

ISSN 0104-1347

MODELO PARA GERAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS NO RIO GRANDE DO SUL

MODEL TO ESTIMATE INTENSE RAINFALL IN RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

Adroaldo Dias Robaina¹

RESUMO

O objetivo deste estudo foi testar o desempenho de um modelo desenvolvido para estimar chuvas intensas com durações menores do que 24 horas no Estado do Rio Grande do Sul, usando dados de chuvas coletados por pluviômetros. O modelo mostrou ser adequado, uma vez que os desvios máximos foram em torno de 15%, quando as chuvas estimadas foram comparados com as observadas em 32 localidades deste Estado.

Palavras-chave: chuvas intensas, desagregação, regionalização.

SUMMARY

The objective of this study was to test the performance of a model developed to estimate intense rainfalls with durations less than 24 hours in the State of Rio Grande do Sul. Rainfall data collected by rain-gages were used. The model showed to be adequate, since the maximum deviations were around 15%, when the estimated rainfalls were compared with the observed ones in 32 locations of this state.

Key words: intense rainfall, deaggregation, regional model.

INTRODUÇÃO

¹Engº Agrº, Prof. Titular - Departamento de Engenharia Rural-CCR-Universidade Federal de Santa Maria Santa Maria, RS - 97119-000.

Um dos problemas mais freqüentes enfrentados pelos projetistas de obras hidráulicas é o dimensionamento racional de galerias pluviais, sistemas de drenagem superficiais e vertedores de barragens, o que deve ser realizado tendo como base uma solução de compromisso entre os danos causados pela falta de capacidade de escoamento e o custo das obras. A capacidade de escoamento é definida a partir do conhecimento da vazão máxima de projeto.

Quando não se dispõe de série de vazões observadas para se determinar a vazão máxima de projeto, esta deve ser determinada indiretamente a partir de dados observados de chuva, através de modelos de simulação do escoamento superficial na bacia hidrográfica. Neste caso, seleciona-se uma série de chuvas intensas para se chegar na estimativa da precipitação admitida como a causadora da vazão máxima de projeto.

Para a determinação da chuva de projeto, são utilizadas relações do tipo intensidade-duração-freqüência, representadas por equações derivadas empiricamente por meio da análise estatística de uma longa série de observações obtidas por registros pluviográficos.

Uma das maiores dificuldades na obtenção da chuva máxima de projeto ocorre, quando na região de interesse, não existem registros de precipitações de tempos de duração inferiores ao período de 24 horas, o que acarreta a impossibilidade da aplicação da metodologia tradicional. Para contornar o problema, no presente trabalho é apresentado um modelo de desagregação e de geração de totais precipitados em intervalos menores que 24 horas e diferentes períodos de retorno, de modo que se possa determinar equações de chuvas intensas ou, simplesmente, estimar a chuva de projeto com tempo de duração (t) e período de retorno (T), pré-estabelecidos.

MATERIAL E MÉTODOS

O modelo proposto neste trabalho tem como base o modelo de CHOW (1951), um dos mais utilizados para a geração de chuvas intensas, o qual pode ser representado por:

$$P(t,T) = P(t) + K_T \cdot s \quad \mathbf{1}$$

onde: $P(t,T)$ é a precipitação máxima anual média de duração t e período de retorno T , $P(t)$ a precipitação média, " s " o desvio padrão das máximas precipitações anuais de duração t e K_T o fator de freqüência.

Segundo SUGAI & FILL (1990), o fator de freqüência da distribuição de Gumbell, utilizando o método dos momentos para a estimativa dos parâmetros, é expresso por:

$$K_T = 0,7797 \left\{ -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} - 0,45 \quad \mathbf{2}$$

onde ln é a notação logarítmica neperiana.

Definindo uma relação entre as precipitações máximas anuais médias com diferentes tempos de duração P(t) e a precipitação máxima anual média com tempo de duração de 24 horas P(24), obtém-se uma função:

$$F1(t) = \frac{P(t)}{P(24)} \quad \mathbf{3}$$

que é denominada de Função de Desagregação.

Dividindo ambos os membros da equação [1] por P(t), tem-se:

$$\frac{P(t,T)}{P(t)} = 1 + \frac{K_T \cdot s}{P(t)} \quad \mathbf{4}$$

e fazendo:

$$F2(T) = 1 + \frac{K_T \cdot s}{P(t)} \quad \mathbf{5}$$

e substituindo na equação [4] fica:

$$P(t,T) = P(t) \cdot F2(T) \quad \mathbf{6}$$

onde: F2(T) é chamada de Função Período de Retorno.

Finalmente, com a substituição de P(t) obtido na equação [3], tem-se a equação que permite a estimativa das precipitações máximas:

$$P(t,T) = P(24) \cdot F1(t) \cdot F2(T) \quad \mathbf{7}$$

Esse modelo de geração de chuvas intensas é composto da precipitação máxima anual média no tempo de duração de 24 horas, da Função de Desagregação e da Função Período de Retorno. A função de desagregação $F1(t)$ permite, uma vez conhecida a chuva máxima anual média em 24 horas, a determinação da chuva máxima anual média em um tempo qualquer de duração e a função período de retorno $F2(T)$ permite determinar a parcela de acréscimo de uma chuva de mesmo tempo de duração t com período de recorrência T , em relação a chuva máxima anual média de tempo de duração t , inclusive a de 24 horas.

Para determinar a precipitação de 24 horas de duração (ou intensidades), em locais onde não existam dados pluviográficos, pode-se adotar os seguintes procedimentos:

- a. O valor de $P(24)$ poderá ser obtido através da média das chuvas máximas anuais de duração de 1 a 2 dias. (CETESB, 1979).
- b. Adotar o valor $P(24)$ igual ao valor da chuva máxima média de duração de um dia multiplicada pelo fator 1.12 (TUCCI, 1993).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Obtenção da Função de Desagregação - $F1(t)$

Essa função foi concebida, a partir da suposição que deveria existir uma expressão que definisse matematicamente a relação entre a precipitação máxima anual num tempo de duração qualquer e a precipitação máxima anual no período de 24 horas, isto é, $P(t)/P(24)$.

Essa relação matemática foi obtida, tendo por base uma expressão fornecida por PFASFTETTER (1957), que combinada adequadamente fornece :

$$F1(t) = \frac{a.t + b.\log(1 + c.t)}{a.24 + b.\log(1 + c.24)} \quad \mathbf{8}$$

Os valores médios de "a", "b" e "c" obtidos, por PFASFTETTER (1957), na análise de 98 postos pluviométricos, distribuídos geograficamente no território brasileiro, são 0,4; 28 e 20, respectivamente.

Substituindo-se os valores de "a", "b" e "c" na equação [8], resulta a função de desagregação utilizada nesse trabalho :

$$F1(t) = 0,00008.t + 0,14.\ln(1 + 0,33.t) \quad \mathbf{9}$$

na qual, o tempo de duração deve ser expresso em minutos (min) e a notação logarítmica neperiana substitui a decimal.

Calibração da Função F1(t)

Os valores estimados pela equação [9] e os estimados por BELTRAME et al (1991), para expressar a relação entre a precipitação média num tempo de duração qualquer P(t) e a precipitação máxima média de 24 horas P(24), podem ser encontrados na Tabela 1.

Como pode-se observar na Tabela 1, os valores obtidos pelo modelo de desagregação proposto se situam no intervalo (-1 desvio padrão e +1 desvio padrão) dos valores determinados em BELTRAME et al (1991), para todos os tempos de duração considerados. Os valores obtidos por procedimentos diferentes são praticamente iguais, apresentando um desvio relativo máximo de 5.7%, no tempo de duração de 10 min. Os resultados, que constam da Tabela 1, podem servir como suporte indicativo do adequado comportamento da função de desagregação F1(t), quando utilizada para a estimativa de chuvas máximas médias de duração menores que 24 horas.

Tabela 1. Valores de F1(t): estimados pela equação 9 (d), estimados por BELTRAME et al (e), desvio padrão obtidos por BELTRAME et al (s).

	Tempo (minutos)									
	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720
d	20,5	25,1	28,6	33,7	39,0	43,0	52,8	63,3	69,9	82,4
e	19,4	24,4	28,7	33,2	39,0	41,9	52,0	63,1	71,8	83,6
s	3,4	3,9	6,0	5,8	8,0	6,3	7,6	9,3	10,8	8,9

Obtenção da Função Período de Retorno - F2(T)

Segundo VELOSO (1988), a função período de retorno F2(T) pode ser expressa por uma função do tipo:

$$F2(T) = T^m \quad \mathbf{10}$$

na qual: T é o período de retorno (ano) e o expoente "m" é função do tempo de duração da chuva (t).

Analisando-se, simultaneamente, as equações [4], [5] e [7], pode-se ver que o valor de $P(t,T) = P(t) = P(24).F1(t)$, ocorre quando $K_T = 0$, uma vez que $F2(T) = 1$. O período de retorno (T) que torna nulo o fator de frequência (K_T), fornecido pela equação 2 é $T = 2,327$ anos. Devido ao exposto anteriormente neste trabalho, a equação [10] foi modificada para:

$$F2(T) = \frac{T}{2,327^m} \quad 11$$

em virtude da condição que $F2(T) = 1$, quando $K_T = 0$.

Os valores de "m" em função do tempo de duração da chuva "t" podem ser encontrados, na forma de tabela, em VELLOSO (1988). Para facilitar a aplicação do modelo proposto neste trabalho, os valores de "m" foram ajustados por uma relação matemática do tipo:

$$m = \frac{0,2108.t}{t + 4,7138} \quad 12$$

na qual o tempo de duração da chuva (t) deve ser expresso em minutos.

Os parâmetros da equação [12], foram obtidos pela aplicação da técnica dos quadrados mínimos, aos valores de "m" e "t", encontrados em VELLOSO (1988). O coeficiente de determinação (r^2) foi de 98,41%, que se mostrou significativo ao nível de 95 % de confiança.

A amplitude de variação do termo $(1/2,327)^m$, nos tempos de duração de 5 a 1440 minutos é de 0,84 a 0,91, tendo como valor médio 0,875. Adotando-se o valor médio encontrado como uma constante e levando-se esse valor na equação [11], aquela é modificada para:

$$F2(T) = 0,875^m \quad 13$$

Calibração da Função F2(T)

Os valores estimados pela equação [13] são comparados aos estimados por BELTRAME et al (1991), para expressar a relação entre a precipitação máxima anual de duração t e período de retorno T e a precipitação máxima anual média em qualquer tempo de duração t (Tabela 2).

Observa-se nos dados da Tabela 2 que o desvio máximo entre os valores de $F2(T)$ foi de 14 % , correspondente a duração de 240 minutos e um tempo de retorno de 50 anos. Pelos desvios observados, entre os valores de $F2(T)$, pode-se dizer que, de uma maneira geral, existe uma boa estimativa da função $F2(T)$, quando se utiliza o procedimento proposto (equações 12 e 13).

Calibração do Modelo Adimensional - $P(t,T)/P(24)$

Para avaliar o comportamento do modelo expresso na forma adimensional $P(t,T)/P(24)$, foi determinado o valor do produto $F1(t).F2(T)$, adotando-se os valores fornecidos pela Tabela 1 e Tabela 2. Os resultados de $F1(t).F2(T) = P(t,T)/P(24)$, para diferentes tempos de duração e diferentes tempos de retorno podem ser encontrados na Tabela 3.

Analisando-se os dados da Tabela 3, pode-se observar que houve uma boa estimativa dos valores de $F1(t).F2(T)$, considerando os períodos de retorno de 5, 20 e 50 anos. Todos os valores calculados pelo modelo proposto ficaram no intervalo dos valores calculados pelos dados de BELTRAME et al (1991). O desvio relativo máximo de 14,9 %, ocorreu para o tempo de duração de 120 minutos e um período de retorno de 50 anos.

Tabela 2. Valores de $F2(T)$: estimados pela equação 13 (g), estimados por BELTRAME et al (1991) (h) e desvios relativos percentuais (i).

Duração (min)	Período de retorno (anos)								
	5			20			50		
	g	h	i (%)	g	h	i (%)	g	h	i (%)
10	1,11	1,22	-9,0	1,32	1,47	-10,2	1,51	1,60	-5,6
30	1,18	1,22	-3,3	1,49	1,47	1,4	1,76	1,60	10,0
60	1,21	1,22	-0,8	1,58	1,53	3,3	1,90	1,68	13,1
120	1,21	1,22	-0,8	1,58	1,53	3,3	1,90	1,68	13,1
240	1,23	1,25	-1,6	1,63	1,57	3,8	1,98	1,74	14,0
360	1,23	1,25	-1,6	1,63	1,63	0,0	1,98	1,85	7,0
720	1,23	1,25	-1,6	1,63	1,63	0,0	1,98	1,85	7,0

Tabela 3. Valores do modelo $P(t,T)/P(24)$: estimados pelas equações 9 e 11 (j), intervalo dos valores calculados pelos dados de BELTRAME et al (1991) (k).

Duração (min)	Período de retorno (anos)					
	5		20		50	
	j	k	j	k	j	k
10	0,23	0,20-0,28	0,27	0,24-0,34	0,31	0,26-0,36
30	0,40	0,33-0,47	0,50	0,40-0,57	0,59	0,44-0,62
60	0,52	0,43-0,59	0,68	0,54-0,74	0,81	0,60-0,81
120	0,65	0,54-0,73	0,83	0,70-0,94	1,00	0,75-1,00
240	0,78	0,67-0,91	1,03	0,88-1,18	1,25	0,94-1,26
360	0,86	0,76-1,03	1,14	0,99-1,35	1,38	1,13-1,53
720	1,01	0,93-1,16	1,34	1,22-1,51	1,63	1,38-1,71

CONCLUSÕES

Os resultados expostos anteriormente permitem concluir que:

- A função de desagregação de chuvas intensas $F1(t)$ proposta pode ser utilizada na estimativa de totais precipitados (ou intensidades) de duração menores que 24 horas.
- A função $F2(T)$, que permite estimar o percentual de acréscimo de uma chuva intensa de duração t e período de retorno T em relação a chuva média intensa de mesma duração t , pode ser utilizada para estimar o referido acréscimo.
- O modelo $P(t,T) = P(24).F1(t).F2(T)$, pode ser utilizado para a estimativa de chuvas máximas anuais médias de duração menor que 24 horas, no Estado do Rio Grande do Sul.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELTRAME, L.F.S., LANNA, A.E.L., LOUZADA, J.A.S. **Chuvas intensas**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, 1991, 69 p.
- CETESB. **Drenagem Urbana: manual de projeto**. São Paulo: Companhia Estadual de Saneamento Básico, 1979, 476 p.
- CHOW, V.T. A general formula for hydrologic frequency analysis. **Transactions of American Geophysical Union**, v. 32, n. 2, p. 231-237, 1951
- PFASFTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil**. Rio de Janeiro: Departamento de Obras e Saneamento, 1957, 419 p.

SUGAI, M.R.B., FILL, H.D.O.A. Tempo de recorrência associado à precipitação máxima provável na região sul do Brasil. **RBE/ABRH**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 81-109, 1990.

TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: _____. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1993, p. 177-252.

VELLOSO, P.P.C. **Teoria e prática de rebaixamento do lençol d'água**. Rio de Janeiro: LTC editora Ltda, 1988, 253 p.