

Artigo

Aplicação da Cadeia de Markov para Dias Secos e Chuvosos

André Luiz de Carvalho¹, José Leonaldo de Souza¹, Gustavo Bastos Lyra²,
Henderson Silva Wanderley²

¹*Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, Maceió, AL, Brasil.*
²*Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Departamento de Ciências Ambientais,
Seropédica, RJ, Brasil.*

Recebido em 31 de Agosto de 2015 – Aceito em 17 de Dezembro de 2016

Resumo

A precipitação é um fenômeno meteorológico importante na região Tropical, caracterizada por sua variabilidade espacial-temporal e eventos extremos associados. Assim, a informação prévia da ocorrência de um dia ser seco ou chuvoso é de extrema importância para diversas atividades humanas, em especial a agricultura. O objetivo desse trabalho foi analisar a ocorrência de dias secos e chuvosos na região de Rio Largo–Alagoas, por meio da Cadeia de Markov. Dados diários de precipitação entre 1973 e 2008 foram utilizados. Na definição de dias secos e chuvosos consideraram-se seis limites de precipitação e, aplicou-se a Cadeia de Markov, para identificar as probabilidades de ocorrências condicionais de dias secos e chuvosos. A região de estudo apresentou estações seca (setembro a março) e chuvosa (abril a agosto) melhor definidas, considerados valores limites de precipitação entre 0 e 2 mm. Maior ocorrência de dias secos e chuvosos ocorreu de novembro a dezembro (94%) e junho a julho (84%), respectivamente. A Cadeia de Markov permitiu concluir que a transição entre dias secos e chuvosos é baixa ao longo do ano.

Palavras-chave: precipitação, análise estatística, climatologia.

Markov Chain Application for Dry and Rainy Days

Abstract

Rainfall is an important meteorological phenomenon in the tropical region, characterized by its spatial-temporal variability and associated extreme events. Thus, prior notification of the occurrence of one day being rainy or dry is extremely important for many human activities, especially for agriculture. The aim of this study was to analyze the occurrence of dry and rainy days in Rio Largo-Alagoas, Brazil, using the Markov chain. Daily rainfall data between 1973 and 2008 were used. It was considered six precipitation levels for dry and wet days and, it was applied to Markov chain to identify the probabilities of conditional occurrences of dry and rainy days. The study region had dry (September to March) and rainy (April to August) seasons well defined considered limits of precipitation values between 0 and 2 mm. Higher occurrences of dry and rainy days occurred from November to December (94%) and June to July (84%), respectively. The Markov chain concluded that the transition between dry and rainy days is low throughout the year.

Keywords: rainfall, statistical analyses, climatology.

1. Introdução

Na região Tropical, a precipitação pluvial é o fenômeno meteorológico de maior importância, visto que influencia vários processos em diversas áreas, tais como, agricultura e floresta. No caso da agricultura, a variabilidade das chuvas provoca alternância nos rendimentos agrícolas anuais (Mousinho *et al.*, 2006).

A determinação da distribuição da precipitação e a estimação das probabilidades das ocorrências de dias secos e chuvosos são fundamentais para a otimização de projetos com manejo das atividades agrícolas. Seu conhecimento contribui de forma decisiva para a tomada de decisão quanto às épocas de plantio, avaliação do risco de deficiência hídrica e dimensionamento e manejo dos sistemas irrigados (Keller Filho, *et al.*, 2006; Ferreira, 2012; Marcelino *et al.*, 2012; Breinl *et al.*, 2013).

A análise da ocorrência de dias secos e chuvosos e sua transição ao longo do ano se adequa melhor pela Cadeia de Markov (Stern *et al.*, 1982 a, b; Azevedo e Leitão, 1990; Lennartsson *et al.*, 2008), que possibilita maior retorno econômico para os produtores rurais, visto que subsidia a definição do uso de datas alternativas de semeadura. A ênfase na aplicação da cadeia de Markov é decorrente da mesma usar informação do dia anterior (seco ou chuvoso) para fornecer prognóstico sobre a possível ocorrência de um dia ser seco ou chuvoso, para uma determinada região. Viana *et al.* (2002), em estudo realizado em Pentecoste-CE, mostraram que a probabilidade de ocorrerem dias secos foi sempre superior à de ocorrerem dias chuvosos. Segundo Vasconcellos *et al.* (2003), em estudo realizado em Jaboticabal-SP, a frequência relativa de períodos de secos maiores que 10 dias fica abaixo de 35% durante o ano. Normalmente, mesmo períodos curtos com precipitação são caracterizados por apresentar deficiência hídrica no solo, independente do tipo de solo ou cultura.

Não há consenso com relação ao limite de precipitação adotado para caracterizar dia seco, que depende das condições meteorológicas, época do ano e solo da região. Vasconcellos *et al.* (2003) definiram o valor limite de precipitação de acordo com as características físicas do solo, profundidade efetiva do sistema radicular e a evapotranspiração. Na literatura, os valores de precipitação frequentemente utilizados em estudos sobre períodos secos foram 1 e 5 mm (Assad *et al.*, 1993; Fietz *et al.*, 1998; Viana *et al.*, 2002), nos quais os dias com totais de chuva inferiores a esses limites foram classificados como secos.

Deste modo, o objetivo deste estudo foi analisar a ocorrência de dias secos e chuvosos baseado em dados diários de precipitação com a aplicação da Cadeia de Markov para a região de Rio Largo, Alagoas.

2. Material e Métodos

O estudo foi conduzido em Rio Largo (9°28' S, 35°49' O, 127 m), localizado na Região Metropolitana de Maceió, Alagoas. O clima da região é semi-úmido e quente com período chuvoso entre março e agosto e período seco de setembro a fevereiro. A média anual de precipitação é 1.800 mm, a temperatura do ar média anual é 25,4 °C e umidade relativa média acima de 70% (Souza *et al.*, 2005; Ferreira Junior *et al.*, 2014).

A análise foi realizada com dados diários de precipitação observados entre 1973 e 2008. A precipitação foi medida em um pluviômetro convencional instalado na estação agrometeorológica no Centro de Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Para melhor ajuste, os dados foram agrupados em períodos de cinco dias e para cada período determinou-se a média aritmética da série (Stern *et al.*, 1982 a; b). Para identificar a ocorrência de dias secos e chuvosos foram considerados seis referências limites de precipitação (0, 1, 2, 3, 4 e

5 mm), nos quais dias com precipitação diária igual ou inferior a esses valores foram considerados como secos.

Inicialmente, os dias foram separados em dias secos e chuvosos, para definir as estações seca e chuvosa da região, considerando os seis limites de precipitação. Posteriormente, utilizou-se a Cadeia de Markov de 1° ordem, por meio do aplicativo *Instat Climatic* (Stern *et al.*, 2006), para se determinar as probabilidades condicionais de ocorrência de dias secos e chuvosos. Assim, os dias secos e chuvosos foram divididos em quatro subgrupos: a) dia seco com o dia anterior seco (SS), b) dia seco com o dia anterior chuvoso (SC), c) dia chuvoso com o dia anterior chuvoso (CC) e d) dia chuvoso com o dia anterior seco (CS) (Keller Filho *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2010; Moura *et al.*, 2015). Cada ano (Q_i) pode ser descrito com uma sequência de dias secos ($x_j = 0$) ou chuvosos ($x_j = 1$), Eq. (1).

$$Q_i = \{x_1, x_2, \dots, x_{j-1}, x_j\}, \text{ para } Q_i = \{1, 2, 3, \dots, i-1, i\} \quad (1)$$

em que i - número do ano (ou número de anos); j - número do dia do ano.

A Cadeia de Markov de 1° ordem considera que a quantidade de precipitação em certo dia depende da quantidade de precipitação no dia anterior e é um evento estocástico que depende da probabilidade de o dia anterior ser seco (P_{cs}) ou chuvoso (P_{cc}), Eqs. (2) e (3), respectivamente.

$$P(cs) = \text{prob}(x_j = 1, x_{j-1} = 0) \\ = \frac{\sum_{Q=1}^{Q=i} (x_j = 1, x_{j-1} = 0)}{\sum_{Q=1}^{Q=i} (x_{j-1} = 0)} \quad (2)$$

$$P(cc) = \text{prob}(x_j = 1, x_{j-1} = 1) \\ = \frac{\sum_{Q=1}^{Q=i} (x_j = 1, x_{j-1} = 1)}{\sum_{Q=1}^{Q=i} (x_{j-1} = 1)} \quad (3)$$

A função, neste caso, usando a análise de Fourier, foi ajustada para estimar a probabilidade e posteriormente as probabilidades de ocorrências (simples e condicional) de dias secos e chuvosos e a quantidade de precipitação pluviométrica diária foram modeladas pela utilização da distribuição gama (Thom, 1958), dada pelas Eqs. (4) e (5).

$$f(x) = \frac{\lambda^r}{\Gamma(r)} x^{r-1} e^{-\lambda x} \quad \text{para } x \geq 0 \quad (4)$$

$$f(x) = 0 \quad \text{para } x < 0 \quad (5)$$

em que os parâmetros da distribuição gama que podem assumir qualquer valor positivo são λ - taxa média do processo, r - número específico de eventos que ocorrem até que a variável X seja atingida, X - tamanho do segmento de tempo ou espaço, $\Gamma(r)$ - função gama, dada pela Eq. (6).

$$\Gamma(r) = \int_0^{\infty} x^{r-1} e^{-x} dx \quad \text{para } r > 0 \quad (6)$$

As análises estatísticas foram realizadas através do aplicativo *Instat Climatic* (Stern *et al.*, 2006), principal ferramenta que auxilia nas análises estatísticas de eventos climáticos. Com esse aplicativo pode-se realizar simples análises de alguns eventos relacionados à meteorologia, como por exemplo: Início e fim da estação chuvosa, períodos secos e chuvosos, eventos extremos e o balanço hídrico. Essa ferramenta também permite fácil aplicação de modelos estatísticos como a cadeia de Markov.

3. Resultados e Discussão

A análise das ocorrências de dias secos e chuvosos na região de Rio Largo, Alagoas (Fig. 1), baseada nas probabilidades definidas pela cadeia de Markov demonstrou que a região de estudo apresentou estações seca e chuvosa bem definidas. A estação seca ocorreu entre setembro e março (primavera-verão) e a estação chuvosa ocorreu entre abril a agosto (outono-inverno). Para os limites de referência de precipitação utilizados neste estudo, as classes de precipitação entre 0 e 2 mm foram as que permitiram melhor identificação das estações seca e chuvosa. Para esses valores, a probabilidade de ocorrências de dias chuvosos foi superior à de dias secos nos meses da estação chuvosa e inferior nos meses da estação seca.

Para os limites entre 3 e 5 mm, as ocorrências de dias secos foram superiores as de dias chuvosos por um período maior (Fig. 1), sendo superior em quase todo o ano, quando considerado o dia seco como 5 mm. Esses resultados mostram que boa parte das chuvas diárias que ocorrem na região de estudo são inferiores a demanda hídrica de uma cultura. A ocorrência de precipitação na estação chuvosa,

em Alagoas, é devido a maior frequência de atuação de sistemas meteorológicos como as frentes frias ou seus remanescentes, distúrbios ondulatórios de leste, ventos Alísios e brisas marítima e terrestre (Kousky, 1980; Molion e Bernardo, 2002; Lyra *et al.*, 2014; Wanderley *et al.*, 2014).

Considerando todos os valores limites de precipitação adotados, a ocorrência de dias chuvosos apresentou, entre os meses de abril a agosto, probabilidade máxima de 88,9% (160 dias), 77,7% (140 dias), 67,8% (122 dias), 65,6% (118 dias), 55,6% (100 dias) e 50% (90 dias), respectivamente, para os limites de 0 a 5 mm. Os resultados obtidos demonstram que mais de dois terços do período chuvoso apresentaram precipitação igual ou inferior a 2 mm. O baixo total pluviométrico diário é resultado da ação dos sistemas locais produtores de chuvas como os sistemas de brisa.

Apesar de ser o período considerado como chuvoso, a precipitação que ocorre na maior parte do tempo não supre a demanda hídrica de várias culturas, uma vez que a precipitação diária inferior a 1 mm não contribui para repor ou suprir as necessidades hídricas das plantas, pois essa quantidade de precipitação é normalmente transpirada pelas plantas ou evaporada pela superfície do solo (Nieuwolt, 1989). O déficit hídrico diário que pode se estabelecer restringe o crescimento e desenvolvimento de culturas em suas diversas fases fenológicas (Fietz *et al.*, 1998). Precipitação até 3 mm também é considerada insuficiente, visto que é praticamente perdida por evapotranspiração, principalmente durante o período entre setembro e março, quando a demanda evaporativa da atmosfera é alta.

Esses resultados mostraram que a região de estudo apresenta, na estação chuvosa, baixa ocorrência de dias

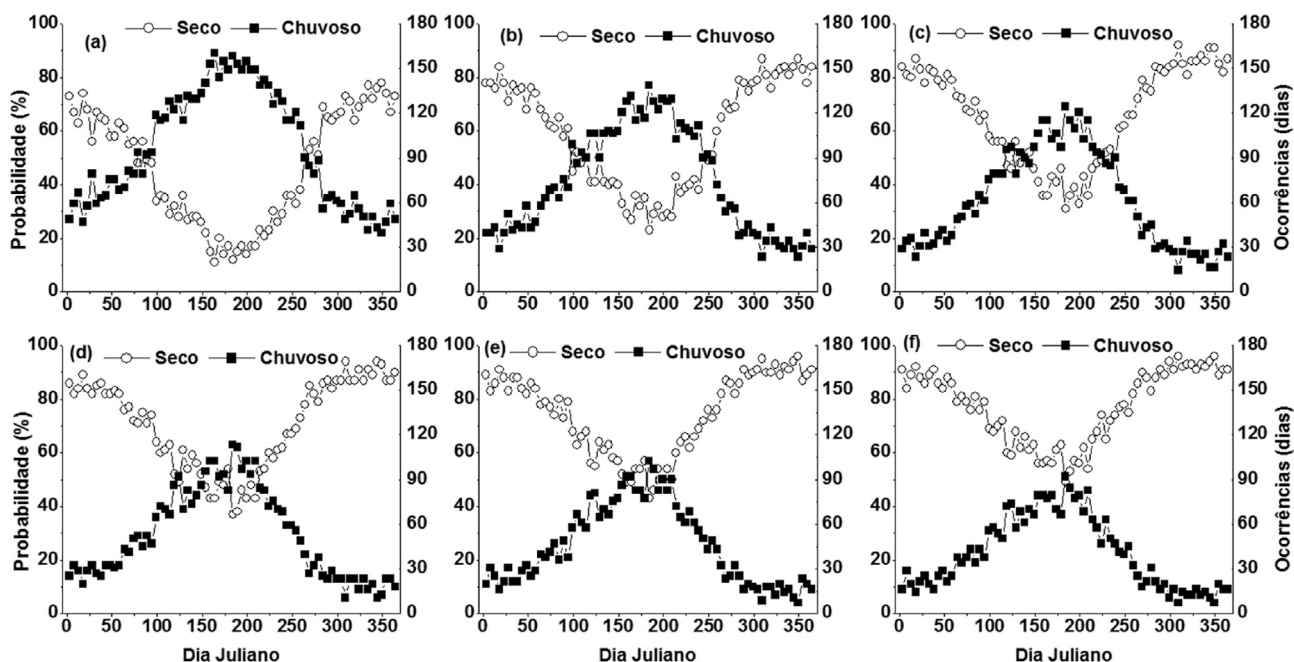


Figura 1 - Probabilidade e total de ocorrência de dias secos e chuvosos no período de 1973 – 2008, em Rio Largo - AL, para os limites de precipitação de 0 mm (a), 1 mm (b), 2 mm (c), 3 mm (d), 4 mm (e) e 5 mm (f).

secos. Carvalho *et al.* (2013) observaram que houve maior probabilidade de ocorrência de períodos de duração curta (dois dias), principalmente em meses com maiores índices pluviométricos, como julho.

Na estação seca, a probabilidade máxima de ocorrência de dias chuvosos, quando considerado todos os valores limites de precipitação, foi de 52,8% (95 dias), 50% (90 dias), 44,4% (80 dias), 34,4% (62 dias), 27,8% (50 dias) e 23,3% (42 dias), respectivamente, para os limites de 0 a 5 mm. A comparação dos dois períodos analisados demonstrou que a probabilidade de ocorrência de dias chuvosos, para todos os limites, no período seco foi menor. Para os limites de precipitação de 4 e 5 mm, por exemplo, a redução observada foi superior a 50%.

O período entre junho e julho foi o mais chuvoso na região e apresentou aproximadamente 5 a 18 dias secos e 13 a 26 dias chuvosos, em cada mês, no caso de considerado todos os valores limites de precipitação. Com isso, a probabilidade de ocorrer dias chuvosos, nesse período, variou aproximadamente de 43 a 84% (Tabela 1). Resultados semelhantes foram obtidos por Xavier e Dornellas (2005) e Andrade *et al.* (2009), que concluíram que a maior parte das chuvas em Arapiraca-AL e Garanhuns-PE, respectivamente, ocorre entre os meses de maio, junho e, principalmente julho.

O período entre novembro e dezembro foi caracterizado como o mais seco da região, apresentando 21 a 29 dias secos e 2 a 9 dias chuvosos, em cada mês, considerando todos os valores limites de precipitação. Com isso, pode-se afirmar que probabilidade de ocorrer dias secos, nesse período, variou de 70 a 94% (Tabela 1). Isso está de acordo com a análise de Cardim (2003) e Souza *et al.* (2004), em que a ocorrência de 6 mm ou mais de precipitação em 10 dias, no período de 01 a 10 de outubro, é provável a 25% de probabilidade. O nível de 70 a 75% de probabilidade de

ocorrências de chuvas prováveis é mais confiável para a realização das atividades agrícolas (Bernardo, 1995). Com isso, pode-se afirmar que essa época não é adequada para a realização de plantios.

Na análise de dias secos e chuvosos, a informação de que o dia anterior foi seco ou chuvoso também é importante, porque influencia na condição do dia atual ser seco ou chuvoso (Fig. 2).

As ocorrências de dias secos com o dia anterior seco (SS) foram maiores entre setembro e março, com aproximadamente 60 a 175 dias (33 a 97%), e menores entre abril e agosto, com aproximadamente 7 a 80 dias (4 a 45%), quando considerado os valores de precipitação entre 0 e 5 mm. Mas, as variações das ocorrências de dias secos com o dia anterior chuvoso (SC) foram baixas, com aproximadamente 2 a 40 dias (1 a 22%) ao longo da distribuição anual. Como houve poucas ocorrências sequenciais de dias secos entre abril e agosto, as ocorrências de dias SS foram baixas. A região de Rio Largo apresenta maior probabilidade para ocorrências de períodos secos de 2 dias no mês de julho (Carvalho, 2010).

A distribuição dos totais de dias chuvosos (Fig. 2) apresentou maior variação para a condição de dia chuvoso, quando o dia anterior também foi chuvoso (CC). Mas, a condição do dia chuvoso dado que o dia anterior foi seco (CS) mostrou menores variações diárias e totais baixas. Dias CC apresentaram valores elevados na estação chuvosa (30 a 150 dias) entre 0 e 5 mm, o que correspondeu, respectivamente, a probabilidade de 17 a 84%. Entre setembro e março, os totais de dias CC apresentaram valores baixos com variação de 1 a 60 dias (0,6 a 34%) entre 0 e 5 mm. As chances de ocorrer um dia CS, entre 0 e 5 mm, foi baixa ao longo da distribuição anual, com variação entre 5 e 45 dias, o que correspondeu, respectivamente, a probabilidade de 3 a 25%.

Tabela 1 - Média mensal das ocorrências de dias secos e chuvosos para o período de 1973-2008, Rio Largo - AL, para os valores limites de precipitação de 0 a 5 mm.

Mês	Dia Seco (precipitação em mm)						Dia Chuvoso (precipitação em mm)					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
Jan	21	24	26	26	27	27	10	7	5	5	4	4
Fev	18	22	24	25	25	26	10	6	4	3	3	2
Mar	17	20	22	23	24	25	14	11	9	8	7	6
Abr	11	13	17	19	20	21	19	17	13	11	10	9
Mai	9	13	16	18	19	20	22	18	15	13	12	11
Jun	5	10	12	14	16	17	25	20	18	16	14	13
Jul	5	8	11	13	16	18	26	23	20	18	15	13
Ago	7	13	16	19	21	23	24	18	15	12	10	8
Set	13	18	21	23	24	25	17	12	9	7	6	5
Out	20	24	26	26	27	28	11	7	5	5	4	3
Nov	21	25	26	27	27	28	9	5	4	3	3	2
Dez	23	26	27	28	28	29	8	5	4	3	3	2

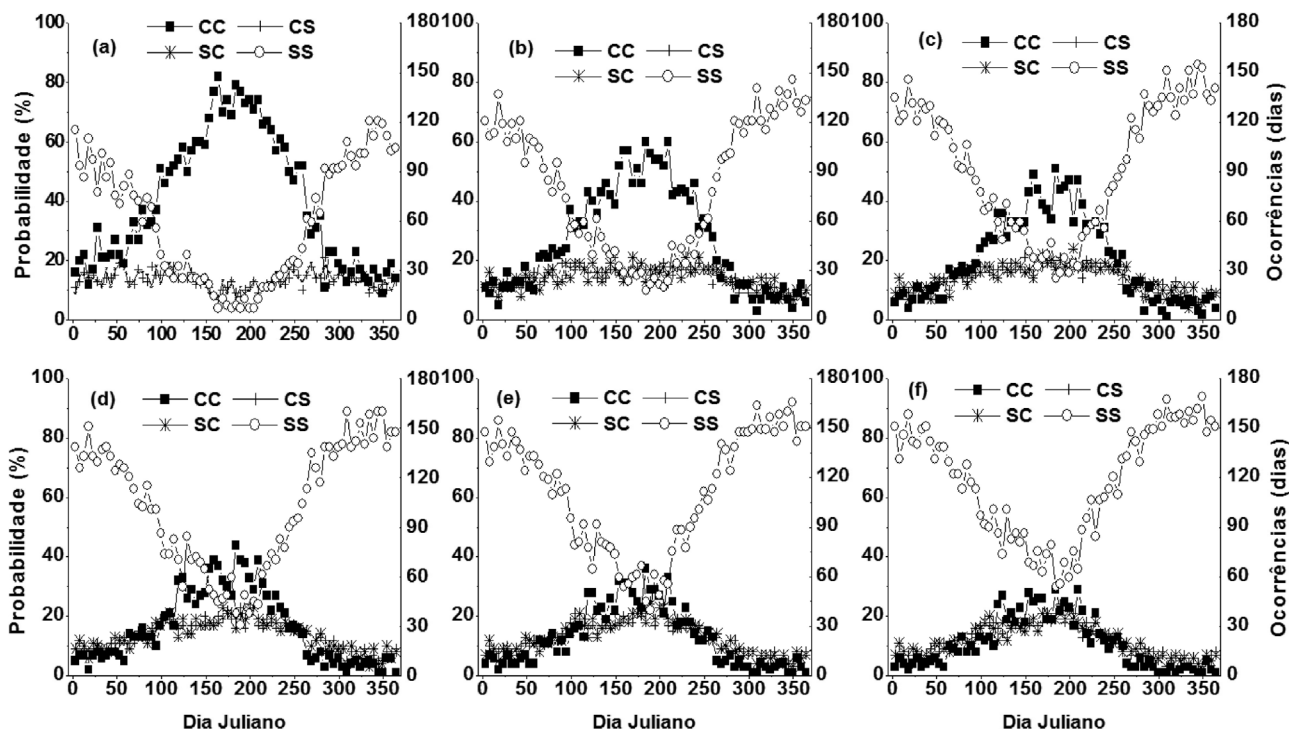


Figura 2 - Probabilidade e total de ocorrência condicional de dias secos (SS e SC) e chuvosos (CC e CS) no período de 1973 – 2008, Rio Largo – AL, para os limites de precipitação de 0 mm (a), 1 mm (b), 2 mm (c), 3 mm (d), 4 mm (e) e 5 mm (f).

Ao analisar a ocorrência condicional observou-se que houve maior frequência de ocorrência de dias secos (SS) e chuvosos (CC) consecutivos, o que indicou que a transição entre os eventos de seca e chuva foi baixa (Tabela 2). Na estação seca, novembro e dezembro foram os meses com maior ocorrência de dias secos, com aproximadamente 20 a 27 dias (SS) e 2 a 3 dias (SC) e apenas 1 a 4 (CC) e 2 a 4

(CS) dias chuvosos, quando considerado a precipitação de 0 a 5 mm. Na estação chuvosa, junho e julho foram os meses com maior ocorrência de dias chuvosos, com aproximadamente 8 a 23 dias (CC) e 3 a 6 dias (CS) e apenas 2 a 11 (SS) e 3 a 6 (SC) dias secos.

A distribuição anual da quantidade média de precipitação (Fig. 3) mostrou-se variável. A média diária foi maior

Tabela 2 - Média mensal da ocorrência condicional de dias secos e chuvosos para o período de 1973-2008, Rio Largo - AL, para os valores limites de precipitação de 0 a 5 mm de precipitação.

Mês	0 mm				1 mm				2 mm				3 mm				4 mm				5 mm			
	CC	CS	SC	SS	CC	CS	SC	SS	CC	CS	SC	SS	CC	CS	SC	SS	CC	CS	SC	SS	CC	CS	SC	SS
Jan	6	4	4	17	3	4	4	21	2	3	3	23	2	3	3	24	1	3	3	24	1	2	2	25
Fev	6	4	4	14	3	3	4	18	2	3	3	20	2	3	2	21	1	3	2	22	1	2	2	23
Mar	9	4	4	13	7	4	4	16	5	4	4	18	4	4	4	19	3	4	3	21	3	4	3	21
Abr	15	5	5	6	10	5	5	10	8	5	5	12	6	5	5	14	5	5	5	15	4	5	5	16
Mai	18	4	4	5	13	5	5	8	11	5	5	10	9	5	5	12	7	5	5	14	6	5	5	15
Jun	22	3	3	2	15	5	5	5	12	6	6	7	10	6	6	8	8	6	6	10	7	5	6	12
Jul	23	3	3	2	18	5	5	4	14	6	6	5	12	6	6	7	10	6	6	9	8	6	6	11
Ago	20	3	4	4	13	5	5	8	10	5	5	11	7	5	5	14	5	5	5	16	4	4	4	19
Set	12	4	5	9	7	5	5	13	5	4	4	17	3	4	4	19	3	3	4	20	2	3	3	22
Out	6	5	5	15	3	4	4	20	2	3	3	22	2	3	3	23	1	3	3	25	1	2	2	26
Nov	5	4	4	17	2	3	3	21	2	3	3	23	1	2	2	25	1	2	2	26	1	2	2	26
Dez	4	4	3	20	2	3	3	23	2	2	2	25	1	2	2	26	1	2	2	27	1	2	2	27

CC = Chuvoso-Chuvoso; CS = Chuvoso-Seco; SC = Seco-Chuvoso; SS = Seco-Seco.

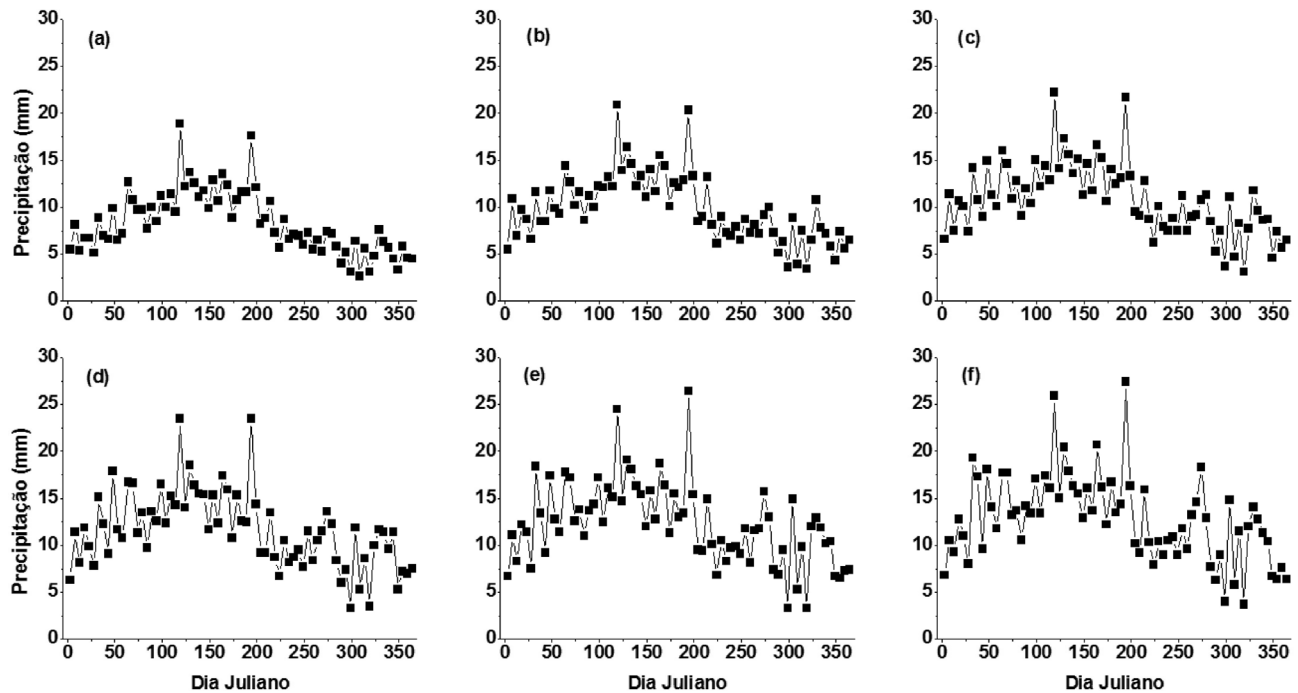


Figura 3 - Média diária de precipitação (mm) no período de 1973 – 2008, Rio Largo – AL, para os limites de precipitação de 0 mm (a), 1 mm (b), 2 mm (c), 3 mm (d), 4 mm (e) e 5 mm (f).

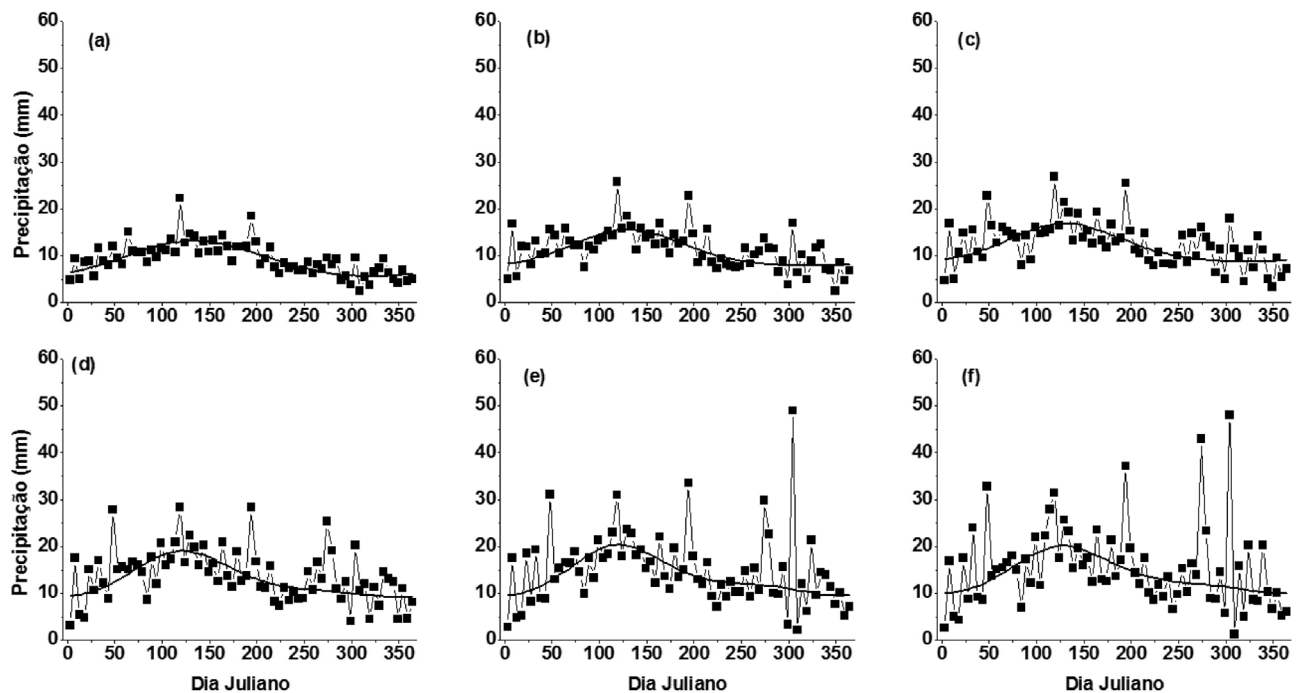


Figura 4 - Média observada (linha + símbolo) e ajustada (linha) de precipitação (mm) em ocorrências condicionais de dias CC no período de 1973 – 2008, Rio Largo – AL, para os limites de precipitação de 0 mm (a), 1 mm (b), 2 mm (c), 3 mm (d), 4 mm (e) e 5 mm (f).

em meses nos quais foram observadas maiores ocorrências de dias chuvosos consecutivos (abril – agosto). Nesses meses os valores médios de precipitação variaram de 5 a 27 mm, para os limites de 0 a 5 mm. Os dias 28 de abril e 12 de julho merecem destaque especial, pois

apresentaram valores médios de precipitação, variando de 19 a 27 mm e 18 a 28 mm, respectivamente. No período com maiores ocorrências de dias secos consecutivos, os valores médios tiveram variação de 3 a 20 mm entre 0 e 5 mm.

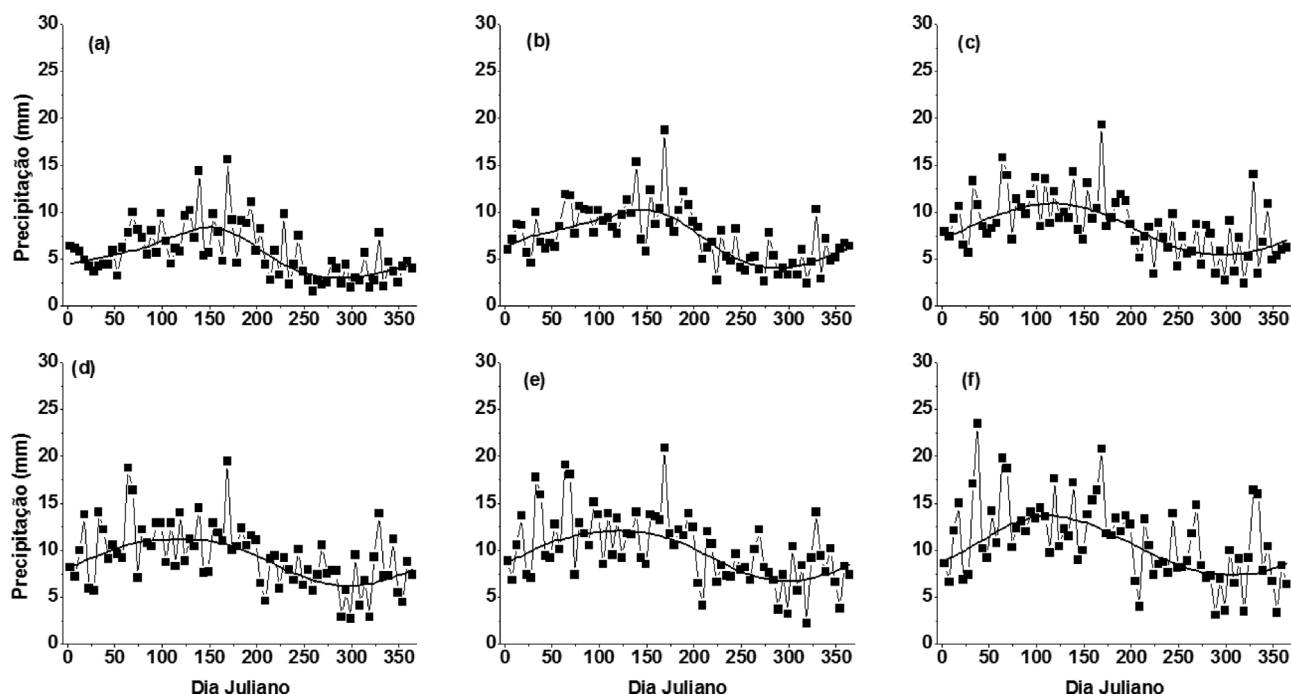


Figura 5 - Média observada (linha + símbolo) e ajustada (linha) de precipitação (mm) em ocorrências condicionais de dias CS no período de 1973 – 2008, Rio Largo – AL, para os limites de precipitação de 0 mm (a), 1 mm (b), 2 mm (c), 3 mm (d), 4 mm (e) e 5 mm (f).

As distribuições da quantidade média diária de precipitação do dia CC (Fig. 4) e CS (Fig. 5) indicaram que as maiores quantidades ocorreram em dias chuvosos consecutivos (CC). As médias diárias de precipitação variaram entre 3 e 47 mm durante o ano para dias CC e para os dias CS variaram de 2 a 24 mm (0 a 5 mm). A quantidade média de precipitação diária de um dia CC foi maior que a do dia chuvoso. Esses resultados mostraram que dias CC possuem quantidade média de precipitação diária maior do que dias CS. Entre abril e agosto, a quantidade média para a maioria dos dias ficou compreendida entre 10 e 20 mm (0 a 5 mm) para dias CC. E para dias CS a quantidade média de precipitação variou de 5 a 15 mm na maioria dos dias. Os dias 28 de abril e 12 de julho, que apresentaram alta quantidade média de precipitação para um dia chuvoso, também mostraram elevada quantidade média de precipitação para dias CC. Ficou claro que as ocorrências de dias CC aumentaram a quantidade média de precipitação na região. Entre setembro e março, a quantidade média de precipitação diária variou na maioria dos dias de 5 a 20 mm para dias CC entre 0 e 5 mm. E para dias CS a variação foi de 2 a 15 mm.

4. Conclusões

A região de Rio Largo-AL apresenta estações seca (setembro a março) e chuvosa (abril a agosto) definidas, sendo melhor representadas quando adotados valores limites de precipitação entre 0 e 2 mm. Os períodos com maior ocorrência de dias secos e chuvosos ocorreram em novembro e dezembro (até 94%) e junho e julho (até 84%), respectivamente. A transição entre dias secos e chuvosos ao

longo do ano é baixa, com mais ocorrências de períodos (secos e chuvosos) longos consecutivos. A Cadeia de Markov apresenta resultados satisfatórios como indicador de épocas com maiores chances de ocorrências de eventos extremos, baseados em séries climatológicas diárias de precipitação.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL).

Referências

- ANDRADE, A.R.S.; FREITAS, J.C.; BRITO, J.I.B.; GUERRA, H.O.C.; XAVIER, J.F. Aplicação da probabilidade condicional e do processo de cadeia de Markov na análise da ocorrência de períodos secos e chuvosos para o município de Garanhuns, PE, Brasil. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 4, n. 1, p. 169-182, 2009.
- ASSAD, E.D.; MASUTOMO, R.; SANO, E.E.; CASTRO, L.H.; SILVA, F.M. Veranico na região dos cerrados brasileiros: Frequência e probabilidade de ocorrência. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 28, n. 9, p. 993-1003, 1993.
- AZEVEDO, P.V.; LEITÃO, M.M.V.B.R. Aplicação de processos em cadeia de Markov às precipitações diárias no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 5, n. 1, p. 389-402, 1990.
- BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. 6.ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 657 p., 1995.

- BREINL, K.; TURKINGTON, T.; STOWASSER, M. Stochastic generation of multi-site daily precipitation for applications in risk management. **Journal of Hydrology**, v. 498, p. 23-35, 2013.
- CARDIM, A.H. Caracterização da estação de cultivo em Alagoas: análise temporal e espacial. Maceió, 2003. 120 p. **Dissertação de Mestrado em Meteorologia**, Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas.
- CARVALHO, A.L. Estação de cultivo baseada na precipitação pluvial diária e na ocorrência de períodos secos para a região de Rio Largo, Alagoas. Maceió, 2010, 79 p. **Dissertação de Mestrado em Meteorologia**, Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas.
- CARVALHO, A.L.; SOUZA, J.L.; LYRA, G.B.; PORFÍRIO, A.C.S. Ocorrência de períodos secos na Região de Rio Largo, Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 2, p. 173-180, 2013.
- FERREIRA, C.C.M. Estudo do comportamento do período chuvoso em Juiz de Fora-MG. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, v. 1, n. 5, p. 953-963, 2012.
- FERREIRA JUNIOR, R.A.; SOUZA, J.L.; ESCOBEDO, J.F.; TEODORO, I.; LYRA, G.B.; ARAÚJO NETO, R.A. Cana-de-açúcar com irrigação por gotejamento em dois espaçamentos entrelinhas de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 8, p. 798-804, 2014.
- FIETZ, C.R.; FRIZZONE, F.A.; FOLEGATTI, M.V. Probabilidade de ocorrência de períodos secos e chuvosos na região de Dourados, MS. **Irriga (Botucatu)**, Botucatu, v. 3, n. 1, p. 16-22, 1998.
- KELLER FILHO, T.; ZULLO JUNIOR, J.; LIMA, P.R.S.R. Análise da Transição entre Dias Secos e Chuvosos Usando Cadeias de Markov de Terceira Ordem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 9, p. 1341-1349, 2006.
- KOUSKY, V.E. Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, United States of America, v. 108, n. 4, p. 488-498, 1980.
- LENNARTSSON, L.; BAXEVANI, A.; CHEN, D. Modelling precipitation in Sweden using multiple step markov chains and a composite model. **Journal of Hydrology**, v. 363, p. 42-59, 2008.
- LYRA, G.B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; ZERI, M. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 34, 2014.
- MARCELINO, A.S.; ARAÚJO, L.E.; ANDRADE, E.C.A.; ALVES, A.S. Avaliação temporal da climatologia do litoral norte da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 3, p. 467-472, 2012.
- MOLION, L.C.B.; BERNARDO, S.O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.
- MOURA, I.J.M.; SANTOS, D.F.; PINHEIRO, F.G.M.; OLIVEIRA, C.J.O. Caracterização dos períodos seco e chuvoso da cidade de Fortaleza (CE). **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37, p. 3-7, 2015.
- MOUSINHO, F.E.P.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; Gonçalves, A.A.C.; Frizzone, J.A. Variabilidade espacial dos percentis 75 da precipitação pluvial anual para o Estado do Piauí. **Irriga (Botucatu)**, Botucatu, v. 11, n. 2, p. 178-187, 2006.
- NIEUWOLT, S. Estimating the agricultural risks of tropical rainfall. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 45, p. 251-263, 1989.
- SILVA, M.A.V.; FERREIRA, W.P.M.; ANDRADE, V.M.S.; ARAUJO, S.G.A. Época de semeadura do milho para a região de Sete Lagoas, MG, baseada na probabilidade de ocorrência de períodos secos e chuvosos. **Revista Ceres**, v. 57, n. 4, 2010.
- SOUZA, J.L.; MOURA FILHO, G.; LYRA, R.F.F.; TEODORO, I.; SANTOS, E.A.; SILVA, J. L.; SILVA, P.R.T.; CARDIM, A.H.; AMORIN, E.C. Análise da Precipitação Pluvial e Temperatura do Ar na Região do Tabuleiro Costeiro de Maceió, AL. Período 1972 – 2001. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 12, n. 1, p. 131-141, 2004.
- SOUZA, J.L.; NICÁCIO, R.M.; MOURA, M.A.L. Global solar radiation measurements in Maceió, Brazil. **Renewable Energy**, v. 30, n. 8, p. 1203-1220, 2005.
- STERN, R.D.; RIJKS, D.; DALE, I.; KNOCK, J. **Instat Climatic Guide**. 322 p., 2006.
- STERN, R.D.; DENNETT, M.D.; DALE, I.C. Analysing rainfall measurements to give agronomically useful results. I. Direct Methods. **Experimental Agriculture**, v. 18, p. 223-236, 1982a.
- STERN, R.D.; DENNETT, M.D.; DALE, I.C. Analysing rainfall measurements to give agronomically useful results. II. Modelling approach. **Experimental Agriculture**, v. 18, p. 237-253, 1982b.
- VASCONCELLOS, S.L.B.; BOUHID, R.G.A.; PERECIN, D. Probabilidade de ocorrência de dias secos para a região de Jaboticabal-SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 2, p. 321-325, 2003.
- VIANA, T.V.A.; AZEVEDO, B.M.; BOMFIM, G.V.; ANDRADE JUNIOR, A.S. Probabilidade de ocorrência de períodos secos e chuvosos, em Pentecoste, CE. **Irriga (Botucatu)**, Botucatu, v. 7, n. 3, p. 226-229, 2002.
- THOM, H.C.S. A note on the gama distribution. **Monthly Weather Review**, Washington, v. 86, p. 117-22, 1958.
- WANDERLEY, H.S.; CARVALHO, A.L.; FERNANDES, R.C.; SOUZA, J.L. Determinação da Mudança no Regime Temporal da Temperatura do ar e Precipitação Pluviométrica na região de Rio Largo, Alagoas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, p. 662-667, 2014.
- XAVIER, R.A.; DORNELLAS, P.C. Análise do comportamento das chuvas no município de Arapiraca. **Geografia**, Londrina, v. 14, n. 2, p. 49-64, 2005.