



## PADRÕES HIDROLÓGICOS E PERÍODO DE RETORNO DAS CHUVAS EROSIVAS DE GOIÂNIA – GO

Adão Wagner Pêgo Evangelista<sup>1\*</sup>, Vladia Correchel<sup>1</sup>, Nara Rúbia de Moraes Arantes<sup>1</sup>, José Alves Junior<sup>1</sup>, Derblai Casaroli<sup>1</sup>

**RESUMO:** As características específicas das chuvas variam entre regiões. Assim, conhecer a potencialidade da chuva em causar erosão é importante para planejar atividades agrícolas e de engenharia civil. Em razão de a chuva ser um fenômeno aleatório e apresentar grande variação de intensidade durante sua ocorrência, desenvolveu-se este trabalho com os objetivos de estudar os padrões de chuvas erosivas naturais verificadas em Goiânia – GO, e de estimar o período de retorno das chuvas em três padrões propostos. Para isso, utilizou-se uma série histórica de dados pluviográficos para o período de 2005 a 2009, da Estação Climatológica da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás. De acordo com a posição do pico de máxima intensidade, as chuvas foram classificadas em três padrões: avançado, intermediário e atrasado, sendo depois calculadas as intensidades máximas de chuva para várias durações e períodos de retorno. Das 231 chuvas erosivas individuais analisadas os padrões avançado, intermediário e atrasado corresponderam a 160, 48 e 23 chuvas, respectivamente, perfazendo 69%, 21% e 10% do total de chuvas, o que caracteriza o padrão avançado como aquele mais frequente em Goiânia.

**Palavras-chave:** energia cinética, intensidade de chuva, perfil de precipitação.

## HYDROLOGICAL PATTERNS AND RETURN PERIOD OF EROSIVE RAINFALLS AT GOIÂNIA – GO

**ABSTRACT:** The specific characteristics of rainfalls vary among regions. Therefore, it's necessary to know his potential to cause erosion to plan agricultural and civil engineering. Knowing that rain is not a random phenomenon showing great variation in intensity during its occurrence, this study was developed with the aims of studying the natural erosive rainfall patterns observed in Goiânia – GO, and estimating the return periods of rainfalls for three proposed patterns. Was used a series of rainfall data during the period between 2005 to 2009, from the Climatological Station of the School of Agronomy, Federal University of Goiás (UFG). According to the time of occurrence of the maximum intensity, rains were classified into three patterns: advanced, intermediary and delayed, being calculated the maximum rainfall intensities for various durations and return periods. From 231 individually erosive rainfalls analyzed, the patterns advanced, intermediary and delayed corresponded respectively to 160 (69%), 48 (21%) and 23 (10%) of the rains. This features the advanced pattern as the more frequent in Goiânia.

**Key-words:** kinetic energy, rainfall intensity, precipitation profile.

<sup>1</sup> Escola de Agronomia e Engenharia de Alimento, Universidade Federal de Goiás – UFG, Goiânia, GO. \*E-mail: awpego@bol.com.br. Autor para correspondência.

Recebido em: 13/03/2015. Aprovado em: 08/03/2016.

## INTRODUÇÃO

O regime pluviométrico e 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 se revelado como o elemento de maior irregularidade em termos de intensidade durante sua ocorrência bem como sua aleatoriedade nas regiões. Além disso, a ocorrência dos picos de intensidade durante a chuva afeta a infiltração da água no solo (AGNESE; BAGARELLO, 1997).

De acordo com sua intensidade, as chuvas são classificadas nos padrões avançado, intermediário e atrasado, conforme o pico de maior intensidade ocorrer, respectivamente, no início, no meio ou no final do período de duração das chuvas (HORNER; JENS, 1941). Apesar desse sistema de classificação dos padrões hidrológicos ser antigo, ainda há poucos estudos sobre as características físicas das chuvas relacionadas com a variação de sua intensidade e duração no Brasil. Evangelista, Carvalho e Bernadino (2005) comentam que o conhecimento das características físicas das chuvas com relação aos padrões de precipitação permite realizar com maior exatidão estudos com chuva simulada, por utilizar condições mais próximas às condições reais, ou seja, das chuvas naturais.

Segundo Eltz, Cassol e Pascotini (2001), a maioria dos estudos realizados com chuvas simuladas utiliza um único padrão de chuva (padrão constante), o que não representa a realidade das chuvas, porque a ocorrência destas chuvas em regiões tropicais acarreta a perda de solo, devido às chuvas de alta intensidade e curta duração. Portanto, o manuseio de dados de precipitação é realizado por meio de tratamento estatístico, pois não permite uma previsão determinística com antecedência.

Um problema em se utilizar modelos que envolvam a ocorrência de precipitações é a incapacidade desses em permitir uma boa caracterização das chuvas da forma como

ocorrem, pois ignoram ou não distinguem a variabilidade temporal e espacial. Ao analisar séries climatológicas, o mais comum, adotar-se a distribuição normal, que pode resultar em conclusões errôneas, porque os eventos não seguem esta distribuição. Assim, entre os tipos de distribuição, a extrema tipo I (EVANGELISTA; CARVALHO; BERNADINO, 2005) se ajusta com precisão a dados extremos, pois são selecionadas sequência de observações máximas e mínimas de conjunto de dados para essa análise.

Além da magnitude do evento é fundamental a realização de estudos que levem em consideração a frequência e probabilidades teóricas de ocorrência. Assim, as informações estimadas ou coletadas nos postos hidrométricos podem ser analisadas estatisticamente, verificando-se com que frequência elas assumiram cada magnitude, sendo de grande importância para um adequado planejamento de práticas conservacionistas e de projetos de obras hidráulicas em geral (VILLELA; MATOS, 1975).

A variação nos períodos de retorno dos diferentes padrões de chuvas pode sugerir mudanças no planejamento das obras em regiões climáticas distintas, por isso é importante agrupar as chuvas com características em comum. Nesse sentido, Evangelista, Carvalho e Bernadino (2005) verificaram que das 551 chuvas erosivas individuais analisadas no estudo, os padrões avançado, intermediário e atrasado, corresponderam a 377, 119 e 55 chuvas, perfazendo 68%; 22% e 10% do total das chuvas, respectivamente, para um período de 15 anos de registros pluviográficos. Peñalva Bazzano, Eltz e Cassol (2010) concluíram que na região do Rio Grande (RS) o padrão de chuva de maior ocorrência foi o avançado, correspondendo a 45%, seguido do padrão intermediário com 25% e o padrão atrasado com 28% do total de chuvas analisadas.

Diante do exposto, os objetivos deste trabalho foram determinar o padrão hidrológico das chuvas erosivas naturais ocorridas em Goiânia – GO, o padrão em que

o período de retorno é mais frequente e as chuvas intensas presentes na série analisada.

## MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo, foram usados dados obtidos de pluviogramas diários relativos ao período de 01/01/2005 a 31/12/2009 da estação evaporimétrica da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás em Goiânia, GO, coordenadas 16°35'12"S e 49°21'14" W e altitude de 750 m. A amplitude de registro do pluviograma é de 10 mm de precipitação, com precisão de 0,1 mm, e tempo de registro de 24h com subunidade de 10 minutos. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é Aw, com duas estações bem definidas: seca no inverno e chuvosa no verão. A temperatura média máxima anual é de 30,4°C, e mínima de 15,2°C. A umidade relativa média anual é de 78,2% e o total anual médio de precipitação pluvial de 1.481 mm (MARCUSO; CARDOSO; FARIA, 2012).

Apesar da série histórica utilizada ser inferior a 22 anos, segundo Prusk (1996), no Brasil, ainda existem poucos estudos sobre as características físicas das precipitações, que em geral usam séries históricas de chuvas inferiores à recomendada devido à dificuldade de obtenção e escassez desses dados no país (SILVA et al., 1997; MARQUES et al., 1998; BERTOL et al., 2002).

Os pluviogramas, digitalizados utilizando o programa HydroGraph 1.02, desenvolvido pelo grupo de pesquisa em recursos hídricos (GPRH) da Universidade Federal de Viçosa, foram importados para o programa Microsoft Excel, onde foram realizados os cálculos dos índices, utilizando-se os critérios adotados para a individualização das chuvas erosivas propostos por Cabeda (1976), ou seja, uma chuva foi considerada independente quando separada de outra por, no mínimo, 6 h com precipitação inferior a 1 mm, e considerada erosiva quando a altura precipitada era superior a 10 mm, ou quando era igual ou

superior a 6 mm, em um período máximo de 15 minutos.

As chuvas foram classificadas por padrões, conforme proposto por Horner e Jens (1941), separando-se o tempo total de duração das chuvas em três partes iguais, isto é, padrões variando entre 0 e 33,3; 33,3 e 66,6; e 66,6 e 100% do tempo total de duração das chuvas, caracterizando os padrões: a) avançado (AV), quando a maior intensidade ocorre no terço inicial do tempo total de duração da chuva; b) intermediário (IN), quando a maior intensidade se verifica no terço intermediário; e c) atrasado (AT), quando a maior intensidade ocorre no terço final do tempo total de duração da chuva. Com base no padrão hidrológico de cada chuva, calculou-se a percentagem do total das chuvas que representa cada padrão hidrológico, em número (N) e as intensidades máximas de chuva para várias durações e períodos de retorno.

A intensidade média dos picos foi calculada, dividindo-se a intensidade máxima de cada chuva pelo número de chuvas, bem como a duração média das chuvas. Chuvas, com pico de intensidade igual ou superior a 100 mm h<sup>-1</sup>, foram consideradas 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 minutos no período estudado. Com os valores de quantidade máxima de precipitação, foi calculada a intensidade de precipitação, 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 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 ( $\sigma$ ) das intensidades de precipitação das chuvas erosivas classificadas em cada padrão, sendo calculados por:

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

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

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

$$I = \mu + K\sigma \quad (4)$$

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

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

em que,  $T$  é o período de retorno desejado, calculado pela equação (6):

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

Para verificar a adequação dos dados às pressuposições da análise paramétrica, a normalidade e homogeneidade de variâncias dos resíduos do modelo foram avaliadas, usando SAEG 4.0, bem como para ajustar as equações de segunda ordem para cada

período de retorno (RIBEIRO JÚNIOR, 2001). Essas equações possuem a forma:

$$\log(I) = a + b \cdot \log(D) + c(\log(D))^2 \quad (7)$$

em que:  $I$  = intensidade máxima de chuva,  $\text{mm h}^{-1}$ ;  $D$  = duração da chuva,  $h$ ,  $a$ ,  $b$  e  $c$  são parâmetros de ajuste da equação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período entre 2005 a 2009, ocorreram 478 eventos de chuvas em Goiânia – GO, dentre os quais, 231 chuvas foram consideradas erosivas, perfazendo 48,3%. Em período anterior, Silva et al. (1997) encontraram 433 chuvas (1989 a 1993) para a mesma região, sendo 50,3% classificadas como erosivas, indicando uma manutenção do mesmo padrão hidrológico na região ao longo dos anos. Ressalta-se que na região dos cerrados ainda é bastante frequente o uso excessivo de grade aradora no preparo do solo pulverizando-o com a destruição da sua estrutura (GALVÃO et al., 2014). O conhecimento da distribuição do potencial erosivo das chuvas é de fundamental importância para o conhecimento dos períodos mais críticos quando se deve proteger o solo, mantendo a cobertura vegetal, o que contribui em muito para a sua sustentabilidade.

O número de chuvas distribuídas nos três padrões de chuva estudados no período de 2005 a 2009 podem ser visualizadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Chuvas naturais em Goiânia, GO, no período de 2005 a 2009, classificadas nos padrões de chuva avançado (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT)

Características avaliadas	AV	IN	AT	Total	Média
Número de chuvas erosivas	160	48	23	231	-
Porcentagem em relação ao total	69	21	10	100	-
Intensidade média dos picos em $\text{mm h}^{-1}$	20,7	18,3	14,9	-	18,0

Na Tabela 1, se observa que das 231 chuvas erosivas analisadas, 160 satisfazem o padrão AV, com 69% do total de chuvas erosivas. O padrão IN alcançou 21% das chuvas erosivas, enquanto o padrão AT apenas 10%. O mesmo comportamento na distribuição dos padrões de chuvas obtidos para Goiânia – GO, foi obtido por Evangelista, Carvalho e Bernadino (2005)

para Lavras – MG, Carvalho et al. (2005) para Seropédica e Nova Friburgo – RJ e Machado et al. (2008) para Ribeirão das Lajes – RJ. No Rio Grande do Sul, também foi observado o predomínio do padrão AV de chuvas em Quarai (PEÑALVA BAZZANO; ELTZ; CASSOL, 2007), Santa Rosa (MAZURANA et al., 2009), Rio Grande (PEÑALVA BAZZANO; ELTZ; CASSOL,

2010), São Borba (CASSOL et al., 2008), Ijuí (CASSOL et al., 2007) e Encruzilhada do Sul (ELTZ; MEHL; REICHERT, 2011), com percentuais, variando de 45% a 50%, para o padrão AV e de 25% a 30% para os padrões IN e AT.

Machado et al. (2008) ao compararem a distribuição de chuvas de Seropédica e Ribeirão das Lages – RJ, perceberam que apesar da proximidade das duas localidades o regime pluviométrico em cada local diferencia-se em virtude, principalmente, das características associadas ao relevo, que, por sua vez, influenciam a distribuição e ocorrência dos eventos erosivos.

No presente estudo, a maioria dos picos de maior intensidade ocorreu no início das chuvas, caracterizando o padrão AV como o mais frequente na região seguida, nesta ordem, pelos padrões IN e AT. Segundo Flanagan, Foster e Moldenhauer (1988), picos de maior intensidade no início produzem menores perdas de solo e água quando comparados com os de chuvas de padrão IN e AT. Logo, com a maior proporção de chuvas no padrão avançado, pode-se inferir que perdas de solo na região de Goiânia – GO, são menores do que poderiam ser, caso houvesse predominância do padrão de chuva IN ou AT, pois nesses casos, no momento do pico de maior intensidade de chuva o solo está mais úmido, facilitando a desagregação, o transporte e o selamento superficial dos poros do solo em superfície (MEHL et al., 2001; ELTZ; MEHL; REICHERT, 2001; (EVANGELISTA; CARVALHO; BERNADINO, 2005).

Para os padrões AV, IN e AT, as intensidades médias dos picos das chuvas

para Goiânia foram de 22,7, 18,3 e 14,9 mm h<sup>-1</sup>, respectivamente, sendo a média entre os três padrões de 18,0 mm h<sup>-1</sup>. Não foram constatadas chuvas intensas, ou seja, chuvas com picos de intensidade acima de 100 mm h<sup>-1</sup> e as que ficaram próximas a esse valor, não se sustentaram por longo período de tempo, pois chuvas com alta intensidade têm curta duração (HERSHFIELD, 1961).

O fato de não terem sido encontradas chuvas intensas na série analisada, pode estar associado ao reduzido número de anos analisados na série histórica. Segundo Carvalho et al. (2001), no Brasil, são raras as séries de dados pluviográficos existentes com períodos superiores a 10 anos. Os autores, utilizando série histórica de 6 anos para Seropédica, registraram apenas uma chuva intensa.

Evangelista, Carvalho e Bernadino (2005), estudando a caracterização das chuvas ocorrentes em Lavras durante 15 anos, observaram a ocorrência de apenas seis chuvas intensas, sendo a maior em 1994, com intensidade de 171,2 mm h<sup>-1</sup>. Valores dessa ordem foram encontrados por Vieira, Lombardi Neto e Santos (1994/1998) para Mococa e Pindorama, SP, com intensidades máximas de 153,8 e 202,2 mm h<sup>-1</sup>, respectivamente.

O percentual e o total de eventos mensais ocorridos para cada padrão de precipitação pode ser visualizado na Tabela 2. Observa-se que não ocorreram precipitações nos meses de junho, julho e agosto. Os meses de maior precipitação foram em ordem decrescente: dezembro, março, novembro, janeiro e fevereiro, ou seja, no período de novembro a março.

**Tabela 2.** Distribuição percentual e número de eventos de chuva ocorridos para os padrões de chuva avançado (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT) no período de 2005 a 2009, em Goiânia – GO

Padrão	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
AV	61,8	64,3	76,7	92,3	33,3	0,0	0,0	0,0	60,0	70,0	78,4	60,4
IN	17,6	21,4	14,0	7,7	33,3	0,0	0,0	0,0	40,0	30,0	16,2	29,2
AT	20,6	14,3	9,3	0,0	33,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	10,4
Total	34	28	43	13	3	0	0	0	5	20	37	48

Embora o padrão AV seja o mais frequente no período de novembro a março, o seu efeito esperado pode ser menos agravante em relação à perda de solo, pois é o padrão no qual ocorre, dependendo do tipo de solo e de sua cobertura vegetal, menor desestruturação e selamento superficial, e conseqüentemente, menor escoamento superficial e carregamento de agregados do solo (ELTZ et al., 2001), em especial em áreas nas quais se adotam práticas agrícolas que deixam o solo desprotegido. Neste período, algumas culturas agrícolas ainda não apresentam cobertura vegetal ou arquitetura foliar suficiente para cobrir o solo, como é o caso do algodoeiro, muito cultivado na

região. Por isso, o planejamento conservacionista deve sempre ser adotado para minimizar as perdas de solo e nutrientes. Na região estudada, atenção especial deve ser dada ao mês de janeiro, pois dentre os 34 eventos de chuvas erosivas, 20% estão dentro do padrão atrasado, indicando cuidado redobrado com a conservação do solo nesse período.

Os valores médios das precipitações máximas absolutas anuais nas durações selecionadas para as chuvas enquadradas nos padrões avançado (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT), respectivamente, no período de 2005 a 2009 podem ser visualizados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Precipitação máxima absoluta (mm) anual observada no padrão de chuva avançado (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT) para as durações de chuvas selecionadas

Ano	Duração da chuva, minutos						
	10	20	30	60	120	240	480
<b>AVANÇADO</b>							
2005	10,5	21,4	41,9	52,8	59,4	78,6	103,3
2006	14,0	32,1	35,3	36,0	40,9	46,8	41,0
2007	12,9	20,4	28,1	40,3	28,6	29,9	16,1
2008	10,5	16,7	26,0	39,8	40,9	49,9	60,2
2009	13,5	23,4	38,7	45,4	45,9	38,4	51,4
<b>INTERMEDIÁRIO</b>							
2005	7,9	11,5	14,9	19,2	22,0	35,0	39,5
2006	6,5	9,0	9,0	9,6	10,5	21,2	40,1
2007	4,8	6,2	6,2	6,9	10,2	19,2	24,1
2008	11,3	13,5	13,4	14,3	14,6	32,8	45,6
2009	12,0	12,9	13,8	16,6	22,4	27,9	32,1
<b>ATRASADO</b>							
2005	8,1	8,8	8,8	8,8	10,1	14,3	15,0
2006	0,9	1,2	1,3	1,8	3,4	4,4	10,4
2007	9,3	9,3	9,8	12,7	16,6	20,2	21,0
2008	5,4	7,6	8,3	8,4	8,4	8,7	21,2
2009	14,1	24,2	24,2	24,2	24,3	35,9	36,3

Observa-se que para qualquer duração de chuva, as precipitações máximas diminuíram do padrão AV para o AT, exceto em 2009, quando as máximas diminuíram do padrão AV, passando pelo AT e por fim no IN. Em qualquer padrão de chuva, à medida que o tempo de duração aumenta a precipitação também aumenta. As intensidades máximas associadas a esses

eventos nos três padrões foram para a duração de chuva de 10 minutos, sendo de 84,6, 81,0 e 72,0 mm h<sup>-1</sup> para os padrões atrasado, avançado e intermediário, respectivamente. Ressalta-se que apesar da duração das chuvas seja pequena, a intensidade de precipitação foi, relativamente, alta, para os três padrões.

Segundo Eltz, Cassol e Pascotini (2001), as condições da superfície e a umidade do solo vão se alterando no decorrer da chuva. Por esse motivo, chuvas de padrão atrasado com alta intensidade conferem as maiores taxas de perda de solo e água como também perda acumulada de solo. Quando ocorre o pico de maior intensidade, o solo

está com maior umidade, favorecendo a desagregação, o selamento superficial e o transporte das partículas de solo.

As intensidades médias e respectivos desvios-padrão que originaram os parâmetros  $u$  e  $\alpha$  da função de densidade de probabilidade extrema tipo I constam na Tabela 4.

**Tabela 4.** Número de eventos de chuvas (n), 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 (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT)

Duração, minutos	n	$\mu$	$\sigma$	$\alpha$	u
<b>AVANÇADO</b>					
10	159	95,790	61,64747	0,020805	68,04611
20	159	74,442	22,42102	0,057203	64,35162
30	159	68,060	13,63358	0,094073	61,92433
60	150	42,878	6,486958	0,197712	39,9586
120	127	21,541	5,614296	0,228444	19,01434
240	94	12,189	4,607061	0,278388	10,11613
480	35	6,804	3,990792	0,321377	5,008230
<b>INTERMEDIÁRIO</b>					
10	48	51,264	18,44078	0,069550	42,96489
20	48	31,944	9,068078	0,141436	27,86299
30	48	23,192	7,512943	0,170712	19,81087
60	48	13,382	5,051645	0,253888	11,10855
120	43	7,994	2,986924	0,429388	6,649762
240	31	6,812	1,740100	0,737055	6,028884
480	14	4,540	1,043664	1,228892	4,070308
<b>ATRASADO</b>					
10	23	57,732	52,57814	0,024393	34,06968
20	23	30,798	25,36119	0,050571	19,38443
30	23	21,0520	16,75227	0,076560	13,51279
60	23	11,2140	8,274481	0,155001	7,490145
120	23	6,29500	4,047334	0,316888	4,473534
240	21	4,18700	3,072768	0,417392	2,804128
480	13	2,60325	1,220567	1,050782	2,053945

Na Tabela 4, observa-se que a intensidade média das chuvas de padrão AV foi maior que a intensidade média do padrão IN, que por sua vez, foi maior que do padrão AT, em todas as durações estudadas, bem como os desvios-padrão foram maiores para as chuvas de padrão AV.

A implicação prática desses resultados é que pode ocorrer uma menor perda de solo

ocasionada por escoamento superficial na época do preparo dos solos para implantação de culturas agrícolas, tendo-se em vista a predominância deste padrão de chuvas (AV), pois picos de maior intensidade no início produzem menores perdas de solo e água quando comparados com chuvas de padrão IN e AT (FLANAGAN; FOSTER; MOLDENHAUER, 1988).

**Tabela 5.** Parâmetros das regressões (a, b, e c) da equação 7 para os períodos de retorno (T) estudados e respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para os padrões de chuvas avançado (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT) para Goiânia – GO

T, anos	Parâmetros das regressões			
	a	b	c	$R^2$
<b>AVANÇADO</b>				
2	1,61825	-0,71710	-0,39860	0,995**
5	1,66784	-0,70264	-0,11057	0,997**
10	1,70052	-0,70316	-0,00113	0,998**
20	1,73082	-0,70543	0,07448	0,998**
50	1,76811	-0,70902	0,14648	0,999**
100	1,79456	-0,71169	0,18788	0,999**
<b>INTERMEDIÁRIO</b>				
2	1,13648	-0,67239	0,04982	0,997**
5	1,24422	-0,67242	0,07590	0,999**
10	1,30312	-0,67282	0,08706	0,999**
20	1,35295	-0,67324	0,09517	0,999**
50	1,40995	-0,67377	0,10321	0,999**
100	1,44822	-0,67414	0,10797	0,999**
<b>ATRASADO</b>				
2	1,01552	-0,82626	0,06835	0,999**
5	1,25111	-0,88116	0,08021	0,999**
10	1,35743	-0,89744	0,08231	0,999**
20	1,43961	-0,90750	0,08330	0,999**
50	1,52710	-0,91629	0,08397	0,999**
100	1,58276	-0,92101	0,08427	0,999**

\*\*Significativo ao nível de 0,01%.

Os valores dos 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 T específicos são mostrados na Tabela 5. Os coeficientes obtidos permitem estimar de modo rápido e direto a intensidade, duração e T das chuvas de Goiânia no padrão AV, IN e AT. Verifica-se que para Goiânia obteve-se uma alta significância estatística (probabilidade de 0,01%) e alto coeficiente de determinação ( $R^2 > 0,99$ ) nas seis regressões dos períodos de retorno considerados, para as chuvas classificadas nos três padrões. Isto indica que a variação da intensidade em função da duração é explicada em mais de 99% pelo modelo quadrático considerado, significando uma alta confiabilidade nos resultados quando são utilizadas ditas equações. Pelos resultados dos testes realizados, verificou-se também

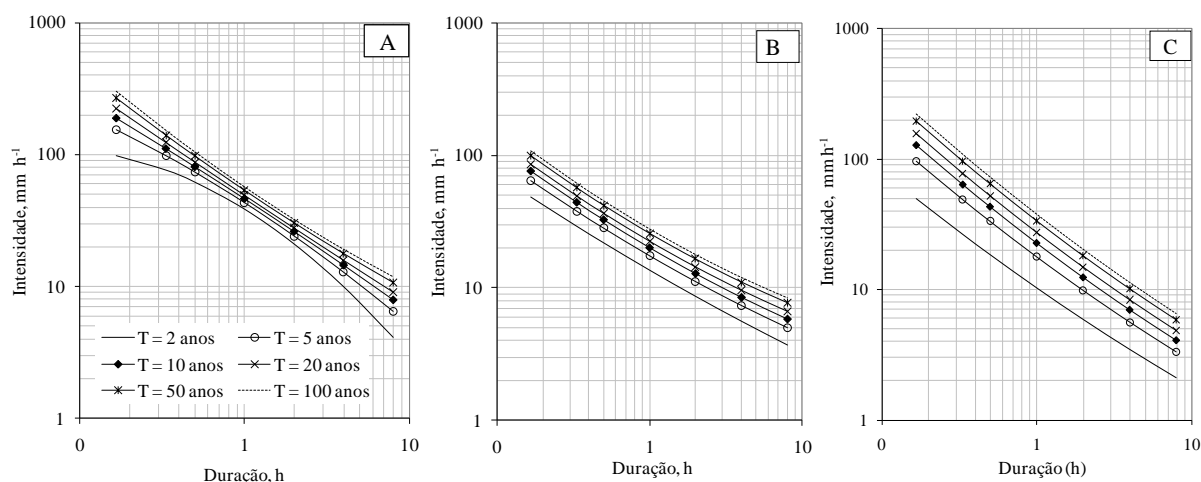
normalidade e homogeneidade de variâncias dos resíduos.

Oliveira et al. (2008) determinaram as precipitações máximas prováveis para uma duração de duas horas e  $T = 2$  anos para os municípios de Morrinhos e Pires do Rio distantes de Goiânia de aproximadamente ao oeste e sul de 100 Km, onde as precipitações máximas prováveis chegaram a 92,4 e 97,2 mm em duas horas de chuva, enquanto para Goiânia, no padrão avançado e a precipitação máxima provável foi de 45 mm. Esses estudos confirmam a grande variabilidade das precipitações entre regiões, 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.

Na Figura 1, visualizam-se as curvas de períodos de retorno dos padrões avançado, intermediário e atrasado de chuvas, em Goiânia (GO), considerando a intensidade e

duração das mesmas. Os parâmetros utilizados para construção das curvas são encontrados na Tabela 5. Por meio dessas curvas, é possível estimar diretamente a intensidade, a duração e o período de retorno das chuvas. Dentro das amplitudes de

duração, intensidade e períodos de retorno estudados, é importante observar que as interpolações podem ser feitas. Para extrapolações fora dos limites testados no presente estudo, a confiabilidade é menor e não sendo recomendada.



**Figura 1.** Períodos de retorno do padrão de chuvas avançado (A), intermediário (B) e atrasado (C) em Goiânia (GO), considerando a intensidade e duração das mesmas.

Observar-se na Tabela 6, que o valor da intensidade máxima esperada no padrão de chuva AT foi alto, com valor próximo ao do padrão AV, principalmente, nas menores durações (10 a 30 minutos) de chuva e maiores períodos de retornos. Considerando que essa condição favorece um maior escoamento superficial em razão do pico de

máxima intensidade da chuva ocorrer numa condição de solo já umedecido, esses resultados indicam a necessidade de adoção de um bom planejamento do manejo nos plantios na região e também de práticas conservacionista das atividades agrícolas, para evitar grandes perdas de solo e água nessa época.

**Tabela 6.** Intensidade máxima de chuva esperada, em mm h<sup>-1</sup>, para as durações de chuva e períodos de retorno selecionados, no padrão avançado (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT)

Duração, minutos	Período de retorno, anos					
	2	5	10	20	50	100
<b>AVANÇADO</b>						
10	86,6	141,1	177,2	211,8	256,6	290,1
20	71,1	90,9	104,0	116,6	132,9	145,1
30	66,0	78,1	86,1	93,7	103,6	111,0
60	41,9	47,6	51,4	55,1	59,8	63,3
120	20,7	25,7	29,0	32,1	36,2	39,2
240	11,5	15,6	18,3	20,9	24,2	26,7
480	6,2	9,7	12,1	14,3	17,2	19,4
<b>INTERMEDIÁRIO</b>						
10	48,5	64,8	75,6	86,0	99,4	109,4
20	30,6	38,6	43,9	49,0	55,6	60,5
30	22,1	28,7	33,1	37,3	42,8	46,9
60	12,6	17,1	20,1	22,9	26,6	29,3
120	7,5	10,2	11,9	13,6	15,8	17,4
240	6,6	8,1	9,1	10,1	11,3	12,3
480	4,4	5,3	5,9	6,5	7,3	7,8
<b>ATRASADO</b>						
10	49,9	96,4	127,1	156,7	194,9	223,5
20	27,0	49,4	64,3	78,5	96,9	110,7
30	18,6	33,4	43,2	52,6	64,7	73,9
60	10,0	17,3	22,1	26,8	32,8	37,3
120	5,7	9,3	11,6	13,9	16,9	19,1
240	3,7	6,4	8,2	10,0	12,2	13,9
480	2,4	3,5	4,2	4,9	5,8	6,5

Para fins de comparação, foram calculados os períodos de retorno (T) para uma chuva de 15 mm h<sup>-1</sup> e duração de 30 minutos, tendo como resultado T = 1,00; 1,11 e 1,69 anos para os padrões, AV, IN e AT, respectivamente. Os padrões de chuva AV, nos dois casos, mostraram um T menor em relação aos outros dois padrões, em decorrência do maior número de eventos chuvosos compreendidos nesse padrão, tendo assim, maior probabilidade de ocorrer chuvas de alta intensidade (Tabela 6).

Evangelista, Carvalho e Bernadino (2005) encontraram para uma chuva com 10 minutos de duração, intensidades máximas esperadas de 58,0; 76,2; 88,3; 99,9; 114,9; 126,1 mm h<sup>-1</sup>, para T de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, respectivamente, inferiores aos valores calculados neste trabalho para o padrão AV.

## CONCLUSÕES

Os períodos de retorno da chuva em Goiânia podem ser calculados por meio das equações afins, utilizando os valores dos parâmetros encontrados.

O padrão de chuva de maior ocorrência na região de Goiânia foi o padrão AV correspondendo a 69%, seguido do padrão IN com 21% e o padrão AT 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 T estudados, ocorreram no padrão AV. Este comportamento é seguido em ordem decrescente pelo padrão de chuvas AT e IN.

Não foram constatadas chuvas intensas com picos de intensidade acima de 100 mm h<sup>-1</sup> dentro da série analisada.

## REFERÊNCIAS

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

BERTOL, I; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D.; VISENTIN, D.; COGO, N.P. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 2, p. 455-464, 2002.

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

CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C. A.; CRUZ, E. S.; CEDDIA, M. B.; LANA, A.M.Q. Perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 385-389, 2001.

CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C. A.; FRANCO, E. M.; VALCARCEL, R.; BERTOL, I. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo-RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 7-14, 2005.

CASSOL, E. A.; ELTZ, F. L. F.; MARTINS, D.; LEMOS, A. M.; LIMA, V. S.; BUENO, A. C. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 1239-1251, 2008.

CASSOL, E. A.; MARTINS, D.; ELTZ, F. L. F.; LIMA, V. S.; BUENO, A. C. Erosividade e padrões hidrológicos das chuvas de Ijuí

(RS), no período de 1963 a 1993. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 15, n. 3, p. 220-231, 2007.

ELTZ, F. L. F.; MEHL, H. U.; REICHERT, J. M. Perdas de solo e água em entre sulcos em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a quatro padrões de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 485-493, 2001.

ELTZ, L. F.; CASSOL, E. A.; PASCOTINI, P. B. Potencial erosivo e características das chuvas de Encruzilhada do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n.4, p. 331-337, 2011.

EVANGELISTA, A. W. P.; CARVALHO, L. G.; BERNARDINO, D. T. Caracterização do padrão das chuvas ocorrentes em Lavras. **Irriga**, v. 10, n.3, p. 306-317, 2005.

FLANAGAN, D. C.; FOSTER, G. R.; MOLDENHAUER, W. C. Storm pattern effect on infiltration, and erosion. **Transactions of American Society Agricultural and Biological Engineers**, v. 31, n. 1, p. 414-420, 1988.

GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V.; TROGELLO, E.; FRITSCHÉ-NETO, R. Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v.61, Suplemento, p. 819-828, 2014.

HERSHFIELD, D.N. Rainfall frequency atlas of the United States. U.S. **Weather Bureau Tech. Paper** 4, 1961.

HORNER, W. W.; JENS, S. W. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. **Transactions of American Society Agricultural and Biological Engineers**, v.107, n.2, p. 1039-1117, 1941.

MACHADO, R. L.; CARVALHO, D. F.; COSTA, J. R.; OLIVEIRA NETO, D. H.; PINTO, M. F. Análise da erosividade das chuvas associada aos padrões de precipitação

- pluvial na região de Ribeirão das Lajes (RJ). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.32, n.1, p.2113-2123, 2008.
- MARCUZZO, F. F. N.; CARDOSO, M. R. D.; FARIA, T. G. Chuvas no cerrado da região Centro-Oeste do Brasil: Análise histórica e tendência futura. **Ateliê Geografico**, v. 6, n. 2, p. 112-130, 2012.
- MARQUES, J.J.G.S.M.; ALVARENGA, R.C.; CURTI, N. Erosividade das chuvas de Sete Lagoas, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.5, p.285-288, 1998.
- MAZURANA, J; CASSOL, E. A.; SANTOS, L. C. dos; ELTZ, F. L. F.; BUENO, A. C. Erosividade, padrões hidrológicos e período de retorno das chuvas de Santa Rosa, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, Suplemento, p. 975-983, 2009.
- MEHL, H. U.; ELTZ, F. L. F.; REICHERT, J. M.; DIDONÉ I. A. Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 475-483, 2001.
- OLIVEIRA, L.F.C.; ANTONINI, J.C.A.; FIOREZE, A.P.; SILVA, M.A.S. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.6, p.620-625, 2008.
- PEÑALVA-BAZZANO, M. G.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Rio Grande (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 235-244, 2010.
- \_\_\_\_\_. Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 1205-1217, 2007.
- RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Análises Estatísticas no SAEG**. Viçosa: Folha de Viçosa, 2001.
- SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N.P.; OLIVEIRA, L.F.C. Chuvas intensas relacionadas a erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.2, p.115-123, 2010.
- SILVA, M. L. N.; FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; CURTI, N. Índices de erosividades das chuvas da região de Goiânia, GO. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.10, p.275-289. 1997.
- 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.
- \_\_\_\_\_. Análise das intensidades máximas de chuva em Pindorama (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, n. 2, p. 255-260, 1994.
- VILLELA, S. M.; MATOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.