

OCORRÊNCIA DE PERÍODOS SECOS E CHUVOSOS NA REGIÃO DE CRUZ DAS ALMAS - BA

Fabiano Chaves da SILVA¹, Carlos Ricardo FIETZ²,

Marina Silva da CUNHA³, Marcos Vinicius FOLEGATTI⁴

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar a ocorrência de períodos secos e chuvosos na região de Cruz das Almas - BA, utilizando-se um modelo baseado na Cadeia de Markov. O estudo baseado em uma série de 18 anos de dados diários de precipitação, analisou períodos decendiais da estação chuvosa da região. Os resultados mostraram que o modelo baseado na Cadeia de Markov foi adequado para descrever a ocorrência de períodos secos e chuvosos. O trabalho mostra, além disso, um exemplo de utilização na geração de tabelas de probabilidades.

PALAVRAS-CHAVE: Chuva, veranico, probabilidade, Cadeia de Markov.

INTRODUÇÃO

A chuva tem importância fundamental nas atividades agrícolas e, portanto, deve ser incluída no planejamento das atividades culturais, visando a otimização do uso da água de chuva. A quantidade de chuva total na estação de crescimento das culturas, porém, não é tão importante quanto o padrão da distribuição durante este período. A chuva é um elemento meteorológico com alta variabilidade espacial e temporal. Essa variabilidade da chuva durante a estação chuvosa sugere que valores médios não são um bom índice de adequação e predição da quantidade de água para as culturas.

Segundo Martorano et al. (1997) o regime pluviométrico da região de Cruz das Almas caracteriza-se por um período chuvoso (abril a julho), com precipitações médias mensais superiores a 100 mm, sendo abril o mês mais chuvoso com média de 138 mm. Existem poucos trabalhos sobre distribuição de chuva nessa região, apesar da mesma ser um importante centro produtor do estado da Bahia.

Na análise estatística clássica, a precipitação diária é considerada como um processo constituído de eventos independentes que podem ser descritos por uma função probabilidade de

¹ Eng. Agrônomo, MsC, Doutorando, Bolsista FAPESP, DER/ESALQ/USP, E-mail: fcdsilva@carpa.ciagri.usp.br

² Eng. Agrônomo, MsC, EMBRAPA-CPAO, Doutorando, DER/ESALQ/USP, E-mail: crfietz@carpa.ciagri.usp.br

³ Economista, Prof. da Universidade Estadual de Maringá, E-mail: mscunha@dco.uem.br

⁴ Prof. Assoc., Dr. – DER/ESALQ/USP, E-mail: mvfolega@carpa.ciagri.usp.br

distribuição (Azevedo & Leitão, 1990). No entanto, apesar da ocorrência de precipitação num determinado dia depender das condições atmosféricas reinantes naquele dia e local, a mesma também está condicionada ao tempo passado, ou seja, à situação ocorrida no dia ou dias anteriores. Portanto, a precipitação diária tende a apresentar dependência estocástica, com o surgimento de sequência de dias secos e chuvosos intercalados.

Modelos com base na cadeia de Markov vêm sendo utilizados para descrever a ocorrência de períodos secos e chuvosos (Gabriel & Neumann, 1962; Sundararaj & Ramachandra, 1975; Victor & Sastry, 1979; Manohar & Siddappa, 1984; Assis (1994); Fietz et al. (1997). O objetivo deste trabalho foi determinar a probabilidade de ocorrência de períodos secos e chuvosos na região de Cruz das Almas - BA com base em modelos de dependência de Markov aplicados às séries de precipitações diárias, durante a estação chuvosa.

MATERIAL E MÉTODOS

A análise baseou-se em dados diários de precipitação pluviométrica de uma série de 18 anos (1979 a 1996) da estação chuvosa (abril a julho), coletados na Estação Meteorológica do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical (EMBRAPA/CNPMPF), em Cruz das Almas, Bahia, (latitude 12° 40' 39'' Sul, longitude 39° 06' 23'' W e altitude 225 m). Segundo Martorano et al. (1997) essa região de Cruz das Almas está sob a influência da tipologia climática **Am** de Köppen. Com base em Thornthwaite, o clima é do tipo **C₁ s A 'a'** é sub-úmido com moderado excesso de água no inverno.

O modelo com base na cadeia de Markov de primeira ordem assume que a probabilidade de ocorrência de um evento um único dia qualquer depende somente das condições do dia imediatamente precedente e é independente das condições dos demais dias precedentes. Sendo que, a quantidade de chuva é envolvida somente na definição de ocorrência ou não de chuva. No presente trabalho, realizado para períodos decendiais, considerou-se como dia chuvoso aquele em que a precipitação foi superior à evapotranspiração, estimada pelo método do Tanque Classe A (Doorenbos & Kassan, 1979), de outra maneira, considerou-se um dia seco.

Definiu-se como período seco com comprimento de ($x = S$) dias sem chuva a sequência de dias consecutivos sem chuva precedido e seguido por um ou mais dias chuvosos, e de maneira análoga, definiu-se período úmido de ($y = C$) dias com chuva. Um período seco ou chuvoso que sobrepôs dois decêndios adjacentes foi considerado pertencente ao primeiro decêndio, sendo que o final do período foi considerado no último dia do primeiro decêndio.

As probabilidades iniciais [P(S) e P(C)] e condicionais [P(S/S), P(C/S), P(C/C) e P(S/C)]** foram calculadas através da primeira ordem da Cadeia de Markov para ocorrência de precipitação, estimada de maneira direta com o uso da frequência relativa (Robertson, 1976). Os parâmetros do modelo com base na Cadeia de Markov (Gabriel & Neumann, 1962) são as duas probabilidades condicionais P_1 e P_0 onde,

$$P_1 = \Pr (C / C) \quad (1)$$

é a probabilidade de ocorrência (Pr) de um dia chuvoso (C) quando o dia anterior também foi chuvoso;

$$P_0 = \Pr (S / S) \quad (2)$$

é a probabilidade de ocorrência de um dia seco quando o dia anterior foi seco. A expressão que determina a probabilidade de ocorrência de um período seco com comprimento de ($x = S$) dias sem chuva é:

$$P_0 \cdot (1 - P_0)^{S - 1} \quad (3)$$

e para probabilidade de ocorrência de um período chuvoso com comprimento de ($y = C$) dias com chuva é:

$$(1 - P_1) \cdot P_1^{C - 1} \quad (4)$$

Outras propriedades do modelo de probabilidade com base na cadeia de Markov descrevem o número e o comprimento de períodos secos e chuvosos. O comprimento esperado para um período seco é dado por

$$E (S) = 1 / P_0 \quad (5)$$

Similarmente para um período chuvoso,

$$E (C) = 1 / (1 - P_1) \quad (6)$$

O comprimento esperado de um ciclo, isto é, um período seco seguido de um período chuvoso ou vice versa, é então obtido por

$$E (\text{ciclo}) = E (S) + E (C) \quad (7)$$

As probabilidades estacionárias π_1 (dias secos) e π_2 (dias chuvosos) independente das condições iniciais são dadas por:

$$\pi_1 = (1 - P_1) / (1 + P_0 + P_1) \text{ e } \pi_2 = (P_0) / (1 + P_0 + P_1) \quad (8)$$

determinando o número de dias secos e chuvosos esperados:

Número de dias secos = $n \cdot \pi_1$

* “/” dado que o dia anterior foi

Número de dias chuvosos = $n \cdot \pi_2$

onde n é o número de dias constituindo o período.

Para avaliar o ajuste entre os valores observados e estimados pelo modelo foi utilizado teste de Kolmogorov-Smirnov (Campos, 1983).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As probabilidades iniciais e condicionais de ocorrência de dias secos e chuvosos para cada decêndio da estação chuvosa na região de Cruz das Almas estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Probabilidades iniciais [P(S) e P(C)] e condicionais [P(S/S), P(C/S), P(C/C) e P(S/C)] para região de Cruz das Almas. Período de observação (1979-1996).

Decêndio	Precipitação média (mm)	Probabilidade					
		Inicial		Condicional			
		P(S)	P(C)	P(S/S)	P(S/C)	P(C/C)	P(C/S)
ABRIL							
01-10	36,6	0,794	0,206	0,804	0,649	0,250	0,203
11-20	51,7	0,683	0,317	0,756	0,526	0,474	0,244
20-30	49,0	0,661	0,339	0,738	0,475	0,500	0,269
MAIO							
01-10	36,1	0,722	0,278	0,805	0,540	0,481	0,192
11-20	40,2	0,683	0,317	0,720	0,579	0,400	0,285
20-31	47,7	0,702	0,298	0,781	0,542	0,475	0,216
JUNHO							
01-10	40,3	0,639	0,361	0,713	0,508	0,492	0,287
11-20	54,8	0,606	0,394	0,694	0,451	0,536	0,312
20-30	36,0	0,661	0,339	0,739	0,508	0,492	0,261
JULHO							
01-10	36,0	0,617	0,383	0,723	0,435	0,559	0,279
11-20	35,0	0,656	0,344	0,744	0,500	0,508	0,254
20-31	31,6	0,707	0,293	0,763	0,586	0,424	0,236

Através da probabilidade inicial P (S) é possível identificar o período no qual é esperado maior número de dias secos, ou seja, o primeiro decêndio de abril (0,794). Da mesma forma, através da probabilidade P (C) verificou-se que o segundo decêndio de junho (0,394) apresentou a maior probabilidade de ocorrência de dias com chuva, cerca de quatro a cada dez dias.

Comparada à probabilidade condicional (P (C/S)), a condicional (P (C/C)) foi maior em todos os decêndios da estação chuvosa (Tabela 1), demonstrando forte dependência da ocorrência de chuva com as condições do dia precedente. Outra importante característica das observações é que o valor da probabilidade condicional P (C/C) para o primeiro decêndio de julho (0,559) foi

maior do que no segundo decêndio de junho (0,536), embora o último decêndio tenha precipitação média superior.

Com as expressões (3) e (4) e seus respectivos parâmetros contidos na tabela 1, estimou-se as probabilidades de ocorrer sequências de dias secos e com chuva de diversos comprimentos na estação chuvosa (Figura 1). Em todos os decêndios, a probabilidade de períodos consecutivos chuvosos longos é pequena. Pode-se considerar também como desprezíveis as probabilidades de ocorrência de sequência de dias secos com mais de cinco dias. Observa-se também que as probabilidades de ocorrência de sequência de dias secos com comprimentos de quatro a cinco dias variam muito pouco na estação chuvosa.

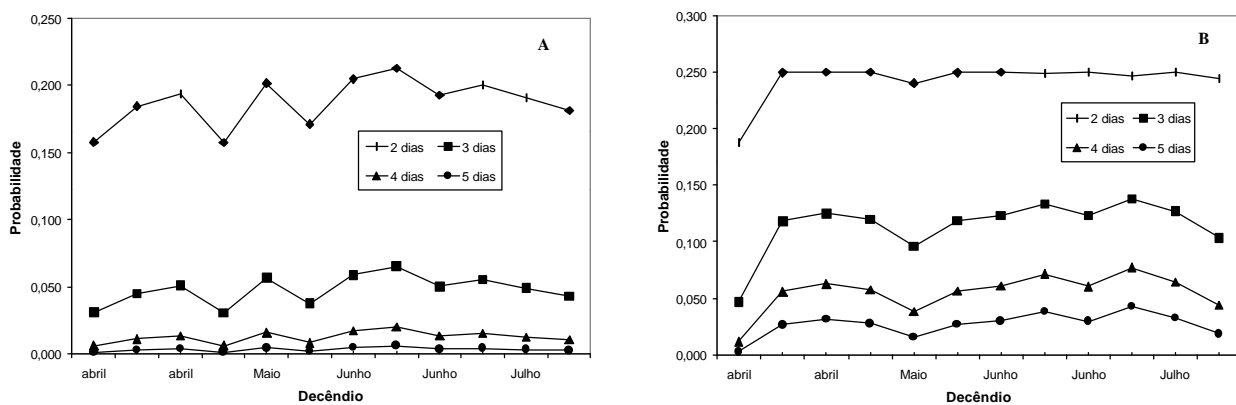


Figura 1 - Probabilidade de ocorrência de períodos consecutivos secos (A) e com chuva (B) na estação chuvosa da região de Cruz das Almas - BA.

Na tabela 2 encontram-se as informações mais relevantes com respeito as sequências de dias secos e com chuva. Nesta tabela estão representados os valores de máxima divergência (Dmax) do teste de Kolmogorov-Smirnov. O modelo de distribuição baseado na Cadeia de Markov, segundo este teste, ajusta-se a todas as sequências de dias secos e com chuva. Em nenhum decêndio o valor de Dmax foi significativo ao nível de 5 %.

Durante a estação chuvosa a quantidade de dias secos varia de seis a oito dias por decêndio, e a quantidade de dias com chuva varia de dois a quatro dias (tabela 2). Portanto ocorre um maior número de dias secos em relação a quantidade de dias com chuva, mesmo na estação chuvosa.

O comprimento médio esperado do período chuvoso (C.E.P.C.) não diferiu muito dos valores observados. No entanto, comprimento médio esperado do período seco (C.E.P.S) apresentou maior variação em relação aos valores observados. Observa-se também que o comprimento esperado do período chuvoso têm em media, um a dois dias, enquanto que o comprimento esperado do período seco varia de três a cinco dias. Desta forma, a cada 3 a 5 dias consecutivos secos ocorridos um dia

com chuva é esperado ocorrer. Enquanto que, a cada 1 a 2 dias consecutivos chuvosos, um dia seco é esperado. Por conseguinte, o comprimento esperado do ciclo é de cinco a seis dias (Tabela 2).

Tabela 2 - Comprimento do período chuvoso observado (C.P.C.O), Comprimento do período seco observado (C.P.S.O), Dmax para o período seco (P.S.), Dmax para período chuvoso (P.C.), Comprimento esperado para o período chuvoso (C.E.P.C.), Comprimento esperado para o período seco (C.E.P.S), Número de dias secos (N.D.S.), Número de dias chuvosos (N.D.C.) e Comprimento esperado para o ciclo (C.E.C.). Cruz das Almas - BA, 1979-1996.

	ABRIL			MAIO			JUNHO			JULHO		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
C. P. C. O.	1,3	1,7	1,8	1,7	1,6	1,7	1,8	2,0	1,7	1,9	1,8	1,6
C. P. S. O.	4,0	3,2	3,1	3,6	2,8	3,5	2,8	2,7	3,1	2,8	3,0	3,4
D. max P. C.	0,038	0,102	0,243	0,190	0,103	0,083	0,06	0,077	0,14	0,20	0,079	0,044
D.max P. S.	0,142	0,096	0,101	0,161	0,118	0,141	0,08	0,124	0,165	0,124	0,127	0,119
C. E. P. C.	1,33	1,90	2,00	1,93	1,67	1,91	1,97	2,16	1,97	2,27	2,03	1,74
N. D. C.	2,13	3,17	3,50	2,70	3,22	3,21	3,61	4,02	3,39	3,88	3,41	3,19
C. E. P. S.	4,93	4,10	3,72	5,20	3,51	4,63	3,48	3,21	3,84	3,58	3,93	4,24
N. D. S.	7,87	6,83	6,50	7,30	6,78	7,79	6,39	5,98	6,61	6,12	6,59	7,81
C. E. C.	6,26	6,00	5,72	7,13	5,18	6,54	5,45	5,36	5,81	5,85	5,97	5,98

* Significativo a 5 %

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos possibilitam determinar, para todos os decêndios da estação chuvosa, a probabilidade de ocorrência de períodos secos e chuvosos na região de Cruz das Almas. No primeiro decêndio de abril há a maior probabilidade de ocorrência de períodos consecutivos secos, enquanto no segundo decêndio de junho ocorre uma maior probabilidade de ocorrência de dias com chuva. O modelo baseado na Cadeia de Markov foi adequado para descrever a ocorrência de períodos secos e chuvosos. Estes resultados podem ser utilizados no planejamento das práticas agrícolas, recomendando-se o reescalonamento de datas de plantio das culturas, procurando evitar que os períodos sensíveis ao estresse hídrico coincidam com os períodos de maior probabilidade de ocorrência de veranicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, F. N. Probabilidades de ocorrência de dias sem chuva e chuvosos em Pelotas-RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 87 - 92, 1994.
- AZEVEDO, P. V. de, LEITÃO, M. M. V. B. R. Aplicação de processos em cadeia de markov às precipitações diárias no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 5 (1), p. 389 - 402, 1990.
- CAMPOS, H. **Estatística experimental não paramétrica**. Piracicaba, ESALQ: 1979. 343 p.
- DOORENBOS, J. KASSAN, A. H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212 p.
- FIETZ, C. R., URCHEI, M. A., FRIZZONE, J. A., FOLEGATTI, M. V. Probabilidade de ocorrência de períodos secos e chuvosos na região de Dourados, MS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997. Piracicaba, SP. **Anais** Piracicaba: v. 1, p. 101-103.
- GABRIEL, K. R., NEUMANN, J., A markov chain model for daily rainfall occurrences at Tel Aviv. **Quartely Journal Royal Meteorological Society, London**, v. 88, p. 90-95, 1962.
- MARTORANO, L. G., PEREIRA, F. A. C., SANTOS, C. A. S, PEREIRA, A. R., VILLA NOVA, N. A. Análise das condições climáticas na região de Cruz das Almas - Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997. Piracicaba, SP. **Anais** Piracicaba: v. 1, p. 262-264.
- MANOHAR, N., SIDDAPPA, B. A study of weather spells and weather cycles at Raichur using Markov-chain model. **Indian Journal Agricultural Science**, .New Delhi, v. 54, n. 1, p. 55-60, 1984.
- ROBERTSON, G. W. **Dry and wet spells**. Jerantut: FAO; Tun Razak Agriculture Research Centre, 1976. 30p. (Project Field Report Agrometeorology, A-6).
- SUNDARARAJ, N., RAMACHANDRA, S. Markov-dependent geometric models for weather spells and weather cycles - A study. **Indian Journal of Meteorology, Hydrology and Geophysics**, New Delhi, v. 26, n. 2, p. 221-226, 1975.
- VICTOR, U. S., SASTRY, P. S. N. Dry spell probability by Markov chain model and its application to crop developmental stages. **Mausam**, New Delhi, v. 30, n. 4, p. 479-584, 1979.