



SIMULAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA PARA A LOCALIDADE DE SANTA IZABEL/RS, UTILIZANDO A CADEIA DE MARKOV DE DOIS ESTADOS E O MODELO PROBABILÍSTICO GAMA

WINKE, Luis Otávio Ledebuhr¹; DAMÉ, Rita de Cássia Fraga²; TEIXEIRA, Claudia Fernanda Almeida²; ROSSKOFF, José Luiz Costa²; FRAGA, Diego Severo³; ARAÚJO⁴, Roger Delavi; SOUZA, Marcelo Rocha²

^{1,2}Deptº de Engenharia Agrícola – FEA; ³Faculdade de Agronomia – FAEM; ⁴Faculdade de Meteorologia FMET /UFPeI
Campus Universitário – Caixa Postal 354 – CEP 96010-900. eng.winke@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

A precipitação é um dos elementos meteorológicos que exerce maior influência sobre as condições ambientais. Além do seu efeito direto sobre o balanço hídrico, ela influencia indiretamente outras variáveis, como a temperatura do ar e do solo, a umidade do ar e a radiação solar. Em quase todas as atividades agrícolas e em muitas não agrícolas, mas com importância econômica ou social, a ocorrência de precipitação, bem como sua quantidade e intensidade, pode determinar o sucesso ou o fracasso de um empreendimento.

Na Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim (ALM) existe um acervo de dados hidroclimatológicos, cujo monitoramento cessou em 1980. A análise dos registros existentes, bem como a extensão das séries, mediante o uso de modelos para geração de séries sintéticas de dados climáticos, é fundamental para atividades agrícolas, como por exemplo, o preparo do solo, a semeadura, a irrigação, a drenagem, a colheita. É útil também para o dimensionamento e manejo de reservatórios de água para o abastecimento de centros urbanos, bem como para o planejamento de atividades esportivas e turísticas. Enfim, são ferramentas fundamentais para a simulação do comportamento de sistemas hidrológicos da bacia da Lagoa Mirim.

A série sintética é o resultado da associação de séries de dados reais com números aleatórios, produzidos por algoritmos computacionais a fim de gerar seqüências de números aleatórios que se assemelham aos dados climáticos reais (Wilks, 1999). Para o Brasil, a aplicação desses procedimentos apresenta um grande potencial, tendo em vista o fato da extensão das séries históricas disponíveis normalmente ser reduzida, principalmente quando se trata de dados pluviográficos.

Uma outra vantagem das séries sintéticas é a possibilidade de sua utilização na previsão do número, magnitude e distribuição dos eventos que poderão ocorrer em um determinado espaço de tempo futuro. Isso permite sua aplicação em modelos de predição, que utilizam, ao invés de dados observados, dados que representam uma projeção futura do comportamento climático da localidade de interesse.

Oliveira (2003), Zanetti (2003) e Baena (2004) desenvolveram metodologias para geração de séries sintéticas de precipitação diária, utilizando a cadeia de Markov de dois estados (Benjamin & Cornell, 1970) para simular a ocorrência de dias secos e úmidos, bem como a distribuição Gama (Kite, 1978), para a simulação da quantidade precipitada nos dias considerados úmidos.

Diante da disponibilidade de dados hidroclimatológicos existentes na ALM, o objetivo do presente trabalho é simular séries de precipitação diária para a localidade de Santa Izabel, utilizando o modelo markoviano homogêneo de dois estados, bem como a distribuição Gama de tal forma a verificar o desempenho deste na representação da série.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados de precipitação diária da estação de Santa Izabel no município de Arroio Grande/RS, com coordenadas geográficas de 32° 09'21" "S" e 52° 36'56" "O". Os dados foram obtidos da ALM (código 3252030), do período de 1978 a 2006.

Para a modelagem da ocorrência de precipitação, foi considerada a cadeia de Markov de dois estados, em que o dia considerado seco ou chuvoso, depende somente da condição do dia anterior. O critério adotado para o dia seco foi de chuva inferior a 1,0 mm. Para a simulação da quantidade de chuva foi utilizado o modelo gama (Stern & Coe, 1984).

Nas simulações de precipitação diária foi utilizado o software denominado ClimaBR desenvolvido por Zanetti (2003). Foram simuladas 100 e 500 séries de precipitação diária, em que as estatísticas média, desvio padrão, coeficiente de assimetria e probabilidades de transição, de cada uma destas séries, foram comparadas às estatísticas da série histórica.

A verificação da adequação da metodologia utilizada foi feita mediante o teste "t" (Baena, 2004; Damé et al., 2008), para os coeficientes linear e angular da reta de regressão obtida entre os dados observados e simulados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do teste t aplicados aos coeficientes linear e angular, bem como os respectivos níveis de significância para cada série simulada (100 e 500 anos), são apresentados na Tabela 1.

Observa-se que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade entre as séries simuladas e a série histórica, considerando a média, o desvio padrão, o coeficiente de assimetria e as probabilidades de transição (P11, P10, P00, P01). Assim, a hipótese de nulidade é aceita, e, portanto, a cadeia de Markov de dois estados homogênea é considerada adequada para a simulação da precipitação diária da localidade de Santa Izabel.

Em relação ao número de simulações, verifica-se que o acréscimo de 100 para 500 simulações não proporcionou alteração significativa aos valores das estatísticas testadas, apenas aumentou o custo computacional.

Os resultados dos níveis de significância, tanto para β_0 , como para β_1 , podem ser expressos pela sentença: "a variação entre as estatísticas das séries simuladas e série histórica não foi significativa".

Da mesma forma, Oliveira (2003), em estudo realizado para 11 localidades do Estado do Rio de Janeiro, afirma que o modelo ClimaBR apresenta bom desempenho na estimativa da precipitação diária, com desvios entre os valores observados e gerados variando entre 0 e 8%.

Tabela 1. Resultados obtidos com o ajuste linear ($Y = \beta_0 + \beta_1 X$) entre os valores de média, desvio padrão, coeficiente de assimetria e probabilidades de transição, P11, P10, P00 e P01, das precipitações diárias observadas (mm) da estação de Santa Izabel e, simuladas (mm), mediante a cadeia de Markov de dois estados e, distribuição gama, para 100 e 500 simulações

Estatística	Nº de Simulações	β_0	β_1	$t(\beta_0)$	$T(\beta_1)$	Significância (β_0)	Significância (β_1)
Média	100	0,1966	0,9932	0,1978	-0,0070	0,8468	0,9947
	500	-0,1587	1,0119	0,1568	0,0118	0,8782	0,9908
Desvio Padrão	100	-0,1939	1,0060	0,1927	0,0060	0,8507	0,9953
	500	-0,1939	1,0060	0,1927	0,0060	0,8507	0,9953
Coeficiente de Assimetria	100	0,6289	0,7513	0,6992	-0,2760	0,4990	0,9076
	500	0,2169	0,9744	0,2084	-0,0246	0,8387	0,9808
P11	100	0,0208	1,0787	0,0214	0,0811	0,9796	0,9400
	500	0,0317	1,0901	0,0287	0,0816	0,9776	0,9364
P10	100	0,0104	0,9143	0,0090	-0,0740	0,9930	0,9424
	500	0,0104	0,9143	0,0090	-0,0740	0,9930	0,9424
P00	100	0,0578	1,0787	0,0510	0,0695	0,7252	0,9399
	500	0,0583	1,0901	0,0528	0,0816	0,9588	0,9364
P01	100	0,0753	0,9143	0,0650	-0,0740	0,9494	0,9424
	500	0,0753	0,9143	0,0650	-0,0740	0,9494	0,9424

β_0 e β_1 : coeficientes linear e angular do ajuste linear;

$t_{\text{tab}}(5\%) = 2,2009$; Significância: 0,05.

Zanetti et al. (2006), com o objetivo de validar o modelo ClimaBR no que se refere à geração de séries sintéticas de precipitação total diária, utilizou 12 localidades escolhidas de forma distribuída. O ClimaBR foi utilizado para gerar as séries sintéticas de precipitação, sendo gerada uma série de 100 anos para cada localidade. Os autores concluíram que o modelo ClimaBR apresentou bom desempenho na geração de séries sintéticas de precipitação (número de dias chuvosos e precipitação total diária) para todas as localidades testadas.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem afirmar que, de acordo com os dados e com as condições consideradas no presente estudo, a cadeia de Markov homogênea de dois estados, bem como a distribuição gama, apresentaram bom desempenho na geração de séries sintéticas de precipitação total diária para a localidade testada.

Concluiu-se também que o aumento do número de simulações não proporcionou alteração significativa aos valores das estatísticas testadas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAENA, L.G.N. **Modelo para geração de séries sintéticas de dados climáticos**. 2004. 170f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- BENJAMIN, J.R.; CORNELL, C.A. **Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers**, New York: McGraw-Hill Book Company. 1970. 685 p.
- DAMÉ, R.C.F.; TEIXEIRA, C.F.A.; TERRA, V.S.S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-freqüência. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p. 245-255, jan/mar. 2008.
- KITE, G.H. Frequency and risk analyses in hydrology. Fort Collins: **Water Resources Publications**, 224 p. 1978.
- OLIVEIRA, V.P.S. **Modelo para geração de séries sintéticas de precipitação**. 2003. 156f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.
- STERN, R.D.; COE, R. A model fitting analysis of daily rainfall data. **Quarterly Journal of the Royal Statistical Society - A**, v.147, part 1, p.1-34. 1984.
- ZANETTI, S.S. **Modelo computacional para geração de séries sintéticas de precipitação e do seu perfil instantâneo**. 2003. 71f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.
- ZANETTI, S.S.; OLIVEIRA, V.P.S.; PRUSKI, F.F. Validação do modelo ClimaBR em relação ao número de dias chuvosos e à precipitação total diária. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p. 96-102, jan/abr. 2006.
- WILKS, D.S. Simultaneous stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation at multiple sites in complex terrain. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.96, p.85-101, 1999.