

PROBABILIDADES DE OCORRÊNCIA DE DIAS SECOS E DIAS CHUVOSOS CONSECUTIVOS EM IÇARA, SANTA CATARINA, BRASIL

PROBABILITIES OF OCCURRENCE OF DRY AND RAINY CONSECUTIVE DAYS IN IÇARA, SANTA CATARINA, BRAZIL

Álvaro José Back

Universidade do Extremo Sul
Catarinense (UNESC). E-mail:
ajb@unesc.net

Luana Pasini Miguel

Universidade do Extremo Sul
Catarinense (UNESC). E-mail:
luanapasini1@gmail.com

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo realizar a modelagem matemática da sequência de dias secos e de dias chuvosos de Içara, Santa Catarina. Foram utilizados os dados da Estação Pluviométrica da Agência Nacional de Águas (ANA) localizada no município de Içara, sul de Santa Catarina (código 02849022, latitude 28°43'18"S, longitude 49°18'12"W). Foram usados os dados diários de 1978 a 2013. Foram determinadas as matrizes de probabilidade de transição entre dias secos e chuvosos do modelo cadeia de Markov de primeira ordem, e dois estados (secos e chuvosos). Neste trabalho adotou-se como critério de dias secos os valores de precipitação diária inferior a 3,0 mm. Para estimar a sequência de dias secos e chuvosos foi utilizada a distribuição geométrica. A aderência das séries de dias secos e chuvosos a distribuição geométrica foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5%. Os resultados mostraram que existe variação sazonal nos parâmetros da distribuição. Também foi observado que a distribuição geométrica pode ser usada na estimativa da probabilidade de ocorrência dos dias secos e de dias chuvosos consecutivos.

Palavras-chave: cadeias de Markov; dias secos; probabilidade.

ABSTRACT

This work had the objective of performing the mathematical modeling of the sequence of dry days and rainy days of Içara, Santa Catarina. Data from the Pluviometric Station of the National Water Agency (ANA) located in the municipality of Içara, south of Santa Catarina (code 02849022, latitude 28°43'18"S, longitude 49°18'12" W) were used. The daily data from 1978 to 2013 were used. The transition probability between dry and rainy days of the first-order Markov chain model and two states (dry and rainy) were determined. In this work, the values of daily precipitation lower than 3.0 mm were adopted as criterion of dry days. To estimate the sequence of dry and rainy days the geometric distribution was used. The adherence of the series of dry and rainy days to the geometric distribution was evaluated by the Kolmogorov-Smirnov test at a significance level of 5%. The results showed that there is seasonal variation in the distribution parameters. It was also observed that the geometric distribution can be used to estimate the probability of occurrence of dry days and consecutive rainy days

Keywords: Markov chains; dry days; probability.

INTRODUÇÃO

A precipitação pluviométrica é um dos elementos meteorológicos que exerce maior influência sobre as condições ambientais e em quase todas as atividades produtivas desenvolvidas no campo. Diversos trabalhos de engenharia são afetados de forma direta ou indireta, tanto pela ocorrência da chuva, como por sua ausência. A distribuição e a variação da precipitação, no tempo e no espaço, são as principais características climáticas de uma região (KELLER FILHO et al., 2006).

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. A modelagem teórica da chuva com vistas ao planejamento ambiental apresenta algumas vantagens sobre os modelos empíricos, baseados em dados, como a possibilidade de resumir os dados de uma série histórica de forma bastante concisa (STERN; COE, 1982), e também a obtenção de séries climatólogicas bem maiores de que as históricas.

Gabriel e Neumann (1962) utilizaram cadeias homogêneas de Markov para descrever a alta persistência de dias secos consecutivos em Tel Aviv, Israel. Stern e Coe (1982) definiram um modelo de simulação para a precipitação pluvial diária, no qual a ocorrência de dias chuvosos é gerada por uma cadeia de Markov, e a quantidade de chuva é gerada por uma distribuição gama. Posteriormente Stern e Coe (1984) melhoraram o modelo com a utilização das séries de Fourier para representar as probabilidades de transição durante o ano. Com base nestes estudos pioneiros surgiram vários trabalhos aplicando as cadeias de Markov para modelar a precipitação e determinar as probabilidades de ocorrências de dias secos e chuvosos. Muhammad e Nabi (1991) analisaram a ocorrência de chuva em quatro localidades no Paquistão. Punyawardena e Kulasiri (1997) compararam modelos de cadeias de Markov de primeira e de segunda ordem para a descrição da ocorrência semanal de chuva, na zona seca de Sri Lanka. De Groen e Savenije (2000) utilizaram cadeias de Markov para simular a ocorrência de chuva, em um modelo de evapotranspiração mensal, com dados de três localidades no Zimbábue. Mangaraj et al. (2013) aplicaram a cadeia de Markov de primeira ordem para estimar as probabilidades de períodos secos e chuvosos para a região oeste de Orissa, na Índia. No Brasil destacam os alguns trabalhos como realizado por Assis (1991), que modelou a ocorrência de dias secos e úmidos em Piracicaba, SP, e

Pelotas, RS. Também destaca-se o trabalho de Andrade Júnior et al. (2001) simularam a precipitação pluvial diária para gerar sequências de dias secos e úmidos para Parnaíba e Teresina, PI, baseadas nas cadeias de Markov.

O conhecimento da probabilidade de ocorrência de períodos secos é de grande utilidade em vários setores de atividade e podem ser usados objetivando o planejamento e economia do projeto. Na construção de estradas, pontes e outras obras, o conhecimento dos períodos que serão secos ou que ocorrerão chuvas numa quantidade que não prejudique o andamento das obras permite o planejamento e elaboração de cronograma d atividades com economia de materiais, maquinários e mão de obra. Segundo Souza et al. (1992), pode-se utilizar a Cadeia de Markov para determinar o número de dias trabalháveis com trator agrícola, modelando a umidade do solo com base na precipitação. Virgens Filho e Cataneo (1999) utilizaram a mesma cadeia de primeira ordem em dois estados para simular a sequência de dias úmidos, considerando o valor mínimo de 0,2 mm para o dia ser considerado úmido. Clarke (1988) apresenta descrição detalhada do modelo de Markov e cita diversas aplicações na hidrologia. Monteiro et al. (2001) utilizaram a cadeia de Markov para a determinação das probabilidades condicionais e do número sequencial de dias favoráveis ao tráfego de máquinas no campo. Silva et al. (2010) utilizaram a cadeia de Markov de dois estados para determinar as chances de ocorrência dos períodos secos e chuvosos com objetivo de subsidiar a definição da melhor época de plantio de milho em Sete Lagos, MG. Mesquita et al. (2013) estabeleceram as sequência de dias chuvosos como fator de risco a colheita em Goiás.

A modelagem da precipitação, bem como a estimativa das probabilidades de ocorrências de dias secos ou chuvosos consecutivos, são ferramentas importantes para auxiliar nos estudos hidrológicos bem como no planejamento de atividades exercidas no campo, como obras de terraplanagem, construção de estradas, atividades agrícolas (MEIRELES et al., 2003; MENEZES et al., 2010; MINUZZI et al., 2010; SMIDERLE; DIAS, 2011).

Embora nas últimas décadas tenha sido noticiada a ocorrências de estiagens no estado de Santa Catarina, existem poucos estudos no sentido de caracterizar e quantificar a duração e intensidade destes eventos. Este trabalho teve como objetivo aplicar a modelagem estocástica cadeia de Markov para descrever a ocorrência e estimar

as probabilidades de sequências de dias secos e chuvosos consecutivos de Içara, Santa Catarina.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados os dados da Estação Pluviométrica da Agência Nacional de Águas (ANA) localizada no município de Içara, sul de Santa Catarina (código 02849022, latitude 28°43'18"S, longitude 49°18'12"W). Foram usados os dados diários de 1978 a 2013.

O município de Içara localiza-se no sul do estado de Santa Catarina, a uma latitude 28°42'48" Sul e a uma longitude 49°18'00" Oeste, estando a uma altitude de 48 metros. A economia do município é baseada na indústria, no setor de serviços e na agropecuária, em que se destaca na produção de fumo, arroz e feijão. Segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2014), o clima do município é classificado como o de clima mesotérmico úmido (sem estação seca) – com inverno quente (Cfa).

Para a modelagem da ocorrência de precipitação, foi considerada a cadeia de Markov de dois estados, em que o dia é considerado seco ou chuvoso. O critério adotado para o dia ser considerado seco foi de chuva inferior a 3,0 mm. Neste trabalho foi utilizada a cadeia de primeira ordem, em que a probabilidade de um dia ser seco (ou chuvoso) depende somente da condição do dia anterior (Clarke, 1988). Para levar em conta a estacionariedade, os parâmetros do modelo foram ajustados por períodos mensais. A matriz de probabilidade de transição P que descreve o modelo de cadeias de Markov de dois estados é dada por:

$$P = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Em que as probabilidades de transição foram calculadas por:

$$P_{00} = \frac{N_{00}}{N_{00} + N_{01}} \quad (2)$$

$$P_{10} = \frac{N_{10}}{N_{10} + N_{11}} \quad (3)$$

$$P_{01} = 1 - P_{00}; \quad (4)$$

$$P_{11} = 1 - P_{10} \quad (5)$$

Em que: P_{00} = Probabilidade de um dia ser seco, dado que o anterior também foi seco; P_{10} = Probabilidade de um dia ser seco, dado que o anterior foi chuvoso; P_{01} = Probabilidade de um dia ser chuvoso, dado que o anterior foi seco; P_{11} = Probabilidade de um dia ser chuvoso, dado que o anterior foi chuvoso; N_{10} = frequência observada da sequência de dia chuvosa seguida por dia seco; N_{11} = frequência observada de sequência de dois dias chuvosos; N_{00} = frequência observada da sequência de dois dias secos; N_{01} = frequência observada de um dia seco seguido por dia chuvoso.

De acordo com Cox e Miller (1967), as sequências de dias úmidos e dias secos podem ser considerados como uma sequência infinita no eixo do tempo, em que se pode considerar qualquer ponto inicial como dia seco ou chuvoso. Assim, o sistema, após um período de tempo suficientemente longo, é esperado que atingisse uma condição de equilíbrio estatístico com probabilidades estáveis que são independentes da condição inicial. Essas probabilidades correspondem a dia seco e chuvoso são dadas respectivamente por:

$$\pi_0 = \frac{1 - P_{11}}{1 + P_{01} - P_{11}} \quad (6)$$

$$\pi_1 = \frac{1 - P_{01}}{1 + P_{01} - P_{11}} \quad (7)$$

O número de dias após o que o estado de equilíbrio, ou seja, o estado original é atingido é igual ao número de passos ou tempos a P-matriz é alimentado é alimentado de modo a que os seus elementos diagonais se tornar igual a π_0 e π_1 (Cox e Miller, 1967). Os comprimentos do período chuvoso e seco são descritores estatísticos muito importantes de períodos secos e chuvosos em uma área geográfica. Partindo do princípio de que os comprimentos de períodos chuvosos e secos (representado por W e D, respectivamente) seguem distribuição geométrica (Bhargava et al., 1973; Sundararaj; Ramachandra, 1986; Ravindran; Dani, 1993), a probabilidade de uma sequência de dias com chuva prolongar-se por “r” dias é dada por:

$$P[W = r] = P_{10} P_{11}^{r-1} \quad (8)$$

e dessa forma, o comprimento esperado do período chuvoso é obtido como:

$$E(W) = \sum_{r=1}^{\infty} r P_{10} P_{11}^{r-1} = \frac{1}{P_{10}} \quad (9)$$

De forma análoga, a sequência de dias secos será dada por:

$$P[D = r] = P_{01} P_{01}^{r-1} \quad (10)$$

E a duração esperada para o período seco e dada por:

$$E(W) = \frac{1}{P_{01}} \quad (11)$$

A sequência de um período seco seguido de um período chuvoso é chamada de comprimento do ciclo do tempo (C), e dessa forma a duração esperada do ciclo do tempo pode ser estimada por:

$$E(C) = E(W) + E(D) = \frac{1}{P_{10}} + \frac{1}{P_{01}} \quad (12)$$

Para avaliar a aderência da distribuição geométrica as séries de sequência de dias secos e dias chuvosos foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5 %.

Segundo Cox e Miller (1967), a ocorrência de períodos chuvosos e secos podem ser facilmente tratadas como ensaios Bernoulli dependentes. Assim, os valores esperados de o número de dias secos e chuvosos em um período de n dias, representados por W_n e D_n respectivamente, são obtidos pelas equações 13 e 14:

$$E(W_n) = n\pi_1 \quad (13)$$

$$E(D_n) = n\pi_0 \quad (14)$$

Assumindo que n é um período suficientemente ser grande, a variância assintótica do número de dias de chuva (ou dias secos) num período de dias é dada por:

$$V_n = \frac{n P_{01} P_{10} (P_{00} + P_{11})}{(P_{10} + P_{01})^3} \quad (15)$$

RESULTADOS

Para janeiro a probabilidade de ocorrência de dois dias secos (P_{00}) é de 76,71%, e seu complemento, dado pela probabilidade do dia ser seco seguido por dia chuvoso (P_{01}) é de 23,29% (Tabela 1). A probabilidade de ocorrência de dois dias seguidos chuvosos (P_{11}) é de 46,91%. Observa-se a variação sazonal das probabilidades de transição, sendo os maiores valores de P_{00} ocorrem de abril a setembro, com valores superiores a 0,81. Para a sequência de dias chuvosos foi observado maior valor no mês de fevereiro ($P_{11} = 0,5016$) e menor valor em abril ($P_{11} = 0,3447$).

Tabela 1. Frequência observada das sequências de transição entre dias secos e chuvosos, e matriz de probabilidade de transição entre dias secos e chuvosos do modelo cadeia de Markov de primeira ordem para Içara, Santa Catarina.

Período	Frequências de transição					Total	Probabilidade de transição			
	N ₀₀	N ₁₀	N ₀₁	N ₁₁	N ₇ ¹		P ₀₀	P ₁₀	P ₀₁	P ₁₁
Jan.	573	163	174	144	93	1054	0,7671	0,5309	0,2329	0,4691
Fev.	493	152	163	153	84	961	0,7515	0,4984	0,2485	0,5016
Mar.	618	163	168	105	93	1054	0,7863	0,6082	0,2137	0,3918
Abr.	704	135	140	71	60	1050	0,8341	0,6553	0,1659	0,3447
Mai	752	116	124	91	64	1083	0,8584	0,5604	0,1416	0,4396
Jun.	764	131	134	81	0	1110	0,8508	0,6179	0,1492	0,3821
Jul.	737	145	156	109	0	1147	0,8253	0,5709	0,1747	0,4291
Ago.	769	133	145	100	0	1147	0,8414	0,5708	0,1586	0,4292
Set.	663	137	148	131	31	1079	0,8175	0,5112	0,1825	0,4888
Out.	655	167	172	121	32	1115	0,7920	0,5799	0,2080	0,4201
Nov.	657	151	158	111	33	1077	0,8061	0,5763	0,1939	0,4237
Dez.	687	162	172	90	36	1111	0,7998	0,6429	0,2002	0,3571
Ano	8072	1755	1854	1307	526	12988	0,8132	0,5732	0,1868	0,4268

¹N₇ representa o número de dias com falhas nos registros de dados

Fonte: autores, 2016

A maior probabilidade de ocorrência de dias secos (Tabela 2) ocorre em junho ($\pi_0 = 0,8055$), sendo que no período de março a dezembro os valores da probabilidade de dias secos estão acima de 0,73. O menor valor de probabilidade de ocorrência de dia seco foi verificado em fevereiro ($\pi_0 = 0,6673$). Em fevereiro a duração média do período seco (E(D)) é de 4,02 dias, e a duração do período chuvoso E(W) é de 2,01 dias. Assim pode-se afirmar que no mês de fevereiro, após um período de 4 dias secos consecutivos é esperado que ocorram dois dias consecutivos chuvosos. Dessa forma a duração estimada do ciclo climático é de 6 dias. Observa-se que para Içara a duração média do período chuvoso (E(W)) varia de 1,53 no mês de abril a 2,01 dias para fevereiro. Por outro lado, a duração estimada do período seco variou de 4,02 dias em fevereiro a 7,06 dias em maio. Considerando o ciclo de um período seco e chuvoso (E(C)) observa-se que de abril a setembro, que correspondem às estações de outono e inverno, esse ciclo é superior a sete dias, enquanto de nas demais estações o ciclo é inferior a seis dias.

Tabela 2. Probabilidade de ocorrência de dias secos e dias chuvosos e duração média do período seco e do período chuvoso para Içara, Santa Catarina.

Período	π_0	π_1	E_W (dias)	E_D (dias)	E_C (dias)	V_n (dias)	SD (dias)
Jan.	0,6951	0,3049	1,88	4,29	6,18	10,63	3,261
Fev.	0,6673	0,3327	2,01	4,02	6,03	10,52	3,244
Mar.	0,7400	0,2600	1,64	4,68	6,32	8,55	2,924
Abr.	0,7980	0,2020	1,53	6,03	7,55	6,94	2,635
Mai	0,7983	0,2017	1,78	7,06	8,85	9,23	3,038
Jun.	0,8055	0,1945	1,62	6,70	8,32	7,55	2,748
Jul.	0,7657	0,2343	1,75	5,72	7,48	9,36	3,059
Ago.	0,7825	0,2175	1,75	6,30	8,06	9,19	3,031
Set.	0,7369	0,2631	1,96	5,48	7,44	10,95	3,309
Out.	0,7360	0,2640	1,72	4,81	6,53	9,27	3,044
Nov.	0,7483	0,2517	1,74	5,16	6,89	9,02	3,004
Dez.	0,7625	0,2375	1,56	4,99	6,55	7,70	2,776
Ano	0,7542	0,2458	1,74	5,35	7,10	110,49	10,511

Fonte: autores, 2016

Segundo Monteiro (2001), as variações espaciais no seu clima do estado de Santa Catarina são consequências dos diversos sistemas atmosféricos que atuam no estado associadas às diferenças de altitude existente entre o Planalto e regiões circunvizinhas. Nas regiões mais próximas às encostas de montanhas do lado barlavento, as precipitações são mais abundantes, pois a elevação do ar úmido e quente favorece a formação de nuvens cumuliformes, resultado no aumento do volume de precipitação local. Neste sentido, são observados índices maiores de precipitação nos municípios próximos à encosta da Serra Geral, quando comparadas aos da zona costeira. Monteiro (2001) discute a variação sazonal da precipitação no estado de Santa Catarina, em que no verão as chuvas são mais frequentes devido à intensificação dos processos convectivos e também pela passagem de frentes frias. No outono ocorre diminuição das chuvas em todo o estado devido aos bloqueios atmosféricos impedindo a passagem de frentes frias.

No inverno os sistemas frontais e os vórtices ciclônicos são os responsáveis pela precipitação no estado. A região do litoral apresenta menor ocorrência de chuvas e condições de tempo mais estáveis (maior P00) devido ao fortalecimento da alta subtropical do Atlântico Sul que inibe a formação de nuvens mais desenvolvidas. Na primavera aumenta a instabilidade (que diminui P00) principalmente pelos fenômenos de Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM), que se forma em sua maioria sobre o norte da Argentina e desloca-se para o leste atingindo Santa Catarina.

Também Cavalcanti et al. (2009) afirmam que durante o verão, o aquecimento da superfície e o aporte de umidade para dentro do continente tendem instabilizar a atmosfera, produzindo mais convecção, em associação com o sistema de monção da América do Sul. Durante o verão, como nas estações de transição (de outubro a abril), os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) são frequentes e respondem por grande parte da precipitação total. Passagens de frente frias geralmente intensifica a convecção tropical. Essa condição de tempo ocorre em todas as regiões do Estado de SC. No leste de Santa Catarina o ciclo anual de precipitação é unimodal, com o máximo na estação chuvosa de verão, indicando regime subtropical de monções de verão.

A diminuição na quantidade de precipitação no outono, que ocorre em todas as regiões do Estado, pode ser explicada pela ocorrência de bloqueios atmosféricos, que são muito frequentes nesta estação, impedindo a passagem de frentes sobre o Estado. No trimestre junho-julho-agosto o ar frio trazido pela aproximação de anticiclones que se deslocam sobre a Argentina em direção à região Sul do Brasil. O volume pluviométrico dessa estação, na maioria dos municípios catarinenses, é muito pouco superior ao do outono. No entanto, pode-se observar que do planalto ao Oeste, as chuvas são mais volumosas que em áreas próximas ao litoral. Tal fato pode ser explicado pela influência da “Baixa do Chaco” na organização de condições de tempo mais instáveis associadas às frentes frias. Segundo Monteiro (2001), na maioria dos municípios litorâneos, o inverno é a estação de menor volume de precipitação. O baixo volume pluviométrico no litoral reflete, portanto, condições de tempo mais estáveis, devido ao fortalecimento da Alta Subtropical do Atlântico Sul. Observa-se que os descritores dos parâmetros do modelo de Markov refletem essas variações nas características da precipitação observada no estado de Santa Catarina.

O número médio de dias chuvosos (EW) e de dias secos em janeiro é de respectivamente 9,5 e 21,5 dias (Tabela 3). Considerando que o número de dias secos (e dias chuvosos) tem distribuição normal e adotando o intervalo de confiança de 95 %, espera-se que número de dias chuvosos de janeiro se encontre entre 3,1 a 15,8 dias. Da mesma forma espera-se que o número de dias secos em janeiro se encontre entre 15,2 dias até 27,9 dias. Para o período anual espera-se que o número de dias chuvosos se encontre entre 69,2 a 110,4 dias e que o número de dias secos se encontre entre 254,9 a 296,1 dias. Estes valores podem ser usados no planejamento de rodovias, em que se

considera somente os dias secos (com precipitação) abaixo de 3,0 mm com dias trabalháveis com máquinas.

Na Tabela 4 constam os valores de número máximo (N_x) de dias secos e dias chuvosos consecutivos e valores de D_{max} do teste de Kolmogorov-Smirnov e valores críticos (D_{crit}) ao nível de significância de 5%. Observou-se uma sequência de 36 dias secos iniciada em janeiro, sendo a maior sequência de dias secos observada teve a duração de 43 dias, iniciado em abril. Para os dias chuvosos consecutivos a maior sequência foi de 12 dias, iniciada em fevereiro. Observa-se que para todas as séries os valores de D_{max} foram inferiores aos valores de D_{crit} , indicando que a distribuição geométrica pode ser usada na estimativa das probabilidades de ocorrência de dias secos e dias chuvosos. Esta constatação também pode ser verificada nas figuras 1 a 4, onde evidencia-se a boa aderência da distribuição geométrica para todas as séries de sequências de dias secos e chuvosos.

Tabela 3. Valores esperados do número de dias secos e dias chuvosos para Içara, SC.

Período	Dias chuvosos			Dias secos		
	Médio EW	Intervalo de confiança 95%		Médio ED	Intervalo de confiança 95%	
		Lim. inferior	Lim. superior		Lim. inferior	Lim. superior
Jan.	9,5	3,1	15,8	21,5	15,2	27,9
Fev.	9,4	3,0	15,8	18,8	12,5	25,2
Mar.	8,1	2,3	13,8	22,9	17,2	28,7
Abr.	6,1	0,9	11,2	23,9	18,8	29,1
Mai	6,3	0,3	12,2	24,7	18,8	30,7
Jun.	5,8	0,4	11,2	24,2	18,8	29,6
Jul.	7,6	1,3	13,3	23,7	17,7	29,7
Ago.	6,7	0,8	12,7	24,3	18,3	30,2
Set.	7,9	1,4	14,4	22,1	15,6	28,6
Out.	8,2	2,2	14,2	22,8	16,8	28,8
Nov.	7,5	1,7	13,4	22,5	16,6	28,3
Dez.	7,4	1,9	12,8	23,6	18,2	29,1
Ano	89,8	69,2	110,4	275,5	254,9	296,1

Fonte: autores, 2016

Na tabela 5 constam os valores estimados de probabilidade de ocorrência de dias secos consecutivos. Para janeiro observa-se que a probabilidade de ocorrência de até três dias secos consecutivos é de 54,87 %, assim existe o risco 45,13% e ocorrer mais de

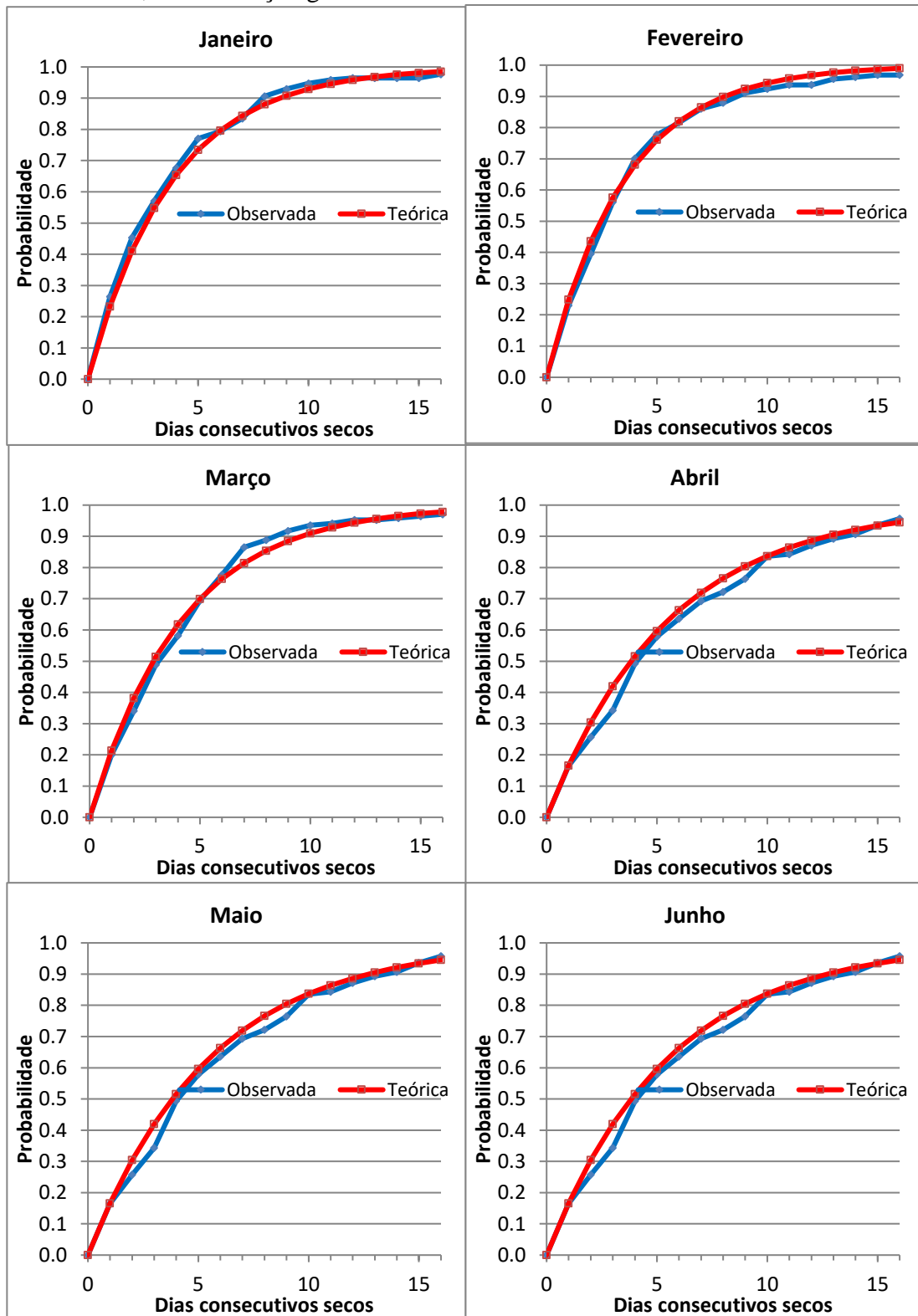
três dias secos consecutivos. Observa-se que para o período de até 10 dias consecutivos de janeiro a março e outubro este risco é menor de 10% sendo em maio superior a 20%.

As probabilidades de ocorrência de dias chuvosos consecutivos são apresentados na Tabela 6. Observa-se que somente janeiro, fevereiro e setembro o risco de ocorrer mais de três dias chuvosos consecutivos é superior a 10% e para os demais meses estes riscos são inferior a 10 %. Tomando como base o período de cinco dias consecutivos este risco é inferior a 5 %

Tabela 4. Valores do número máximo (N_x) de dias secos e dias chuvosos consecutivos e valores de D_{max} e D_{crit} do teste de Kolmogorov-Smirnov.

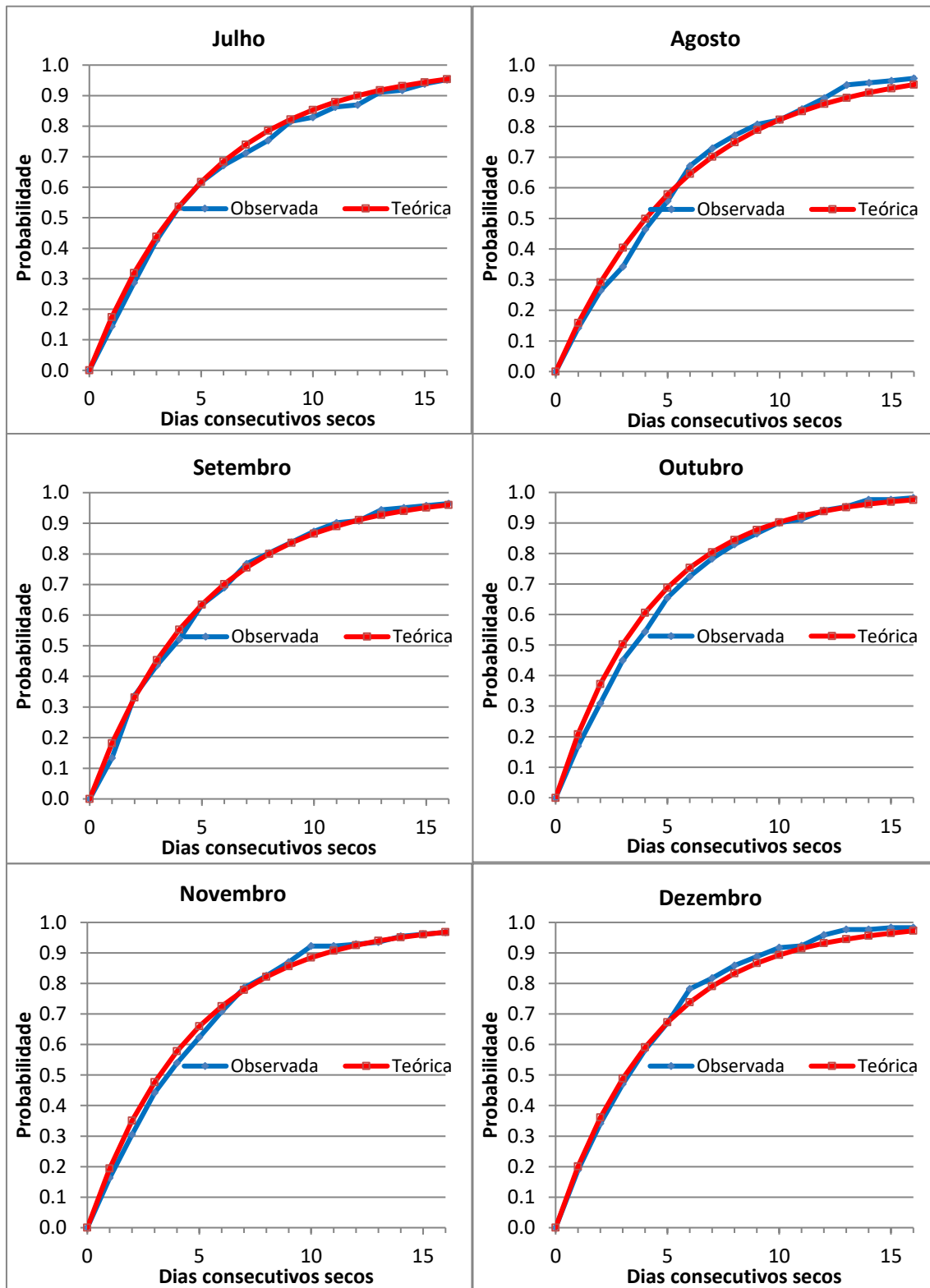
Período	Dias secos consecutivos			Dias chuvosos consecutivos		
	N_x	D_{max}	D_{crit}	N_x	D_{max}	D_{crit}
Jan.	36	0,0413	0,224	9	0,0563	0,391
Fev.	23	0,0403	0,281	12	0,0402	0,454
Mar.	33	0,0505	0,234	6	0,191	0,563
Abr.	43	0,0768	0,205	7	0,0353	0,519
Mai	31	0,0340	0,242	7	0,0264	0,519
Jun.	24	0,0619	0,275	4	0,0434	0,708
Jul.	33	0,0313	0,234	7	0,0144	0,519
Ago.	24	0,0616	0,275	7	0,0353	0,519
Set.	26	0,0487	0,264	7	0,0469	0,519
Out.	27	0,0628	0,259	8	0,0228	0,483
Nov.	46	0,0450	0,198	9	0,0496	0,454
Dez.	20	0,0440	0,301	7	0,0158	0,519
Ano	36	0,0154	0,224	12	0,0089	0,391

Figura 1. Aderência das séries de dias secos consecutivos de janeiro a junho de Içara, Santa Catarina, á distribuição geométrica



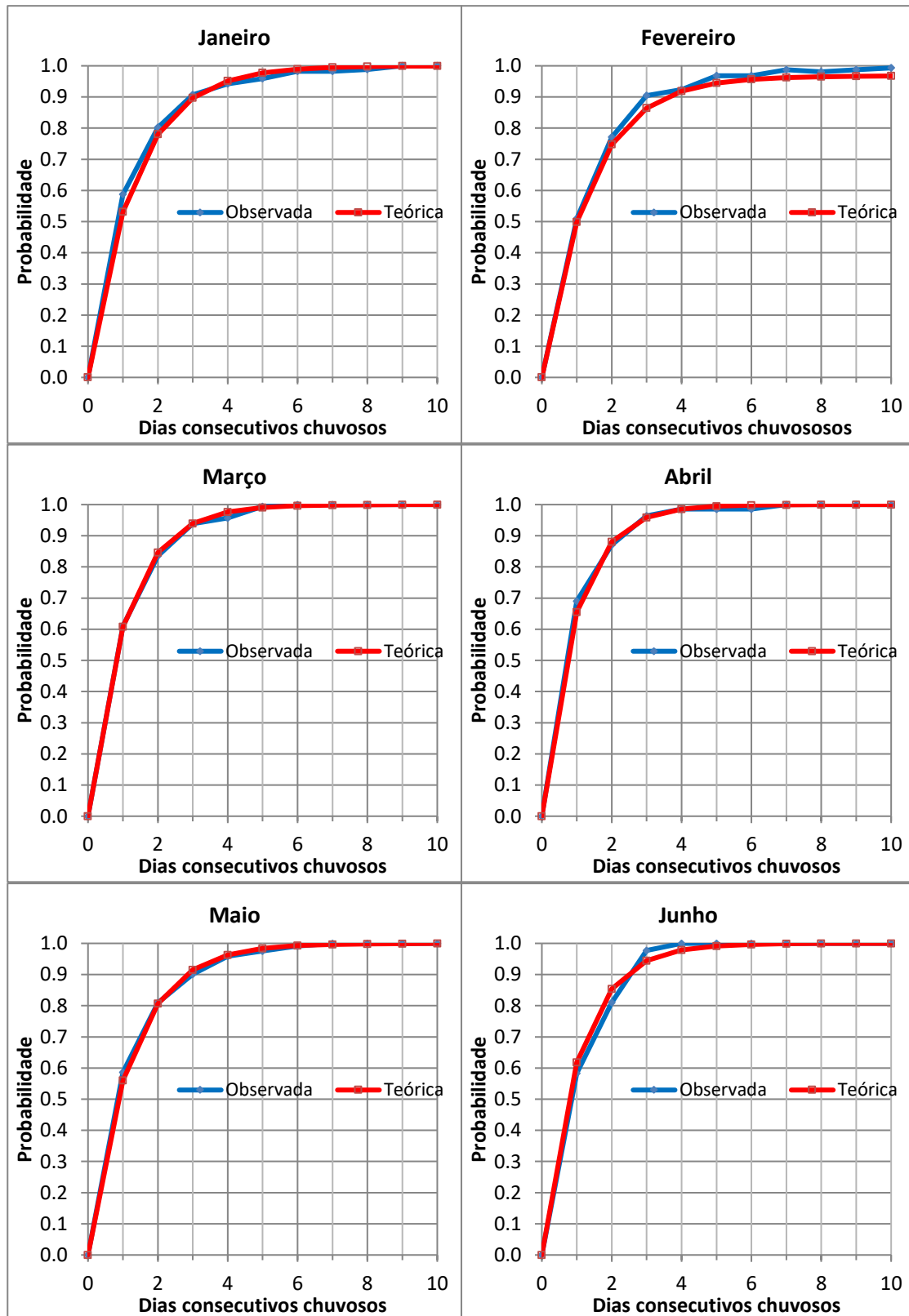
Fonte: autores, 2016

Figura 2. Aderência das séries de dias secos consecutivos de julho a dezembro de Içara, Santa Catarina, á distribuição geométrica



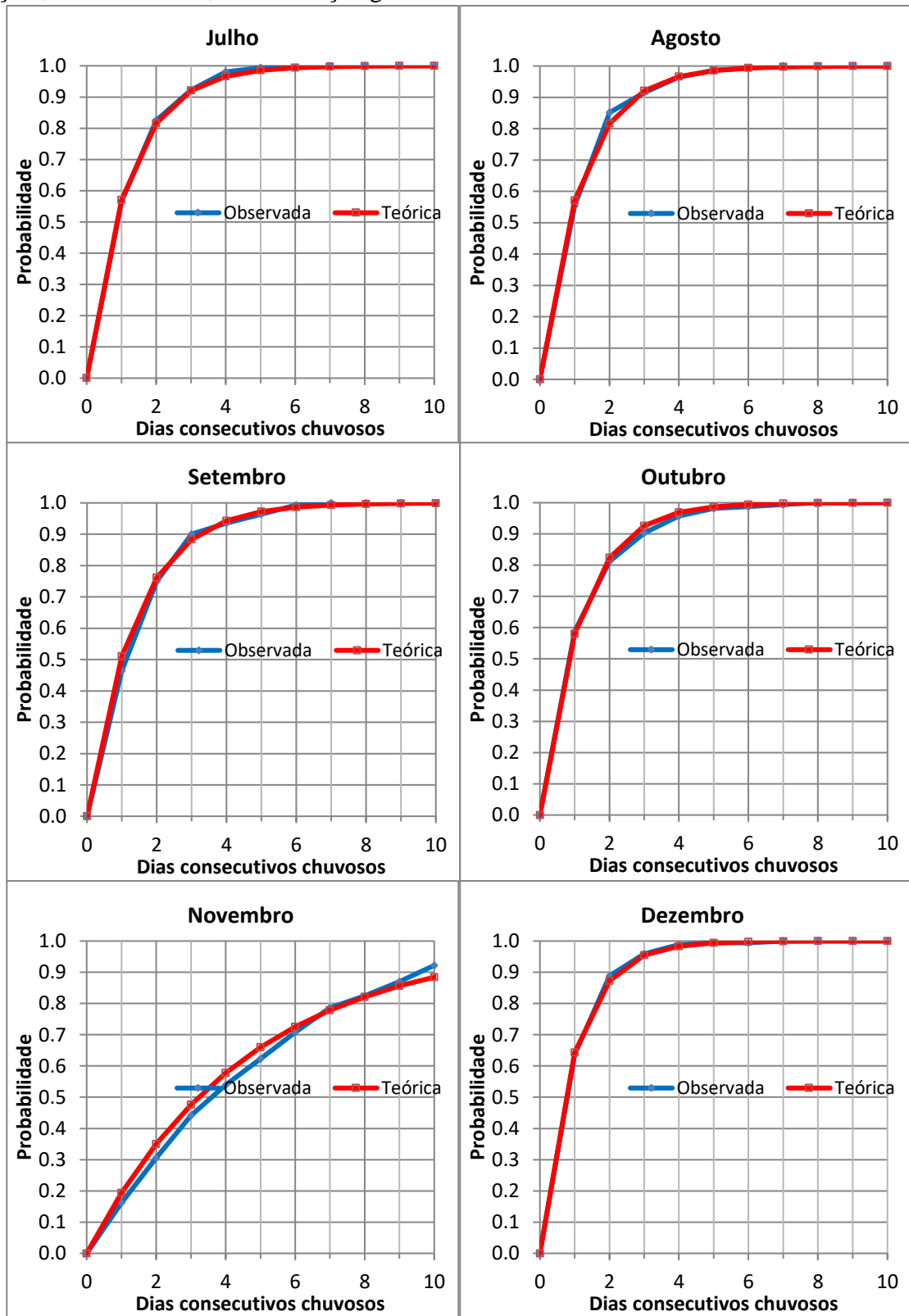
Fonte: autores, 2016

Figura 3. Aderência das séries de dias chuvosos consecutivos de janeiro a junho de Içara, Santa Catarina, á distribuição geométrica



Fonte: autores, 2016

Figura 4. Aderência das séries de dias chuvosos consecutivos de julho a dezembro de Içara, Santa Catarina, á distribuição geométrica



Fonte: autores, 2016

Tabela 5. Probabilidade de ocorrência de dias secos consecutivos em Içara, SC.

Período	Número de dias secos consecutivos				
	Até 3 dias	Até 5 dias	Até 7 dias	Até 10 dias	Até 15 dias
Janeiro	0,5487	0,7344	0,8437	0,9295	0,9813
Fevereiro	0,5755	0,7603	0,8646	0,9425	0,9862
Março	0,5139	0,6995	0,8142	0,9097	0,9729
Abril	0,4196	0,5962	0,7191	0,8370	0,9342
Mai	0,3674	0,5338	0,6564	0,7827	0,8987
Junho	0,3842	0,5543	0,6774	0,8013	0,9114
Julho	0,4379	0,6171	0,7392	0,8534	0,9439
Agosto	0,4044	0,5784	0,7016	0,8223	0,9251
Setembro	0,4536	0,6349	0,7560	0,8667	0,9513
Outubro	0,5032	0,6883	0,8045	0,9029	0,9697
Novembro	0,4761	0,6596	0,7788	0,8841	0,9605
Dezembro	0,4884	0,6728	0,7907	0,8929	0,9650
Ano	0,4622	0,6443	0,7648	0,8735	0,9550

Fonte: autores, 2016

Tabela 6. Probabilidade de ocorrência de dias chuvosos consecutivos em Içara, SC.

Período	Número de dias chuvosos consecutivos				
	Até 1 dia	Até 2 dias	Até 3 dias	Até 5 dias	Até 7 dias
Janeiro	0,5309	0,7800	0,8968	0,9773	0,9950
Fevereiro	0,4984	0,7484	0,8738	0,9682	0,9920
Março	0,6082	0,8465	0,9399	0,9908	0,9986
Abril	0,6553	0,8812	0,9591	0,9951	0,9994
Mai	0,5604	0,8067	0,9150	0,9836	0,9968
Junho	0,6179	0,8540	0,9442	0,9919	0,9988
Julho	0,5709	0,8158	0,9210	0,9854	0,9973
Agosto	0,5708	0,8158	0,9209	0,9854	0,9973
Setembro	0,5112	0,7611	0,8832	0,9721	0,9933
Outubro	0,5799	0,8235	0,9258	0,9869	0,9977
Novembro	0,5763	0,8205	0,9240	0,9864	0,9976
Dezembro	0,6429	0,8724	0,9544	0,9942	0,9993
Ano	0,5732	0,8178	0,9222	0,9858	0,9974

Fonte: autores, 2016

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

O modelo de cadeia de Markov se mostrou eficiente na descrição das ocorrências de dias secos e dias chuvosos de Içara;

As características da precipitação apresentam variação sazonal e, portanto, na modelagem da precipitação usando a cadeia de Markov os parâmetros devem ser estimados para cada mês com base em observações de postos pluviométricos da região em estudo.

A distribuição geométrica se mostrou adequada para a estimativa das probabilidades de ocorrência de sequências de dias secos consecutivos e também de dias chuvosos consecutivos;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE JUNIOR, A. S., FRIZZONE, J. A.; SENTELHAS, P. C. Simulação da precipitação diária para Parnaíba e Teresina, PI, em planilha eletrônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.2, p.271-278, 2001.

ASSIS, F. N. **Modelagem da ocorrência e da quantidade de chuva e de dias secos em Piracicaba-SP e Pelotas-RS**. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 1991. 134p.

BHARGAVA, P. N.; NARAIN, P.; AREJA, K. G.; PRADHAN, A. A study of the occurrence of rainfall in Raipur District with the help of Markov chain model. **Journal of the Indian Society of Agricultural Statistic**, v.25, p.197-204, 1973.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.463p,

CLARKE, R. T. **Stochastic process for water scientist: developments and applications**. Chi Chester: John Wiley, 1988. 83p.

COX, D. R.; MILLER, H. D. **The Theory of Stochastic Process**. Wiley, NewYork. 1967.

De GROEN, M. M.; SAVENIJE, H. H. G. Markov chains at daily timesteps. Key to transpiration at monthly timesteps. In: Warfsa Wasternet Syposium, 1. 2000. Maputo. Sustainable use of water resources: **proceedings**. Maputo: Warfa, p.1-12.

GABRIEL, K. R.; NEUMANN, J. A. Markov chain model for daily rainfall occurrences at Tel Aviv. **Quarterly Journal Royal Meteorological Society**. n.88, p.90-95, 1962.

KELLER FILHO, T.; ZULLO JUNIOR, J.; LIMA, P. R. S. de R. Análise da transição entre os dias secos e chuvosos por meio da cadeia Markov de terceira ordem. **Pesquisa. Agropecuária. Brasileira**, v.41, n.9, p.1341-1349, 2006.

MANGARAJ A. K., SAHOO, L. N.; SUKLA, M. K. A Markov chain analysis of daily rainfall occurrence at western Orissa of India. **Journal of Reliability and Statistical Studies**, v.6, n.1, p.77-86, 2013.

MEIRELES, E. J. L.; PEREIRA, A. R.; SENTELHAS, P. C.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, F. J. P. Risco climático de quebra de produtividade da cultura do feijoeiro em Santo Antônio de Goiás –GO. **Bragantia**, v.62, n.1, p.161-172, 2003

- MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B.; RHODOLFO, A. F. A. L. Veranico e a produção no estado da Paraíba, Brasil, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.2, p.181-186, 2010.
- MESQUITA, W. O.; GRIEBELER, N. P.; CORRECHEL, V. Sequências de dias chuvosos: fator de risco a colheita em Goiás. **Engenharia Agrícola**, v.33, n.3, p.463-474, 2013.
- MINUZZI, A.; BRACCINI, A. L.; RANGEL, M. A. S.; SCAPIM, C. A.; BARBOSA, M. C. ALBRECHT, L. A. Qualidade de sementes de quatro cultivares de soja, colhidas em dois locais no estado do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, n.1, p.176-185, 2010.
- MONTEIRO, L. A.; SENTELHAS, P. C.; PIEDEDE, S. M. de S. Probabilidade de sequência de dias trabalháveis com máquinas como subsídio ao planejamento de operações agrícolas na região de Piracicaba, SP. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 17, Guarapari(ES), **Anais...** 2001, Sbagro, Santa Maria, p.1.5.
- MONTEIRO, M. A. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. **Geosul**, v.16, n.31, p.69-78, 2001.
- MUHAMMAD, F.; NABI, G. Markov chain model for rainfall occurrence in Pakistan. **Journal of Islamic Academy of Sciences**, v.4. p.173-178, 1991.
- PUNYAWARDENA, B. V. R.; KULASIRI, D. On development and comparative study of two Markov models of rainfall in the dry zone of Sri Lanka. In: Joint International Conference on Agricultural Engineering and Technology, Dhaka, 1997. **Proceedings**. Dhaka: Asae. p.232-238.
- RAVINDRANAN, C. D.; DANI, R. G. Markov based models for weather spells – A case study. **Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics**, p.285-297, 1993.
- SILVA, M. A. V.; FERREIRA, W. P. M.; ANDRADE, V. M. S. A.; 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.5, n.4, p.454-459, 2010.
- SMIDERLE, O. J.; DIAS, C. T. S. Época de colheita e armazenamento de sementes de arroz produzidas no cerrado de Roraima. **Revista agro@ambiente**, v.5, n.1, p.18-23, 2011.
- SOUZA, A.; OLIVEIRA, C. R.; LAURETTO, M. Modelo para estimar o número de dias trabalháveis com tratores agrícolas. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 7, São Paulo, SP, 1992, SBMET, **Anais...** Rio de Janeiro, p.1.6.
- STERN, R. D.; COE, R. The use of rainfall models in agricultural planning. **Agricultural Meteorology**, n..26, p.35-50, 1982.
- STERN, R. D.; COE, R. **A model fitting analysis of daily rainfall data**. Statist, Soc. A, part 1,1984. p.1-34.
- SUNDARARAJ, N.; RAMACHANDRA, S. Markov dependent geometric models for weather spells and weather cycles – A study. **Indian Journal of Meteorological Hydrology and Geophysics**, v.26, n.2, p.221-226,1975.

VIRGENS FILHO, J. S.; CATANEO, A. Modelo computacional para simulação da radiação solar global diária. **Energia na Agricultura**, v.14, n. 2., p 24-36, 1999.