

## CARACTERIZAÇÃO DO PADRÃO DAS CHUVAS OCORRENTES EM LAVRAS, MG

**Adão Wagner Pêgo Evangelista; Luiz Gonsaga de Carvalho; Daniel Teixeira Bernardino**

*Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, awpego@ufla.br*

### 1 RESUMO

Em razão da variação da intensidade da precipitação pluvial durante a sua ocorrência, desenvolveu-se este trabalho com o objetivo de estudar os padrões de chuvas erosivas naturais verificadas em Lavras, MG, e estimar o período de retorno das chuvas em três padrões propostos. Para isto utilizou-se uma série histórica de dados pluviográficos para o período de 1987 a 1989 e 1992 a 2003, correspondente à Estação Climatológica Principal 83687 (INMET). As chuvas foram classificadas em padrão avançado, intermediário e atrasado, de acordo com a posição do pico de máxima intensidade e, posteriormente, foram calculadas as intensidades máximas de chuva para várias durações e períodos de retorno. Também foram construídas curvas de intensidade, duração e frequência para os padrões de chuva supracitados. Com base nos resultados, pode-se concluir que o padrão de chuvas avançado se destacou em todos os parâmetros analisados, seguido em ordem decrescente pelo padrão de chuvas intermediário e atrasado. O padrão avançado correspondeu a 68% do total de chuvas analisadas, o intermediário com 22% e o atrasado com 10%.

**UNITERMOS:** período de retorno, intensidade de chuva, perfil de precipitação.

### EVANGELISTA, A.W.P.; CARVALHO, L.G. de; BERNARDINO, D.T. RAINFALL PATTERN CHARACTERIZATION IN LAVRAS, MG

### 2 ABSTRACT

Due to rainfall intensity variation during its occurrence, this experiment was carried out in order to study the natural erosive rainfall patterns, in Lavras, Minas Gerais, Brazil, and estimate the rainfall return period for the three proposed patterns. Climatic historic pluviograph data from 1987 to 1989 and from 1992 to 2003 were used. Rainfall events were classified as advanced, intermediate and delayed, according to their maximum intensity peak position and afterwards, the maximum rainfall intensity was calculated for several durations and return periods. Intensity, duration and frequency curves for the three above mentioned patterns were also calculated. It was concluded that the advanced pattern of rainfall was more significant than all the analyzed parameters, followed by the intermediate one and the delayed pattern. The advanced pattern corresponded to 68% of the total analyzed rainfall, the intermediate one to 22% and the delayed pattern to 10%

**KEYWORDS:** return period, rainfall intensity, precipitation profile.

### 3 INTRODUÇÃO

As características das chuvas ocorridas em uma região determinam em grande parte os efeitos danosos da erosão, sendo a intensidade de precipitação uma de suas principais características. As chuvas naturais têm uma variabilidade em termos de intensidade durante sua ocorrência. É observado que a ocorrência dos picos de intensidade durante a chuva afetam a predição da infiltração da água no solo, sendo que as intensidades médias não representam a realidade dos eventos naturais de

precipitação (AGNESE & BAGARELLO, 1977). 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).

O padrão utilizado para pesquisas em perdas de água e solo é o estabelecido pelos Estados Unidos e por falta de informações dos padrões de maior ocorrência nas regiões brasileiras, resultados duvidosos podem ser estimados. Assim, com a utilização da USLE (Universal Soil Loss Equation), obtém-se uma estimativa média anual das perdas de solo a qual pode não ser realística. Dessa forma, torna-se necessário a determinação de padrões de chuvas para cada localidade, objetivando obtenção de dados mais confiáveis e estudos mais detalhados.

A ocorrência da precipitação é um processo aleatório que não permite uma previsão determinística com grande antecedência, sendo o tratamento dos dados de precipitação, para a maioria dos problemas hidrológicos e agrônômicos, estatístico. Neste sentido, a análise de frequência é uma técnica estatística importante no estudo da chuva, devido a grande variabilidade temporal e espacial das precipitações (TUCCI, 2002).

Segundo Assis et al. (1996), os procedimentos para determinar qual a distribuição de probabilidade é mais adequada para um certo conjunto de informações é relativamente simples e, uma única distribuição pode ter um vasto espectro de aplicação. Dentre essas distribuições, a extrema tipo I, ajusta-se com precisão a dados extremos. Esta equação é bastante utilizada no estudo de eventos hidrológicos para a seleção de uma seqüência de observações máximas e mínimas de conjunto de dados, visando ao dimensionamento de obras de controle de erosão e hidráulicas, tais como vertedores de barragens, sistemas de drenagem, galerias pluviais, dimensionamento de bueiros, entre outros (CHOW, 1994).

A possível variação nos períodos de retorno nos diferentes padrões de chuvas podem sugerir mudanças no planejamento dessas obras nas diferentes regiões climáticas do Brasil. Assim, é importante agrupar as chuvas com determinadas características em comum. Nos estudos de perda de água e solo por erosão, vem sendo utilizada a aplicação de chuvas simuladas com intensidade constante, favorecendo a obtenção de dados não representativos. Isso ocorre, em parte, devido às dificuldades encontradas na construção de simuladores que apresentem uma capacidade de variação da intensidade de aplicação da chuva durante o seu funcionamento. Dai a importância da tipificação das chuvas naturais de cada região para posterior utilização em pesquisa de perdas de solo e água por erosão sob chuva simulada.

Utilizando 29 anos de registros pluviográficos, visando fornecer subsídios para o planejamento e pesquisa em conservação de água e solo em Santa Maria, RS, Mehl et al. (2001) determinaram os padrões de chuvas erosivas verificadas naquela região e estimaram os períodos de retorno das mesmas nos padrões avançado, intermediário e atrasado. Das 1193 chuvas erosivas individuais analisadas, os padrões avançado, intermediário e atrasado, corresponderam a 551, 295 e 347 chuvas, perfazendo 46,2%; 27,7% e 29,1% do total das chuvas respectivamente. Montebeller et al. (2002) realizaram estudo semelhante para região de Seropédica (RJ) concluindo que o padrão de chuva de maior ocorrência foi o avançado, correspondendo a 61,3%, seguido do padrão intermediário com 23,5% e o padrão avançado com 15,2% do total de chuvas analisadas.

Freitas et al. (2001) determinaram equações de intensidade máxima para 193 localidades de Minas Gerais, incluindo Lavras. 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 a grande variação local dentro do Estado, chegaram à conclusão de não ser possível a utilização de uma única equação generalizada para todo o estado de Minas Gerais.

Os objetivos deste trabalho foram, determinar os padrões das chuvas erosivas naturais verificadas em Lavras (MG), e estimar o período de retorno das chuvas nos três padrões propostos.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado com dados pluviográficos para o período de 1987 a 1989 e 1992 a 2003, obtidos da Estação Climatológica Principal da cidade de Lavras, MG, pertencente à rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A amplitude de registro foi de 10 mm de precipitação, com precisão de 0,1 mm, e tempo de registro de 24h com subunidade de 10 min. Lavras localiza-se na região Sul do Estado de Minas Gerais, à altitude de 918,8 m (Estação Climatológica), latitude 21°14' S e longitude 45°00' W. Segundo a classificação de Köppen, o clima é Cwa. A temperatura média anual do ar é de 19,4 °C e o total anual de precipitação pluvial de 1530 mm (BRASIL, 1992).

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 para cada segmento de intensidade uniforme, o intervalo de tempo em minutos, a altura de chuva em mm e a correspondente intensidade (mm h<sup>-1</sup>). Segundo Cabeda (1976), cada chuva individual foi separada de outra por um intervalo de no mínimo seis horas e quando dentro deste intervalo a precipitação não excedesse a 1 mm e foi considerada erosiva quando a precipitação total individual foi superior a 10 mm ou quando a precipitação foi igual ou superior a 6 mm em 15 min de chuva.

As chuvas foram separadas por padrões de acordo com a classificação proposta por Horner & Jens (1941) e modificada para este trabalho, conforme Mehl (2001). Os padrões foram: chuva de padrão avançado (AV), quando a maior intensidade ocorria em um período de tempo menor ou igual do que 30% a partir do momento inicial da chuva em relação ao tempo de duração total da chuva; chuva de padrão intermediário (IN), 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 (AT), quando a maior intensidade ocorria passados mais de 60% do tempo total de duração da chuva a partir de 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. Chuvas com picos de intensidade iguais ou superiores a 100 mm h<sup>-1</sup> 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 15 anos estudados. Os valores de quantidade máxima de precipitação nas durações de 10, 20, 30, 60, 120, 240, e 480 min foram transformados em mm h<sup>-1</sup>, usando a equação abaixo:

$$I = \frac{L}{t.60} \quad (1)$$

em que,

I = intensidade de precipitação (mm h<sup>-1</sup>);

L = quantidade de chuva (mm); e,

t = tempo (h).

Estes valores foram testados na distribuição extrema tipo I (ASSIS et al., 1996) cuja função de densidade probabilística tem a forma:

$$F_{(x)} = e^{-e^{-\alpha(x-u)}} \quad (2)$$

em que,

F<sub>(x)</sub> = função de densidade de probabilidade para x;

e = base neperiana (2,712817);

α = parâmetro de escala;

u = parâmetro de localização; e

$x$  = valor observado.

Esses parâmetros são relacionados com a média ( $\mu$ ) e o desvio padrão ( $\sigma$ ) por:

$$u = \mu - \frac{0,5772}{\alpha} \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}} \quad (4)$$

As estimativas dos valores das intensidades máximas esperada para determinado período de retorno e duração foram obtidas por:

$$I = \mu + K\sigma \quad (7)$$

em que,  $K$  é o fator de frequência calculado por:

$$K = -0,7797 \left( 0,5772 + \ln \left( \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right) \right) \quad (5)$$

onde  $T$  é o período de retorno desejado, calculado pela equação:

$$T = \frac{1}{1 - F_{(x)}} \quad (6)$$

Para cada período de retorno foram ajustadas equações de segunda ordem, empregando o programa estatístico SAEG (RIBEIRO JÚNIOR, 2001). Essas equações possuem a forma:

$$\log(I) = a + b \cdot \log(D) + c \cdot (\log(D))^2 \quad (8)$$

em que,

$I$  = intensidade máxima de chuva ( $\text{mm h}^{-1}$ );

$D$  = duração da chuva (h); e

$a$ ,  $b$  e  $c$  = parâmetros de ajuste da equação.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 1 apresenta as lâminas de chuvas distribuídas nos três padrões estudados durante os 15 anos de registro pluviogramas analisados. Das 551 chuvas erosivas analisadas, 377 estiveram compreendidas no padrão avançado, perfazendo 68% do total de chuvas. O padrão intermediário alcançou 22% do total de chuvas erosivas, enquanto o padrão atrasado alcançou apenas 10%.

Os picos de maior intensidade ocorreram no início das chuvas na maioria dos casos, caracterizando o padrão avançado como o mais freqüente em Lavras seguindo, nesta ordem, o padrão intermediário e o atrasado. Segundo Flanagan et al. (1988), picos de maior intensidade no início produzem menores perdas de solo e água quando comparados com chuvas de padrão intermediário e atrasado. As maiores perdas de solo e água no padrão intermediário e atrasado devem-se provavelmente, à maior umidade antecedente ao pico de maior intensidade da chuva. Em solo mais úmido, a capacidade de infiltração é menor e a desagregação do solo pelo impacto das gotas também é favorecida, causando selamento e escoamento superficial.

**Quadro 1.** Padrões de chuvas naturais avançado (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT) determinados em Lavras, MG, no período de 1987 a 2003.

	AV	IN	AT	Total	Média
Número de chuvas erosivas	377	119	55	551	-
Porcentagem em relação ao total	68	22	10	100	-
Intensidade média dos picos, mm h <sup>-1</sup>	34,92	28,53	22,34	-	28,59

Nos Quadros 2, 3 e 4 são apresentadas as precipitações máximas absolutas anuais nas durações selecionadas para as chuvas enquadradas nos padrões avançado (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT), respectivamente. Por sua vez no Quadro 5 são apresentadas as precipitações máximas absolutas (mm) para o período 1987 a 2003. Nota-se que, para qualquer duração de chuva, as precipitações máximas diminuem do padrão avançado para o atrasado. Evidentemente que, para qualquer padrão de chuva, é observado que a medida que os tempos de durações aumentam as precipitações também aumentam. Assim, verifica-se que, além de ser o mais freqüente, o padrão avançado das chuvas é também aquele que possui as maiores precipitações acumuladas para qualquer tempo de duração da chuva.

**Quadro 2.** Precipitação máxima absoluta (mm) anual observada no padrão de chuva avançado (AV) para as durações de chuva selecionadas.

Ano	Duração da chuva (min)						
	10	20	30	60	120	240	480
1987	9,14	14,02	14,43	17,26	23,26	31,45	57,39
1988	15,32	16,40	16,43	17,11	21,78	21,78	21,78
1989	11,04	15,54	23,09	43,84	46,67	55,11	61,29
1992	8,84	31,54	43,89	64,40	71,48	71,48	71,48
1993	12,45	23,24	28,34	38,49	41,79	48,88	48,88
1994	13,78	23,16	44,95	83,92	90,11	93,73	93,73
1995	9,10	15,39	20,38	24,23	24,75	29,52	39,26
1996	6,55	14,35	21,39	31,55	39,02	69,18	78,62
1997	6,24	11,09	15,21	28,95	40,86	44,53	50,20
1998	7,86	14,56	20,20	36,08	25,35	37,90	37,90
1999	10,01	17,81	22,68	59,98	61,06	61,06	68,62
2000	4,96	17,33	28,60	46,01	79,23	79,96	79,96
2001	14,02	37,51	49,95	67,64	72,47	75,30	75,30
2002	15,90	21,63	26,29	31,17	31,17	43,64	53,55
2003	7,45	15,68	24,66	42,28	42,28	42,28	42,28

As intensidades médias e os respectivos desvios padrão que deram origem aos parâmetros  $u$  e  $\alpha$  da função de densidade de probabilidades extrema tipo I estão no Quadro 6. Observa-se que a intensidade média das chuvas de padrão avançado foi maior que a intensidade média do padrão de chuvas intermediário, que por sua vez, foi maior a do padrão atrasado, em todas as durações estudadas. Os desvios padrão foram maiores para as chuvas de padrão avançado, para todas as durações estudadas. A implicação prática destes resultados é de que o preparo e manejo dos solos para implantação de culturas agrícolas não são afetadas pelos problemas da perda de solo principalmente pelo escoamento superficial tendo-se em vista a predominância deste padrão de chuvas (avançado) pois conforme já comentado, segundo Flanagan et al. (1988), picos de maior intensidade no início produzem menores perdas de solo e água quando comparados com chuvas de padrão intermediário e atrasado.

**Quadro 3.** Precipitação máxima absoluta (mm) anual observada no padrão de chuva intermediário (IN) para as durações de chuva selecionadas.

Ano	Duração da chuva (min)						
	10	20	30	60	120	240	480
1987	2,18	2,89	2,89	10,47	11,84	33,67	33,67
1988	1,95	2,41	2,61	2,74	11,55	16,57	28,37
1989	4,50	5,13	5,71	6,43	22,31	22,44	35,01
1992	1,27	3,12	5,04	9,88	23,21	52,72	52,85
1993	3,47	8,23	9,04	13,64	26,99	27,09	27,09
1994	2,14	4,98	9,01	14,99	23,45	34,72	37,48
1995	3,58	4,32	10,47	15,97	22,40	25,40	27,69
1996	1,87	4,23	7,99	11,39	32,34	69,60	79,35
1997	5,04	6,48	11,25	22,13	35,17	51,92	53,33
1998	1,88	4,53	6,85	10,33	26,36	26,36	40,35
1999	1,84	8,41	10,86	13,24	31,41	69,46	86,50
2000	3,85	5,47	6,68	6,68	15,68	15,68	23,79
2001	1,25	1,53	2,53	10,28	14,25	27,76	27,76
2002	4,52	5,63	7,83	25,99	29,62	31,31	31,31
2003	1,52	3,10	5,80	12,72	16,80	20,44	26,88

**Quadro 4.** Precipitação máxima absoluta (mm) anual observada no padrão de chuva atrasado (AT) para as durações de chuva selecionadas.

Ano	Duração da chuva (min)						
	10	20	30	60	120	240	480
1988	3,13	5,16	5,81	6,83	7,93	15,15	24,15
1989	0,24	2,36	2,88	2,95	3,01	4,25	14,92
1992	0,54	1,10	1,41	2,62	3,67	3,95	11,91
1994	0,74	3,47	6,10	9,70	12,86	19,61	25,06
1995	2,60	2,77	2,87	6,40	7,25	27,82	27,82
1996	2,39	3,64	4,34	4,61	9,52	9,52	15,13
1997	0,31	0,70	0,96	1,59	3,18	12,49	14,71
1998	0,35	1,44	3,69	7,07	7,17	18,14	19,14
1999	0,96	1,97	3,63	10,33	21,10	21,10	41,03
2000	0,32	0,73	1,39	3,17	5,98	15,78	15,78
2001	1,31	2,25	3,19	5,95	8,78	10,90	22,09
2002	0,35	0,38	0,70	1,38	6,00	17,21	30,99
2003	2,34	3,55	4,29	5,14	19,10	19,10	47,01

**Quadro 5.** Precipitações máximas absolutas (mm) no período 1987 a 2003 para os padrões de chuva avançado (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT) para as durações de chuva selecionadas.

Padrão de chuva	Duração da chuva (min)						
	10	20	30	60	120	240	480
AV	15,90	37,51	49,95	83,92	90,11	93,73	93,73
IN	5,04	8,41	11,25	25,99	35,17	69,60	86,50
AT	3,13	5,16	6,10	10,33	21,10	27,82	47,01

**Quadro 6.** Valores da intensidade média ( $\mu$ ), desvio padrão ( $\sigma$ ), em  $\text{mm h}^{-1}$ , e parâmetros  $\alpha$  e  $u$  da função de densidade de probabilidades extrema tipo I para diferentes durações da chuva, no padrão avançado, intermediário e atrasado.

Duração (min)	$\mu$	$\sigma$	$\alpha$	$u$
Padrão avançado				
10	61,06	20,63	0,06215	51,78
20	57,85	21,47	0,05975	48,19
30	53,40	22,09	0,05806	43,46
60	42,19	19,37	0,06622	33,48
120	23,71	11,10	0,11549	18,71
240	13,43	5,20	0,24660	11,09
480	7,34	2,42	0,52933	6,24
Padrão intermediário				
10	16,34	7,78	0,16500	12,85
20	14,09	5,96	0,21540	11,41
30	13,94	5,80	0,22081	11,33
60	12,46	5,88	0,21843	9,81
120	11,45	3,79	0,33885	9,74
240	8,75	4,41	0,29054	6,77
480	5,10	2,41	0,53086	4,00
Padrão atrasado				
10	7,19	6,26	0,20497	4,38
20	6,81	4,26	0,30153	4,90
30	6,35	3,47	0,36980	4,79
60	5,21	2,87	0,44757	3,92
120	4,44	2,80	0,45150	3,17
240	3,75	1,69	0,76068	3,00
480	2,98	1,33	0,95953	2,38

O padrão de chuvas avançado, além de ser o mais freqüente para Lavras, apresentou as maiores intensidades máximas esperadas para todas as durações e períodos de retorno seguido dos padrões intermediário e atrasado, respectivamente (Quadro 7).

Aplicando a equação de intensidade máxima esperada ajustada para a região de Lavras, conforme Freitas et al. (2001), obtêm-se, por exemplo, para uma chuva de duração de 30 min, intensidades máximas esperadas de 69,4; 82,4; 93,8; 106,8; 126,8 e 144,3  $\text{mm h}^{-1}$ , 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 neste trabalho (Quadro 7).

Nos 15 anos estudados, ocorreram apenas 6 (seis) chuvas consideradas como intensas neste trabalho, ou seja, chuvas com picos de intensidade superiores a 100  $\text{mm h}^{-1}$ . A maior delas ocorreu no ano de 1994, apresentando uma intensidade de 171,2  $\text{mm h}^{-1}$  cujos valores estão próximos aos encontrados por Vieira et al. (1994) e Vieira et al. (1998) para as regiões de Mococa e Pindorama que alcançaram intensidades máximas de 153,8 e 202,2  $\text{mm h}^{-1}$ , respectivamente.

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, por exemplo, nos dimensionamentos de obras que dependem deste tipo de estimativa. Portanto, o planejador deverá estar atento à origem das informações para adequar ao seu projeto. Assim, quando se deseja construir uma obra hidráulica, como uma barragem ou um canal, as intensidades máximas esperadas devem surgir da maior série possível de dados de chuvas e, ainda é conveniente escolher, dentre os métodos, aquele que ofereça valores das intensidades máximas esperadas tão elevados quanto for sua confiabilidade associado ao nível de segurança que se deseja obter da obra. Neste caso, quase sempre a maior preocupação ocorre com as intensidades de chuvas no padrão avançado.

**Quadro 7.** Intensidade máxima de chuva, em  $\text{mm h}^{-1}$ , para as durações de chuva e períodos de retorno selecionados, no padrão avançado, intermediário e atrasado.

Duração (min)	Período de retorno (anos)					
	2	5	10	20	50	100
Padrão avançado						
10	58,0	76,2	88,3	99,9	114,9	126,1
20	54,7	73,6	86,2	98,2	113,8	125,5
30	50,1	69,6	82,6	95,0	111,0	123,0
60	39,3	56,4	67,8	78,6	92,7	103,2
120	22,1	31,9	38,4	44,6	52,7	58,7
240	12,7	17,3	20,3	23,2	27,0	29,8
480	7,0	9,1	10,5	11,9	13,7	15,0
Padrão intermediário						
10	15,2	22,1	26,6	31,0	36,6	40,8
20	13,2	18,5	22,0	25,3	29,6	32,9
30	13,1	18,2	21,6	24,9	29,1	32,3
60	11,6	16,8	20,2	23,5	27,8	31,0
120	10,9	14,2	16,4	18,6	21,3	23,4
240	8,1	12,0	14,6	17,1	20,3	22,7
480	4,7	6,9	8,3	9,6	11,4	12,7
Padrão atrasado						
10	6,3	11,8	15,5	19,0	23,5	26,9
20	6,2	9,9	12,4	14,8	17,9	20,2
30	5,8	8,9	10,9	12,9	15,4	17,3
60	4,8	7,3	9,0	10,6	12,7	14,2
120	4,0	6,5	8,2	9,8	11,9	13,4
240	3,5	5,0	6,0	6,9	8,1	9,1
480	2,8	4,0	4,7	5,5	6,5	7,2

Para a implantação de uma cultura agrícola, quando necessário, o critério de avaliação das intensidades máximas esperadas, não necessariamente segue o mesmo rigor, podendo adotar-se métodos que propõe valores de menores magnitudes. Contudo, deve-se ter maior atenção àquelas intensidades que ocorrem no padrão intermediário ou atrasado pois, conforme Flanagan et al. (1998), as chuvas nestes padrões já encontram o solo úmido com menor capacidade de infiltração, tornando-se mais propensos à erosão e conseqüentemente ocorrendo perda de solos e nutrientes com maior facilidade.

O Quadro 8 apresenta os parâmetros a, b e c, obtidos usando a equação 8, a qual permite a determinação de 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 Lavras no padrão, avançado, intermediário e atrasado, respectivamente. A intensidade pode ser estimada para uma duração e período de retorno especificado, 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.

Para fins de comparação, foram calculados os períodos de retorno (T) para uma chuva de  $15 \text{ mm h}^{-1}$  e duração de 30 min, para o padrão, avançado, intermediário e atrasado tendo como resultado  $T = 1,02$ ; 2,79 e 44,14 anos para os padrões, avançado, intermediário e atrasado, respectivamente. O padrão de chuva 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.

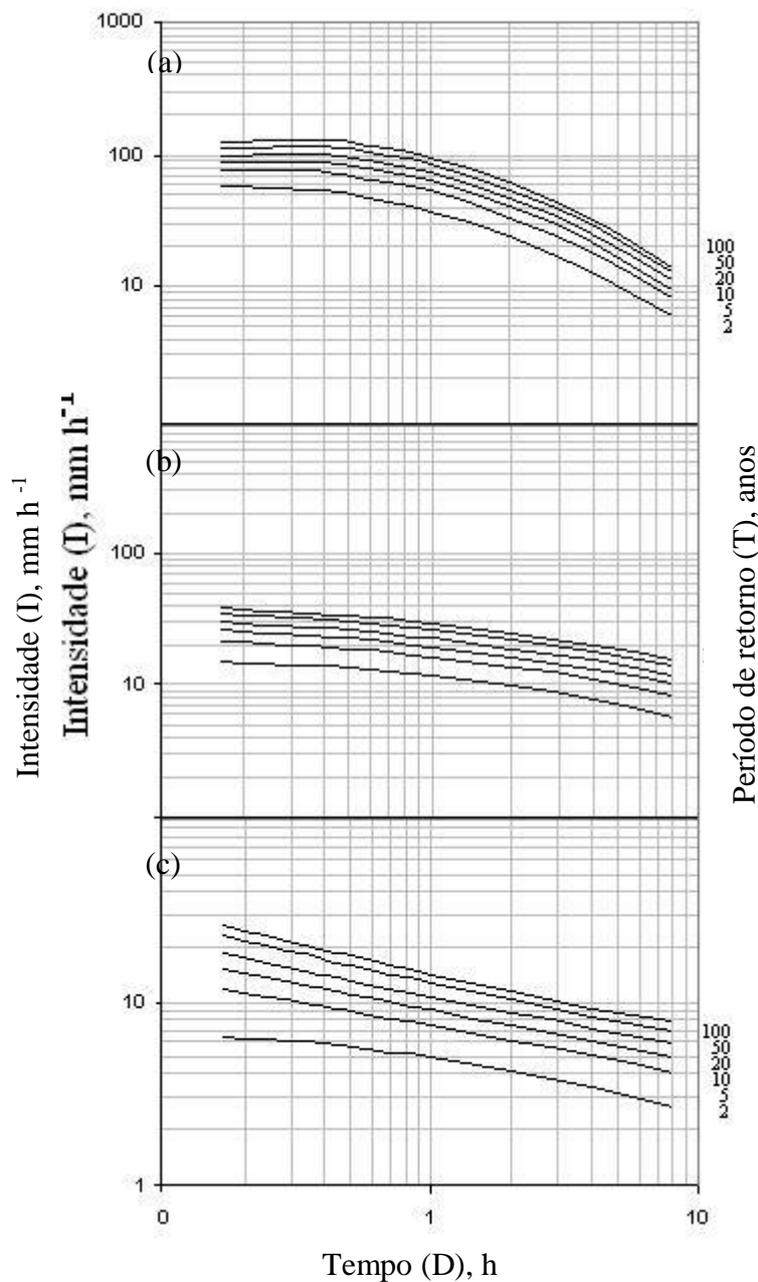
**Quadro 8.** Parâmetros das regressões (a, b, e c) da equação 8 para os períodos de retorno (T) estudados e respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), para os padrões de chuvas avançado, intermediário e atrasado.

T (anos)	$\log(I) = a + b \cdot \log(D) + c \cdot (\log(D))^2$			$R^2$
	a	b	c	
Padrão avançado				
2	1,57348	-0,53882	-0,38241	0,997
5	1,72532	-0,52172	-0,42032	0,995
10	1,80301	-0,51482	-0,43664	0,995
20	1,86645	-0,50994	-0,44851	0,994
50	1,93689	-0,50524	-0,46027	0,993
100	1,98309	-0,50251	-0,46721	0,993
Padrão intermediário				
2	1,07023	-0,22558	-0,13533	0,954
5	1,21211	-0,22856	-0,10604	0,955
10	1,28568	-0,22970	-0,09459	0,949
20	1,34619	-0,23049	-0,08660	0,944
50	1,41376	-0,23124	-0,07908	0,937
100	1,45829	-0,23166	-0,07474	0,932
Padrão atrasado				
2	0,69645	-0,21280	-0,09137	0,985
5	0,87406	-0,27092	-0,02458	0,996
10	0,96100	-0,29011	-0,00273	0,991
20	1,03064	-0,30248	0,01125	0,988
50	1,10682	-0,31362	0,02371	0,984
100	1,15625	-0,31974	0,03053	0,982

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<sup>-1</sup>, para os períodos de 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 maior que os encontrados neste trabalho. Por sua vez,

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; 4,6; 1,8; 2,0 mm em duas horas de chuva com período de retorno de dois anos. Estes valores diferiram dos obtidos neste trabalho, o que pode ser atribuído à diferenças de sistemas atmosféricos que dão origem à precipitação nas diferentes regiões brasileiras.

Desta forma, os resultados encontrados neste trabalho e nos anteriormente citados, 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 a minimizar os riscos nestes tipos de dimensionamento.



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

## 6 CONCLUSÕES

O padrão de chuva de maior ocorrência na região de Lavras foi o padrão avançado correspondendo a 68%, seguido do padrão intermediário com 22% e o padrão atrasado com 10% do total de chuvas analisadas.

Os maiores valores de precipitações máximas absolutas, de intensidades médias e máximas esperadas para todas as durações de chuvas e períodos de retorno estudados, ocorreram no padrão avançado. Este comportamento é seguido em ordem decrescente pelo padrão de chuvas intermediário e atrasado.

Eventos de chuvas com intensidades maiores que  $100 \text{ mm h}^{-1}$  são de baixa frequência para a região de Lavras-MG.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGNESE, C.; BAGARELLO, V. Describing rate variability of storm events for infiltration prediction. **Transactions of the American Society of Agricultural**, Saint Joseph, v.40, n.1, p.60-70, 1997.

ASSIS, F.N.; ARRUDA, H.V.; PEREIRA, A.R. **Aplicações de estatística à climatologia**. Pelotas: Ed. Universitária/UFPEL, 1996. 161 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas (1961-1990)**. Brasília, 1992. 84 p.

CABEDA, M.S.V. **Computation of storm EI values**. West Lafayette: Purdue University, 1976. 6 p.

CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, L.W. **Hidrología aplicada**. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill, 1994. 584 p.

FLANAGAN, D.C.; FOSTER, G.R.; MOLDENHAUER, W.C. Storm pattern effect on infiltration, and erosion. **Transactions of the American Society of Agricultural**, Saint Joseph, v.31, n.2, p.414-420, 1988.

FREITAS, A.J. et al. **Equações de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Companhia de Saneamento de Minas Gerais; Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 65 p.

HORNER, W.W.; JENS, S.W. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. **Transactions of the American Society of Civil Engineers**, New York, v.107, n.3, p.1039-1117, 1941.

MEHL, H.U. et al. Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.2, p.475-483, 2001.

MONTEBELLER, C.A. et al. Caracterização dos padrões das chuvas erosivas na região de Seropédica-RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Universidade Federal da Bahia/Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD ROM.

RIBEIRO JÚNIOR, J.I. **Análises Estatísticas no SAEG**. Viçosa: Folha de Viçosa, 2001. 301 p.

SILVA, C.V. et al. Identificação das localidades com máximos de intensidade de precipitação no estado de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEREOLOGIA, 11., 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometereologia, 1999. 1 CD ROM.

TEIXEIRA, A.F. et al. **Equações de chuvas intensas no estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Companhia de Saneamento de Minas Gerais; Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 2001. 65 p.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH-EDUSP, 2002. 943 p.

VIEIRA, D.B.; LOMBARDI NETO, F.; SANTOS, R.P. Análise das intensidades máximas de chuva em Pindorama (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.2, p.255-260, 1994.

VIEIRA, D.B.; LOMBARDI NETO, F.; SANTOS, R.P. Relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Mococa (SP). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33. n.8, p.1215-1220, 1998.