

MODELAGEM DA OCORRÊNCIA E DA QUANTIDADE DE CHUVA EM PIRACICABA¹

F. NETO de ASSIS²; N.A. VILLA NOVA³

²Depto. de Fitotecnia-FAEM/UFPel - C.P. 354, CEP: 96001-970 Pelotas,RS

³Departamento de Física e Meteorologia-ESALQ/USP - C.P. 9, CEP: 13418-900 - Piracicaba,SP

RESUMO: É proposto um modelo para descrever chuva diária de Piracicaba-SP em termos da sua ocorrência e da quantidade. Ambos, a ocorrência de dias com e sem chuva, quando considerados como seqüências de 31 dias a partir de determinada data, puderam ser bem representadas pela distribuição binomial negativa truncada, com parâmetros ajustados a uma função periódica com dois harmônicos. A quantidade de chuva nos dias com chuva, foi adequadamente ajustada à distribuição gama com o seu parâmetro de forma (γ) permanecendo constante mas o parâmetro de escala (β) apresentando variação periódica que pode ser descrita por uma função com dois harmônicos. A análise dos dados mostrou que as séries de chuva de 1917 a 1944 e de 1945 a 1989, resultantes da mudança dos postos de observação, são homogêneas.

Descritores: chuva, precipitação pluviométrica, distribuição gama, distribuição binomial negativa truncada

MODELING OF OCCURRENCE AND RAIN AMOUNT IN PIRACICABA

ABSTRACT: A model to describe the daily rainfall in Piracicaba,SP, Brazil, is proposed to relate the occurrence of rainy and rainless days, and in terms of their amount. Both, the occurrence of days without and with rain, in terms of their sequences of 31 days following a given date, can well be represented by the truncated negative binomial distribution function with its parameters adjusted to a periodic function with the first two harmonics. The amount of rain was well described by the gamma distribution; the shape parameter (γ) remaining constant but the scale parameter (β) had a periodic variation which could be represented by a periodic function with two harmonics. Analysis of the data shows that the rainfall series for Piracicaba (1917 to 1944 and 1945 to 1989) can be considered omogeneous, even though the weather station had been moved from its original location.

Key Words: rain, rainfall, gamma distribution, truncated negative binomial distribution

INTRODUÇÃO

Os dados de chuva tanto do ponto de vista da sua ocorrência quanto da sua quantidade podem ser analisados mediante a obtenção das frequências observadas dos seus registros históricos ou através da elaboração de um modelo teórico. STERN & COE (1982) bem como STERN *et al.* (1982a; 1982b), discutem estes aspectos evidenciando o fato de que o modelo teórico apresenta a vantagem de sumarizar os dados de uma série histórica de forma bastante concisa.

Provavelmente o primeiro modelo matemático para descrever a ocorrência de dias sem chuva e/ou chuvosos em seqüências foi desenvolvido por GABRIEL & NEUMANN (1962) com dados de Israel. Eles mostraram que existia uma forte

persistência entre dias chuvosos consecutivos e obtiveram um bom ajuste teórico utilizando um modelo com base na cadeia de Markov de primeira ordem. WILLIAMS, (1952), analisando dados da Inglaterra, verificou que a distribuição de frequência de dias chuvosos e, principalmente de dias sem chuva, ajustou-se muito bem a distribuição logarítmica. Para LONGLEY (1953) a relação entre o comprimento das seqüências de dias sem chuva ou chuvosos e o logaritmo de suas frequências é linear. Isto significa que se um dia for chuvoso, a probabilidade de chover no dia seguinte é constante, isto é, independe do número de dias chuvosos precedentes. Tal modelo foi considerado satisfatório para modelar as seqüências de dias sem chuva (CASTRO NETO *et al.* 1980a) e com chuva (CASTRO NETO *et al.* 1980b) de Lavras-MG.

¹ Parte da tese do primeiro autor apresentada a ESALQ/USP para obtenção do título de Doutor.

A segunda parte do modelo, representando a quantidade de chuva, geralmente é expressa por uma função de distribuição cumulativa de probabilidade. Neste caso diversas distribuições de probabilidade são utilizadas mas a distribuição gama (THOM, 1958; 1966) pode ser considerada como a mais adequada para períodos curtos (1 semana, 5 dias, 1 dia). VIVALDI (1973), utilizou a distribuição gama e fez uma análise das estimativas dos parâmetros, concluindo que o modelo mostrou-se eficiente, independentemente do tamanho do período considerado (1 a 25 dias). BARGER et al. (1959) usaram a distribuição gama para analisar dados de precipitação de 2 e 3 semanas na região central dos EUA, enquanto AZEVEDO (1974) utilizou a mesma distribuição para modelar a chuva mensal de 403 localidades brasileiras.

O principal objetivo do presente trabalho é testar um modelo para descrever a ocorrência e a quantidade de chuva em Piracicaba-SP com vistas ao planejamento das atividades dela dependentes.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados analisados neste trabalho foram obtidos na Estação Agroclimatológica de Piracicaba-SP (Latitude 21°42'30", Longitude 47°38' e Altitude 546 m) no período de 1917 a 1989. As observações de chuva em Piracicaba foram iniciadas em 1917 no Posto Meteorológico localizado próximo ao atual Instituto Zimotécnico. Entre 11 de Setembro e 15 de Outubro de 1945 foi deslocado para a posição atual, menos de 2Km. Entre Novembro de 1972 e Março de 1973 ocorreu interrupção nas observações quando suas instalações passaram por uma reforma.

Admitiu-se que a precipitação diária é uma variável aleatória (Z_t) = $X_t Y_t$ onde X_t representa a ocorrência e Y_t a quantidade de chuva. Assumiu-se que $X_t = 1$ quando $P \geq 1,0\text{mm}$ e $X_t = 0$ em caso contrário. Na análise de Z_t foram considerados 36 períodos de 31 dias, iniciados nos dias 1, 11 e 21 de cada mês.

Na representação do processo X_t consideraram-se as sequências de dias com chuva e sem chuva bem como as probabilidades de chover ou não em determinado dia nos 36 períodos considerados.

Na modelagem das probabilidades de ocorrência de sequências de dias sem chuva ou com chuva foi utilizada a função de distribuição de

probabilidade Binomial Negativa Truncada (DBNT), aplicada a cada um dos 36 períodos considerados, com W e K estimados por um método descrito por BRASS (1958).

$$Pr(x) = \frac{W^K}{1-W^K} \cdot \frac{(K+x-1)!}{(K-1)!x!} \cdot (1-W)^x \quad (1)$$

onde $x = 1, 2, 3, \dots$

Na modelagem do processo Y_t , ou seja, quando $X_t = 1$, foi utilizado um modelo misto segundo o qual

$$Pr(Y \leq y) = Pr(X=0) + [Pr(X=1)] G(Y \leq y) \quad (2)$$

onde $Pr(X_t = 0)$ é a probabilidade de não chover no dia t e $Pr(X_t = 1)$, o seu complemento. $G(Y)$ é a função cumulativa de probabilidade Gama na forma

$$G(Y \leq y) = \frac{\beta^\gamma}{\Gamma(\gamma)} \int_0^y Y^{\gamma-1} e^{-\beta Y} dY \quad 0 < Y \leq \infty, \quad \gamma, \beta > 0 \quad (3)$$

com os parâmetros γ e β estimados segundo o método de THOM (1958).

A variação estacional dos parâmetros γ e β , este através da média diária dos dias com chuva, bem como dos parâmetros W e K da DBNT foram modeladas pela série de Fourier expressa na forma

$$Y_t = A_0 + A_1 \cos Wt + B_1 \sin Wt + A_2 \cos 2Wt + B_2 \sin 2Wt \quad (4)$$

onde Y_t representou quaisquer dos parâmetros e W , foi dado por: $W = \pi t / 365$, com $t = 15, 25, 35, \dots$, onde t é o valor numérico central de cada período iniciado nos dias 1, 11 e 21 de cada mês. Os coeficientes A_0, A_1, A_2, B_1, B_2 foram obtidos pelo método dos mínimos quadrados

Para testar a adequabilidade da distribuição gama para modelar a quantidade de chuva nos dias com chuva e da DBNT para modelar as sequências de dias sem chuva ou com chuva, foi adotado o seguinte critério: a) o ajuste entre os valores observados e estimados pelas distribuições de probabilidade foi avaliado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (CAMPOS, 1979); b) a série total dos dados foi subdividida em duas, tendo como critério de partição o ano em que o posto de observação foi mudado de local; c) em uma das subséries, arbitrariamente a mais antiga - 1917 a

1944 - e denominada de série A, estimou-se os parâmetros da distribuição Gama e da DBNT; d) compararam-se, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, as probabilidades teóricas, estimadas com os parâmetros das distribuições determinadas nas séries A, com as probabilidades empíricas, obtidas na série denominada de B - 1945 a 1989. Este teste foi aplicado apenas nos períodos iniciados sempre no primeiro dia de cada mês, já que tais períodos envolveram todos os valores das séries de dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cerca de 78% do total de chuva do ano concentra-se entre os meses de outubro e março; janeiro, o mês mais chuvoso, apresenta 18% da chuva anual e julho, o mês menos chuvoso, apenas 2%. (TABELA 1). A distribuição anual da quantidade de chuva está naturalmente associada à distribuição dos dias com chuva. Em média, Piracicaba tem cerca de 93 dias com chuva com uma distribuição ao longo do ano bastante desuniforme (TABELA 2): 15 dias com chuva em janeiro com apenas 3 dias em julho e agosto.

Na TABELA 2 encontram-se as informações mais relevantes com respeito as sequências de dias chuvosos e sem chuva. Observa-se, ali, que as maiores sequências de dias sem chuva ocorrem entre março e agosto, com média da ordem de 8 a 16 dias. Com respeito às sequências de dias com

chuva os dados analisados apresentam menor variação ao longo do ano, em relação às sequências de dias sem chuva, com média de 1 a 3 dias.

Os parâmetros estimados da DBNT ajustada às sequências de dias chuvosos ou sem chuva em 12 dos 36 períodos considerados ao longo do ano, também estão indicados na TABELA 2. Naquela tabela estão representados os valores de Dmax do teste de Kolmogorov-Smirnov.

Em nenhum período o valor de Dmax foi significativo ao nível de 5%.

O resultado da segunda parte do teste de adequabilidade da DBNT para modelar as sequências de dias sem chuva ou chuvosos estão indicados na TABELA 3. Verifica-se, que a distribuição teórica representa a empírica na maioria dos períodos analisados. Deve-se lembrar que os períodos iniciados no dia primeiro de cada mês representam todos os valores das subséries A e B. Desse modo, pode-se concluir que a DBNT pode representar as séries de dados com o objetivo de se modelar as sequências de dias sem chuva ou chuvosos.

Os coeficientes da eq. (4), utilizada para modelar a variação estacional dos parâmetros W e K da DBNT, são apresentados na TABELA 6. Utilizando-se os valores modelados de W e K estimou-se, através da eq. (1), as probabilidades de ocorrer sequências de dias chuvosos e sem chuva de diversos comprimentos, nos 36 períodos ao longo do ano.

TABELA 1 - Valores Mensais Médios, Máximos e Mínimos e do Coeficiente de Variação dos Totais de Chuva e de dias com Chuva em Piracicaba-SP, no período de 1917-1989

Mês	Total de Chuva				Dias com chuva			
	Media	Max	Min	C.V.	Media	Max	Min	C.V.
Jan	224,9	490,4	58,4	39,53	14,9	26	7	27,59
Fev	184,0	461,4	18,7	52,56	12,5	20	4	31,00
Mar	133,9	328,4	10,1	55,48	9,8	17	3	36,08
Abr	67,1	327,6	1,9	86,34	5,3	16	1	54,94
Mai	51,1	334,2	0,0	104,85	4,1	12	0	70,85
Jun	44,6	187,0	0,0	96,61	3,8	11	0	70,17
Jul	25,4	144,6	0,0	127,97	2,8	10	0	84,16
Ago	29,1	111,3	0,0	104,92	3,2	10	0	79,58
Set	59,7	256,6	0,0	92,47	5,4	16	0	64,91
Out	105,6	253,6	11,1	53,43	8,2	15	2	40,00
Nov	126,3	248,0	19,3	47,02	9,6	17	2	31,41
Dez	202,1	419,4	70,0	39,50	12,9	21	5	28,18
	1253,8	490,4	0,0		92,5	26	0	

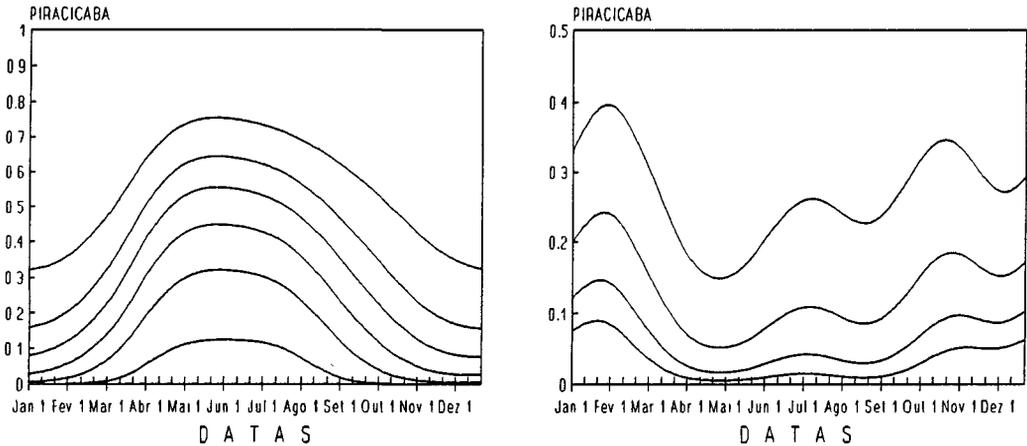


Figura 1 - Probabilidades (eixo vertical) de ocorrência de seqüências de dias sem chuva (esquerda) com no mínimo (de cima para baixo) 3, 5, 7, 10,15 e 30 dias e com chuva (direita) com no mínimo 2, 3, 4, e 5 dias iniciadas nos 31 dias seguintes às datas indicadas

TABELA 2 - Número médio de dias por seqüência e sua variância e parâmetros da DBNT para seqüências de dias com e sem chuva iniciadas nos 31 dias seguintes as datas indicadas. Piracicaba 1917-1989

Datas	Seqüências de dias com chuva						Seqüências de dias sem chuva					
	N	Med	Var	W	K	Dmax	N	Med	Var	W	K	Dmax
01-Jan	408	2,8	5,35	0,3404	0,900	0,023	399	3,0	6,42	0,3061	0,8171	0,018
01-Fev	397	2,4	2,96	0,5274	1,796	0,009	453	3,8	14,58	0,1762	0,4104	0,017
01-Mar	339	2,1	2,06	0,5195	1,248	0,011	347	4,7	23,21	0,1296	0,3590	0,025
01-Abr	245	1,7	0,92	0,7577	2,777	0,011	245	10,5	95,27	0,0727	0,6752	0,065
01-Mai	197	1,6	1,27	0,5908	0,844	0,018	197	12,8	153,77	0,0538	0,5915	0,056
01-Jun	178	1,6	0,86	0,8010	3,694	0,013	158	15,5	207,37	0,0494	0,6991	0,054
01-Jul	140	1,6	0,75	0,8786	6,591	0,012	123	15,2	173,83	0,0438	0,5583	0,134
01-Ago	154	1,7	1,12	0,5633	0,786	0,024	140	12,7	130,23	0,0729	0,8854	0,076
01-Set	244	1,7	0,90	0,9274	15,024	0,006	230	6,9	36,83	0,1435	0,9815	0,035
01-Out	361	1,8	1,22	0,6830	2,137	0,009	339	4,9	20,08	0,1769	0,7861	0,028
01-Nov	387	2,0	2,01	0,5591	1,519	0,014	361	4,2	13,19	0,2672	1,2344	0,018
01-Dez	407	2,6	4,44	0,3696	0,881	0,017	394	3,3	6,34	0,3400	1,2313	0,030

N = Número de seqüências no período
 Var = Variância
 Méd = Número médio de dias/seqüência

Os resultados, na forma de gráfico estão indicados na Figura 1. Observa-se, que existe três picos de máxima probabilidade de ocorrência de dias chuvosos em Piracicaba. O primeiro e mais intenso, ocorre no início de fevereiro; o segundo,

no final de outubro e o terceiro entre julho e agosto. Pode-se observar na Figura 1 que entre janeiro e março, a chance de ocorrer 2 ou mais dias chuvosos é de no máximo 40%. Isso significa que, em média, num conjunto de 10 anos, em 6, as

seqüências de dias chuvosos têm no máximo 2 dias. Observe-se, ainda, que na Figura 1 estão representadas apenas as probabilidades de ocorrência de seqüência de dias chuvosos com no mínimo 2, 3, 4 e 5 dias. As demais são desprezíveis. Pode-se ainda considerar como desprezíveis as probabilidades de ocorrência de seqüências de dias com chuva com 4 ou mais dias entre abril e setembro.

As probabilidades de ocorrência de seqüências de dias sem chuva também estão indicadas na Figura 1. Verifica-se, que são desprezíveis (<5%) as probabilidades de ocorrência de seqüências de dias sem chuva com mais de 10 dias entre novembro e janeiro.

Em Piracicaba, em média, num conjunto de 10 anos, em 4, ocorrem seqüências de dias sem chuva com 7 ou mais dias entre o final de setembro e início de março.

Na TABELA 4 encontram-se os dados mais relevantes do ajuste da função de densidade de probabilidade Gama, na forma da equação (3), em 12 dos 36 períodos considerados. Verifica-se

que, em nenhum período, o valor de Dmax do teste de Kolmogorov-Smirnov foi significativo.

Os resultados da comparação entre as probabilidades teóricas, estimadas com os parâmetros da distribuição das séries A, com aquelas empíricas, estimadas nas séries B, estão indicados na TABELA 10. A despeito do fato de que dos 12 períodos analisados, em dois o valor Dmax tenha sido significativo ao nível de 5%, no conjunto dos dados aceita-se a hipótese de que a distribuição de probabilidade gama é adequada para representar a distribuição das chuvas diárias nos períodos analisados. Tal resultado também conduz a conclusão de que a série de dados é homogênea, apesar da mudança do posto de observação.

Assim sendo, modelou-se, através da equação 4, a variação estacional da média diária de chuva dos dias chuvosos, do parâmetro γ e da probabilidade de chover. Os coeficientes da equação 4 são mostrados na TABELA 6. Com a média e o parâmetro γ obtém-se o parâmetro β . A probabilidade de chover complementa o modelo segundo a equação 2.

TABELA 3 - DBNT aplicada a seqüências de dias com chuva e sem chuva ajustada aos dados das séries B (1945-1989) com base nos parâmetros W e K estimados nas séries A (1917-44).

Mes	Seq. de dias com chuva					Seq. de dias sem chuva				
	1917-1944		1945-89		Dmax	1917-1944		1945-89		Dmax
	Méd	Var	Méd	Var		Méd	Var	Méd	Var	
Jan	2,7	4,83	2,6	4,13	0,027	2,8	15,13	3,0	7,61	0,034
Fev	2,3	2,19	2,2	2,07	0,027	3,2	28,46	4,5	19,49	0,039
Mar	2,0	1,89	2,0	1,55	0,046	4,5	19,18	4,5	19,42	0,039
Abr	1,7	0,87	1,6	0,77	0,104	8,8	71,83	6,8	40,23	0,072
Mai	1,4	0,47	1,6	0,77	0,070	11,0	83,15	8,0	72,14	0,189*
Jun	1,6	0,90	1,6	0,75	0,039	9,3	61,03	8,8	81,38	0,082
Jul	1,5	0,47	1,6	0,66	0,062	11,1	112,07	6,8	40,58	0,168*
Ago	1,7	1,04	1,7	1,23	0,022	10,5	80,96	7,2	28,26	0,119
Set	1,8	0,81	1,7	0,86	0,099	5,5	26,32	5,4	18,76	0,080
Out	1,6	0,84	1,9	1,38	0,086	4,5	14,81	4,2	12,74	0,066
Nov	2,0	1,95	2,0	1,73	0,039	3,8	8,02	3,8	10,41	0,051
Dez	2,4	2,35	2,2	2,56	0,222*	2,9	4,85	3,0	4,82	0,052

* Significativo ao nível de 5%.

Var. = Variância

Méd = Número médio de dias/seqüência

TABELA 4 - Distribuição Gama aplicada a dados diários de chuva nos 31 dias seguintes às datas indicadas Piracicaba 1917-1989.

Datas	Nr dados	Média	Var.	Beta	Gama	Dmax
01-Jan	1071	15,1	229,98	13,6917	1,1045	0,045
01-Fev	951	14,6	250,63	13,8819	1,0541	0,013
01-Mar	705	13,8	208,99	12,3859	1,1139	0,033
01-Abr	393	12,8	192,19	11,9767	1,0671	0,032
01-Mai	302	12,4	180,06	10,7226	1,1530	0,040
01-Jun	280	11,8	150,05	10,6978	1,0990	0,024
01-Jul	207	9,0	102,56	7,3097	1,2245	0,090
01-Ago	235	9,0	65,52	6,5744	1,3757	0,037
01-Set	411	11,3	118,17	9,6765	1,1675	0,030
01-Out	602	12,8	147,13	10,6827	1,1991	0,047
01-Nov	726	13,4	207,82	12,2153	1,0975	0,038
01-Dez	931	15,6	281,85	14,6725	1,0652	0,066

TABELA 5 - Distribuição Gama Aplicada aos dados das séries B - (1945-1989) com os parâmetros Beta e Gama estimado com os dados das séries A (1917-1944)

Meses	1917-1944				1945-1989		
	Var	Média	Beta	Gama	Var	Média	Dmax
01-Jan	223,36	14,42	13,0904	1,1014	228,27	15,42	0,019
01-Fev	258,54	14,52	14,2964	1,0159	245,48	14,56	0,019
01-Mar	196,62	13,78	12,3823	1,1126	218,70	13,84	0,032
01-Abr	137,68	12,07	10,2374	1,1792	199,78	12,97	0,028
01-Mai	142,26	12,84	10,3055	1,2458	198,47	12,21	0,052
01-Jun	121,07	11,03	9,1600	1,2037	142,30	11,66	0,030
01-Jul	111,54	8,48	7,9561	1,0662	98,54	9,17	0,022
01-Ago	51,01	8,57	5,4443	1,5745	75,44	9,42	0,073
01-Set	136,51	11,54	10,3812	1,1114	104,65	11,08	0,005
01-Out	135,45	12,93	10,4610	1,2362	154,89	12,78	0,007
01-Nov	262,49	13,77	13,3649	1,0305	168,48	12,97	0,018
01-Dez	322,65	16,44	16,3376	1,0063	254,93	15,12	0,060*

* Significativo ao nível de 5%

Var = Variância

A Figura 2 mostra a variação estacional da média diária de chuva, do parâmetro γ , e da probabilidade de chover (P_c) em determinado dia de cada um dos 36 períodos. Observe-se que P_c oscila em torno do valor médio de 0,2508 com uma amplitude de variação entre 0,47 em janeiro-dezembro e 0,10 em junho-julho.

A análise visual da Figura 3 sugere que, em face da pequena oscilação do parâmetro γ em torno de sua média, poder-se-ia admitir-lo como constante para todos os períodos. A análise da eq. (4) com seus coeficientes dados na TABELA 6 mostra que o parâmetro γ oscila entre 1,05, no período final de janeiro, e 1,38, no início de agosto

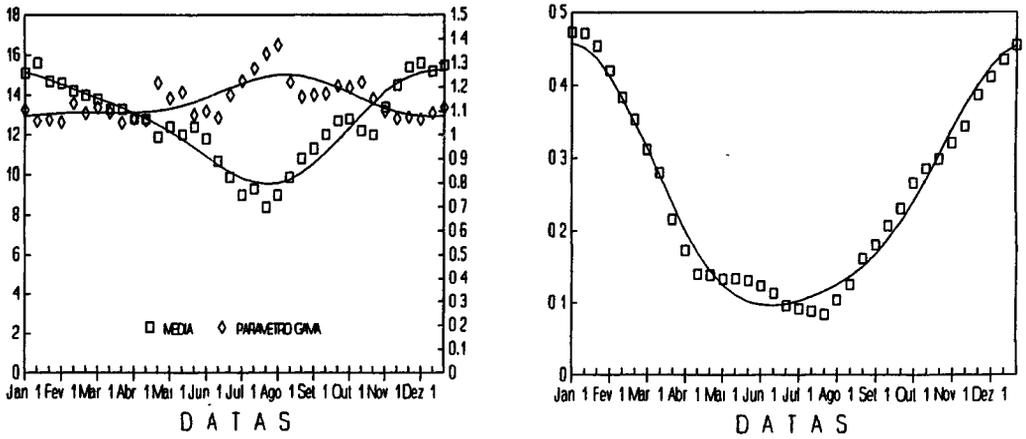


Figura 2 - Variação estacional da média diária de chuva dos dias com chuva, do parâmetro gama da função de distribuição de probabilidade gama (esquerda) e da probabilidade de chover em cada um dos 31 dias seguintes as datas indicadas (direita).

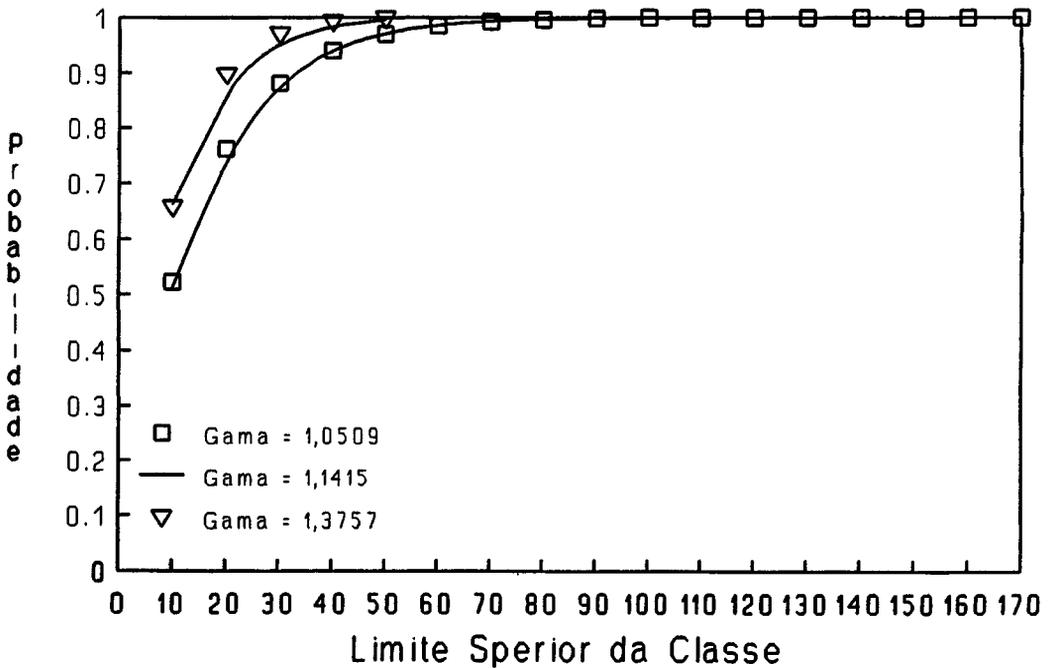


Figura 3 - Distribuição Gama ajustada a dados diários de chuva com diferentes valores do parâmetro γ .

com média da ordem de 1,14. Tomando-se a média e os valores extremos do parâmetro γ conclui-se que praticamente não existe diferença entre as curvas de probabilidade acumulada como pode ser observado na Figura 3. Assim sendo pode-se assumir que a quantidade de chuva nos dias com

chuva de quaisquer um dos períodos estudados pode ser estimada pela distribuição gama com o parâmetro γ constante e igual a 1,1415.

O que se consegue em termos de compactação dos dados com um modelo teórico é realmente surpreendente. Por exemplo: a série de

dados analisada, constituída por aproximadamente 26658 dados diários, foi reduzida para apenas 21 informações: 10 para modelar os parâmetros W e K da DBNT, 10 para os parâmetros da distribuição gama, mais o número de ordem do dia do ano. Admita-se que se deseje conhecer o comportamento da variável "dias sem chuva" em determinado período do ano. Tomemos como exemplo os 31 dias seguintes a 1 de fevereiro. Os valores dos parâmetros W e K da DBNT ajustada a sequências de dias sem chuva podem ser estimados com base na eq. 4 e seus coeficientes dados na TABELA 6; $W = 0,1874$ e $K = 0,4586$. Com base neste valores e na equação (1) construiu-se a TABELA 7 de onde pode-se obter uma série de informações. A coluna A dá duração de uma sequência de dias sem chuva. As colunas B e F fornecem o número, arredondados até o inteiro mais próximo, de sequências de dias sem chuva de duração especificada ou maior, respectivamente, que ocorreram nos 72 anos analisados. Estas colunas foram calculadas com base no conhecimento de que o número de sequências observadas, neste período, foi de 453 (TABELA 2). O total 451 na coluna F resulta de erro de ajuste, uma vez que os valores de W e K foram estimados a partir de suas curvas suavizadas. As colunas C e G mostram as estimativas das probabilidades de que, dado uma sequência de dias sem chuva essa tenha a duração de k dias (coluna C) e k ou mais dias (coluna G). As colunas D e H dão o número médio de dias por sequência de duração especificada e de duração especificada ou maior, respectivamente, para um ano médio. Estes valores foram calculados dividin-

do-se as colunas B e F por 72. No ano médio hipotético, poder-se-ia prever uma (0,944) sequência de dias sem chuva com sete ou mais dias; três (3,028) sequências com três ou mais dias e assim por diante. As colunas E e I apresentam, respectivamente, o número de anos para que uma certa sequência de k dias e de k dias ou mais. É o período de retorno, definido como o período de T anos em que a magnitude de uma certa sequência é igualada ou excedida uma vez, em média, a cada T anos. As sequências com 11 ou mais dias têm um período de retorno de 3 anos, enquanto as sequências com no mínimo 15 dias são esperadas a cada 9 anos e as sequências com exatos 15 dias a cada 36 anos. Exemplo semelhante pode ser dado para o caso de sequências de dias chuvosos.

De modo análogo pode-se modelar a quantidade de chuva nos dias com chuva e com base nos resultados obtidos foi elaborada a TABELA 8 que permite estimar as probabilidades de chover um valor igual ou menor do que o especificado em cada dia dos 36 períodos analisados. Na última coluna da TABELA 8 encontram-se os valores das probabilidades de chover [P_c] e do seu complemento, ou seja, [P_s] estimadas e modeladas (eq. 4) para cada período.

A probabilidade total, P , de chover, menos do que certa quantidade de chuva, ou de não chover, é calculada pela relação, $P = P_s + P_c.P_r$, que tem como base a eq. (2). Destaca-se na TABELA 8 a coluna correspondente a $P_r = 0,625$ cujos valores de chuva correspondem, com boa aproximação, ao valor da média diária no período considerado.

TABELA 6 - Valores dos coeficientes da eq. (4) ajustada aos parâmetros da DBNT para estimativa das probabilidades de ocorrência de sequências de dias chuvosos e sem chuva e da distribuição de probabilidade gama para a estimativa das probabilidades de quantidade de chuva nos dias com chuva em Piracicaba.

Coef.	Dist. Binomial Negativa Truncada				Distribuição gama		
	W		K		Média	Gama	Pc
	C/chuva	S/chuva	C/chuva	S/chuva			
A ₀	0,6298	0,1458	2,8495	0,7286	12,6078	1,1415	0,2531
A ₁	-0,2047	0,1231	-1,7671	0,1333	2,4906	-0,0559	0,1808
A ₂	-0,0557	-0,0349	-1,3526	-0,2378	1,0232	-0,0578	0,0277
B ₁	-0,0839	0,0283	-0,6986	0,0568	0,1626	-0,0094	0,0245
B ₂	-0,0002	-0,0196	0,8326	-0,1937	-0,5286	0,0296	0,0215

TABELA 7 - DBNT aplicada a seqüências de dias sem chuva nos 31 dias seguintes a 1 de Fevereiro - Piracicaba.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	146	0,3225	2,028	0,493	451,0	0,9956	6,264	0,160
2	87	0,1912	1,208	0,828	305,0	0,6733	4,236	0,236
3	58	0,1273	0,806	1,241	218,0	0,4812	3,028	0,330
4	41	0,0894	0,569	1,756	160,0	0,3532	2,222	0,450
5	29	0,0648	0,403	2,483	119,0	0,2627	1,653	0,605
6	22	0,0479	0,306	3,273	90,0	0,1987	1,250	0,800
7	16	0,0359	0,222	4,500	68,0	0,1501	0,944	1,059
8	12	0,0272	0,167	6,000	52,0	0,1148	0,722	1,385
9	9	0,0208	0,125	8,000	40,0	0,0883	0,556	1,800
10	7	0,0160	0,097	10,286	31,0	0,0684	0,431	2,323
11	6	0,0123	0,083	12,000	24,0	0,0530	0,333	3,000
12	4	0,0096	0,056	18,000	18,0	0,0397	0,250	4,000
13	3	0,0075	0,042	24,000	14,0	0,0309	0,194	5,143
14	3	0,0058	0,042	24,000	11,0	0,0243	0,153	6,545
15	2	0,0046	0,028	36,000	8,0	0,0177	0,111	9,000
16	2	0,0036	0,028	36,000	6,0	0,0132	0,083	12,000
17	1	0,0028	0,014	72,000	4,0	0,0088	0,056	18,000
18	1	0,0022	0,014	72,000	3,0	0,0066	0,042	24,000
19	1	0,0018	0,014	72,000	2,0	0,0044	0,028	36,000
20	1	0,0014	0,014	72,000	1,0	0,0022	0,014	72,000
21	0	0,0011	0,000	72,000	0,0	0,0000	0,000	72,000
22	0	0,0009	0,000	72,000	0,0	0,0000	0,000	72,000
23	0	0,0007	0,000	72,000	0,0	0,0000	0,000	72,000
24	0	0,0005	0,000	72,000	0,0	0,0000	0,000	72,000
25	0	0,0004	0,000	72,000	0,0	0,0000	0,000	72,000
26	0	0,0003	0,000	72,000	0,0	0,0000	0,000	72,000
27	0	0,0003	0,000	72,000	0,0	0,0000	0,000	72,000
28	0	0,0002	0,000	72,000	0,0	0,0000	0,000	72,000
29	0	0,0002	0,000	72,000	0,0	0,0000	0,000	72,000
30	0	0,0001	0,000	72,000	0,0	0,0000	0,000	72,000

Ver texto para significado das letras

TABELA 8 - Chuva diária esperada nos 31 dias seguintes as datas da primeira coluna para os valores de probabilidade indicados na primeira linha.

Datas	Valores de Probabilidade (Pr)											Pc	Ps
	0.99	0.90	0.80	0.70	0.60	0,625	0.50	0.40	0.30	0.10	0.05		
Jan 1	97,9	33,8	24,1	18,4	14,3	15,2	11,0	8,3	6,0	2,0	1,1	0,4668	0,5332
Jan 11	96,9	33,5	23,9	18,2	14,1	15,0	10,9	8,3	6,0	2,0	1,0	0,4612	0,5388
Jan 21	95,6	33,0	23,6	18,0	13,9	14,8	10,8	8,1	5,9	2,0	1,0	0,4466	0,5534
Fev 1	94,0	32,5	23,2	17,7	13,7	14,6	10,6	8,0	5,8	1,9	1,0	0,4210	0,5790
Fev 11	92,5	31,9	22,8	17,4	13,5	14,4	10,4	7,9	5,7	1,9	1,0	0,3905	0,6095
Fev 21	90,9	31,4	22,4	17,1	13,3	14,1	10,2	7,7	5,6	1,9	1,0	0,3550	0,6450
Mar 1	89,5	30,9	22,1	16,8	13,1	13,9	10,1	7,6	5,5	1,8	1,0	0,3203	0,6797
Mar 11	88,0	30,4	21,7	16,5	12,8	13,7	9,9	7,5	5,4	1,8	1,0	0,2807	0,7193
Mar 21	86,4	29,8	21,3	16,2	12,6	13,4	9,7	7,4	5,3	1,8	0,9	0,2421	0,7579
Abr 1	84,5	29,2	20,8	15,9	12,3	13,1	9,5	7,2	5,2	1,7	0,9	0,2027	0,7973
Abr 11	82,7	28,5	20,4	15,5	12,1	12,8	9,3	7,0	5,1	1,7	0,9	0,1713	0,8287
Abr 21	80,6	27,8	19,9	15,1	11,8	12,5	9,1	6,9	5,0	1,7	0,9	0,1452	0,8548
Mai 1	78,4	27,0	19,3	14,7	11,4	12,2	8,8	6,7	4,8	1,6	0,8	0,1249	0,8751
Mai 11	75,9	26,2	18,7	14,3	11,1	11,8	8,6	6,5	4,7	1,6	0,8	0,1102	0,8898
Mai 21	73,2	25,3	18,0	13,8	10,7	11,4	8,3	6,2	4,5	1,5	0,8	0,1010	0,8990
Jun 1	70,3	24,3	17,3	13,2	10,2	10,9	7,9	6,0	4,3	1,4	0,8	0,0961	0,9039
Jun 11	67,7	23,4	16,7	12,7	9,9	10,5	7,6	5,8	4,2	1,4	0,7	0,0957	0,9043
Jun 21	65,4	22,6	16,1	12,3	9,5	10,2	7,4	5,6	4,0	1,3	0,7	0,0982	0,9018
Jul 1	63,5	21,9	15,6	11,9	9,3	9,9	7,2	5,4	3,9	1,3	0,7	0,1028	0,8972
Jul 11	62,2	21,5	15,3	11,7	9,1	9,7	7,0	5,3	3,8	1,3	0,7	0,1091	0,8909
Jul 21	61,6	21,3	15,2	11,6	9,0	9,6	6,9	5,2	3,8	1,3	0,7	0,1168	0,8832
Ago 1	62,0	21,4	15,3	11,6	9,0	9,6	7,0	5,3	3,8	1,3	0,7	0,1270	0,8730
Ago 11	63,2	21,8	15,6	11,9	9,2	9,8	7,1	5,4	3,9	1,3	0,7	0,1381	0,8619
Ago 21	65,3	22,5	16,1	12,3	9,5	10,1	7,4	5,6	4,0	1,3	0,7	0,1516	0,8484
Set 1	68,4	23,6	16,9	12,9	10,0	10,6	7,7	5,8	4,2	1,4	0,7	0,1699	0,8301
Set 11	71,9	24,8	17,7	13,5	10,5	11,2	8,1	6,1	4,4	1,5	0,8	0,1900	0,8100
Set 21	75,9	26,2	18,7	14,3	11,1	11,8	8,6	6,5	4,7	1,6	0,8	0,2138	0,7862
Out 1	80,0	27,6	19,7	15,0	11,7	12,4	9,0	6,8	4,9	1,6	0,9	0,2412	0,7588
Out 11	84,1	29,0	20,7	15,8	12,3	13,1	9,5	7,2	5,2	1,7	0,9	0,2718	0,7282
Out 21	88,0	30,4	21,7	16,5	12,8	13,7	9,9	7,5	5,4	1,8	1,0	0,3046	0,6954
Nov 1	91,7	31,7	22,6	17,2	13,4	14,2	10,3	7,8	5,6	1,9	1,0	0,3419	0,6581
Nov 11	94,5	32,6	23,3	17,8	13,8	14,7	10,7	8,1	5,8	1,9	1,0	0,3750	0,6250
Nov 21	96,6	33,3	23,8	18,1	14,1	15,0	10,9	8,2	5,9	2,0	1,0	0,4054	0,5946
Dez 1	97,9	33,8	24,1	18,4	14,3	15,2	11,0	8,3	6,0	2,0	1,1	0,4314	0,5686
Dez 11	98,5	34,0	24,3	18,5	14,4	15,3	11,1	8,4	6,0	2,0	1,1	0,4512	0,5488
Dez 21	98,5	34,0	24,3	18,5	14,4	15,3	11,1	8,4	6,0	2,0	1,1	0,4625	0,5375

Ex.: O Valor da chuva correspondente a 82,5% de probabilidade, no primeiro período (iniciado em Jan 1) é, segundo a eq. (5), $(0,8250 - 0,5332) / 0,4668 = 0,625$ que na TABELA corresponde a um valor de chuva de 15,2mm/dia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, D.C. Chuvas do Brasil: regime, variabilidade e probabilidade de alturas mensais e anuais. Porto Alegre, 1974. 125p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- BARGER, G.L.; SHAW, R.H.; DALE, R.F. Chances of receiving selected amounts of precipitation in the north central region of the United States. Ames: Agricultural and Home Economics Experimental Station, 1959. 69p.
- BRASS, W. Simplified methods of fitting the truncated negative binomial distribution. *Biometrika*, London, v.45, p.59-68, 1958.
- BUIHAND, T. A. Some remarks on the use of daily rainfall models. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v.36, p.295-308, 1978.
- CAMPOS, H. **Estatística experimental não paramétrica**. Piracicaba: ESALQ, 1979, 343p.
- CASTRO NETO, P.; SEDIYAMA, G.C.; VILELA, E.A. Probabilidades de ocorrência de períodos chuvosos em Lavras-MG. *Ciência e Prática*, Lavras, v.4, p.56-65, 1980a.
- CASTRO NETO, P.; SEDIYAMA, G.C.; VILELA, E.A. Probabilidades de ocorrência de períodos secos em Lavras-MG. *Ciência e Prática*, Lavras v.4, p.46-55, 1980b.
- GABRIEL, K.R.; NEUMANN, J. A markov chain model for daily rainfall occurrences at Tel Aviv. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society*, London, v.88, p.90-95, 1962.
- LARSEN, G.A.; PENSE, R.B. Stochastic simulation of daily climatic data for agronomic models. *Agronomy Journal*, Madison, v.74, p.510-514, 1982.
- LONGLEY R.W. The lenght of dry and wet periods. *Journal Royal Meteorological Society*, London, v.79, p.520-527, 1953.
- RICHARDSON, C.W. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation. *Water Resources Research*, Washington, v.17, n.1, p.182-190, 1981.
- ROLDAN, J.; WOOLHISER, D.A. Stochastic daily precipitation models II. A comparison of distributions of amounts. *Water Resources Research*, Washington, v.18, n.5, p.1461-1468, 1982.
- STERN, R.D.; COE, R. The use of rainfall models in agricultural planning. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.26, p.35-50, 1982.
- STERN, R.D.; DENNETT, M.D.; DALE, I.C. Methods of analysing daily rainfall measurements to give usefull agronomically results. I. Direct methods. *Experimental Agriculture*, London, v.18, p.223-236, 1982a.
- STERN, R.D.; DENNETT, M.D.; DALE, I.C. Methods of analysing daily rainfall measurements to give usefull agronomically results. II A modeling approach. *Experimental Agriculture*, London, v.25, p.237-253, 1982b.
- THOM, H.C.S. A note on the gamma distribution. *Monthly Weather Review*, Washington, v.86, n.4, p.117-122, 1958.
- THOM, H.C.S. **Some methods of climatological analysis**. Roma: FAO, 1966. 50p. (FAO. Technical Notes 81).
- VIVALDI, L.J. Utilização da distribuição gama em dados pluviométricos. Piracicaba, 1973. 77p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agrilcultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- WILLIANS, C.C. Sequences of wet and dry days considered in relation to the logarithmic series. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society*, London, v.78, p.91-96, 1952.

Entregue para publicação em 24.01.94

Aceito para publicação em 27.02.94