv.*, 46:75-78, 1991.
- ELTZ, F.L.F.; REICHERT, J.M. & CASSOL, E.A. Período de retorno de chuvas em Santa Maria, RS. *R. Bras. Ci. Solo*, 16:265-269, 1992.
- FLANAGAN, D.C.; FOSTER, G.R. & MOLDENHAUER, W.C. Storm pattern effect on infiltration, runoff, and erosion. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 31:414-420, 1988.
- HARVEY, A.M. Geomorphological response to an extreme flood: a case from Southeast Spain. *Earth Surf. Process. Landforms*, 9:267-279, 1984.
- HORNER, W.W. & JENS, S.W. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. *Trans. Am. Soc. Civil Eng.*, 107:1039-1117, 1941.
- KITE, G.W. Frequency and risk analysis in hidrology. Littleton, 1988. 257p.
- LAL, R. Drop size distribution and energy load of rain storms at Ibadan, Western Nigeria. *Soil Till. Res.*, 48:103-114, 1998.
- MORAIS, L.F.B.; MUTTI, L.S.M. & ELTZ, F.L.F. Índices de erosividade correlacionados com perdas de solo no Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 12:281-284, 1988.
- PINTO, F.A.; FERREIRA, P.A.; PRUSKI, F.F.; ALVES, A.R. & CECON, P.R. Equações de chuvas intensas para algumas localidades do Estado de Minas Gerais. *Eng. Agric.*, 16:91-104, 1996.
- PORTO ALEGRE. Secretaria da Agricultura. Instituto de Pesquisas Agronômicas. Seção de Ecologia Agrícola. Atlas agroclimático do estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, 1989.
- SILVA, C.V.; SOUZA, F.A.S.; LACERDA, F.R.; SANTOS, A.A.; LACERDA, F.F.; SOUZA, I.A.; ARAGÃO, O.R.; MOURA, G.B.A.; FERREIRA, M.A. F. & FERREIRA, F.F. Identificação das localidades com máximos de intensidade de precipitação no estado de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEREOLOGIA, 11., Florianópolis, 1999. Anais. Florianópolis, 1999. CD Rom.
- VIEIRA D.B.; LOMBARDI NETO, F. & SANTOS, R.P. Análise das intensidades máximas de chuva em Pindorama (SP). *R. Bras. Ci. Solo*, 18:255-260, 1994.
- VIEIRA D.B.; LOMBARDI NETO, F. & SANTOS, R.P. Relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Mococa, SP. *Pesq. Agropec. Bras.*, 33:1215-1220, 1998.
- WAINWRIGHT, J. Infiltration, runoff and erosion characteristics of agricultural land in extreme storm events, SE France. *Catena*, 26:27-47, 1996.
- WISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 23:246-249, 1959.
- WISCHMEIER, W.H. Storms and soil conservation. *J. Soil Water Conserv.*, 17:55-59, 1962.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, USDA-Agricultural Research, 1978. 58p. (Agricultural Handbook, 537)

