



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 (doi:10.4136/ambi-agua.81)

Antonio Ricardo Santos de Andrade¹; Joherlan Campos de Freitas²; José Ivaldo Barbosa de Brito³; Hugo Orlando Carvalho Guerra⁴; Josilda de França Xavier⁵

¹Unidade Acadêmica de Garanhuns - UAG, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE
E-mail: arsauag@uag.urfrpe.br

^{2,3}Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas - UACA, Universidade Federal de Campina Grande
E-mail: joherlancampos@yahoo.com.br, ivaldo@dca.ufcg.edu.br

^{4,5}Departamento Engenharia Agrícola - DEAg, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG
E-mail: hugo_carvalho@hotmail.com, josildaf@yahoo.com.br

RESUMO

A agricultura apresenta grande dependência das condições climáticas, notadamente da precipitação pluviométrica da região. Por isso, faz-se necessário o estudo das probabilidades de ocorrência das chuvas no município de Garanhuns/PE devido a sua enorme irregularidade, de modo a apresentar subsídios, permitindo que o agricultor tome decisões mais confiáveis das atividades agrícolas. Dessa forma, os objetivos deste trabalho foram estimar a precipitação mensal provável com diferentes níveis de probabilidade e determinar as probabilidades de ocorrências de períodos secos e chuvosos para o município de Garanhuns, PE. Para o cálculo das probabilidades condicionais, utilizou-se o método da cadeia de Markov, admitindo-se a hipótese de que as ocorrências de dias secos e chuvosos são condicionalmente dependentes da sequência dos dias secos e chuvosos anteriores. Utilizaram-se dados de precipitação pluviométrica mensal da série de dados compreendida entre 1913 e 1987. Os critérios discriminantes para identificar períodos secos e chuvosos, baseiam-se em quatro classes de chuvas acumuladas mensais: (S) mês seco, de 0 a 50 mm; (PC) mês pouco chuvoso, de 50 a 100 mm; (C) mês chuvoso, de 100 a 200 mm e (BC) mês bastante chuvoso, acima de 200 mm. Dessa forma, foram analisadas as médias mensais de cada mês dentro das classes de chuvas com a finalidade de estimar as porcentagens de ocorrência provável pelo método proposto por Robertson (1976). Foi utilizada distribuição de probabilidade gama para estimativa da precipitação mensal provável, em níveis de 90, 80, 75, 70, 60, 50, 40 e 30% de probabilidade. Para avaliar o ajuste dos dados estimados aos observados, utilizou o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov. Concluiu-se que a distribuição Gama apresentou bom ajuste ao nível de 1% de significância com relação aos valores observados, possibilitando sua utilização para estimativas de precipitação pluvial provável mensal em diferentes níveis de probabilidade. Ficou caracterizada a estação chuvosa como sendo o período compreendido entre os meses de maio e agosto, e o período seco, aquele entre os meses de outubro e dezembro. As menores precipitações prováveis, abaixo de 50 mm mês⁻¹ são registradas nos meses de outubro, novembro e dezembro, quando se deve empregar a irrigação na produção agrícola, recomendando-se ainda a utilização de espécies e cultivares de ciclo curto para semeaduras em outubro e de ciclo longo para abril, a fim de se reduzirem os riscos de prejuízos na colheita.

Palavras-chave: chuva; modelos probabilísticos; distribuição Gama; cadeia de Markov.

Application of conditional probability and the Markov chain process in the analysis occurrence of dry and rainy periods in Garanhuns, Pernambuco, Brazil

ABSTRACT

Agriculture presents dependence on the climatic conditions, especially on precipitation. This way, it is necessary to study the probabilities of occurrence of rain in Garanhuns municipality, Pernambuco State, especially due to its irregularity, to support farmer's decisions about agriculture activities. The objectives of this study were to forecast monthly rainfall at different significance levels and to determine the probabilities of occurrence of dry and rainy periods for Garanhuns region, state of Pernambuco, Brazil. Monthly rainfall data from 1913 to 1987 were analyzed. The criteria to identify dry and rainy periods were based on four classes of monthly rainfall: (S) dry month, from 0 to 50 mm; (PC) low rain month, from 50 to 100 mm; (C) rainy month, from 100 to 200 mm and (BC) very rainy month, above 200 mm. Thus, the monthly averages were analyzed according to the four classes of rains to estimate the probable occurrence of rain following Robertson (1976). The Gamma probability distribution was also used to forecast monthly precipitation, at the following levels: 90, 80, 75, 70, 60, 50, 40 and 30% of probability. The Gamma distribution adjusted well to the data of Garanhuns region, making possible the estimation of the probable rainfall amounts for each month of the year, at different levels of probability. Rainy season was the period between May and August, and the dry one between October and December. The lowest probable monthly rainfalls, below 50 mm, were observed between October and December, when irrigation is required for food production, being recommended to plant annual crops and cultivars of short cycle to be sowing in October, and of long cycle to be sowing in April, in order to reduce the risks of damage.

Keywords: rainfall occurrence; probabilistic models; Gamma distribution; Markov chain.

1. INTRODUÇÃO

Situado no Agreste Meridional do Estado, o município de Garanhuns é um das mais importantes do estado de Pernambuco. Tem como principal atividade econômica a agropecuária que é fortemente influenciada pela ocorrência de períodos secos e chuvosos, fenômenos que muitas vezes causam sérios prejuízos à agricultura. Previsões precisas sobre a ocorrência de períodos secos e chuvosos, principalmente de longo prazo, são ainda inviáveis. Por esse motivo, estimativas probabilísticas desses fenômenos têm grande utilidade, pois possibilitam que muitas atividades agrícolas, tais como o plantio, aplicação de adubos e defensivos, a utilização de máquinas agrícolas, a semeadura e colheita, etc, possam ser realizadas em épocas mais favoráveis, reduzindo assim os riscos de perda na produção agrícola. Além disso, o conhecimento dos aspectos fundamentais dos cálculos da precipitação provável do período é uma necessidade essencial para o dimensionamento de barragens, de abastecimento de água, para o planejamento agrícola e para o dimensionamento de sistema de irrigação (Bernardo, 1995, Araújo et al., 2001).

No Brasil, principalmente para região Nordeste, a quase totalidade dos projetos de irrigação e drenagem visa a suprir todas as necessidades hídricas da cultura, sem observar a contribuição da precipitação do período. A precipitação provável do período é o elemento meteorológico determinante para a agricultura na região de Garanhuns, entretanto a

quantidade de chuva e a sua distribuição, em certa localidade, podem determinar o tipo de atividade agrícola a ser desenvolvida e os níveis de produtividade a serem alcançados.

Admitindo-se que a ocorrência de dias secos ou chuvosos está associada com as condições pluviométricas anteriores, podem-se utilizar as distribuições ajustadas para estimar as probabilidades de chuva para cada mês, comparando-as aos valores observados (Keller Filho et al., 2006). Vários modelos de distribuição teóricas de probabilidade têm sido utilizados para a estimativa da precipitação provável para diferentes períodos de ocorrência. Dentre esses modelos, destacam-se a distribuição Normal (Frizzone, 1979; Assis et al., 1996; Andrade Júnior e Bastos, 1997), distribuição Gama (Castro Neto e Silveira, 1983; Rodrigues e Pruski, 1996, Ribeiro e Lunardi, 1997; Andrade Júnior e Bastos, 1997) e distribuição de Gumbel (Assis et al., 1996). Os autores recomendam o uso de funções probabilísticas, fazendo-se, posteriormente, a verificação do ajuste por meio de testes de aderência, por exemplo, o de Kolmogorov-Smirnov (2009).

Segundo Cunha et al. (1996), um modelo que vem sendo bastante citado para estimativa da precipitação pluvial provável mensal em diferentes níveis de probabilidade é o da distribuição Gama. Seu uso se atém ao fato de que as precipitações, sob o ponto de vista estatístico, não são distribuídas uniformemente em torno do valor médio, mas sim, de maneira irregular, com grande desvio em relação a esse valor médio (Krepper et al., 1989).

Utilizando dados de 30 anos (1949 –1978), Frizzone (1979) estimou a precipitação provável para a região de Viçosa/MG, em períodos de 5, 10, 15 e 30 dias, utilizando cinco modelos para cálculos de distribuição de frequência. Os resultados mostraram que a distribuição Gama incompleta pode ser usada para se estudar a distribuição das precipitações em períodos de 5 a 30 dias na referida região.

Segundo Castro et al. (1994), o uso da precipitação média no dimensionamento de projetos agrícolas têm-se constituído em risco para os produtores, porque valores médios de precipitação, em geral, apresentaram menos de 50% de probabilidade de ocorrência. De acordo com Bernardo (1995), para a minimização dos riscos, não se deve trabalhar com probabilidades de ocorrência de chuva inferiores a 75 ou 80%. Entretanto, esses valores podem ser variáveis adotando-se um critério econômico, cujo nível de probabilidade esteja associando à redução na qualidade e quantidade de produção, decorrentes da deficiência hídrica pela falta de chuva, durante determinado período (Jensen, 1983).

Assis (1991) elaborou modelos teóricos para descrever a quantidade de chuvas diárias em Pelotas, RS, com base na distribuição binomial negativa truncada e na distribuição de probabilidade Gama. Ao analisar os totais semanais de chuva de Pelotas, correspondentes ao período de 1893 a 1991, concluiu que as chuvas podem ser adequadamente representadas pela função de distribuição de probabilidade gama.

Considerando a influência que as condições climáticas exercem em muitas atividades agrícolas, realizou-se este trabalho, cujo objetivo foi determinar a probabilidade de ocorrência de períodos secos (S) e chuvosos (C) para o município de Garanhuns/PE, considerando-se mês seco, de 0 a 50 mm; mês pouco chuvoso, de 50 a 100 mm; mês chuvoso, de 100 a 200 mm e mês bastante chuvoso, acima de 200 mm.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local do estudo e dados pluviométricos

Os dados utilizados foram obtidos juntos aos registros pluviométricos diários da estação Agrometeorológica do Departamento de Agronomia (DEPA), UFRPE, Campus Dois Irmãos, no município de Garanhuns, PE, para um período de 75 anos (1913-1987).

A área geográfica de Pernambuco oferece, do litoral ao sertão, uma sucessão de paisagens diferentes, marcadas por uma intensa diversificação de formas de uso do solo, grande variabilidade climática e estão divididas em 5 Mesorregiões e 19 Microrregiões geográficas (IBGE), conforme as Figuras 1 e 2. Cada Microrregião é constituída por municípios, perfazendo o Estado, que atualmente possui 185 unidades político-administrativas, juntamente com o Arquipélago de Fernando de Noronha (Andrade, 1999). O município de Garanhuns está localizado na porção sudoeste da região do Agreste Meridional de Pernambuco.

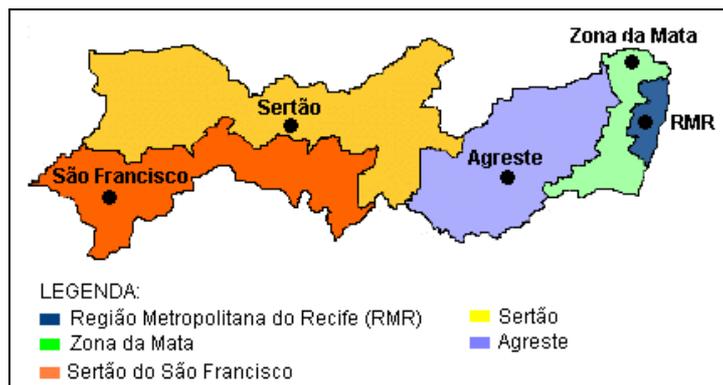


Figura 1. Mapa com a identificação das Mesorregiões geográficas em Pernambuco.
Fonte: Andrade (1999).

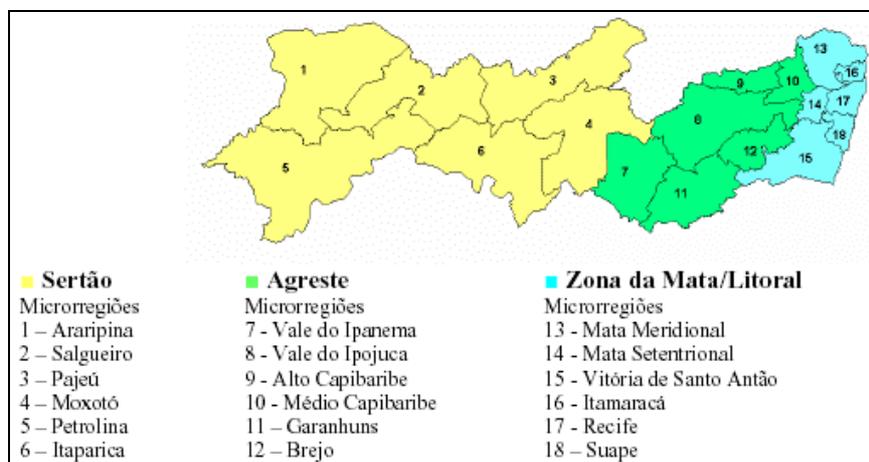


Figura 2. Mapa com a identificação das Microrregiões geográficas em Pernambuco.
Fonte: Andrade (1999).

O município de Garanhuns situa-se ao Sul da Chapada da Borborema, na mesorregião do Agreste pernambucano, a uma altitude média de 896 m, chegando a 1.030 m de altitude no seu ponto mais elevado, usufruindo assim, de um clima menos árido do que o que predomina no interior do Estado e na região ocidental do município. Por estar localizado também em uma região de maior altitude, beneficia-se de temperaturas mais amenas e de uma ótima ventilação, o que proporciona um clima agradável em todos os meses do ano. A temperatura média anual oscila em torno dos 20°C, podendo atingir 30°C nos dias mais quentes 15°C nas

noites mais frias do ano. A umidade relativa média do ar, na área urbana, varia entre 75 e 83%.

Segundo Almeida et al. (2004), o Agreste, região intermediária entre a Zona da Mata e o Sertão, apresenta semelhança climática tanto com o clima úmido (Mata), como com o clima seco (Sertão). As precipitações pluviométricas são menos concentradas do que no Sertão. Para a faixa mais ocidental do Agreste, nota-se que as contribuições dos sistemas de leste, são muito menos importantes do que as da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Dessa forma, o Agreste apresenta, nas áreas mais próximas do Sertão, período que vai de maio a junho.

2.2. Análise dos dados

A estimativa de precipitação pluviométrica mensal provável foi obtida para os níveis de 90, 80, 75, 70, 60, 50,40 e 30% de probabilidade, utilizando-se a função de distribuição Gama, conforme apresentado por Assis et al. (1996). A distribuição de probabilidade Gama é a mais utilizada para ajustar totais de chuva de períodos mensais ou menores. Sua função densidade de probabilidade apresenta a seguinte forma:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, & 0 < x < \infty \\ 0, & -\infty < x \leq 0 \end{cases}$$

$\Gamma(\alpha)$ é a função Gama, importante em muitas áreas da matemática, dada por:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{\alpha-1} dx, \alpha > 0$$

Os parâmetros α e β da distribuição Gama para uma dada variável aleatória foram estimados pelo método da máxima verossimilhança (Assis et al., 1996):

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right)$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\alpha}$$

$$A = \ln \bar{X} - X_g$$

sendo \bar{X} e \bar{X}_g respectivamente, a média aritmética e a média geométrica das observações em escala de tempo mensal.

Cunha et al. (1996) sugerem que duas situações distintas podem ocorrer, quando se utiliza a distribuição Gama, a primeira é quando a série de dados não contém valores nulos; nesse caso, a estimativa da frequência de ocorrência é obtida por meio da distribuição cumulativa Gama, sendo possível a estimativa dos parâmetros da distribuição (α e β) pelo método da máxima verossimilhança. A segunda, quando a série contém valores nulos, caso

que pode ser contornado com a utilização da distribuição cumulativa Gama mista, a qual é determinada em duas partes, da seguinte forma (Assis et al., 1996):

$$F(X) = P_0 + (1 - P_0) G(X)$$

sendo:

$$P_0 = \frac{N_0}{(N+1)}$$

em que P_0 é a probabilidade de ocorrências de valores nulos (zero), $G(X)$ corresponde a distribuição acumulada Gama e N_0 é o número de valores nulos da série.

Para as estimativas dos valores de precipitação provável, utilizou-se o programa SISVAR 4.3, o qual retorna o inverso da distribuição acumulada Gama a partir dos valores da média (μ), desvio-padrão (σ), α , β e dos níveis de probabilidade de 90, 80, 75, 70, 60, 50,40 e 30%.

Foram criadas quatro classes de chuvas acumuladas mensais. O critério de escolha dessas quatro classes foi o de encontrar um intervalo o mais curto quanto possível, dentro do qual as probabilidades não apresentem grandes discrepâncias, a fim de se obter adequado grau de precisão nas estimativas das probabilidades de ocorrência de períodos secos (S) e chuvosos (C). Considerou-se como mês seco, de 0 a 50 mm; mês pouco chuvoso, de 50 a 100 mm; mês chuvoso, de 100 a 200 mm e mês bastante chuvoso, acima de 200 mm. Dessa forma, foram analisados os totais de cada mês dentro das duas classes de chuvas acumuladas, anteriormente apresentada, e verificou-se a porcentagem de ocorrência. As probabilidades (P) de ocorrerem períodos secos (S), pouco chuvosos (PC), chuvoso (C), bastante chuvoso (BC) e as probabilidades condicionais dias secos dado que o dia anterior também foi seco (S/S) e dias chuvosos dado que o dia anterior foi chuvoso (C/C), foram calculadas por meio da cadeia de Markov, utilizando a frequência de dias secos (FS), dias pouco chuvoso (FPC), de chuvosos (FC), de dias bastante chuvosos (FBC), dias secos precedidos de dias secos (FSS) e chuvosos precedidos de dias chuvosos (FCC), conforme equações propostas por Robertson (1976) e Fietz et al. (1998):

$$P(S) = \frac{FS}{(FS + FC + FPC + FBC)}$$

$$P(PC) = \frac{FPC}{(FPC + FS + FC + FBC)}$$

$$P(C) = 1 - P(S)$$

$$P(BC) = \frac{FBC}{(FBC + FS + FC + FPC)}$$

$$P(S/S) = \frac{FSS}{FS}$$

$$P(C/C) = \frac{FCC}{FC}$$

As probabilidades de ocorrência de períodos consecutivos secos (P(S,S,S...n)) e chuvosos (P(C,C,C...n)) foram determinadas pelas seguintes expressões (Robertson, 1976):

$$P(S,S,S...n) = P(S).P(S/S)^{n-1}.100$$

$$P(C,C,C...n) = P(C).P(C/C)^{n-1}.100$$

em que n é número de dias consecutivos de dias secos e/ou chuvosos do período.

Para avaliar o ajuste dos dados de precipitação observados com os estimados pela distribuição de probabilidade teórica Gama, aplicou-se o teste de aderência Kolmogorov-Smirnov (KS) no nível de significância de 1%, de forma a verificar se os valores amostrais da precipitação mensal observadas podem ser considerados como provenientes de uma população com aquela distribuição teórica gama (Campos, 1979).

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

De acordo com a série de dados de chuva, observou-se, para Garanhuns, PE, que a precipitação total foi de 769,2 mm, sendo o mês de junho de 1951 o mais chuvoso, com 349,8 mm, e o mês de novembro de 1970 o menos chuvoso, com precipitação 0,1 mm. Os coeficientes de variação das médias mensais e o desvio-padrão foram elevados, evidenciando-se a grande variabilidade da precipitação, e as variações menores ocorreram entre os meses de outubro e dezembro, e as maiores, entre os meses de maio e agosto que correspondem ao período mais seco e mais chuvoso, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. Médias mensais, desvio-padrão, coeficiente de variação (CV) e valores extremos mensais de precipitação pluviométrica e anos de ocorrência, em Garanhuns, PE para o período de 1913 a 1987.

Mês	Média (mm)	DP (mm)	CV (%)	Máximo (mm)	Ano Ocorrido	Mínimo (mm)	Ano Ocorrido
Jan.	38,14	44,34	86,03	289,5	1914	1,3	1976
Fev.	46,46	45,70	101,67	203,9	1924	1,3	1924
Mar.	76,96	65,97	116,66	289,0	1941	1,2	1913
Abr.	81,14	66,72	121,60	287,8	1920	2,7	1926
Mai.	109,29	69,27	157,76	317,9	1945	16,9	1985
Jun.	124,66	61,49	202,72	349,8	1951	32,6	1939
Jul.	117,43	54,27	216,39	282,2	1919	34,3	1933
Ago.	74,81	47,59	157,22	222,3	1914	11,1	1927
Set.	36,69	27,44	133,70	97,4	1918	23,3	1937
Out.	20,51	35,79	57,31	211,9	1965	0,5	1970
Nov.	19,70	36,29	54,29	190,8	1947	0,1	1970
Dez.	23,43	32,77	71,50	154,9	1915	0,2	1971
Período			102,32	349,8	1951	0,1	1970
Total	769.22						

DP = desvio-padrão; CV = coeficiente de variação.

Na Figura 3, são apresentados os valores médios mensais da precipitação pluviométrica no município de Garanhuns. Analisando-se a Figura 3, observa-se que o município tem um regime de chuvas unimodal, com o período menos chuvoso concentrado nos meses de outono,

novembro e dezembro, confirmando a dinâmica regional. A distribuição das chuvas na região do Agreste pernambucano e de estados circunvizinhos está relacionada aos sistemas meteorológicos tipicamente nordestinos, que estão associados às oscilações da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), da Zona de Convergência do Atlântico sul (ZCAS), dos Vórtices Ciclônicos em Ar Superior (VCAS). Aos distúrbios de leste e às brisas (marítimas e terrestres), os quais são responsáveis pelas modificações do regime pluviométrico no Nordeste Brasileiro (NEB). Maiores informações a respeito da atuação dos sistemas no NEB podem ser encontradas em Molion e Bernardo (2002).

De acordo com Vasconcelos e Pinto (2004), para o Agreste Meridional mais próximo da Zona da Mata, o caso de Garanhuns, as contribuições dos sistemas de leste são muito mais importantes do que as da ZCIT, com o mês mais chuvoso se deslocando para junho.

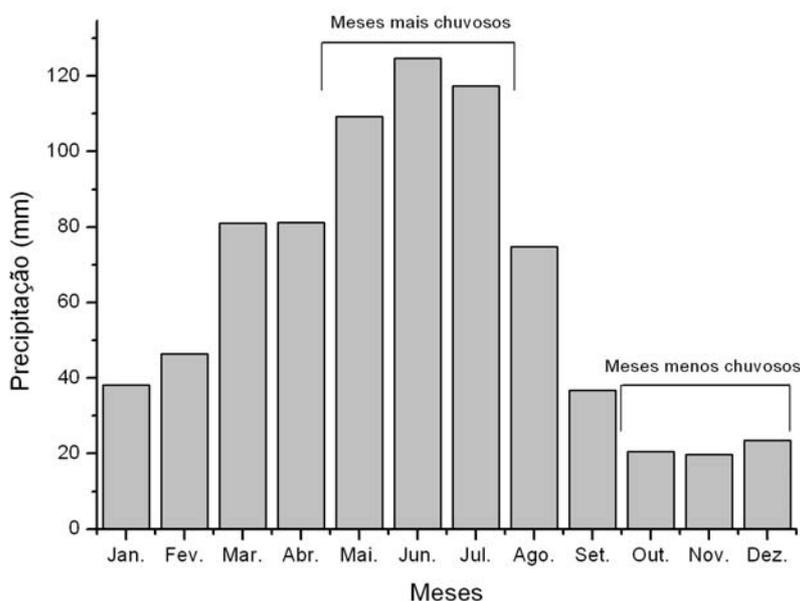


Figura 3. Histograma da distribuição mensal da precipitação pluviométrica média no município de Garanhuns, PE, para o período de 1913 a 1987.

Observa-se ainda pela Figura 3 que os maiores valores de precipitação ocorrem em maio, junho e julho, principalmente no mês de julho. Estudando a variação das chuvas no município de Arapiraca/AL, Xavier e Dornellas (2005) observaram característica semelhante em relação ao período chuvoso, concluindo que a maior parte de suas chuvas se precipita em apenas 3 meses (geralmente, maio, junho e julho). Em 51% dos anos da série, as chuvas dos três meses mais chuvosos representaram mais de 60% do total anual. E, em 85% dos anos, os três meses mais chuvosos concentraram mais de 50% do total precipitado no ano. Pode-se observar também que outubro, novembro e dezembro são os meses com os menores índices pluviométricos. Essa redução pluviométrica provavelmente está associada às oscilações dos distúrbios de leste - agrupamentos de nuvens que se movem no Atlântico, de leste para oeste, até atingirem a costa oriental da região Nordeste, durante o período de maio a agosto que são os maiores responsáveis pelas modificações do regime pluviométrico na região do Agreste Meridional de Pernambuco

A Tabela 2 apresenta os parâmetros (α e β) da distribuição Gama e as estimativas das precipitações prováveis mensais em diferentes níveis de probabilidades, as quais são ferramentas úteis para uma possível programação de irrigação suplementar, se necessário.

Para fins agrícolas, a precipitação pluvial média de uma determinada localidade não é um parâmetro adequado que deva ser utilizado, uma vez que a probabilidade de sua ocorrência com valor igual ou superior à média situa-se em torno de 30%, o que é considerado baixo (Castro Neto e Silveira, 1981). Segundo Bernardo (1995), o nível de 50 a 70% de probabilidade de ocorrência de chuva é o mais confiável para dimensionamento de projetos agrícolas ou de irrigação. Medina e Leite (1984) recomendam que para minimizar os riscos no planejamento de uma agricultura racional não se devem usar probabilidades de ocorrência de chuva inferior a 50%.

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros da distribuição Gama (α, β), da precipitação média mensal (mm) e precipitação mensal média provável (mm) para diversos níveis de probabilidade e nos diferentes meses do ano em Garanhuns, PE, com base na série histórica de 1913 a 1987.

Mês	α	β	Média (mm)	Nível de probabilidade P($X \geq xi$)							
				90	80	75	70	60	50	40	30
Jan.	2,08	21,62	38,14	86,70	67,05	60,42	54,84	45,64	38,04	31,34	25,12
Fev.	1,99	28,43	46,46	110,29	84,87	76,31	69,12	57,28	47,52	38,96	31,05
Mar.	1,97	40,81	76,96	156,82	120,50	108,27	98,00	81,12	67,21	55,02	43,77
Abr.	1,62	57,23	81,14	189,54	142,16	126,39	113,24	91,83	74,44	59,45	45,88
Mai.	3,19	54,88	109,29	228,58	177,77	160,57	146,08	122,15	102,28	84,73	68,38
Jun.	3,87	34,48	124,66	224,23	184,56	170,78	158,99	139,07	122,03	106,45	91,35
Jul.	3,38	36,95	117,43	216,14	175,77	161,82	149,92	129,93	112,92	97,48	82,63
Ago.	2,38	33,73	74,81	150,04	117,80	106,83	97,58	82,22	69,41	58,03	47,34
Set.	2,62	11,52	36,69	71,04	58,13	53,65	49,83	43,39	37,90	32,89	28,05
Out.	2,71	13,28	20,51	65,31	51,98	47,42	43,55	37,10	31,68	26,82	22,22
Nov.	2,54	9,61	19,70	58,23	47,55	43,86	40,70	35,39	30,86	26,73	22,76
Dez.	2,70	12,10	23,43	64,45	51,82	47,48	43,79	37,61	32,39	27,68	23,18
Per.	1,63	44,93	64,10	149,88	112,55	100,12	89,75	72,86	59,13	47,28	36,55

Confrontando os valores de precipitações médias mensais observadas, com o nível de probabilidade geralmente recomendado quando se estuda a precipitação provável na maioria dos municípios da região do Agreste pernambucano, e porção sudoeste da região Agreste dos estados de Alagoas e Paraíba, os valores encontrados para a probabilidade de ocorrência de valores médios de precipitação pluvial mensal, ocorreram próximos ao nível de 60% de probabilidade. Esse fato é atribuído à assimetria positiva apresentada pelas precipitações nos períodos estudados, realçando a boa aderência dos dados à distribuição Gama, isto é, ocorreram altas frequências esperadas no período seco (PC) com precipitação de 0 a 50 mm e pequenas frequências esperadas no período bastante chuvoso (BC), com valores de precipitações acima de 200 mm, ao longo dos anos em cada mês (Figura 2). Esse fato, também, foi verificado por Saad (1990) e Fietz et al. (1998), os quais sugerem que a utilização desses valores no planejamento de sistema de irrigação, mesmo que complementar, acarretará em subdimensionamento de equipamentos e instalações.

Na Tabela 2, observa-se, ainda, que os valores estimados do parâmetro α foram menores no período de meses secos (fevereiro, março e abril), e maiores nos meses mais chuvosos (maio, junho e julho), o que sugere que os maiores valores de α estão associados com maiores precipitações. Logo esse parâmetro poderia ser usado como um indicador de precipitação mensal da região. Assim, estimativas menores e iguais que 3, sugerem precipitações mensais menores e iguais que 100 mm, valores maiores que 3, precipitações superiores a 100 mm. Isso seria útil para uma possível programação de irrigação suplementar,

se necessário. Esses resultados estão de acordo com Botelho e Morais (1999), que afirmam que isso pode ser explicado pela pronunciada assimetria positiva nos períodos dos meses mais secos, visto que a assimetria é proporcional a α .

Os valores do parâmetro β não excederam o valor 100 em nenhum dos meses, possibilitando assim a utilização na distribuição Gama para o cálculo da estimativa das precipitações mensais prováveis para Garanhuns, PE. De acordo com Thom (1958), para valores superiores a 100 se utiliza a distribuição Gama incompleta. Pode-se verificar que os maiores valores β (30 a 60) ocorrem no período chuvoso. Esses resultados corroboram com aqueles encontrados por Murta et al. (2005), que encontraram valores menores do parâmetro β nos meses mais secos para duas localidades do sudoeste da Bahia.

Os valores da distribuição de frequências de ocorrências observadas e prováveis para as quatro classes de chuvas acumuladas mensais são apresentados na Figura 4. Verificou-se que a função de distribuição Gama, segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov, ajustou-se bem às quatro classes de chuvas acumuladas mensais estudada, (S) mês seco de 0 a 50 mm; (PC) mês pouco chuvoso de 50 a 100 mm; (C) mês chuvoso de 100 a 200 mm e (BC) mês bastante chuvoso acima de 200 mm a todo o período, a 1% de probabilidade (Figura 2). Também observou-se um decréscimo das frequências de ocorrências da precipitações mensais prováveis, estimadas pela distribuição Gama, no primeiro intervalo de 0 a 50 mm, quando comparado com valores observados, seguido de um aumento na estimativa da frequência de ocorrência prováveis no intervalo de 50 a 100 mm. Entretanto, para os dois últimos intervalos foram observadas diferenças pequenas entre os valores estimados e observados.

Nota-se, ainda, na Figura 4, que a quantidade do número de precipitações mensais superior a 200 mm (classe denominada bastante chuvosa - BC) em toda a série amostral de 75 anos, corresponde à menor frequência de ocorrência, totalizando 32 eventos em 900 observados (75 anos x 12 meses), o que representa 4% da série de dados.

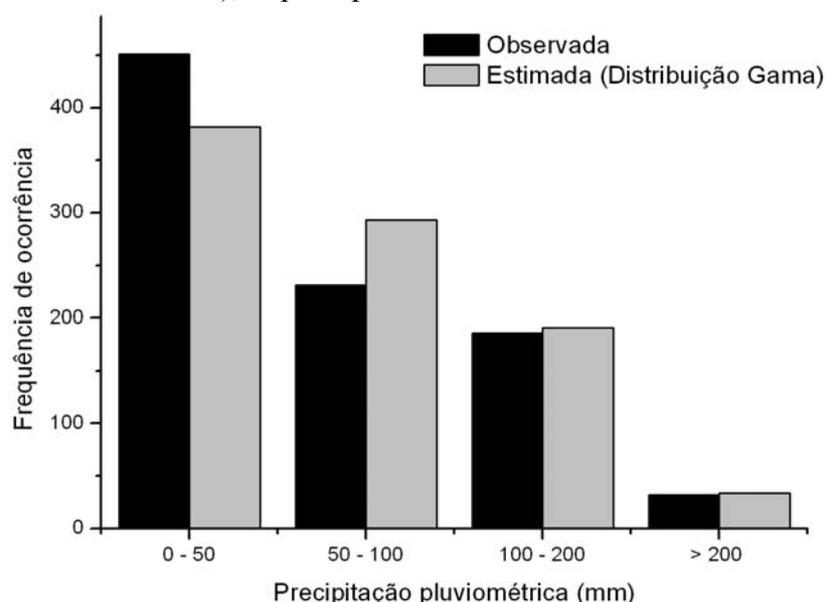


Figura 4. Frequência de ocorrência de eventos de chuva mensal observados e estimados pela distribuição Gama, no município de Garanhuns, PE, para o período de 1913 a 1987.

Analisando-se os valores de $P(S)$ apresentados na Tabela 3, pode-se identificar os meses nos quais é esperado o maior número de dias secos. Em outubro, novembro e dezembro é esperado o maior número de dias secos. O mês de junho foi o que apresentou o menor número

de dias secos, o que corresponde a uma probabilidade de 5,3%. Da mesma maneira, com base em P(PC), verificou-se que julho e agosto apresentaram a maior probabilidade de ocorrência de meses chuvosos (cerca de 36 e 49,3%, respectivamente). Nos meses de maio e junho, é esperado o maior número de dias bastante chuvosos (BC) no ano (cerca de 9,3%). Com as expressões postostas por Robertson (1976), podem-se determinar as probabilidades de ocorrência de períodos contínuos secos ou chuvosos, com duração de até quatro dias. Assim, por exemplo, pela Tabela 3 a probabilidade de ocorrerem 4 dias seguidos sem chuvas no mês de novembro é de 56,7% ($0,880 \times 0,864^{4-1} \times 100$) ou, aproximadamente, de um a cada quatro anos. Da mesma forma, a probabilidade de ocorrerem 4 dias consecutivos com chuvas no mês de junho é de 11,5% ($0,533 \times 0,600^{4-1} \times 100$).

Tabela 3. Probabilidades de ocorrência (P) de precipitações de dias secos (S), pouco chuvosos (PC), chuvosos (C), bastante chuvosos (BC), e dias secos dados que o dia anterior também foi seco (S/S) e dias chuvosos dado que o dia anterior foi chuvoso (C/C) em Garanhuns, PE para o período de 1913 a 1987.

Mês	Média (mm)	Probabilidades de ocorrência (P) de precipitações							
		P(S)	P(C)	P(PC)	P(BC)	P(S/S)	P(C/C)	P(S,4)	P(C,4)
Jan.	38,14	0,760	0,160	0,067	0,013	0,754	0,200	0,326	0,001
Fev.	46,46	0,587	0,293	0,107	0,013	0,545	0,000	0,095	0,000
Mar.	76,96	0,373	0,360	0,240	0,027	0,286	0,278	0,009	0,005
Abr.	81,14	0,387	0,253	0,293	0,067	0,379	0,364	0,021	0,014
Mai.	109,29	0,200	0,253	0,453	0,093	0,133	0,559	0,000	0,079
Jun.	124,66	0,053	0,320	0,533	0,093	0,000	0,575	0,001	0,115
Jul.	117,43	0,080	0,360	0,480	0,080	0,167	0,333	0,000	0,018
Ago.	74,81	0,293	0,493	0,187	0,027	0,409	0,214	0,020	0,002
Set.	36,69	0,667	0,333	0,000	0,000	0,680	0,000	0,026	0,000
Out.	20,51	0,880	0,080	0,027	0,013	0,864	0,000	0,182	0,000
Nov.	19,70	0,880	0,080	0,040	0,000	0,864	0,000	0,567	0,000
Dez.	23,43	0,853	0,093	0,053	0,000	0,828	0,000	0,513	0,000
Total	64,102	6,013	3,078	2,480	0,426	5,909	2,523	1,760	0,234

4. CONCLUSÕES

Sob as condições em que o estudo foi conduzido conclui-se:

- Os dados de precipitação pluvial para todos os meses ajustaram-se à distribuição Gama, podendo essa ser usada para estimar a precipitação pluvial provável mensal em diferentes níveis de probabilidade, para fins de planejamento de projetos agrícolas na região de Garanhuns, PE.
- Apesar do período chuvoso da região ser de maio a julho, são registradas chuvas significativas, acima de 50 mm/mês com 60% de probabilidade de ocorrência, nos meses de fevereiro a agosto, período no qual se recomenda a prática da agricultura de sequeiro.
- As menores precipitações prováveis, abaixo de 50 mm/mês, são registradas nos meses de outubro, novembro e dezembro, onde deve se concentrar a agricultura irrigada, recomendando-se espécies e cultivares de ciclo curto para semeaduras em outubro, e de ciclo longo para agosto a fim de evitar prejuízos na colheita.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores são extremamente gratos ao professor Geber B. de A. Moura do Departamento de Agronomia Área de Meteorologia e Climatologia UFRPE, que viabilizou a parte técnica deste trabalho, e aos revisores anônimos da Ambi-Agua cujas sugestões contribuíram para melhoria do texto original.

6. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M. C. O. **Atlas de Pernambuco**. João Pessoa: Grafset 1999. 112p.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; BASTOS, E. A. **Precipitação pluviométrica provável em municípios do cerrado piauiense**. Teresina: EMPRABA-CPAMN, 1997. 22p. (Documentos, 25)
- ARAÚJO, WELLINGTON F.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; MEDEIROS, R. D.; SAMPAIO, R. A. Precipitação pluviométrica mensal provável em Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 3, p. 563-567, 2001.
- ALMEIDA, T. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; OLIVEIRA, O. F. Análise da variabilidade espacial da precipitação na Bacia do Rio Ipanema, Pernambuco. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, ABRH, 7., São Luis, 2004. **Anais...** São Luis: ABRH, 2004. 1 CD-Rom.
- ASSIS, F. N. **Modelagem de ocorrência e da quantidade de chuva e dias secos em Piracicaba - SP e Pelotas-RS**. 1991. 134f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1991.
- ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V. de; PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática**. Pelotas: UFPel, 1996. 161 p.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6.ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1995. 657p.
- BOTELHO, V. A.; MORAIS, A. R. Estimativas dos parâmetros da distribuição gama de dados pluviométricos do Município de Lavras, Estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, p. 697-706, 1999.
- CAMPOS, H. **Estatística experimental não paramétrica**. Piracicaba: ESALQ, 1979. 343p.
- CASTRO NETO, P.; SILVEIRA, J. V. Precipitação provável para Lavras, região sul de Minas Gerais, baseada na função de distribuição de probabilidade Gama. I. Períodos mensais. **Ciência Prática**, Lavras, n. 5, v. 2, p. 144-151, 1981.
- CASTRO NETO, P.; SILVEIRA, J. V. Precipitação provável para Lavras/MG, baseada na função de distribuição de probabilidade gama. III Períodos de 10 dias. **Ciência e Prática**, Lavras, n. 7, v. 1, p. 58-65, 1983.
- CASTRO, L. H. R.; MOREIRA, A. N.; ASSAD, E. D. Definição e regionalização dos padrões pluviométricos dos cerrados brasileiros. In: ASSAD, E. D. (coord.) **Chuvas no cerrado: análise e espacialização**. Brasília: Embrapa, CPAC; Embrapa, SPI, 1994. p.13-23.

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. ([doi:10.4136/ambi-agua.81](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.81))

- CUNHA, A. R.; MARTINS, D.; PASSOS, J. R. S. O modelo Gama de probabilidade aplicado ao estudo da distribuição da chuva na região administrativa de Bauru, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25., Bauru, 1996. **Anais...** Bauru: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1996. 1 CD Rom.
- FIETZ, C. R.; FRIZZONE, J. A.; FOLEGATTI, M. V. Precipitação esperada, em diferentes níveis de probabilidade, na região de Dourados, MS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 29-34, 1998.
- FRIZZONE, J. A. **Análise de cinco modelos para o cálculo da distribuição e frequência de precipitação na região de Viçosa, MG**. 1979. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1979.
- JENSEN, M. E. **Design and operation of farm irrigation system**. New York: ASAE, 1983. 829p.
- KELLER FILHO, T.; ZULLO JUNIOR, J.; LIMA, P. R. S. de R. Análise da transição entre dias secos e chuvosos por meio da cadeia de Markov de terceira ordem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 9, p. 1341-1349, 2006.
- KOLMOGOROV-SMIRNOV. Disponível em: <[http:// www.physics.csbsju.edu/stats/KS-test.html](http://www.physics.csbsju.edu/stats/KS-test.html)>. Acesso em: 24 dez. 2008.
- KREPPER, C. M.; SCIAN, B. V.; PIERINI, J. O. Time and space variability of rainfall in central East Argentina. **Journal of Climate**, v. 2, p. 39-47, 1989.
- MEDINA, B. F.; LEITE, J. A. Probabilidade de chuva em Boa Vista-RR. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 12, p. 1437-1441, 1984.
- MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, p. 1-10, 2002.
- MURTA, R. M.; TEODORO, S. M.; BONOMO, P. Precipitação pluvial mensal em níveis de probabilidade pela distribuição gama para duas localidades do sudoeste da Bahia. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 5, p. 988-994, set./out., 2005.
- RIBEIRO, A. M. de A.; LUNARDI, C. A precipitação mensal provável para Londrina, PR, através da função gama. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 12, p. 37-44. 1997.
- ROBERTSON, G. W. **Dry and wet spells: project field report agrometeorology A-6: UNDP/FAO Technical Assistance to the Federal Land Development Authority**. Jerantut: Tun Razak Agriculture Reserch Centre, 1976. 30 p.
- RODRIGUES, L. N.; PRUSKI, F. F. Precipitação provável para João Pinheiro, Minas Gerais, utilizando funções de distribuição de probabilidade gama e log-normal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25., Bauru, 1996. **Anais...** Bauru: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1996. 1 CD-Rom.
- SAAD, J. C. C. **Estudo das distribuições de frequência da evapotranspiração de referência e da precipitação pluvial para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação**. 1990. 124f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

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. ([doi:10.4136/ambi-agua.81](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.81))

THOM, H. C. S. A note on the gama distribution. **Monthly Weather Review**, Washington, v. 86, p. 117-22, 1958.

VASCONCELOS, C. A.; PINTO, J. E. S. Caracterização têmporo - espacial da pluviosidade: o município de Sair  e sua microrregião - Brejo pernambucano. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 6., Aracaju, 2004. **Programa o e Resumos...** Aracaju: FUFSE, 2004. 1 CD-Rom

XAVIER, R. A.; DORNELLAS, P. C. Análise do comportamento das chuvas no município de Arapiraca. **Geografia**, Londrina, v. 14, n. 2, p. 49-64, jul./dez., 2005.