

# Dependência temporal da precipitação pluvial e da temperatura do ar em Juiz de Fora, MG, por meio de análises geoestatísticas

## Temporal dependence of pluvial precipitation and air temperature of Juiz de Fora, MG, using geostatistical analysis

Vania Corrêa Mota<sup>1</sup>, Renato Ribeiro de Lima<sup>2</sup>, Marcelo de Carvalho Alves<sup>3</sup>,  
Marcelo Silva de Oliveira<sup>4</sup>, Luiz Gonsaga de Carvalho<sup>5</sup>

**Resumo** - O objetivo do presente trabalho foi verificar o uso da metodologia de análise geoestatística para caracterizar a dependência temporal da precipitação pluvial e da temperatura do ar em Juiz de Fora, MG, para os cenários futuros de mudanças climáticas, no período de 2000 a 2099, utilizando um arranjo unidimensional. Na escolha dos melhores modelos, foram utilizados o critério de Akaike e o grau de dependência temporal, obtido a partir do semivariograma teórico. Com base nos semivariogramas experimentais e teóricos, constatou-se dependência temporal das variáveis, com melhor ajuste do modelo “wave”, para os dados observados e cenários futuros de precipitação pluvial. Para a variável temperatura do ar, verificou-se melhor ajuste do modelo gaussiano, quando comparado com os demais modelos. Verificou-se, para análise dos dados ao longo do tempo, que o artifício utilizado de forma bidimensional é uma alternativa para a visualização dos dados obtidos pela krigagem ordinária, sendo uma forma mais didática para apresentar esses dados de precipitação pluvial e temperatura do ar.

**Palavras-chave:** Semivariograma; krigagem; modelo CCSM3.0; análise unidimensional.

**Abstract** - The objective of this work was to verify the use of the geostatistics analysis to characterize the timing dependence of the pluvial precipitation and air temperature in the Juiz de Fora, MG municipal district by using one-dimensional grid. The forecast data of future sceneries of climatic changes from 2000 to 2099 for these two variables, precipitation and air temperature were analyzed. It was verified a temporal dependence of the pluvial precipitation with the experimental and theoretical semivariograms, and the best adjusted model for the observed data and simulated future sceneries of pluvial precipitation was the wave. In the case of the air temperature the best adjustment was obtained with the Gaussian model. The kriging results were represented in a two-dimensional graphic which was a very interesting alternative for the visualization of the data behaviour along the time.

**Key words:** Semivariogram; kriging; CCSM3.0 model; one-dimensional analysis.

<sup>1</sup>Matemática, Mestre em Estatística e Experimentação Agropecuária, Universidade Federal de Rondônia. Av. Presidente Dutra nº 2965 Bairro Centro, CEP 78900 000. Porto Velho, RO. E-mail: vaniamota33@gmail.com

<sup>2</sup>Zootecnista, Professor Adjunto do Departamento de Ciências Exatas, Universidade Federal de Lavras. CEP 37200 000. Lavras, MG. E-mail: rrlima@ufla.br

<sup>3</sup>Engenheiro Agrônomo, Professor Adjunto do Departamento de Solos e Engenharia Rural, Universidade Federal de Mato Grosso. Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, CEP 78060 900. Cuiabá, MT. E-mail: mdecalves@ufmt.br.

<sup>4</sup>Engenheiro de Produção, Professor Associado do Departamento de Ciências Exatas, Universidade Federal de Lavras. Caixa postal 37, CEP 37200 000. Lavras, MG. E-mail: marcelo.oliveira @ ufla.br

<sup>5</sup>Engenheiro Agrícola, Professor Associado do Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras. Caixa postal 37, CEP 37200 000. Lavras, MG. E-mail: lgonsaga@ufla.br.

## Introdução

As condições climáticas podem interferir no planejamento de diversas atividades ecológicas e sócioeconômicas e tem recebido atenção especial dos pesquisadores, devido às previsões de alterações no clima do planeta (MARENGO et al., 2007). Dentre os estudos de variabilidade dos elementos climáticos, os mais abordados são precipitação pluvial e temperatura do ar, que são normalmente utilizados em estudos de projetos urbanos, agrícolas, ambientais, dentre outros setores, como o serviço público de saúde (VIANELLO & ALVES, 1991). Dados no espaço e no tempo são necessários para modelar distribuições hidrológicas das inundações, erosões e outros processos não controláveis que ocorrem no meio ambiente, tais como enchentes, secas, geadas, entre outros (HABERLANDT, 2007).

Estudar a precipitação pluvial e a temperatura no período atual e em cenários futuros de mudanças climáticas é de vital importância para o setor agrícola, pois o conhecimento dessas variáveis ao longo dos anos garante a obtenção de altas produtividades e estabilidade do rendimento, na maioria das espécies cultivadas (QUEIROZ et al., 2001).

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas-IPCC, estima-se um aquecimento global em torno de 1 a 3,5 °C até o ano 2100, podendo haver diferenças regionais marcantes na agricultura (ASSAD & LUCHIARI, 1989; IPCC, 2007). De acordo com Siqueira et al. (2000), os cenários climáticos futuros implicam uma redução média de 31% na produção nacional de grãos de trigo, com maiores reflexos nas regiões Central e Sul do país. No caso do milho, os decréscimos médios correspondem a 16%, sendo mais expressivos para as regiões Nordeste e Norte. Para a soja, são projetados acréscimos médios na produção de grãos em torno de 27%, como resultante de efeitos do aumento das concentrações de CO<sub>2</sub>. Na região Sudeste, o efeito das elevações das temperaturas e das chuvas no zoneamento do café mostrou clara tendência de diminuição das áreas aptas para o cultivo do café arábica.

As anomalias da precipitação pluvial e da temperatura constituem a maior causa das perdas de produção e de produtividade anual das culturas. Dessa forma, o conhecimento prévio do transcurso anual da precipitação pluvial e da temperatura do ar, em escala local e sua variabilidade espacial e temporal, contribuem para o planejamento de medidas de redução

dos impactos das anomalias climáticas sobre o setor agrícola.

Portanto, é importante que se estude o comportamento dos elementos climáticos ao longo do tempo e/ou espaço. Assim, objetivou-se, com o presente trabalho, verificar o uso da metodologia de análise geoestatística para caracterizar a dependência temporal da precipitação pluvial e da temperatura do ar de Juiz de Fora, MG, para os dados de previsão de cenários futuros de mudanças climáticas, utilizando um arranjo unidimensional.

## Material e Métodos

Este estudo foi realizado com dados do município de Juiz de Fora, Estado de Minas Gerais. Este município encontra-se na latitude de 21° 45' 50''S e longitude de 43° 21' 0''W. Segundo a classificação internacional de Köppen, o clima da região é do tipo tropical de altitude Cwa, caracterizado por duas estações bem definidas: uma seca e de menores temperaturas, que se estende de maio a setembro, e outra úmida e de temperaturas mais elevadas, de outubro a abril. A temperatura média anual é de 19,3 °C e a precipitação anual é de 1644 mm (BRASIL, 1992).

Os dados de previsão de cenários futuros referem-se às variáveis: precipitação pluvial mensal, em mm, e temperatura média do ar, em °C. Esses dados referem-se ao período de 2000 a 2099 e foram obtidos da base de dados do IPCC (IPCC, 2001). Os dados fazem parte de previsões realizadas pelo 'National Center for Atmospheric Research' (NCAR, 2007), referentes ao Terceiro Relatório de Avaliação (TAR), modelo CCSM 3.0, com a resolução espacial de 1,4° x 1,4°, latitude de -21,7119° e longitude de -43,5938°. Para efeito de análise, o período considerado no estudo foi dividido em três: P1 (2000 a 2032), P2 (2033 a 2065) e P3 (2066 a 2099). Para a variável temperatura, o período P3 compreendeu os anos de 2066 a 2098. Optou-se por utilizar um cenário mais pessimista (A2), caracterizado por um mundo futuro muito heterogêneo, onde a regionalização é dominante, um intermediário (A1B), onde os indivíduos procuram riqueza pessoal em lugar de qualidade ambiental, e outro mais otimista (B1), caracterizado por rápida mudança na estrutura econômica mundial, com introdução de tecnologias limpas.

Inicialmente, foi realizada uma análise descritiva dos dados, buscando visualizar o

comportamento geral destes, para uma posterior análise geoestatística.

Os semivariogramas foram estimados por meio dos estimadores clássico e robusto. Nas análises, foi utilizado um arranjo unidimensional ao longo do tempo, uma vez que os dados referem-se a mensurações mensais.

Para o ajuste do semivariograma teórico, foi utilizado o método dos mínimos quadrados ordinários (OLS). Os modelos estatísticos comparados foram: esférico, gaussiano e ‘wave’, que, conforme Goovaerts (1997), são definidos por:

- Modelo Esférico:

$$\gamma(h, \beta) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right], & 0 \leq h \leq a \\ C_0 + C_1, & h > a \end{cases}$$

- Modelo Gaussian

$$\gamma(h, \beta) = C_0 + C_1 \left( 1 - \exp \left( -3 \left( \frac{h^2}{a^2} \right) \right) \right), \text{ se } a > 0$$

- Modelo ‘wave’:

em que  $\gamma(h, \beta)$  é a  $\gamma(h, \beta) = C_0 + \frac{a}{h} \text{sen} \left( \frac{h}{a} \right)$ , distância  $h$ ;  $C_0$  é o efeito pepita;  $C_1$  é o alcance da dependência espacial.

Do conjunto de resultados obtidos, pelos estimadores clássico e robusto para os três modelos, foram estimados seus parâmetros e selecionado o melhor modelo, de acordo com a aproximação para o valor do Critério de Akaike (AIC) proposta por Webster & Oliver (2001), ou seja:

$$AIC = 2p + n \cdot \ln(RSS/n),$$

em que  $n$  é o número de observações,  $p$  é o número de parâmetros e  $RSS$  é a soma de quadrados de resíduos. A relação  $C_0/(C_0+C_1)$  normalmente é utilizada para avaliar o grau de dependência espacial das variáveis e, como nesse estudo os dados foram analisados ao longo do tempo, essa relação foi chamada de grau de dependência temporal, o que é uma adaptação da definição apresentada por Cambardella et al. (1994).

Após o ajuste do semivariograma, foi realizada a interpolação por krigagem ordinária para mapear a variável, de acordo com Goovaerts (1997), pela seguinte equação:

$Z_{KO}^*(x) = \sum_{j=1}^{n(x)} \lambda_j(x) z(x_j)$ , em que  $n(x)$  é o número de observações de precipitação pluvial mensal e temperatura do ar  $z(x_j)$ , utilizadas para estimar  $Z_{KO}^*(x)$ , e  $\lambda_j$  são os pesos associados às observações

$z(x_j)$ . Nesse caso, para que  $Z_{KO}^*(x)$  seja não tendencioso, a soma dos pesos das observações deve ser igual a 1, a esperança entre o valor estimado e o observado deve ser zero e a variância das estimativas deve ser mínima. Para verificar se a krigagem ordinária descreve adequadamente a variabilidade temporal das variáveis estudadas, foi utilizada a validação cruzada (“cross-validation”). Após as análises, foi utilizado um artifício, como uma forma alternativa apenas de visualização dos dados, no qual se consideraram meses na vertical e anos na horizontal, de forma bidimensional. Todas as análises foram realizadas no pacote geoR (RIBEIRO JÚNIOR & DIGGLE, 2001), do ambiente computacional R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2007).

### Resultados e Discussão

Na Tabela 1, estão apresentados os resultados da análise descritiva dos dados de previsão para os cenários futuros A2, A1B e B1 de mudanças climáticas nos períodos P1, P2 e P3, para o total mensal de precipitação pluvial e a média mensal da temperatura do ar.

Para a o cenário A2, mais pessimista, onde se espera um rápido e alto crescimento populacional e pouca preocupação com o desenvolvimento tecnológico e econômico, verificou-se um aumento médio da precipitação nos próximos 99 anos. Para o período P1, a média foi de 75,61 mm, para o P2 de 77,35 mm e P3, de 79,96 mm. Para os valores mínimos, observou-se diminuição do P1 para o P3 em torno de 1 mm e para as máximas houve um aumento de aproximadamente 10 mm .

**Tabela 1.** Estatísticas descritivas da precipitação pluvial mensal e da temperatura do ar em Juiz de Fora, MG, para os cenários A2, A1B e B1 do IPCC, nos períodos 2000 a 2032 (P1), 2033 a 2065 (P2) e 2066 a 2099 (P3).

	Cenário A2					
	Precipitação			Temperatura		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
N	396	396	408	396	396	396
Média	75,61	77,35	79,96	21,69	22,30	23,78
Mediana	56,06	59,55	61,97	22,02	22,99	24,38
Mínima	9,41	9,05	8,10	16,65	16,99	18,88
Máxima	244,31	242,89	254,75	25,65	26,05	28,16
Variância	3579,32	3881,87	4184,08	5,15	4,78	4,38
DP	59,83	62,30	4,68	2,27	2,18	-0,52
Assimetria	0,79	0,72	0,75	-0,49	-0,59	-0,72
Curtose	-0,56	-0,71	-0,60	-1,02	-0,87	2,09
CV	79,12	80,55	80,89	10,67	9,80	8,79
	Cenário A1B					
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
	N	396	396	408	396	396
Média	77,91	80,27	80,57	21,33	22,28	23,06
Mediana	53,72	59,14	61,83	22,08	22,99	23,72
Mínima	8,70	9,44	10,07	16,58	17,59	18,86
Máxima	222,79	261,01	237,50	25,21	26,16	27,04
Variância	3883,96	4148,95	3958,92	4,50	4,56	3,98
DP	62,32	0,71	62,92	2,18	2,13	1,99
Assimetria	0,72	-0,16	0,64	-0,56	-0,56	-0,55
Curtose	-0,79	64,41	-0,85	-0,92	-0,93	-0,86
CV	79,98	80,24	78,09	10,22	9,56	8,65
	Cenário AB1					
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
	N	396	396	408	396	396
Média	77,34	79,14	81,07	21,21	21,71	21,98
Mediana	56,96	58,24	56,26	21,97	22,47	22,62
Mínima	10,41	9,50	10,02	16,53	17,21	17,16
Máxima	270,00	268,11	241,45	25,27	25,68	25,35
Variância	3883,53	4034,45	4069,66	4,92	4,58	4,37
DP	62,32	63,52	63,79	2,22	2,14	2,09
Assimetria	0,82	0,78	0,67	-0,55	-0,59	-0,60
Curtose	-0,39	-0,53	-0,87	-0,99	-0,90	-0,87
CV	80,57	80,26	78,68	10,46	9,86	9,51

Obs: N = Número de observações, DP = Desvio padrão, CV = Coeficiente de Variação.

A temperatura para esse cenário também apresentou mudanças. Do P1 ao P3, observa-se, na Tabela 2, um aumento na média de 2,09 °C, com os valores de temperaturas mínimas e máximas apresentando uma diferença do P1 para o P3 de aproximadamente 2°C. Os aumentos da chuva e da temperatura provavelmente se devem ao aquecimento global do planeta. Esses resultados corroboram os observados pelo Quarto Relatório do IPCC, o qual afirma que as atividades antrópicas são a principal causa do aquecimento global e aponta o acúmulo de gases de efeito estufa, dióxido de carbono e o metano, como os principais responsáveis (IPCC, 2007).

Para o cenário intermediário A1B, em que as populações, de um modo geral, procuraram riqueza pessoal em lugar de qualidade ambiental, observaram-se

também aumentos na temperatura de aproximadamente 1,80 °C para os próximos 98 anos, quando comparado o P1 com o P3. Para precipitação pluvial, os valores máximos aumentaram no P2 e diminuíram no P3. Isso provavelmente é reflexo do aumento populacional até a metade do século XXI, seguido por declínio posterior e introdução de tecnologias novas e mais eficientes, acarretando a diminuição dos índices pluviométricos.

Entretanto, para o cenário B1, mais otimista, em que serão introduzidas tecnologias limpas com redução de matérias e sustentabilidade ambiental, também se verificou uma pequena diminuição para precipitação pluvial nos valores máximos do P3. Para temperatura, observou-se um aumento médio de aproximadamente 0,77 °C, o que é inferior aos demais cenários. Porém, observa-se uma previsão

de aumento da temperatura média nos três cenários, o que obriga a sociedade a olhar para o aquecimento global como um problema permanente, pois, mesmo simulando diferentes cenários, verificou-se aumento na temperatura e mudanças dos padrões de precipitação.

O aquecimento tende a ser sempre maior para o cenário pessimista A2, comparando-se com os cenários intermediário A1B e otimista B1. As projeções para a temperatura média do ar são mais reveladoras, e a consistência entre os modelos é maior (IPCC, 2007). Marengo (2007), ao estudar os cenários de mudanças climáticas para o Brasil, observou que, no cenário pessimista A2, o aquecimento varia entre 3°C e 5°C, em todo o Brasil, sendo mais intenso na região tropical. Já para as projeções de precipitação pluvial, o mesmo autor verificou aumento na frequência de extremos de chuvas em todo o Brasil, principalmente na Amazônia no Sul e no Sudeste do país.

Para os três cenários, com seus respectivos períodos, observou-se, para precipitação pluvial, que as médias dos dados de previsão estão muito abaixo das médias dos dados observados, apresentando uma diferença de aproximadamente 40 mm. Isso pode ser

explicado pela grande área utilizada pelo modelo de previsão dos cenários futuros, com resolução espacial de 1,4° x 1,4° e pela localização da estação Torreões, que não está no mesmo local do ponto do IPCC, apesar de ambas estarem no município de Juiz de Fora. De maneira geral, maiores incertezas são observadas nos cenários de precipitação, quando comparados aos de temperatura (IPCC, 2007).

Pela análise variográfica, foi possível detectar que os dados apresentaram estrutura de dependência temporal, com padrão de aumento progressivo ao longo do tempo e oscilação no ponto de estabilização do patamar. O modelo 'Wave' foi o que se ajustou melhor aos semivariogramas experimentais para a série de precipitação pluvial nos cenários A2, A1B e B1, nos três períodos avaliados, quando comparado aos modelos esférico e gaussiano, apresentando menor valor de aproximação do critério de Akaike e forte estrutura de continuidade temporal, conforme classificação adaptada de Cambardella et al. (1994). Esse resultado foi observado pelo estimador clássico e robusto, sendo que o estimador clássico forneceu melhores ajustes (Tabela 2).

**Tabela 2.** Resultados da aproximação do critério de Akaike (AIC) e do grau de dependência temporal (DT) dos modelos esférico (Esf.), gaussiano (Gaus) e 'wave' (Wav) ajustados aos semivariogramas experimentais clássico e robusto, relativos à precipitação pluvial mensal de Juiz de Fora, para os cenários A2, A1B e B1, nos períodos, P1, P2 e P3, considerando o arranjo unidimensional.

Cenário A2 P1						
	Estimador clássico			Estimador robusto		
	Esf.	Gaus	Wav	Esf.	Gaus	Wav
AIC	3271,11	3179,10	<b>2719,74</b>	3903,29	3821,21	<b>3474,60</b>
DT	0,00%	0,04%	0,13%	0,00%	0,00%	0,01%
Cenário A2 P2						
AIC	3379,41	3247,91	<b>2767,13</b>	4024,52	3899,356	<b>3506,94</b>
DT	0,00%	0,02%	0,11%	0,00%	0,00%	0,00%
Cenário A2 P3						
AIC	3430,01	3326,95	<b>2841,71</b>	4105,08	3999,34	<b>3642,99</b>
DT	0,00%	0,03%	0,11%	0,00%	0,00%	0,00%
Cenário A1B P1						
AIC	3373,07	3240,80	<b>2758,86</b>	4009,13	3874,34	<b>3484,40</b>
DT	0,00%	0,02%	0,11%	0,00%	0,00%	0,00%
Cenário A1B P2						
AIC	3452,86	3324,10	<b>2838,68</b>	4093,19	3957,53	<b>3568,58</b>
DT	0,00%	0,02%	0,10%	0,00%	0,00%	0,00%
Cenário A1B P3						
AIC	3447,91	3329,93	<b>2813,67</b>	4127,36	3998,32	<b>3647,61</b>
DT	0,00%	0,02%	0,09%	0,00%	0,00%	0,00%
Cenário B1 P1						
AIC	3340,07	3237,52	<b>2790,23</b>	3982,896	3874,07	<b>3508,18</b>
DT	0,00%	0,03%	0,12%	0,00%	0,00%	0,00%
Cenário B1 P2						
AIC	3396,30	3277,55	<b>2786,64</b>	4064,93	3959,19	<b>3592,71</b>
DT	0,00%	0,03%	0,11%	0,00%	0,00%	0,00%
Cenário B1 P3						
AIC	3450,77	3312,00	<b>2826,03</b>	4071,81	3934,04	<b>3540,02</b>
DT	0,00%	0,01%	0,09%	0,00%	0,00%	0,00%

Obs: Cenário mais pessimista (A2), cenário intermediário (A1B) e cenário otimista (B1), nos períodos de 2000 a 2032 (P1), 2033 a 2065 (P2) e 2066 a 2099 (P3).

Para a variável temperatura, cujos resultados estão apresentados na Tabela 3, verificou-se melhor ajuste do modelo ‘wave’, com menor valor de AIC e forte dependência temporal, para o cenário A2, no período P1. Já para o cenário A2, nos períodos P2 e P3, e para os demais cenários, verificou-se melhor ajuste para o modelo gaussiano, com forte grau de dependência temporal, quando utilizado o estimador clássico. Ao se utilizar o estimador robusto, verificou-se melhor ajuste do modelo ‘wave’ para todos os cenários.

Um aspecto importante é que os valores das estimativas do AIC foram sempre menores quando se utilizou o estimador clássico, não havendo a necessidade de utilizar o estimador robusto no caso desse estudo para as duas variáveis.

Uma vez estimados os parâmetros dos modelos e escolhido o melhor modelo para dados observados e previsões de cenários futuros para a precipitação pluvial mensal e previsões para a temperatura do ar, foi realizada a interpolação geoestatística (krigagem). Os resultados das previsões estão apresentados nas Figuras 1 e 2.

**Tabela 3.** Resultados da aproximação do critério de Akaike (AIC) e do grau de dependência temporal (DT) dos modelos esférico (Esf.), gaussiano (Gaus) e ‘wave’ (Wav) ajustados aos semivariogramas experimentais clássico e robusto, relativos à temperatura do em de Juiz de Fora, para os cenários A2, A1B e B1, considerando o arranjo unidimensional.

Cenário A2 P1						
	Estimador clássico			Estimador robusto		
	Esf.	Gaus	Wav	Esf.	Gaus	Wav
AIC	-2039,19	-2258,71	<b>-2371,69</b>	-1397,79	-1469,70	<b>-1906,18</b>
DT	0,00%	0,01%	0,15%	0,00%	0,00 %	0,04%
Cenário A2 P2						
AIC	-2217,99	<b>-2498,54</b>	-2297,97	-1553,55	-1605,70	<b>-1944,31</b>
DT	0,00%	0,01%	0,19%	0,00%	0,03%	0,08%
Cenário A2 P3						
AIC	-2456,58	<b>-2935,61</b>	-2159,91	-1778,95	-1737,83	<b>-2021,03</b>
DT	0,00%	0,00%	0,28%	0,00%	0,12%	0,19%
Cenário A1B P1						
AIC	-2203,31	<b>-2495,87</b>	-2306,95	-1521,64	-1568,34	<b>-1980,99</b>
DT	0,00%	0,01%	0,18%	0,00%	0,02%	0,07%
Cenário A1B P2						
AIC	-2260,48	<b>-2559,61</b>	-2293,18	-1636,99	-1687,64	<b>-2072,03</b>
DT	0,00%	0,01%	0,20%	0,00%	0,03%	0,09%
Cenário A1B P3						
AIC	-2429,28	<b>-2737,96</b>	-2341,10	-1821,73	-1838,03	<b>-2199,07</b>
DT	0,00%	0,01%	0,23%	0,00%	0,05%	0,12%
Cenário B1 P1						
AIC	-2131,97	<b>-2408,34</b>	-2308,60	-1498,82	-1607,48	<b>-2064,65</b>
DT	0,00%	0,01%	0,17%	0,00%	0,00%	0,05%
Cenário B1 P2						
AIC	-2199,02	<b>-2462,96%</b>	-2358,73%	-1585,75	-1637,55	<b>-2058,33</b>
DT	0,00%	0,01%	0,18%	0,00%	0,03%	0,07%
Cenário B1 P3						
AIC	-2302,53	<b>-2678,84</b>	-2251,17	-1779,52	-1856,42	<b>-2169,01</b>
DT	0,00%	0,00%	0,21%	0,00%	0,02%	0,11%

Obs: Cenário mais pessimista (A2), cenário intermediário (A1B) e cenário otimista (B1), nos períodos de 2000 a 2032 (P1), 2033 a 2065 (P2) e 2066 a 2098 (P3).

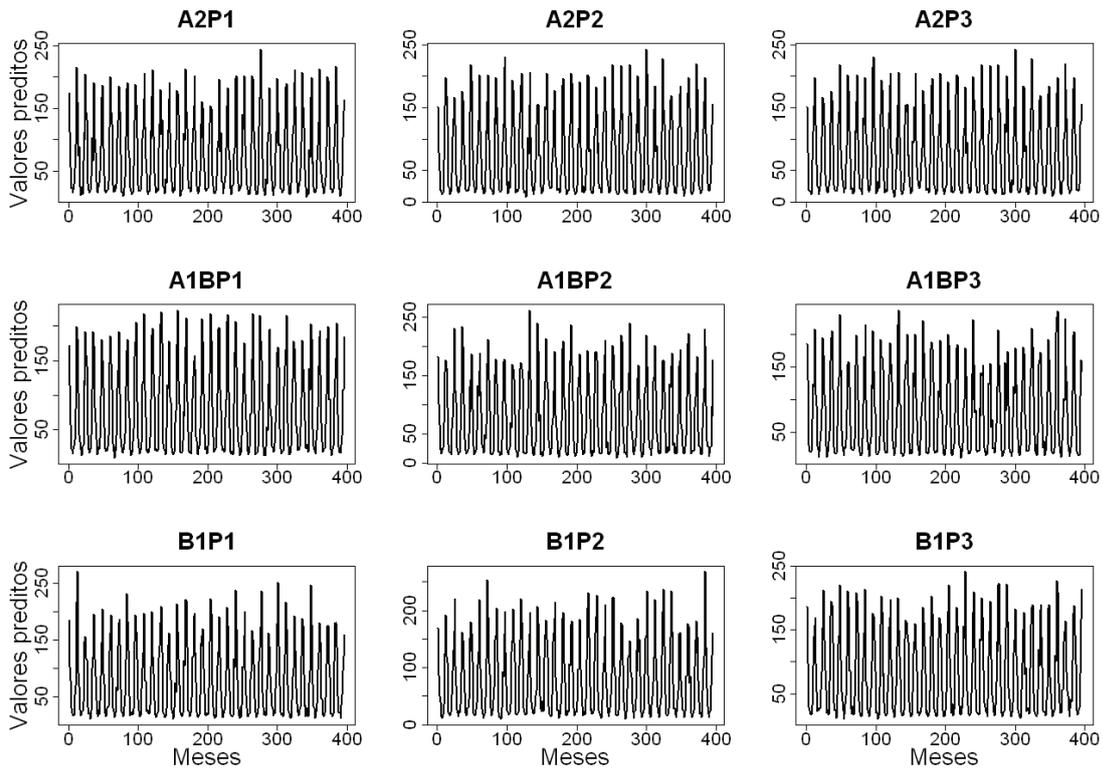


Figura 1. Série da precipitação pluvial distribuída ao longo do tempo para os cenários A2, A1B e B1.

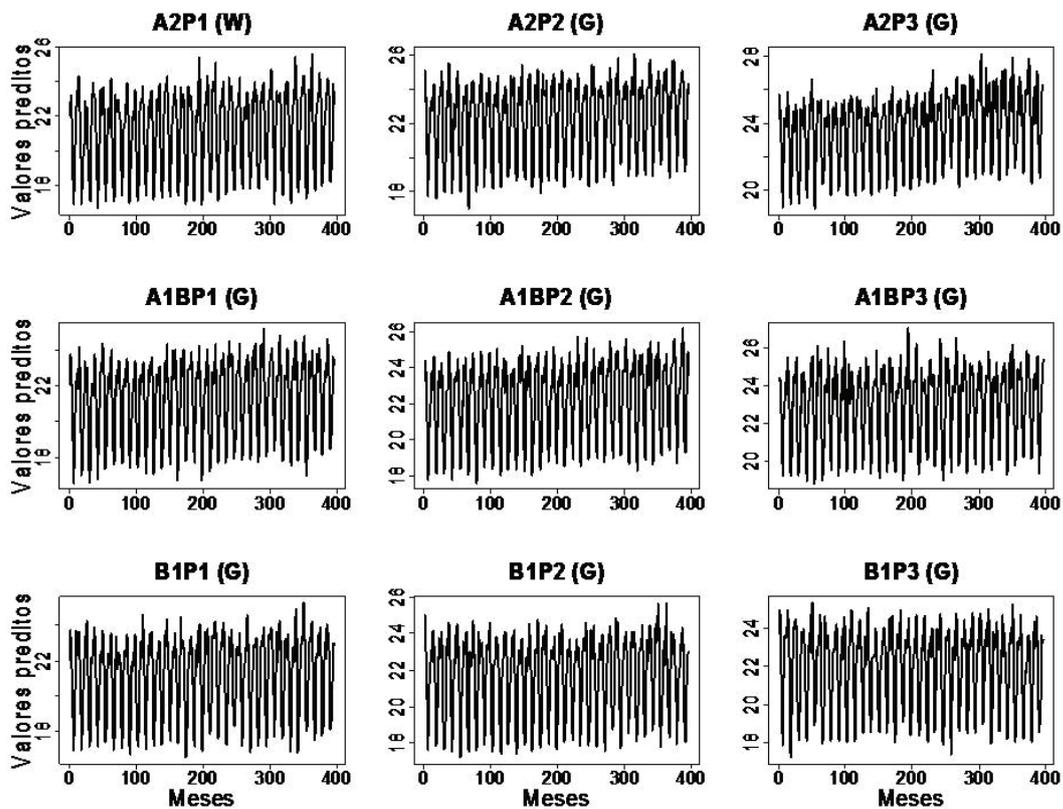


Figura 2. Série da temperatura do ar distribuída ao longo do tempo com ajuste dos modelos ‘wave’ (W) e gaussiano (G), para os cenários A2, A1B e B1.

Visualmente, as séries de precipitação pluvial e de temperatura do ar apresentaram uma sazonalidade, o que segundo Ferraz (1999), é muito comum em séries climatológicas. Verificou-se uma aparente estabilidade nos dados, não sendo destacado em nenhum dos três cenários algum tipo de valor discrepante, caracterizando a ocorrência de anomalias climáticas. Esperava-se uma variabilidade maior das variáveis ao longo dos meses em relação aos valores discrepantes. Segundo Berlato & Fontana (2003), a precipitação pluvial e a temperatura do ar são os elementos climáticos mais afetados por essas anomalias.

Um aspecto importante a ser discutido é a veracidade dos dados de previsão de cenários futuros, apesar de esses dados serem fornecidos pelo IPCC, pois, apesar de ser considerado e reconhecido amplamente como a fonte mais confiável de informações de clima, há muita discussão e dúvidas entre um grande número de cientistas sobre essas afirmações e resultados de dados de previsão desses relatórios de avaliação do IPCC.

É importante lembrar que as previsões de mudanças climáticas apresentadas pelo IPCC baseiam-se nos resultados de modelos que descrevem a atmosfera de forma global e apresentam incertezas quanto a análises dos efeitos regionais, tendo como um dos principais problemas a resolução espacial das simulações numéricas para definir os cenários futuros, que tem uma resolução típica de 100 km. Todavia, esses resultados devem ser vistos com cautela, devido às limitações do modelo, nesse caso, o modelo CCSM 3.0 e, para uma análise mais detalhada dessas variáveis, seria interessante uma resolução espacial em escopo regional ou local, pois, com isso, forneceria um maior entendimento da complexa interação clima e cultura de determinada região. Tendo em vista o crescente aumento na utilização de modelos de previsão de cenários futuros na agricultura, essa análise em escala local, com possíveis simulações de crescimentos de algumas culturas, como, café, trigo, soja, entre outras, certamente mostrará uma análise mais acurada dos possíveis impactos das mudanças climáticas na produtividade agrícola.

De forma geral, os resultados obtidos da análise do comportamento da precipitação pluvial e da temperatura do ar dos dados de previsão de cenários futuros de Juiz de Fora estão de acordo com os resultados das avaliações que Marengo (2007) apresentou em sua pesquisa sobre as projeções de mudanças climáticas para o Brasil e a América do Sul. O autor concluiu

que a maior resolução obtida em modelos de escopo regional ou local concorreria para a previsão realista de alterações extremas e seria útil para o estudo sobre os impactos da mudança do clima em áreas como gerenciamento de recursos hídricos, ecossistemas e atividades agrícolas.

As representações gráficas das Figuras 1 e 2 são formas unidimensionais, comuns em estudos de séries temporais. Nas Figuras 3 e 4, estão apresentados os resultados de precipitação pluvial e temperatura do ar, respectivamente, em forma bidimensional, o que normalmente é utilizado em estudos de Geoestatística. Nesses mapas, cada retângulo na horizontal representa um determinado mês, em cada um dos anos.

Observou-se que, utilizando o artifício de se considerar o tempo em uma escala bidimensional, ao invés de unidimensional, os dados podem ser apresentados de forma mais didática, em que é visível o padrão de sazonalidade da variável precipitação pluvial, caracterizado por áreas de maior e menor concentração das chuvas, ao longo dos vários anos estudados.

Os mapas apresentados na Figura 3 revelam uma faixa central, que corresponde aos meses de maio a setembro, em vermelho, com baixas precipitações ao longo de todos os anos avaliados, que representa o período da seca, o qual é bem definido para o município de Juiz de Fora, MG. Nota-se, ainda, que os maiores índices de precipitação são observados nos meses de novembro a março (retângulos amarelos e alaranjados), o que era de se esperar, pois, trata-se do período chuvoso. Além disso, observa-se, nesse período, uma maior variabilidade dos índices pluviométricos.

De forma semelhante, um padrão sazonal da variável temperatura do ar também foi observado. Na Figura 4, verifica-se a presença de uma faixa central, mais bem definida, que corresponde aos meses de maio a agosto, quando ocorrem as temperaturas mais baixas, sendo esse comportamento observado para todos os anos avaliados. Nos demais meses, pode-se observar a ocorrência de temperaturas mais altas, pois se referem aos meses mais quentes do ano.

A validação cruzada para os modelos esférico, gaussiano e 'wave' indicou que os dados observados e de previsão de cenários futuros foram adequados para representar a variabilidade temporal dos dados e seguiram a distribuição normal.

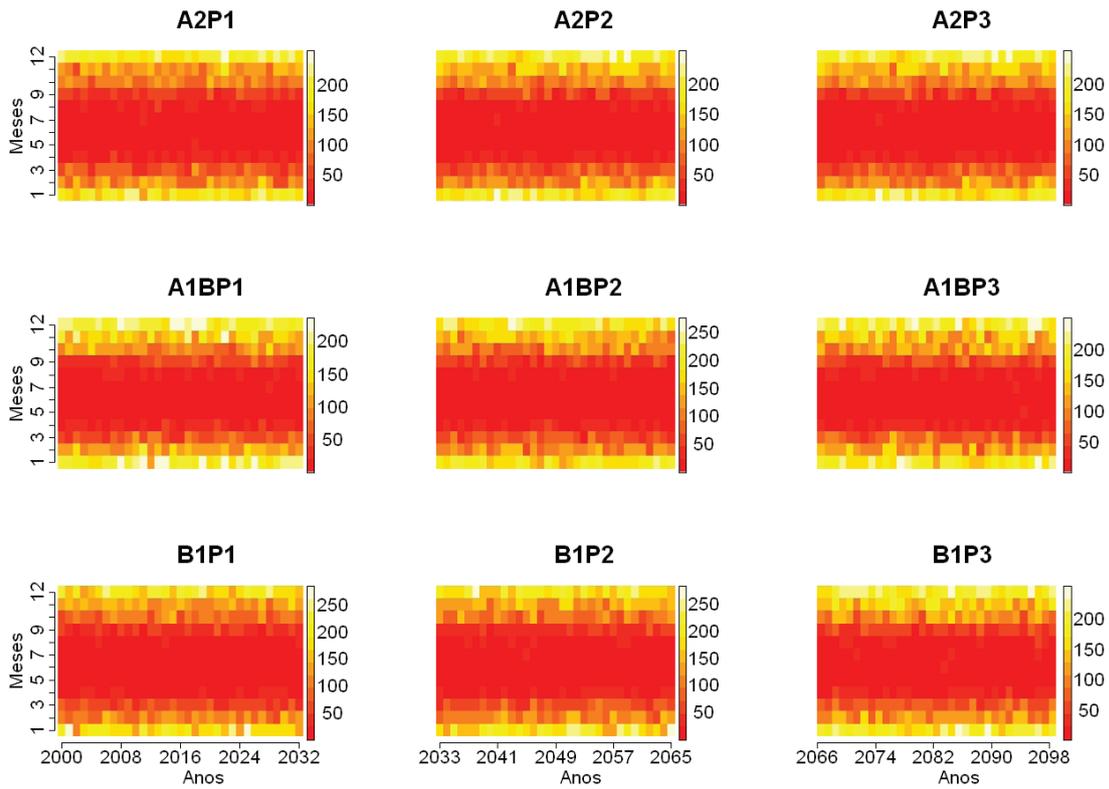


Figura 3. Representação bidimensional da krigagem para precipitação pluvial de Juiz de Fora, para os cenários A2, A1B e B1.

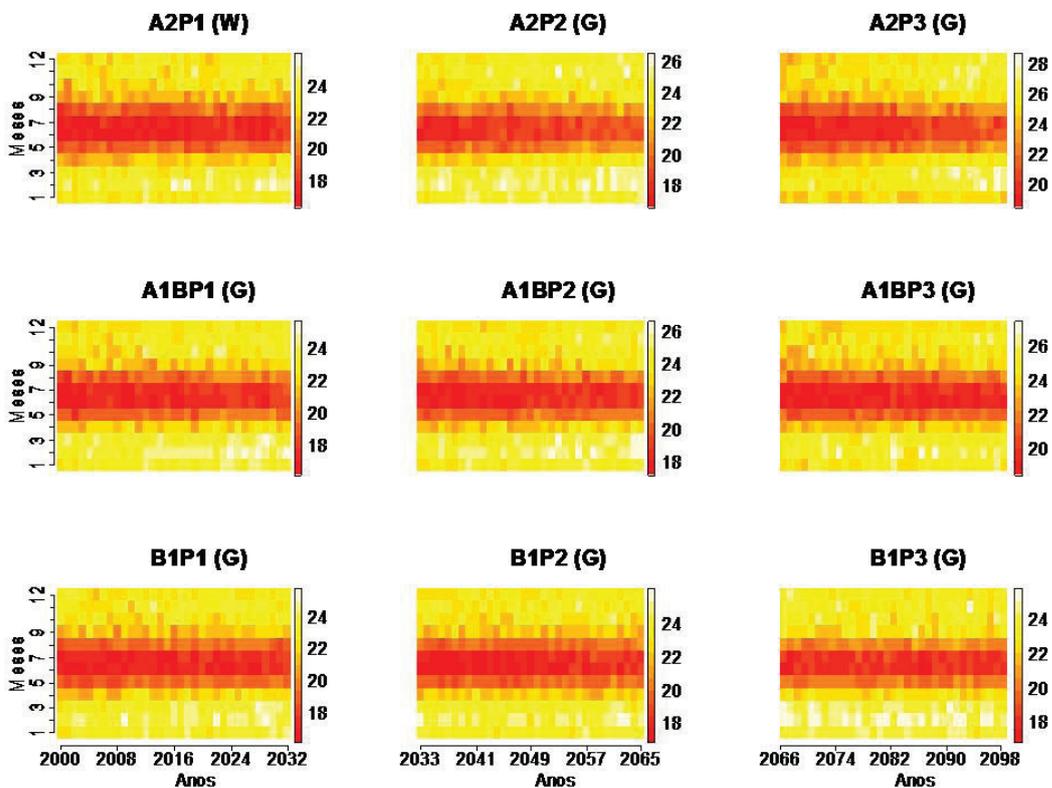


Figura 4. Representação bidimensional da krigagem para temperatura do ar em Juiz de Fora, com ajuste dos modelos 'wave' (W) e gaussiano (G), para os cenários A2, A1B e B1.

## Conclusões

Observou-se, pelo estimador clássico, melhor ajuste do modelo 'wave', para os dados dos cenários futuros de precipitação pluvial. Para a variável temperatura do ar, verificou-se melhor ajuste do modelo gaussiano, quando comparado aos demais modelos.

Verificou-se, para análise dos dados ao longo do tempo, que a forma bidimensional para se representar o resultado da krigagem é uma alternativa muito interessante para a visualização dos resultados. Com essa representação, observaram-se, de forma muito clara, os dois períodos, chuvoso e seco, que, devido ao clima de Juiz de Fora, MG, são muito bem definidos, com valores de precipitação e de temperatura distintos.

Outros arranjos temporais devem ser avaliados em estudos posteriores, considerando a forma bidimensional desde o ajuste de semivariogramas até a krigagem, a fim de se obter melhor ajuste e mapas de contornos mais suavizados no estudo de séries temporais de variáveis climáticas.

## Referências Bibliográficas

- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas**: (1961-1990). Brasília, DF, 1992. 84 p.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña**: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110 p.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Fieldscale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, Sept./Oct. 1994.
- FERRAZ, M. I. F. **Uso de modelos de séries temporais nas precipitações pluviiais no município de Lavras**, MG. 1999. 97 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Estatística e Experimentação Agropecuária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York: Oxford University Press, 1997. 512 p.
- HABERLANDT, U. Geostatistical interpolation of hourly precipitation from rain gauges and radar for a large-scale extreme rainfall event. **Journal of Hydrology**, Hannover, v. 332, p. 144-157, June 2007.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007**: the Physical Science Basis, Summary for policy Makers. Genebra, 21p. 2007.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. In: HOUGHTON, J. T.; DING, Y.; GRIGGS, D. J.; NOGUER, N.; VAN DER LINDEN, P. J.; XIAOSU, D.; MASKELL, K.; JOHNSON, C. A. (Ed.). **Climate Change 2001**: the scientific basis. Cambridge: Cambridge University Press, 94p. 2001.
- MARENGO, J. A. O quarto relatório do IPCC (IPCC AR4) e projeções de mudanças de clima para o Brasil e América do Sul. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos. v. 31, n. 1, p. 23-28, abr. 2007.
- MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; CASTRO, C. A. C.; MENDES, D. **Início da estação chuvosa nas Regiões Sudeste, Centro-Oeste e sul do Nordeste do Brasil, afetadas pela crise de energia**. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/energia/saiba/iniciochuvas.shtml>>. Acesso em: 28 jun. 2007.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2007. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 03 de maio 2007.
- RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. GeoR: a package for geostatistical analysis. **R-NEWS**, London, v. 1, n. 2, p. 15-18, June 2001.
- SIQUEIRA, O. J. W.; STEINMETZ, S.; FERREIRA, M. F.; COSTA, A. C.; WOZNIAK, M. A. Mudanças climáticas projetadas através dos modelos GISS e reflexos na produção agrícola brasileira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 311-320, out. 2000.
- VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, MG: UFV, 1991. 449p.
- WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Geostatistics for environmental scientists**. New York: J.Wiley, 2001. 271 p.