

ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL VISANDO O DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

João Carlos Cury Saad

*UNESP – Câmpus de Botucatu – Faculdade de Ciências Agronômicas
Depto. de Eng. Rural – Cx. Postal 237 Fone: (014) 821-3883 - Fax: (014) 8213438
CEP: 18606-810 – Botucatu – SP – Brasil*

José Antonio Frizzone

*USP – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
Depto. de Eng. Rural, Caixa Postal 09 - Fone: (019) 429-4217
CEP: 13418-900 – Piracicaba – SP – Brasil*

1 RESUMO

Visando caracterizar e analisar a distribuição de frequência da precipitação pluvial para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação na região de Piracicaba, SP, foram avaliados dados de 71 anos de observação, relativos ao mês de setembro, os quais foram agrupados em períodos de 5, 10, 15 e 30 dias. A distribuição Normal e a distribuição Mista utilizando a distribuição Gama incompleta foram aplicadas aos dados, sendo que somente a Mista mostrou-se estatisticamente adequada para representá-los. A prática usual de se adotar o valor médio da precipitação no cálculo da exigência em água da cultura revelou-se inadequada pois conduz ao subdimensionamento dos sistemas de irrigação, posto que as probabilidades associadas aos valores médios dos diferentes períodos variaram de 26 a 39%, diferindo acentuadamente do valor recomendado, que é de 75%. Verificou-se, ainda, que à medida que diminui o período, aumenta o erro decorrente do uso da precipitação média no dimensionamento de sistemas de irrigação.

UNITERMOS: chuva, precipitação pluvial, distribuição de frequência, dimensionamento de sistemas de irrigação.

SAAD, J.C.C. , FRIZZONE, J.A. Study of rainfall frequency distribution as related to irrigation system design

2 ABSTRACT

The frequency distribution of 71 year rainfall data was studied to establish the parameters required in designing the irrigation systems. The rainfall was analysed using time periods of 5, 10, 15 and 30 days, during the month of September, for the region of county of Piracicaba, SP. The Normal distribution and the Mixed distribution using the Gama distribution were applied to the data. Through the Kolmogorov-Smirnov test it was verified that only the Mixed distribution can represent the frequency distribution of rainfall data. The use of monthly mean rainfall values in the estimation of irrigation water requirement, when compared to the design criterium that establishes the probability of 75% as being the most suitable, showed to be a procedure that leads to underestimations in irrigation systems capacity. Furthermore, as the period decreases, increases the mistake due to the utilization of mean precipitation in the irrigation system design.

KEYWORDS: rainfall, frequency distribution, irrigation systems design.

3 INTRODUÇÃO

A distribuição da precipitação pluviométrica sobre o território brasileiro é bastante variável, porém, a maioria das regiões encontra-se sob clima úmido e semi-úmido. Nestas regiões, de maneira geral, a quantidade de precipitação é suficiente para o bom desempenho das culturas no período chuvoso, porém, frequentemente ocorrem períodos de escassez de chuva durante os estádios mais críticos da cultura, resultando em sensíveis perdas de produção (Marouelli & Sedyama, 1987). Para solucionar este problema, utiliza-se a irrigação, que visa regularizar o fornecimento de água às culturas, uma vez que a distribuição das precipitações é desuniforme. Entretanto, a maioria dos projetos de irrigação desenvolvidos no Brasil é dimensionada em termos de irrigação total, ou seja, visando suprir toda a demanda hídrica da cultura, sem levar em consideração a precipitação pluvial, e mesmo quando se contabiliza a chuva, faz-se o uso arbitrário do valor médio no período considerado, sem qualquer sensibilidade quanto à distribuição de frequência e quanto à probabilidade de ocorrência associada ao número selecionado.

Barger & Thom (1949) verificaram que, para períodos iguais ou superiores a quatro meses, a distribuição Normal mostrou-se adequada para representar a distribuição de frequência da precipitação pluviométrica. Por sua vez, a distribuição Gama incompleta tem proporcionado resultados satisfatórios na estimativa da distribuição de frequência de dados de precipitação para períodos mensais (Vivaldi, 1973; Galate, 1987; Toledo Filho, 1988).

Para dados de 30 anos da região de Viçosa, MG, a distribuição Gama proporcionou estimativas satisfatórias para os períodos de 5, 10, 15 e 30 dias (Frizzone, 1979). Este autor concluiu ainda que, em muitas situações, o uso do valor médio mensal da precipitação no balanço hídrico, para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação, acarreta um subdimensionamento do projeto.

O valor de precipitação dependente, normalmente recomendado para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação, é aquele correspondente ao nível de 75% de probabilidade (Matute & Hachem, 1983; Doorenbos & Pruitt, 1984; Marouelli & Sedyama, 1987). Isto significa que existe uma probabilidade de 75% de que a precipitação seja igual ou superior ao valor associado a esta probabilidade.

O período de irrigação em Piracicaba (SP) é normalmente desenvolvido durante os meses de março a setembro, caracterizados por reduzidos índices pluviométricos. Assumiu-se, neste trabalho, que o período de maior exigência hídrica das culturas irrigadas deveria ocorrer no mês de setembro, coincidindo com o estágio de maior desenvolvimento vegetativo das plantas cultivadas.

Este trabalho tem por objetivos a identificação da distribuição de probabilidade teórica capaz de representar a precipitação pluvial do mês de setembro na região de Piracicaba, SP, e a avaliação do uso deliberado do valor médio mensal da precipitação pluviométrica nas estimativas de exigência em água das culturas irrigadas em relação ao procedimento recomendado na literatura (75% de probabilidade de ocorrência).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido utilizando medições de 71 anos (de 1917 a 1971 e de 1973 a 1989) de precipitação do mês de setembro, coletadas em pluviômetro instalado no Posto Agrometeorológico pertencente ao Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ-USP, localizada em Piracicaba, SP.

Para analisar a distribuição de frequência destes dados de precipitação foram avaliadas as seguintes distribuições teóricas: Normal e Mista utilizando Gama incompleta. O mês de setembro foi dividido em períodos de 5, 10, 15 e 30 dias e os dados de precipitação foram utilizados na forma de total do período analisado, e não na forma de valor médio.

4.1 Distribuição Mista utilizando a distribuição Gama

A probabilidade de que a precipitação em um dado período não exceda um valor y , definida por $G(y)$, é dada pela distribuição acumulada Gama incompleta, apresentada por Miller & Weaver (1968), Frizzone (1979) e Toledo Filho (1988), como sendo:

$$G(y) = \frac{v^\alpha}{\alpha \Gamma(\alpha) e^v} \cdot \left[1 + \frac{v}{(\alpha+1)} + \frac{v^2}{(\alpha+1)(\alpha+2)} + \frac{v^3}{(\alpha+1)(\alpha+2)(\alpha+3)} + \dots \right] \quad (1)$$

onde $v = y/\beta$ sendo $\beta > 0$ e $\alpha > 0$; y é uma variável aleatória (neste caso, a precipitação) que assume apenas valores não negativos ($0 \leq y \leq \infty$); β é o parâmetro de escala (depende da variabilidade da precipitação no período); α é o parâmetro de forma (seu valor é proporcional à precipitação no período); Γ é o símbolo da função Gama; e é a base do logaritmo neperiano.

A eq. 1 fornece a probabilidade de ocorrência de um determinado valor de precipitação. Para se obter o inverso, ou seja, partindo-se de um valor de probabilidade encontrar o valor correspondente da precipitação, pode-se utilizar a técnica de interpolação.

A fórmula de recorrência para a função Gama é:

$$\Gamma(\alpha+1) = \alpha \cdot \Gamma(\alpha) \quad (2)$$

onde $\Gamma(1) = 1$. Utilizando-se a eq. 2 é possível determinar $\Gamma(\alpha)$ para todo $\alpha > 0$, desde que se conheça os valores de $\Gamma(\alpha)$ para $1 \leq \alpha \leq 2$ ou qualquer outro intervalo de valor unitário. Se o valor de α for muito grande, o cálculo de $\Gamma(\alpha)$ pela eq. 2 torna-se muito trabalhoso. Neste caso, recomenda-se utilizar a série assintótica de Stirling para a função Gama (Spiegel, 1976).

Os parâmetros α e β da distribuição Gama podem ser estimados através do método da Máxima Verossimilhança (Thom, 1958):

$$\beta = \frac{Y_m}{\alpha} \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{1 + \left(1 + \frac{4.A}{3}\right)^{0,5}}{4.A} \quad (4)$$

$$A = \ln(Y_m) - \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^n \ln(Y_k) \quad (5)$$

onde Y_m é o valor médio da precipitação no período; Y_k é a precipitação acumulada no período considerado, em cada ano; n é o número de anos com dados de precipitação diária; e \ln é o operador do logaritmo neperiano.

Em períodos de curta duração (5 dias, por exemplo), frequentemente não há ocorrência de chuva, ou seja, a precipitação é igual a zero. O valor zero não pode ser utilizado na estimativa dos parâmetros α e β da distribuição Gama através do método da Máxima Verossimilhança. Abandonar esta informação e trabalhar apenas com os valores não nulos ocasionaria uma superestimativa da precipitação para um determinado nível de probabilidade. Para solucionar esta questão, introduziu o conceito de distribuição Mista para a precipitação pluvial e para outras variáveis climatológicas.

Na distribuição Mista, a precipitação é considerada um fenômeno aleatório, com probabilidade I de ocorrência e com probabilidade K de não ocorrência, de tal forma que, $I + K = 1$. Portanto, a distribuição acumulada Mista, $M(y)$, que fornece a probabilidade de que a precipitação de um dado período não exceda um valor y , tem a forma (Thom, 1951; Thom, 1968; Vivaldi, 1973; Galate, 1987):

$$M(y) = K + I \cdot G(y') \quad (6)$$

sendo

$$K = \frac{J}{n} \quad (7)$$

$$I = 1 - K \quad (8)$$

onde J é o número de valores iguais a zero na série de dados de precipitação pluvial; $G(y')$ é a distribuição acumulada Gama incompleta, calculada utilizando-se os valores não nulos da série (y'), ou seja, valores maiores ou iguais a 1, uma vez que para valores de precipitação (y) compreendidos entre 0 e 1, propõe-se a aproximação para 1 no caso de $0,5 \text{ mm} \leq y < 1 \text{ mm}$, e aproximação para 0 no caso de $0 < y < 0,5 \text{ mm}$; y' são os valores de precipitação pluvial (y) maiores ou iguais a 1 mm.

De acordo com os valores da série de dados de precipitação pluvial, duas situações podem ocorrer (Vivaldi, 1973; Galate, 1987):

a) a série não contém valores nulos: neste caso, a estimativa da frequência de ocorrência é obtida através da distribuição acumulada Gama incompleta $G(y')$.

b) a série contém valores nulos: neste caso, utiliza-se a distribuição Mista, a qual contabiliza de maneira distinta a probabilidade de não ocorrência de precipitação (K) e a probabilidade de ocorrência (I). A distribuição Gama incompleta é aplicada somente aos dados de precipitação maiores ou iguais a 1 (y').

Distribuição Normal

A função densidade de probabilidade da distribuição Normal e os procedimentos para cálculo da distribuição acumulada podem ser encontrados em Spiegel (1985).

Teste de Kolmogorov-Smirnov

Para verificar o ajuste dos dados precipitação pluvial às distribuições de probabilidade teóricas, aplicou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov. Segundo Campos (1983), este teste verifica a adaptação de uma específica e bem conhecida distribuição a dados provenientes de uma distribuição desconhecida.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste de Kolmogorov-Smirnov foi aplicado às distribuições Normal e Mista, para verificar se as mesmas se ajustavam aos dados de precipitação pluvial do mês de setembro, para a região de Piracicaba, SP. A distribuição Normal não forneceu resultados estatisticamente significativos para os períodos analisados. Por sua vez, a distribuição Mista utilizando a distribuição Gama teve a hipótese H_0 aceita em todos os períodos analisados, ao nível de significância de 5%, estando, portanto, apta para representar os dados de precipitação do mês estudado.

Os dados de precipitação pluvial para o mês de setembro, referentes aos períodos de 5, 10, 15 e 30 dias, encontram-se ordenados de forma decrescente na Tabela 1.

A Tabela 2 fornece a probabilidade, nos níveis de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 75, 80, 90 e 95%, da precipitação ser igual ou maior que o valor apresentado, para os diferentes períodos analisados. Desta forma, para o período de 30 dias existe uma probabilidade de 75% de que a precipitação seja igual ou superior que 18,5 mm. Outra forma de interpretação consiste em dizer que em três de cada quatro anos, a precipitação será igual ou maior que 18,5mm.

Tabela 1: Valores de precipitação pluvial (mm), em ordem decrescente, para os períodos de 5, 10, 15 e 30 dias, referentes ao mês de setembro e a 71 anos de observação.

S(5)1*	S(5)2	S(5)3	S(5)4	S(5)5	S(5)6	S(10)1	S(10)2	S(10)3	S(10)5	S(15)2	S(30)
70,5	99,4	119,9	60,2	70,8	64	117	150,5	134,3	23	148,4	257,4
60,4	76,5	106,5	53	54,8	61,6	99,4	119,9	70,8	14	107,7	226,4
50,5	59,2	70	48,8	47,5	51,3	84,8	88,4	65,3	11	93	200,5
46,8	52,2	64,2	44	39,1	50,7	76,2	83,6	56,6	10	88,2	197,4
42,5	48,4	55	34	38,7	46,9	70,5	74	56,2	10	84,8	190,4
41,2	41,2	45,8	30,5	34,9	44,9	64,2	68,2	54,8	9	78,6	180,6
40,5	38	42,1	30	30	42	61,5	67,6	51,3	8	68,3	138,2
33,6	32,4	37,3	29,3	29,8	40,6	60,4	64,7	50,8	8	62,4	128,7
31,4	31	35,1	28,6	27,6	40,5	59,7	64,2	49,3	8	61,2	123,6
26,1	30,1	32,2	26,9	25,6	35,9	48,7	51,5	49	8	59,8	114
12	28	31,8	25,5	23	29,2	44,7	51	47,5	7	58,4	111,3
12	25,7	31,6	25,3	22,2	26,6	42,5	50,5	46,9	7	56,6	110,2
9,1	23,1	30,2	25	20,5	24	41,2	46,2	42	6	55,1	98,6
8,4	19	28,2	24,9	19,3	22,8	35,1	43,4	38,7	6	51,3	96,4
8	18,5	26	20,9	13,2	19	34,6	42,6	36,5	6	50,8	90,4
6,7	14,6	21,8	20,8	12,1	18,7	33,6	41,2	33,5	5	49,2	88,7
4,7	14	17	19	11,7	16,6	32,4	35,1	29,8	5	46,9	88
4,6	12,3	15,2	18,9	10,7	16,6	28	34,2	27,6	4	45,2	80,3
3,9	12,2	12,2	17,9	10,4	15,4	26,1	31,6	26,6	4	45	76,4
3,6	10,4	11,2	17,4	10,2	14,5	19	30,5	25,6	4	41,9	75,6
3,4	9,1	8,8	14,4	9,5	13,6	19	30,2	24	3	40,7	72,9
3,2	8	8,6	13,6	9,5	13,6	18,5	29,6	23,5	3	39,1	72,7
2,8	7	8	13,2	9,4	12	15,3	28,6	23	3	36,5	69
1,6	6,6	4,6	9,5	9	10,2	15,2	26,9	22,8	3	34,5	68,6
1,4	6,3	4,3	7,7	8,5	10,1	12,2	26,3	22,3	3	30,6	67,9
1,4	6,1	4	6,9	7,7	8,1	10,9	25,3	22,2	2	30,5	64
1,2	4,7	3,1	5	7,3	7	10,7	25	20,5	2	29,2	62,5
1	4,2	2,7	4,7	6,9	5,3	10,4	20,9	19,3	2	26,5	62,2
1	3,5	2,2	4	6,3	5,2	10,2	19,1	19	2	25,8	61,3
1	2,8	2	3,5	6,2	5	8,9	12,2	18,7	1	25,6	59,8
1	1,8	1,4	3	5,5	4,7	8,4	11,7	18,5	1	24,8	59,3
1	1,7	1,4	3	5,2	4,6	8,1	11,2	16,6	1	24,4	56,4
0	0	1,2	2,2	4	3,5	8	10,8	13,7	1	24	52,6
0	0	1	2,1	3,7	2,5	8	9,1	13,6	1	23,5	51,3
0	0	1	2	3,6	2,2	7,4	8,8	13,6	1	23,2	50,8
0	0	0	1,3	1,9	1,7	6,6	8,6	13,2	1	22,5	48,6
0	0	0	1,2	1,6	1,6	6,3	7,7	13,2	1	21,3	46,9
0	0	0	1,2	1,5	1	5,2	5	12	1	20,5	44,6
0	0	0	1,1	0	1	4,7	4,7	11,4	1	19,9	42,7
0	0	0	1	0	1	3,4	4,1	11,2	1	19,3	40,7
0	0	0	1	0	0	3,1	4	11	1	19	36,7
0	0	0	0	0	0	1,4	3,5	11	1	19	36,1
0	0	0	0	0	0	1,0	3,2	10,4	1	18,5	35,2
0	0	0	0	0	0	1,0	3	10,1	1	17,9	33
0	0	0	0	0	0	0	3	10	1	15,5	31,2
0	0	0	0	0	0	0	2,1	9,4	1	14,2	29,2
0	0	0	0	0	0	0	1,4	8,1	1	13,7	28,1
0	0	0	0	0	0	0	1,4	7,8	1	13,6	24
0	0	0	0	0	0	0	1,3	5,9	1	13,2	23,2
0	0	0	0	0	0	0	1,2	5,5	1	13,2	23,2
0	0	0	0	0	0	0	1	5	1	11,4	22,8
0	0	0	0	0	0	0	1	4,6	1	11	21,3
0	0	0	0	0	0	0	0	3,6	1	10,1	19,3

0	0	0	0	0	0	0	0	2,2	0	10	16,3
0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	0	9,5	15,8
0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0	8,1	15,5
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	7,8	13,6
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,7	13,3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,7	11,1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,9	9,1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,9	8,7
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,6	8,1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,3	7,7
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,2	5,9
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,1	4,1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3,6
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Continuação da Tabela 1...

*S(5)1- a letra "S" indica que se trata do mês de setembro; o número entre parênteses indica o intervalo de tempo (neste caso 5 dias - pentada) ; e o último número indica a posição do intervalo de tempo no mês (neste caso, o número 1 indica que se trata do primeiro intervalo). Portanto, S(5)1 significa: primeira pentada de mês de setembro.

Tabela 2. Valores de precipitação pluvial (em mm) obtidos através da distribuição Mista para os diversos períodos estudados, em função dos níveis de probabilidade de ocorrência.

Probabilidade(%)	S(5)1	S(5)2	S(5)3	S(5)4	S(5)5	S(5)6	S(10)1	S(10)2	S(10)3	S(15)1	S(15)2	S(30)
5	40,1	49,9	62	42,6	38,1	48	73,3	86,9	64,5	116,5	90,1	178,9
10	25,7	35,1	41,2	30,2	28,2	34,5	53,6	63,1	50	84,8	67,1	138,4
20	11,8	19,8	21,4	18,1	18	20,7	33	39,5	35,2	53,8	49,2	98,2
25	7,8	14,7	15,3	14,2	14,6	16,2	26,6	32	30,3	43,9	43	85,3
30	4,8	10,5	10,6	11,2	11,5	12,6	21,4	26	26,2	35,9	37,8	74,4
40	1	3,5	3,7	6,2	6,6	6,9	12,9	17	19,7	23,7	29,5	57,3
50	0	0	0	2,4	2,1	2,4	6,3	10	14,3	14,6	22,8	43,9
60	0	0	0	0	0	0	1	4,7	9,7	7,3	17,1	32,7
70	0	0	0	0	0	0	0	1	5,3	1,8	12	23
75	0	0	0	0	0	0	0	0	3,1	0	9,6	18,5
80	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	7,3	14,3
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,2	6,2
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,1

Quando se contabiliza a precipitação pluvial no cálculo da exigência em água da cultura a ser irrigada, utiliza-se, na maioria dos casos, o valor médio mensal, o que se revela um critério não recomendável, pois, ao se analisar a Tabela 3, é possível constatar que existe uma grande diferença entre a precipitação dependente ao nível de 75% de probabilidade (valor recomendado) e a precipitação média. Nota-se que as precipitações médias para os diferentes períodos estão compreendidas entre os níveis de probabilidade 26 e 39%, os quais são muito inferiores ao nível recomendado (75%). Isto ocorre porque os dados de precipitação pluvial apresentaram uma distribuição que pode ser caracterizada como sendo Mista utilizando a distribuição Gama, a qual é positivamente assimétrica, ou seja, o ramo mais longo da curva fica à direita (Figura 1).

Tabela 3. Comparação entre a precipitação pluvial ao nível de 75% de probabilidade de ocorrência e a precipitação média, para os períodos de 5, 10, 15 e 30 dias do mês de setembro (Piracicaba, SP).

Período	Precipitação com 75% de probabilidade (mm)	Valor da precipitação média (mm)	Probabilidade associada à média (%)
S(5)1	0	7,6	26
S(5)2	0	10,5	30
S(5)3	0	12,5	28
S(5)4	0	9,9	32
S(5)5	0	9,3	34
S(5)6	0	11,2	32
S(10)1	0	18,1	33
S(10)2	0	22,4	34
S(10)3	3,1	20,5	39
S(15)1	0	30,6	34
S(15)2	9,8	30,4	39
S(30)	18,5	61	38

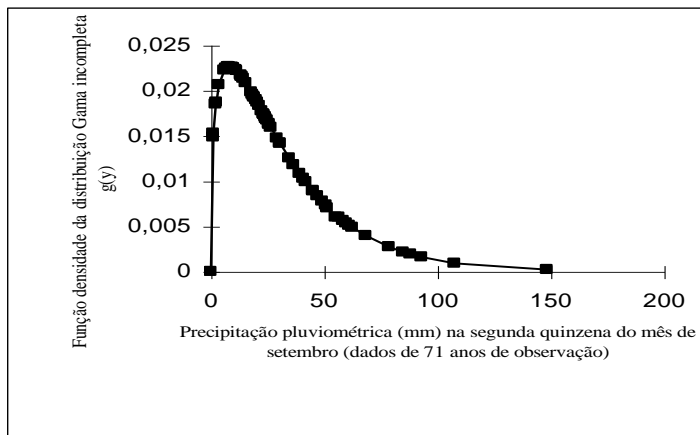


Figura 1. Função densidade da distribuição Gama incompleta utilizada na distribuição Mista, aplicada aos dados de precipitação pluvial da segunda quinzena do mês de setembro - S(15)2.

Utilizando-se os dados da Tabela 3, fez-se o cálculo da média das probabilidades associadas às precipitações médias, para cada período. Portanto, para os períodos de 5, 10, 15 e 30 dias, os valores de precipitação média ocorreram com probabilidades de 30, 35, 37 e 38%, respectivamente. Isto revela que à medida que diminui o período, aumenta a diferença entre o nível de probabilidade correspondente à precipitação média e o nível de probabilidade recomendado (75%), ou seja, à medida que diminui o período, maior o erro ao se utilizar a precipitação média para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação. Este fato também é constatado observando-se a Figura 2.

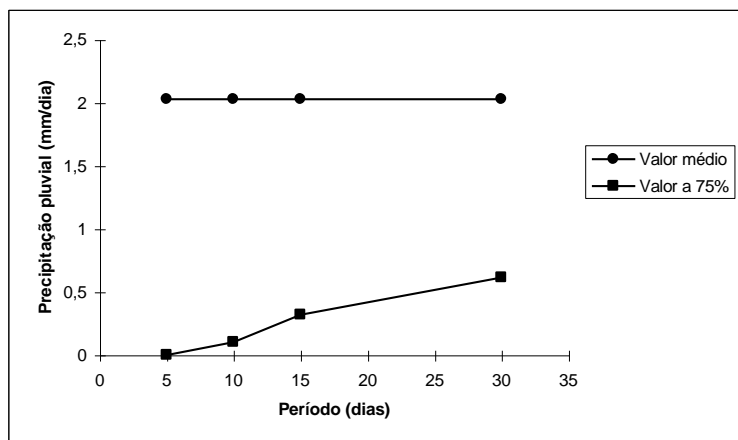


Figura 2. Variação do valor médio da precipitação pluvial e do valor a 75% de probabilidade de ocorrência, em função do período.

Portanto, a estimativa da exigência hídrica para dimensionamento de sistemas de irrigação não deve basear-se no valor mínimo de precipitação (probabilidade de 100%), pois isto resultaria, para a maioria dos anos, em um projeto superdimensionado, e muito menos na precipitação média, o que implicaria no subdimensionamento do sistema.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

- a distribuição Mista utilizando a distribuição Gama incompleta, apresentou-se estatisticamente adequada para estimar as frequências de distribuição da precipitação pluvial para os períodos de 5, 10, 15 e 30 dias do mês de setembro, para Piracicaba, SP ;

- o uso da precipitação média no cálculo da exigência em água de sistemas de irrigação resulta em projetos subdimensionados, uma vez que as probabilidades associadas às precipitações médias para os diferentes períodos variaram de 26 a 39% para o mês de setembro, diferindo acentuadamente do valor recomendado, que é de 75%;

- à medida que diminui o período, aumenta o erro decorrente do uso da precipitação média no dimensionamento de sistemas de irrigação, considerando que o procedimento mais adequado é a adoção da precipitação dependente de 75%.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARGER, R.L., THOM, H.C.S. Evaluation of drought hazard. *Agron. J.*, v.41, p.519-26, 1949.
- CAMPOS, H. *Estatística experimental não-paramétrica*. 4.ed. Piracicaba: ESALQ, 1983. 349p.
- DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. *Guidelines for predicting crop water requirements*. Rome: FAO, 1984. 144p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).
- FRIZZONE, J.A. *Análise de cinco modelos para o cálculo da distribuição de frequência de precipitação na região de Viçosa, MG*. Viçosa, 1979. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa.
- GALATE, R.S. *Estudo das precipitações pluviais no município de Belém - PA, através da distribuição gama*. Piracicaba, 1987. 70p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MAROUELLI, W.A., SEDIYAMA, G.C. Balanço hídrico visando ao máximo a precipitação natural. In: SEDIYAMA, G.C. *Necessidade de água para os cultivos*. Brasília: ABEAS, 1987. p.86-101. (Curso de Engenharia da Irrigação, Módulo 4).
- MATUTE, E., HACHEM, A.M. *Necessidade de água para irrigação*. Brasília: Provárzeas/Profir, 1983. 24p.
- MILLER, M.E., WEAVER, C.R. *Monthly and annual precipitation probabilities for climatic divisions in Ohio*. Wooster: Ohio Agricultural Research and Development Center, 1968. 11p. (Research Bulletin, 1005).
- SPIEGEL, M.R. *Cálculo avançado*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1976. 500p.
- THOM, H.C.S. A frequency distribution for precipitation. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, v.32, n.10, p.397, 1951.
- THOM, H.C.S. A note on the gamma distribution. *Monthly Weather Rev.*, v.86, n.4, p.117-22, 1958.
- THOM, H.C.S. *Direct and inverse tables of the gamma distribution*. Washington: Department of Commerce - Environmental Data Service, 1968. 30p.
- TOLEDO FILHO, M.R. *Probabilidade de suprimento da demanda hídrica ideal da cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) através da precipitação pluvial na zona canavieira do Estado de Alagoas*. Piracicaba, 1988. 72p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- VIVALDI, L.J. *Utilização da distribuição gama em dados pluviométricos*. Piracicaba, 1973. 73p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.