

## **IX-071 – MODELAGEM ESTOCÁSTICA DA SEQUÊNCIA DE DIAS SECOS E CHUVOSOS DE GARUVA-SC**

**Álvaro José Back<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Doutor em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), Professor do Programa de Pós-Graduação da Universidade do Extremo Sul Catarinense (PPGCA/Unesc).

**José Luiz Rocha Oliveira<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri).

**Alan Henn<sup>(3)</sup>**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri).

**Juliano Possamai Della<sup>(4)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc). Mestrando em Ciências Ambientais na Unesc.

**Bruno De Pellegrin Coan<sup>(5)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc). Mestrando em Ciências Ambientais na Unesc.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rodovia SC 446, km 16, Bairro da Estação, Urussanga, SC - CEP: 88840-000 - Brasil - Tel: (48) 34651209 - e-mail: [ajb@epagri.sc.gov.br](mailto:ajb@epagri.sc.gov.br)

### **RESUMO**

Este trabalho teve como objetivo avaliar o uso da modelagem matemática para simular a sequência de dias secos e chuvosos consecutivos para a região de Garuva, SC. Foram analisados dados de precipitação diária de Garuva, SC (Estação 02648027, latitude 26°02'08"S e longitude 48°51'00"W), referentes aos anos 1977 a 2011. Foram determinadas as matrizes de transição em dia seco e chuvoso, baseado no modelo de Markov de primeira ordem de dois estados, considerando dia seco todo o dia com precipitação inferior a 1,0 mm. Para simular a sequência de dias secos e chuvosos foi utilizado a distribuição geométrica. Para verificar a qualidade do ajuste da modelagem de sequência de dias secos e chuvosos empregou-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5%. Com a análise dos resultados deste estudo pode-se concluir que o modelo de Markov de primeira ordem de dois estados simulou as sequências de dias secos e chuvosos mantendo as características das séries observadas. As probabilidades de ocorrências de dias secos e dias chuvosos em Garuva-SC podem ser estimadas por meio da distribuição geométrica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelagem, Precipitação, cadeia de Markov, Distribuição Geométrica.

### **INTRODUÇÃO**

O conhecimento das distribuições de chuva no tempo e no espaço desempenha papel importante nas tomadas de decisões das atividades agrícolas e outras atividades produtivas desenvolvidas no campo. A observação de um dia chuvoso depende da ocorrência de chuvas em dias anteriores, sendo que a probabilidade de chover num determinado dia será maior se o dia anterior foi chuvoso como demonstrado por Gabriel e Neumann (1962). Estes autores demonstraram que existe persistência entre dias chuvosos consecutivos e obtiveram bom ajuste teórico usando cadeias de Markov de primeira ordem. Clarke (1988) apresenta a descrição detalhada do modelo de Markov e cita diversas aplicações na hidrologia. Assis (1996) utilizou as distribuições geométrica, logarítmica e binomial negativa truncada para a modelagem das probabilidades de sequências de dias secos ou chuvosos para Pelotas-RS e Piracicaba-SP. O autor observou que embora haja superioridade da distribuição

binomial negativa truncada a distribuição geométrica ajustou bem as sequências de dias secos e de dias com chuva.

Este trabalho teve como objetivo ajustar e avaliar um modelo estocástico para simular séries de dados de chuva para a região de Garuva, SC.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados dados de precipitação diária da estação pluviométrica de Garuva, SC, pertencente a Agência Nacional de Águas (ANA) (latitude 26°02'08"S e longitude 48°51'00"W), referentes aos anos 1977 a 2011. Foram calculadas as estatísticas descritivas dos totais mensais de chuva e dos valores de chuva diária.

Para a modelagem da ocorrência de precipitação foi considerado a cadeia de Markov de dois estados, em que o dia é considerado seco ou chuvoso. O critério adotado para o dia ser seco foi de chuva inferior a 1,0 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.

Para levar em conta a estacionariedade, os parâmetros do modelo foram ajustados por períodos mensais. Dessa forma foram determinadas as matrizes de probabilidades de transição conforme:

$$P00_i = \frac{N00_i}{N00_i + N01_i} \quad \text{equação (1)}$$

$$P10_i = \frac{N10_i}{N10_i + N11_i} \quad \text{equação (2)}$$

$$P01_i = 1 - P00_i \quad \text{equação (3)}$$

$$P11_i = 1 - P10_i \quad \text{equação (4)}$$

em que: P00 = Probabilidade de um dia ser seco, dado que o anterior também foi seco;

P10 = Probabilidade de um dia ser seco, dado que o anterior foi chuvoso;

P01 = Probabilidade de um dia ser chuvoso, dado que o anterior foi seco;

P11 = Probabilidade de um dia ser chuvoso, dado que o anterior foi chuvoso;

N10 = frequência observada da sequência de chuvoso seguido por dia seco;

N11 = frequência observada da sequência de dois dias chuvosos;

N00 = frequência observada da sequência de dois dias secos;

N01 = frequência observada de um dia seco seguido por dia chuvoso;

i = mês (1 a 12).

Para a simulação da sequência de dias secos e chuvosos foi utilizada a distribuição geométrica, em que a probabilidade de ocorrência de uma sequência de r dias consecutivos com chuva pode ser estimada por:

$$P[X = r] = (1 - P11) P11^{(r-1)}$$

e a probabilidade de ocorrer uma sequência de r dias secos pode ser estimada por:

$$P[X = r] = P01(1 - P01)^{(r-1)}$$

Para verificar a qualidade do ajuste da modelagem de sequência de dias secos e chuvosos empregou-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (Kite, 1977).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 constam as probabilidades de ocorrência de dias secos (P0), e probabilidades de ocorrência de dias secos seguido por dias secos (P00) e a probabilidade de ocorrência de dia chuvoso seguido de dias secos (P10) para as séries observadas e simuladas. Observa-se que as probabilidades de ocorrência de dias secos (P0) e de sequência de dias secos (P00) apresentam, em geral, valores menores nos meses de janeiro a março e os maiores valores em junho a agosto. Não se verifica variação brusca entre as probabilidades ao longo do ano, indicando que utilização de valores médios mensais não implicará em erros nas simulações.

**Tabela 1: Probabilidades de dias secos (P0) e sequência de dia seco seguido por dia seco (P00) e sequência de dia chuvoso seguido de dia seco (P10) da série de precipitação observada e simulada para Garuva-SC.**

Mês	Série observada			Série simulada		
	P0	P00	P10	P0	P00	P10
Janeiro	0,3032	0,5271	0,2045	0,2823	0,5187	0,1884
Fevereiro	0,3988	0,6041	0,2626	0,3883	0,6204	0,2412
Março	0,4092	0,5900	0,2864	0,4239	0,5904	0,3027
Abril	0,5048	0,6616	0,3449	0,5177	0,6669	0,3590
Maio	0,6452	0,7869	0,3969	0,6416	0,7796	0,3984
Junho	0,6940	0,8110	0,4321	0,6777	0,7944	0,4342
Julho	0,6673	0,8036	0,3894	0,6355	0,7830	0,3790
Agosto	0,6922	0,8154	0,4127	0,7023	0,8205	0,4250
Setembro	0,5185	0,7004	0,3174	0,5072	0,6926	0,3075
Outubro	0,4599	0,6437	0,3063	0,4594	0,6269	0,3181
Novembro	0,4619	0,6454	0,3044	0,4660	0,6476	0,3080
Dezembro	0,4433	0,6440	0,2805	0,4258	0,6390	0,2662

Na Tabela 2 consta o número máximo de dias consecutivos com chuva e o número máximo de dias secos consecutivos com início no mês. Também constam os valores de desvio máximo (Dmáx) entre as frequências empírica e a frequências teórica e o valor crítico (Dcrítico) segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de significância de 10%. Observa-se que o número máximo observado de dias consecutivos com chuva foi de 64 dias, tendo a sequência iniciado no mês de março.

**Tabela 2: Número máximo de dias consecutivos de chuva (N), desvio máximo (Dmáx) entre a distribuição geométrica e a distribuição empírica e desvio crítico (Dcrítico) pelo Teste Kolmogorov-Smirnov para o nível de significância de 10% para Garuva-SC.**

Mês	Dias de chuvas			Dias secos		
	N.	Dmáx	Dcrítico	N.	Dmáx	Dcrítico
Janeiro	46	0,0884	0,180	12	0,0703	0,450
Fevereiro	18	0,0502	0,278	18	0,0410	0,272
Março	64	0,0525	0,153	12	0,0316	0,338
Abril	21	0,0847	0,262	30	0,0483	0,220
Maio	13	0,0700	0,325	32	0,0588	0,217
Junho	15	0,0544	0,304	28	0,0683	0,230
Julho	16	0,0651	0,295	27	0,0429	0,232
Agosto	14	0,0339	0,314	32	0,0355	0,217
Setembro	26	0,0470	0,218	20	0,0327	0,264
Outubro	19	0,0213	0,272	13	0,0280	0,325
Novembro	15	0,0328	0,304	14	0,0290	0,314
Dezembro	33	0,0715	0,213	9	0,0334	0,388

Para a sequência de dias secos (chuva menor que 1,0 mm) foram observadas duas ocorrências com 32 dias, tendo uma sequência iniciado no mês de maio e outra no mês de agosto. Para todos os meses os valores de Dmáx da sequência de dias de chuva foram inferiores a 0,09, mostrando o bom ajuste da distribuição geométrica. Como os valores de Dcrítico foram superiores aos valores de Dmáx em todos os meses aceita-se a

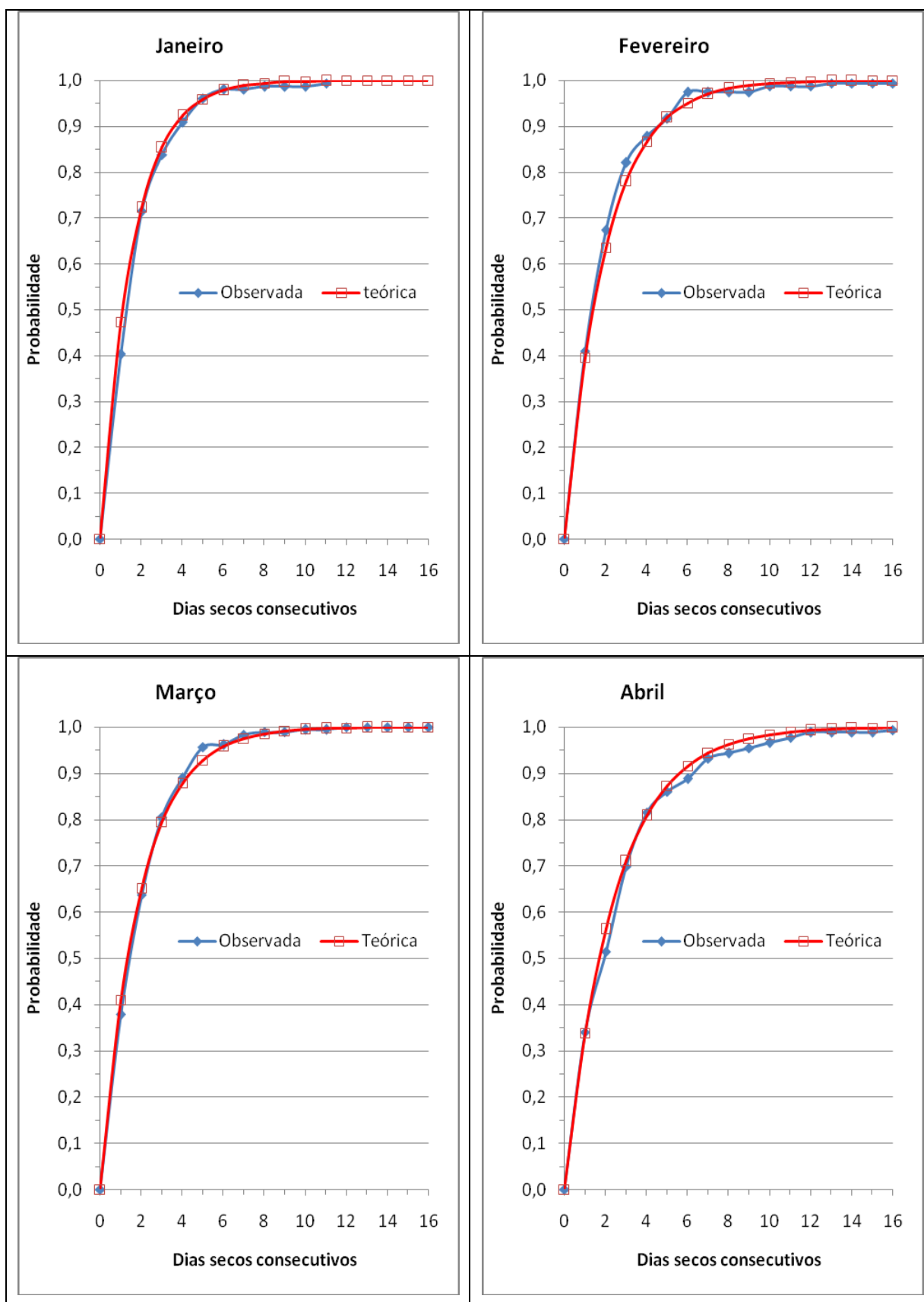
hipótese de igualdade das distribuições teóricas e empíricas e conclui-se que a distribuição geométrica pode ser utilizada para a estimativa das probabilidades de sequências de dias com chuva ou de dias secos.

Nas Figuras 1 a 3 constam as curvas empíricas e teóricas das frequências acumuladas de dias secos consecutivos e nas Figuras 4 a 5 contam as curvas empíricas e teóricas e das frequências acumuladas consecutivos com chuva.

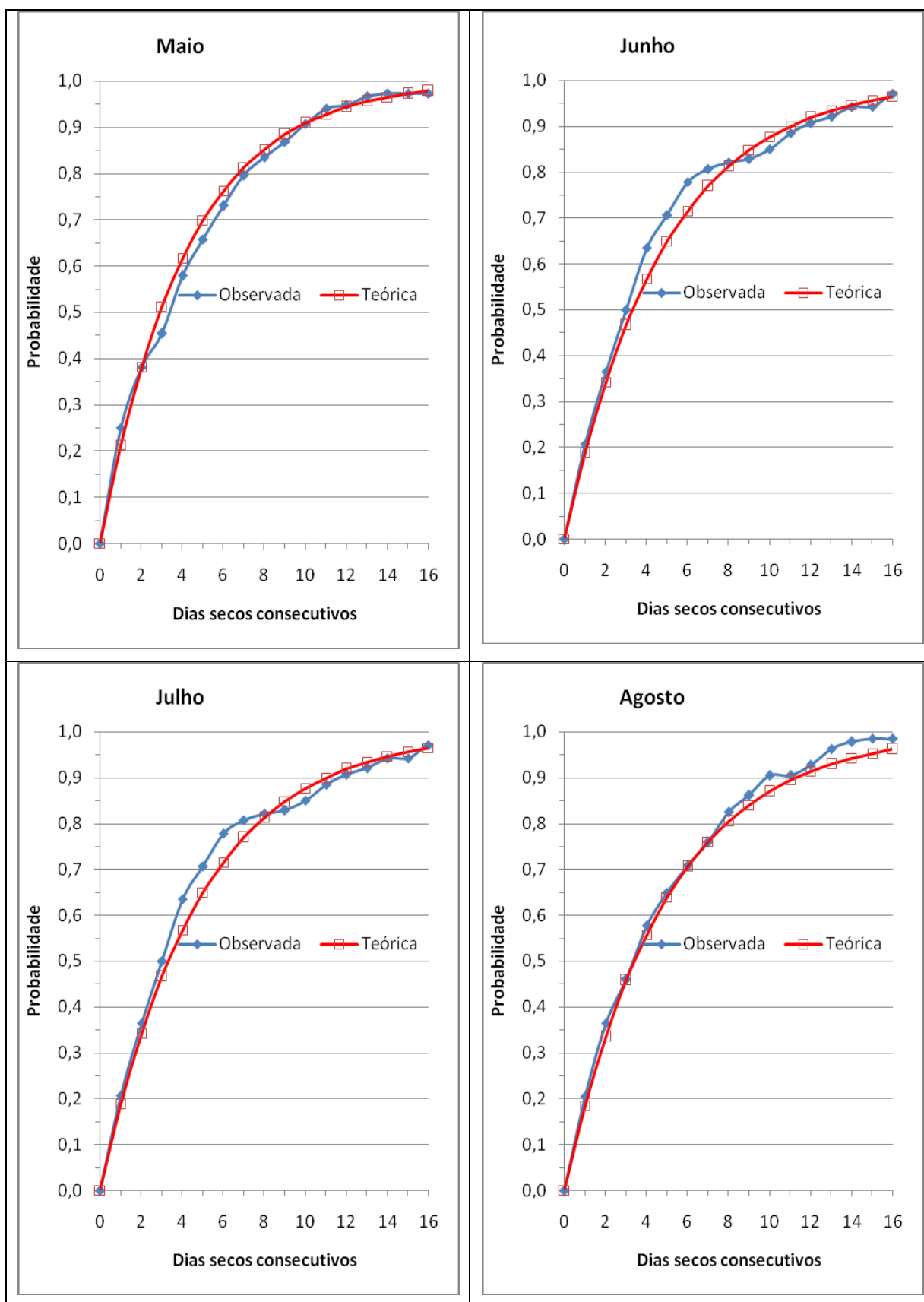
Com estes dados pode-se estimar as probabilidades de sequência de dias secos ou de dias chuvosos. Na Tabela 3 estão colocados as probabilidades de ocorrência de sequência de até 5 dias consecutivos de chuva e a probabilidade de até 5 dias consecutivos sem chuva. Observa-se que na estação de Garuva no mês de janeiro tem probabilidade de 0,7197 de ocorrer até cinco dias consecutivos de chuva, o que corresponde a um risco de 28,03 % de ocorrer um período superior a cinco dias de chuva. No mês de agosto esse risco é de 3,60%. Por outro lado, no mês de janeiro há a probabilidade de 0,9610 de ocorrer até 5 dias consecutivos sem chuva, ou seja há um risco de 3,90% de ocorrer um período superior a 5 dias sem chuva. No mês de maio este risco já é de 34,21 %. De posse deste tipo de informação pode-se planejar as atividades em função dos riscos climáticos.

**Tabela 3: Probabilidades de ocorrência de até cinco dias chuvosos consecutivos e cinco dias secos consecutivos.**

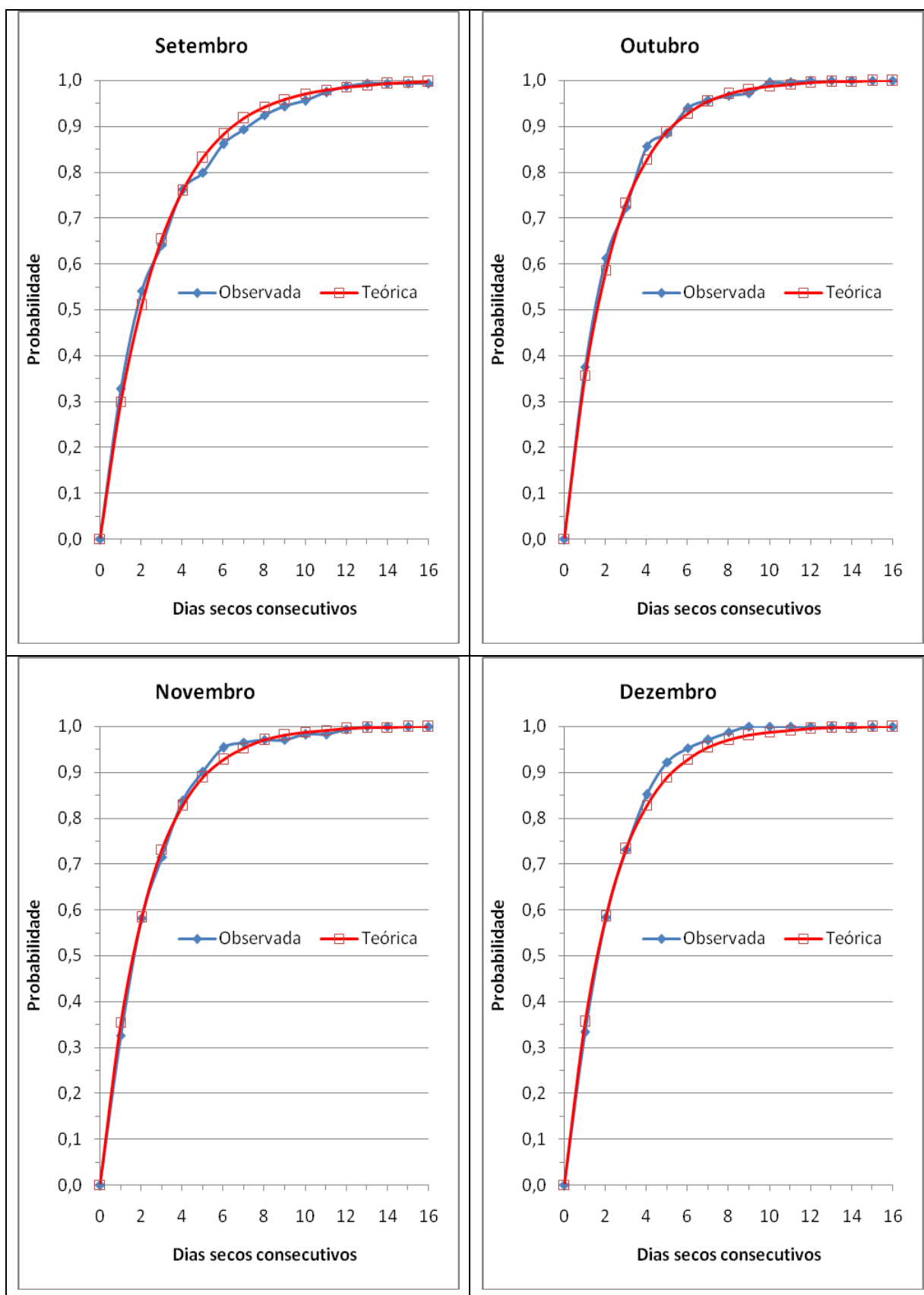
<b>Mês</b>	<b>Probabilidade de até 5 dias chuvosos</b>	<b>Probabilidade até 5 dias secos</b>
Janeiro	0,7197	0,9610
Fevereiro	0,8013	0,9167
Março	0,8167	0,9568
Abril	0,8778	0,8603
Maio	0,8951	0,6579
Junho	0,9206	0,7071
Julho	0,9161	0,6906
Agosto	0,9640	0,6496
Setembro	0,8795	0,7987
Outubro	0,8295	0,8840
Novembro	0,8372	0,9012
Dezembro	0,8439	0,9226



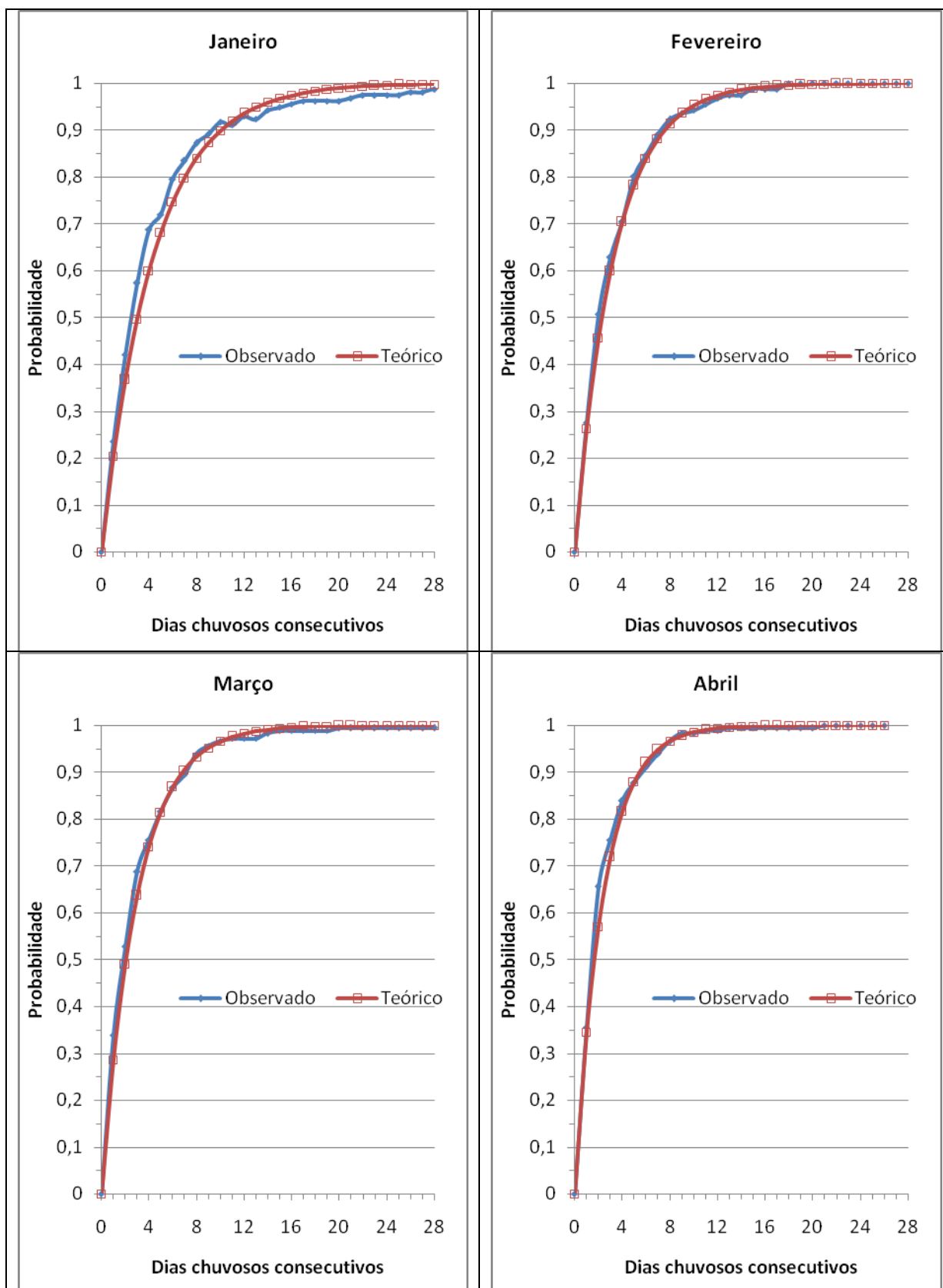
**Figura 1: Probabilidade observada e teórica de sequência de dias secos (chuva < 1,0 mm) para os meses de janeiro a abril em Garuva-SC.**



**Figura 2: Probabilidade observada e teórica de sequência de dias secos (chuva < 1,0 mm) para os meses de maio a agosto em Garuva-SC.**

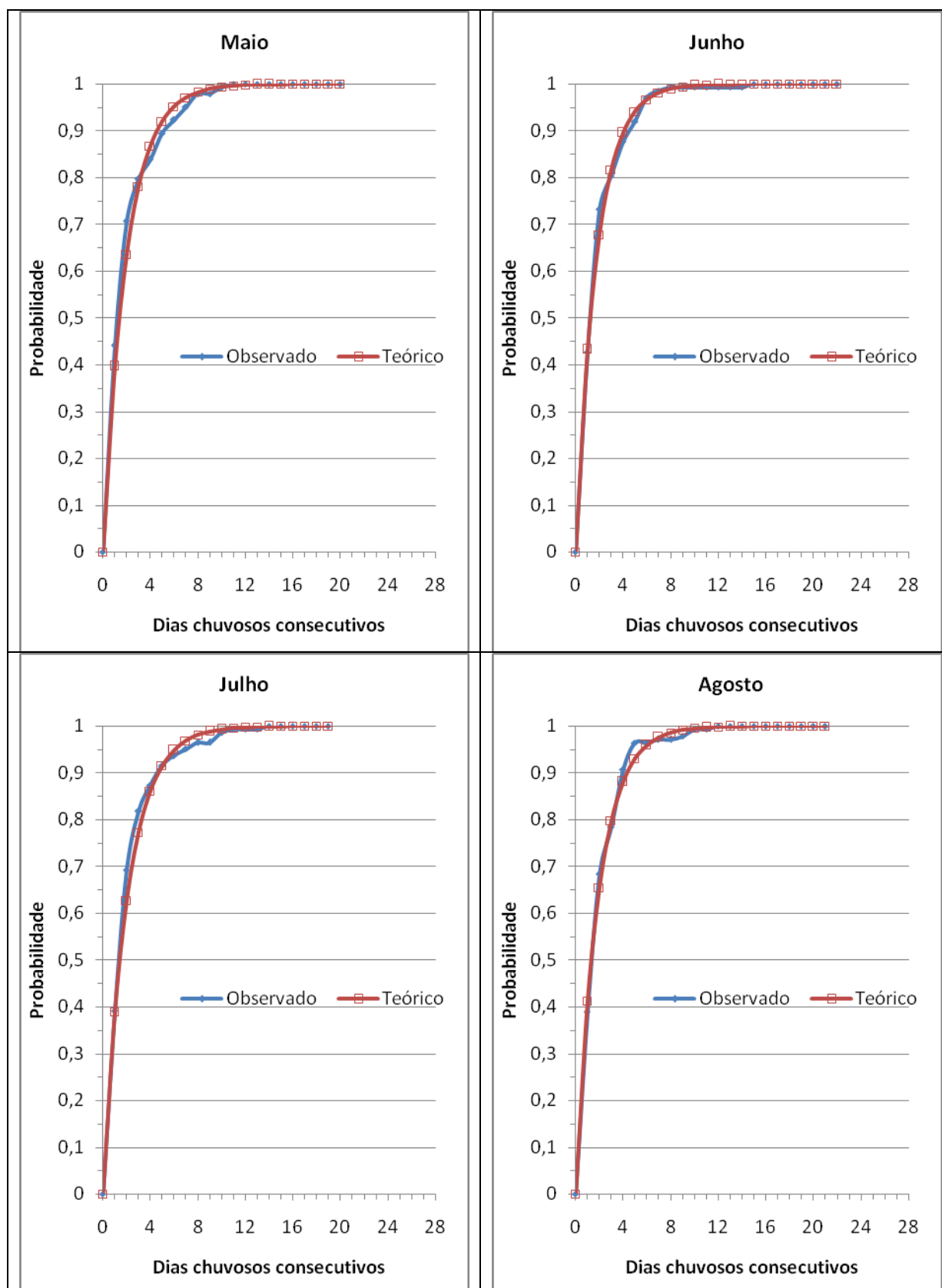


**Figura 3: Probabilidade observada e teórica de sequência de dias secos (chuva < 1,0 mm) para os meses de setembro a dezembro em Garuva-SC.**

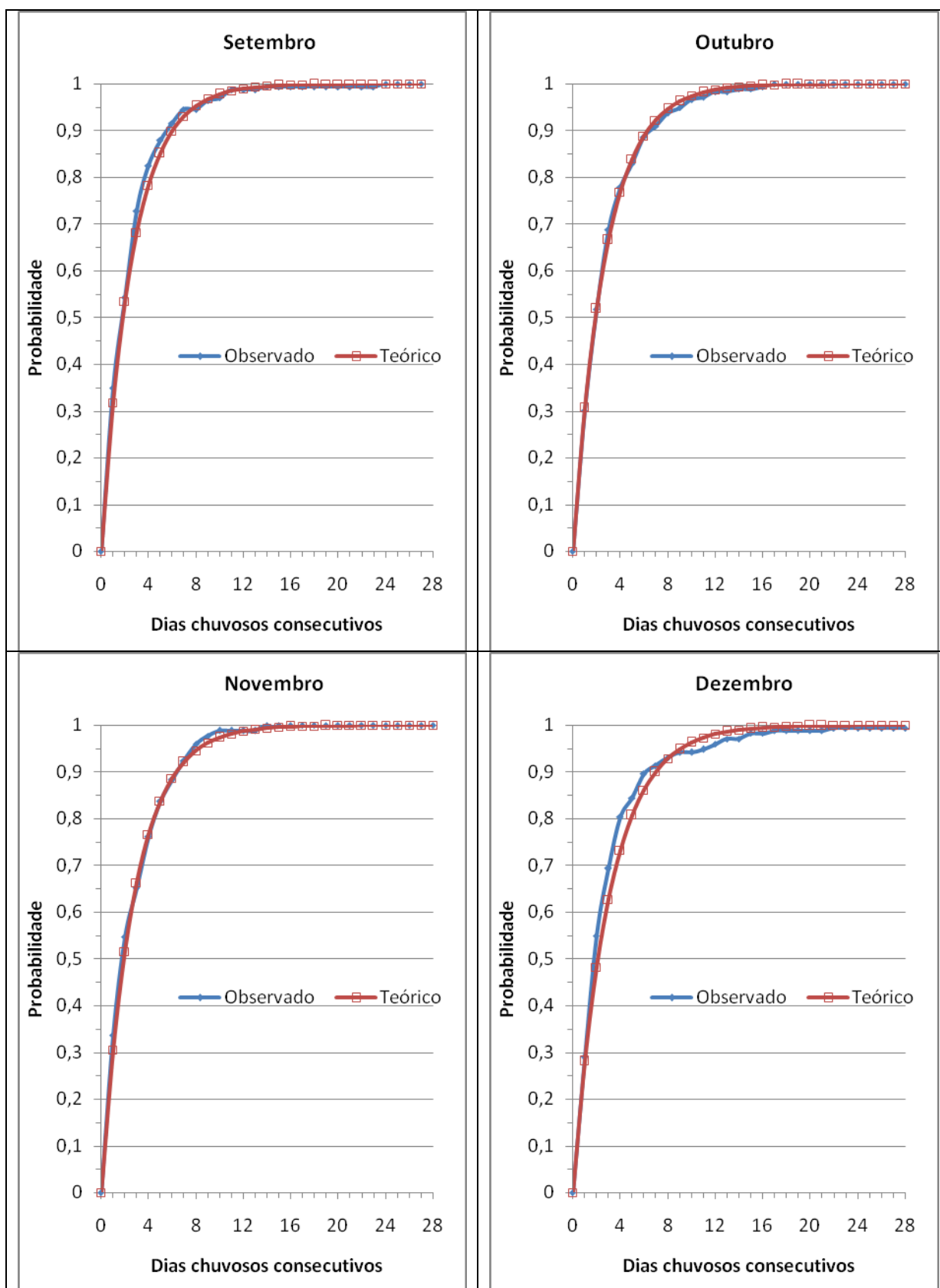


**Figura 4:** Valores de probabilidade observados e teóricos de sequência de dias chuvosos ( $\geq 1,0$  mm) para os meses de janeiro a abril em Garuva-SC.





**Figura 5. Valores de probabilidade observados e teóricos de sequência de dias chuvosos ( $\geq 1,0$  mm) para os meses de maio a agosto em Garuva-SC.**



**Figura 6: Valores de probabilidade observados e teóricos de sequência de dias chuvosos ( $\geq 1,0$  mm) para os meses de setembro a dezembro em Garuva-SC.**

## CONCLUSÕES

Com a análise dos resultados deste estudo pode-se concluir que o modelo de Markov de primeira ordem de dois estados simulou as sequências de dias secos e chuvosos mantendo as características das séries observadas. As probabilidades de ocorrências de dias secos e dias chuvosos em Garuva-SC podem ser estimadas por meio da distribuição geométrica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSIS, F. N. Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática. Pelotas. Imprensa Universitária, 1996. 161p.
2. CLARKE, R. T. Markov chains: applications to modeling of daily rainfall. In: \_\_\_\_\_. Stochastic process for water scientist: developments and applications. Chichester: John Wiley, 1988. 183p.
3. 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.
4. KITE, G. W. Frequency and risk analyses in Hydrology. Water Resources Publications For Collins, 1977. 224p.