

COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA MENSAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS: ANÁLISE ESPACIAL E TEMPORAL¹

HERBERT REZENDE DE SIQUEIRA²; GABRIELLA DE FREITAS ALVES³;
EDNALDO CARVALHO GUIMARÃES⁴

RESUMO

Os atributos climáticos têm recebido especial atenção em estudos de áreas das ciências aplicadas, pois influenciam de forma direta e indireta o comportamento da vida na terra. Dentre as diversas variáveis climáticas encontra-se a precipitação pluviométrica que é uma das principais variáveis utilizadas em projetos urbanos, agrícolas e ambientais e devida sua importância, este atributo climático é objeto de diversos estudos científicos que visam caracterizar o seu comportamento tanto no espaço quanto no tempo. O objetivo deste trabalho foi contribuir com o estudo sobre o comportamento espacial e temporal da precipitação pluviométrica mensal no Estado de Minas Gerais, utilizando a ferramenta de análise de geoestatística. As análises dos dados foram feitas com base nas informações de precipitação total média mensal de 63 estações climatológicas distribuídas no Estado de Minas Gerais. Os dados foram cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia/5^o Distrito de Meteorologia (INMET/5^oDISME). As variáveis foram submetidas à análise descritiva geral e em seguida, foi feita a análise geoestatística, por meio de semivariogramas e krigagem. Verificou-se que existe uma tendência à distribuição simétrica da precipitação mensal nos meses de verão e uma tendência à distribuição assimétrica para os meses de inverno. Os semivariogramas ajustados mostraram dependência espacial para todos os meses. Ocorreu a formação de três grupos distintos de comportamento espacial da precipitação, indicando a possibilidade de se utilizar um modelo distinto para cada período. Conclui-se que a dependência espaço-temporal deve ser consideradas em estudos que envolvam a precipitação no Estado de Minas Gerais.

Palavras-chave: Semivariograma, Krigagem, precipitação.

¹ Projeto Financiado pela FAPEMIG - Programa de infra-estrutura para jovens doutores - Edital: 07/2003 - Processo: EDT1923/03.

² Acadêmico do Curso de Matemática – FAMAT/UFU – Bolsista PIBIC/CNPq (fev a jul/06) - Av. João Naves de Ávila, 2160, Bairro Santa Mônica, Uberlândia – MG, CEP: 38400-900 – her28bert@yahoo.com.br

³ Acadêmica do Curso de Matemática – FAMAT/UFU – Bolsista PIBIC/CNPq (Ago/05 a Jan/06)

⁴ Prof. Orientador – FAMAT/UFU – Av. João Naves de Ávila, 2160, Bairro Santa Mônica, Uberlândia – MG, CEP: 38400-900 – ecg@ufu.br

ABSTRACT

MONTH RAINFALL IN MINAS GERAIS STATE – BRAZIL: SPATIAL AND TEMPORAL ANALYSIS

The purpose of this work was to verify the spatial and temporal dependence of the month rainfall in Minas Gerais State, Brazil, using semivariograms and kriging. The data of 63 climatological stations of INMET - 5° DISME (Instituto Nacional de Meteorologia - 5° Distrito de Meteorologia) were used in this study. The exploratory analysis was made by the descriptive statistics and the geostatistical analysis was made by semivariograms and Kriging. It was verified that there are a normality tendency for the summer and there wasn't normality tendency for the others periods. Geostatistical analysis showed spatial dependence and semivariograms were classified in three groups. The rainfall maps were made by kriging and they showed the behaviour of the month rainfall in the Minas Gerais State. As a conclusion, the rainfall in Minas Gerais State has spatial and temporal dependence and it should be considered for estimations.

Key words: spatial statistics, semivariograms, kriging, rainfall.

INTRODUÇÃO

O sucesso ou fracasso de um empreendimento pode estar ligado às características do regime de chuvas de uma determinada região, fazendo com que o conhecimento do comportamento desse atributo seja de grande relevância nos planejamentos urbanos, agrícolas e ambientais.

O clima, com suas variáveis, constitui fenômeno natural importante e que tem sido muito pesquisado.

Fenômenos naturais apresentam-se frequentemente com uma certa estruturação nas variações entre vizinhos, desta forma pode-se dizer que as variações não são aleatórias e, portanto, apresentam algum grau de dependência espacial e/ou temporal.

O estudo e a determinação da dependência espacial e/ou temporal de variáveis aleatórias regionalizadas pode ser realizada utilizando a metodologia geoestatística.

A geoestatística tem como característica principal analisar a

distribuição espacial e/ou temporal entre as observações, determinando, através do semivariograma, a distância ou período de tempo de dependência entre elas. Entretanto, Mello et al (2001) argumentam que um dos problemas deste tipo de estudo é que a disponibilidade de dados de chuva é bastante restrita no Brasil, sendo na maioria das vezes, inexistentes para determinada região ou de acesso restrito, principalmente para particulares.

As características do regime de chuvas para o Estado de Minas Gerais foram descritas por Almeida (1995) e por Pinto (1995).

Phillips et al (1992) ressalta a importância do conhecimento da distribuição espacial da precipitação sobre uma determinada região, tanto no planejamento de processos hidrológicos como no manejo de recursos naturais.

Segundo Botelho e Morais (1999), o conhecimento do comportamento das precipitações pode fornecer subsídio para determinar períodos críticos predominantes na região, tendo-se condições de fornecer informações que visem a reduzir as conseqüências causadas pelas flutuações de chuva e secas.

Em estudo sobre o comportamento da precipitação pluviométrica, Vieira et al (1991) realizaram o mapeamento das chuvas diária máxima provável para o

estado de São Paulo e utilizaram a autocorrelação espacial, calculada pelo semivariograma, para verificar a dependência espacial e realizar estimativas para os locais onde não se têm valores medidos, utilizando a técnica da krigagem.

Assad et al (1994) apresentaram uma análise sobre chuvas extremas na região dos cerrados.

Estudando o comportamento espacial do percentil 75 da precipitação decenal do estado de São Paulo, Gomes (2001) elaborou mapas de isoeitas, utilizando como ferramenta principal a Geoestatística.

Cardim (2001) realizou o mapeamento multivariado das principais variáveis climáticas de interesse agrícola do estado de São Paulo e a Geoestatística permitiu analisar a variabilidade espacial dos índices climáticos obtidos (índice térmico, índice pluviométrico e índice pluviotérmico).

Para o Estado do Paraná, Zamboti (2001) realizou o mapeamento de chuvas médias mensais nos meses de verão, utilizando como ferramenta de análise da dependência espacial e interpolação de dados, respectivamente, o semivariograma e a krigagem.

No Triângulo Mineiro, especificamente para a cidade de Uberaba, Veronese e Guimarães (2002) e Silva et al

(2003) realizaram estudos do comportamento temporal da temperatura média mensal e da precipitação mensal, utilizando metodologias da geoestatística.

Oliveira et al (2005) e Carvalho et al. (2006), em estudos sobre o comportamento espacial da precipitação no estado de Minas Gerais, respectivamente para o verão e para o total anual, verificaram a necessidade de considerar a distribuição espacial em estimativas desse atributo.

Este trabalho visou verificar a ocorrência de dependência espacial e temporal da precipitação pluviométrica mensal para o estado de Minas Gerais utilizando semivariogramas e também mapear as precipitações mensais por meio da krigagem.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado no Estado de Minas Gerais que se encontra localizado na Região Sudeste do Brasil, entre os paralelos 14°13' e 22°55' de latitude Sul e os meridianos 39°51' e 51°02' de longitude Oeste.

O Estado se caracteriza por apresentar topografia irregular e, segundo a classificação de Köppen, são encontrados

os seguintes tipos de clima: Aw, BSw, Cwa e Cwb, significando que existe uma grande diversidade climática, podendo ser encontradas desde regiões com clima semi-árido até regiões com clima tropical chuvoso com inverno seco (Minas Gerais, 1990).

Os dados de precipitação pluviométrica total mensal, utilizados no presente estudo, são provenientes de 63 estações pluviométricas distribuídas no Estado de Minas Gerais. Estas estações climatológicas fazem parte da rede de estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 5^o Distrito de Meteorologia (5^o DISME), cujas localizações geográficas (latitudes e longitudes) podem ser visualizadas na Figura 1.

Os índices pluviométricos mensais, utilizados neste estudo, foram cedidos pelo INMET/5^oDISME e correspondem ao período de janeiro de 1999 a dezembro de 2003.

Para a realização das análises foram calculadas as médias da precipitação total mensal para cada estação.

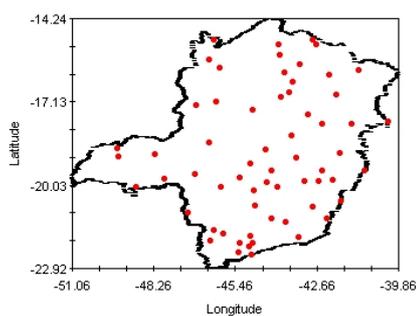


Figura 1. Localização geográfica das 63 estações climatológicas no estado de Minas Gerais.

Realizou-se a análise exploratória das variáveis precipitações totais mensais, conforme recomenda Isaaks e Srivastava (1989). Foram obtidos, para cada mês, as estatísticas: média aritmética (\bar{X}), desvio padrão (s), coeficiente de variação (CV), coeficiente de curtose (Cc) e coeficiente de assimetria (Cs), calculados respectivamente por :

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n};$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}};$$

$$CV = 100 \frac{s}{\bar{X}};$$

$$Cc = \left[\frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \bar{X}}{s} \right)^4 \right] - K$$

$$K = \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)};$$

$$Cs = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \bar{X}}{s} \right)^3;$$

em que: X_i é a observação da precipitação pluviométrica no posto meteorológico i ; n é o número total de observações.

Determinou-se ainda a precipitação mínima (Min) e a precipitação máxima (Max).

Utilizando as equações de Cc e Cs, tem-se que quando estes valores são iguais a zero a distribuição de probabilidades que descreve o comportamento da variável é a distribuição normal. O coeficiente Cs igual a zero indica distribuição simétrica; Cs menor que zero indica distribuição assimétrica à direita e o Cs maior que zero a distribuição é assimétrica a esquerda. Já se Cc for igual a zero tem-se a distribuição mesocúrtica; para Cc menor que zero a distribuição é chamada de platicúrtica e, no caso de Cc maior que zero tem-se a distribuição leptocúrtica. Vale ressaltar que o tratamento estatístico e a análise e interpretação de resultados estão associados ao comportamento da variável.

Considerando ainda a análise descritiva, fez-se a representação gráfica da precipitação mensal, por meio de histogramas, para verificar graficamente a adequação dos índices pluviométricos mensais à distribuição simétrica, pois de acordo com Guimarães (2005) o comportamento assimétrico dos dados apesar de não ser um limitante à análise geoestatística, pode dificultar o ajuste de modelos de semivariogramas.

Ainda utilizando a análise exploratória de dados foram feitos gráficos com a localização das observações de acordo com os quartis.

A análise exploratória foi feita em planilhas eletrônicas e também no programa Gamma Design Software (2004) e as interpretações desses resultados foram feitos de acordo com Triola (1999).

A análise geoestatística, realizada utilizando-se o programa Gamma Design Software (2004), consistiu em uma primeira etapa da determinação dos semivariogramas das variáveis analisadas. Os cálculos das semivariâncias foram feitos por:

$$\gamma(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

sendo: $\gamma(h)$ a semivariância para uma distância h ; $N(h)$ o número de pares possíveis para a distância h ; h a distância

de separação das observações calculada em função da latitude ($^{\circ}$) e da longitude ($^{\circ}$); e $Z(x_i)$ e $Z(x_i+h)$ as observações da variável aleatória regionalizada na posição x_i e x_i+h , respectivamente.

Em seguida foram feitos os semivariogramas, que mostram o comportamento das semivariâncias (γ) em função distância (h), definindo, dessa forma, o modelo da variabilidade espacial. Os principais modelos de semivariogramas ajustados aos dados experimentais são descritos em Vieira (2000) e Freitas (2000).

No presente estudo foram utilizados os seguintes modelos de semivariogramas:

Modelo linear

$$\gamma(h) = C_0 + \frac{C_1}{a.h} \quad 0 < h < a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \quad h > a$$

onde $\frac{C_1}{a.h}$ é o coeficiente angular para $0 < h < a$.

Modelo esférico

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 * \left(1,5 \frac{h}{a} - 0,5 \frac{h^3}{a^3}\right), & \text{se } h \leq a \\ C_0 + C_1, & \text{se } h > a \end{cases}$$

Modelo exponencial

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-3 \frac{h}{a}\right)\right]$$

Modelo gaussiano

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-3 \frac{h^2}{a^2}\right) \right]$$

Modelo sem patamar

$$\gamma(h) = C_0 + \alpha h^\beta$$

onde: $\gamma(h)$ é a semivariância para a distância h ; C_0 é o efeito pepita; C_0+C_1 é o patamar; a é o alcance da dependência espacial; α e β são parâmetros do modelo sem patamar, com $0 < \beta < 2$.

Após selecionados os modelos de ajuste de semivariogramas, seleção esta feita pela validação cruzada, foram feitas as krigagens dos atributos por meio de:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

onde: n é o número de amostras de $Z(x_i)$ envolvidas na estimativa de $Z^*(x_0)$, e λ_i são os pesos associados a cada valor medido $Z(x_i)$. Se existe dependência espacial, os pesos λ_i são variáveis de acordo com a distância entre o ponto a ser estimado $Z^*(x_0)$ e os valores $Z(x_i)$ envolvidos nas estimativas, e estes pesos são obtidos em função do semivariograma ajustado. Quando não ocorre dependência espacial, todos os pesos envolvidos nas estimativas recebem valor $1/n$, e, portanto, passa-se de uma média ponderada em função da distância entre as observações e

a estimativa, para uma média aritmética simples, ou seja, para o interpolador linear simples.

Os mapas dos atributos foram feitos tendo com base os valores interpolados por meio da krigagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentadas as estatísticas da precipitação pluviométrica total mensal (mm) para os meses de janeiro a dezembro, no estado de Minas Gerais. Deve-se ressaltar que os valores foram obtidos de uma média de 5 anos (1999 a 2003).

Tabela 1. Estatísticas da precipitação total mensal (mm), de estações climatológicas do Estado de Minas Gerais. (INMET/ 5^o DISME, 1999 a 2003).

Mês	Estatísticas						
	\bar{x}	S	CV	Cc	Cs	Min	Max
Jan	248,13	85,95	35,6	-0,94	0,16	93,44	407,30
Fev	136,21	55,47	40,72	-0,90	0,25	45,52	250,40
Mar	152,89	45,05	29,47	-0,41	0,30	64,46	251,48
Abr	31,58	15,28	48,40	-0,84	0,13	5,14	64,34
Mai	25,35	11,33	44,70	-0,46	0,05	1,12	52,60
Jun	4,50	5,14	114,22	1,03	1,32	0,00	19,66
Jul	7,72	9,43	122,14	7,07	2,39	0,00	51,42
Ago	15,94	9,12	57,21	0,30	0,34	0,00	43,06
Set	47,03	22,73	48,34	-0,69	0,15	4,62	94,44
Out	69,09	21,30	30,82	0,19	0,17	24,64	125,86
Nov	208,79	37,16	17,80	-0,34	0,33	140,80	311,86
Dez	260,23	49,09	18,87	-0,41	0,10	152,28	367,15

Legenda: \bar{X} - média ($^{\circ}$ C); s - desvio padrão ($^{\circ}$ C); CV - Coeficiente de Variação (%); Cc - Coeficiente de Curtose; Cs - Coeficiente de Assimetria; Min - Valor Mínimo ($^{\circ}$ C); Max - Valor Máximo ($^{\circ}$ C).

A Tabela 1 revela que os maiores índices de precipitação ocorrem nos meses de verão (novembro a março) e os mais baixos índices ocorrem no inverno (junho e julho). Os meses de junho e julho mostram a maior variabilidade avaliada pelo CV. A ausência de precipitação em alguns postos de observação em contrapartida com precipitações relativamente altas em outros, conforme mostra os valores máximos e mínimos justificam a alta variabilidade nesses meses, já para os meses de verão a maior uniformidade de precipitação em todo estado se reflete nos menores valores de CV. Estes fatos estão de acordo com Minas Gerais (1990), Pinto (1995) e Almeida (1995) que ressaltam a diversidade climática dentro do estado.

Os coeficientes de assimetria e de curtose próximos a zero indicam tendência à distribuição simétrica da precipitação em todos os meses. A exceção se dá para os meses de junho e de julho, que apresentam tais coeficientes distantes do valor zero. Silva et al (2003) analisando a variabilidade temporal da precipitação na cidade de Uberlândia – MG também encontram distribuição assimétrica para os meses de inverno.

De acordo com Triola (1999) o comportamento dos dados, ou seja, a distribuição dos dados, é de fundamental

importância para a seleção de estatísticas e de métodos inferenciais para a análise de uma variável. Pode-se dizer que os métodos paramétricos geralmente consideram distribuição pelo menos aproximadamente simétrica das observações e usam a média aritmética como representante dos dados. Já os métodos não-paramétricos não necessitam do conhecimento da distribuição da variável analisada.

Na geoestatística não há uma restrição de comportamento dos dados para a realização da análise, entretanto autores como Guimarães (2005) sugerem que quando a assimetria é acentuada que seja feita uma transformação de dados ou que se utilize outra metodologia para se calcular as semivariâncias experimentais como o estimador de Cressie (1993).

As Figuras 2 a 13 mostram o comportamento geral da precipitação total para os eventos deste estudo.

Verifica-se que a assimetria não é muito acentuada, inclusive para os meses de inverno, fato que contribui com a análise de semivariogramas obtidos a partir do estimador de Matheron. Distribuições com tendência simétrica para o verão e com tendência assimétrica para o inverno foram encontradas por Zamboti (2001), Silva et al (2003), Oliveira et al (2005).

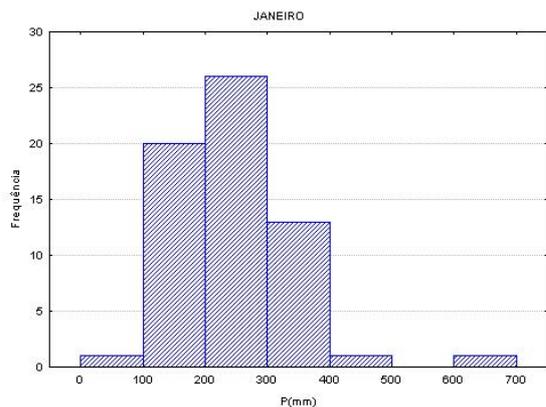


Figura 2. Precipitação total do mês de janeiro, das 63 estações climatológicas do Estado de Minas Gerais (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).

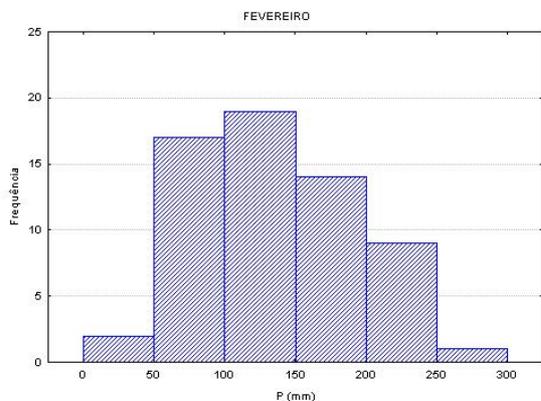


Figura 3. Precipitação total do mês de fevereiro, das 63 estações climatológicas do Estado de Minas Gerais (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).

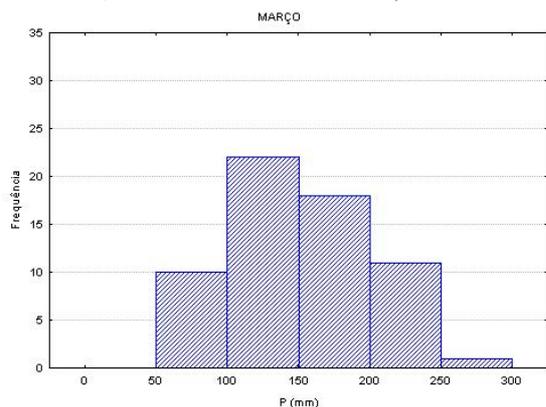


Figura 4. Precipitação total do mês de março, das 63 estações climatológicas do Estado de Minas Gerais (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).

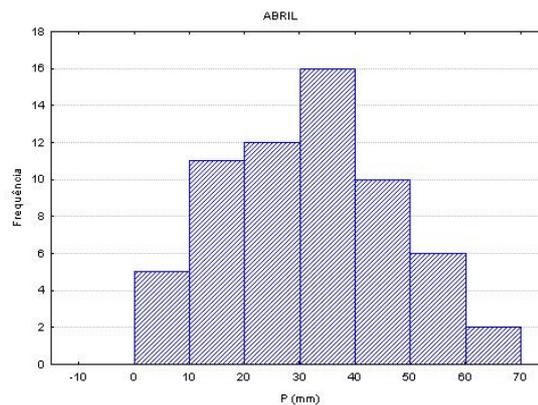


Figura 5. Precipitação total do mês de abril, das 63 estações climatológicas do Estado de Minas Gerais (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).

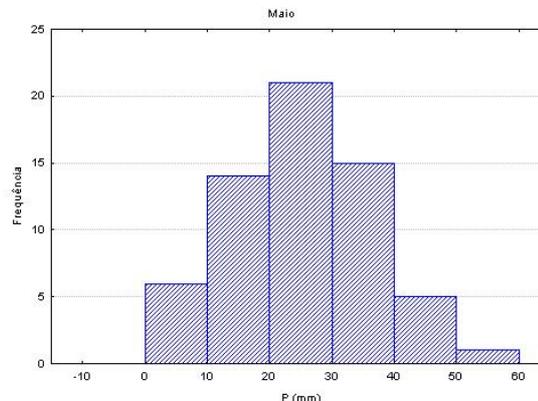


Figura 6. Precipitação total do mês de maio, das 63 estações climatológicas do Estado de Minas Gerais (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).

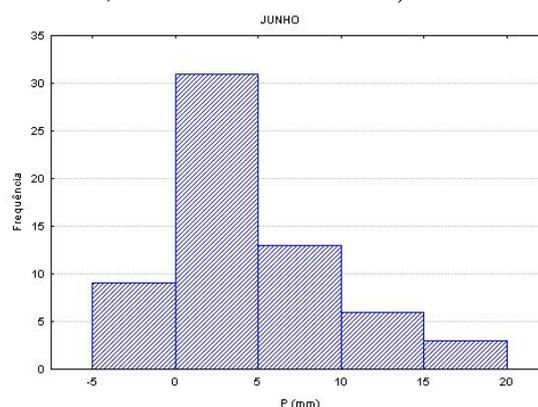


Figura 7. Precipitação total do mês de junho, das 63 estações climatológicas do Estado de Minas Gerais (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).

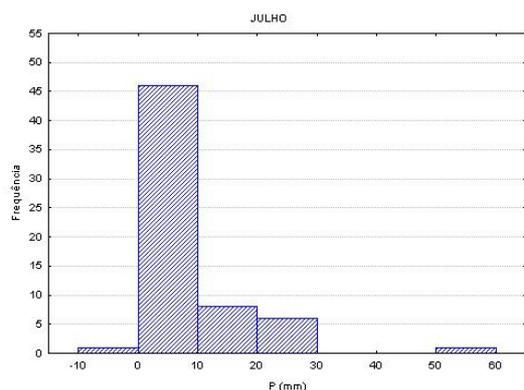


Figura 8. Precipitação total do mês de julho, das 63 estações climatológicas do Estado de Minas Gerais (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).

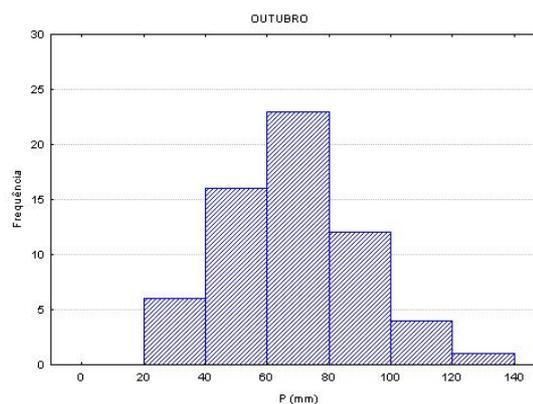


Figura 11. Precipitação total do mês de outubro, das 63 estações climatológicas do Estado de Minas Gerais (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).

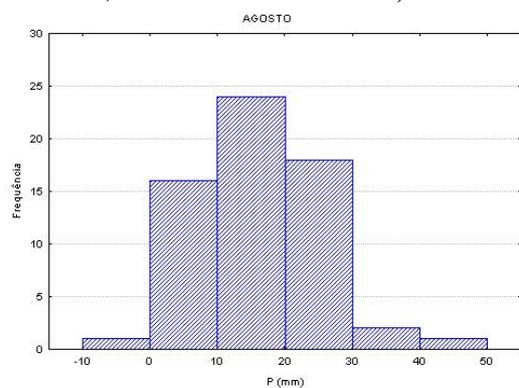


Figura 9. Precipitação total do mês de agosto, das 63 estações climatológicas do Estado de Minas Gerais (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).

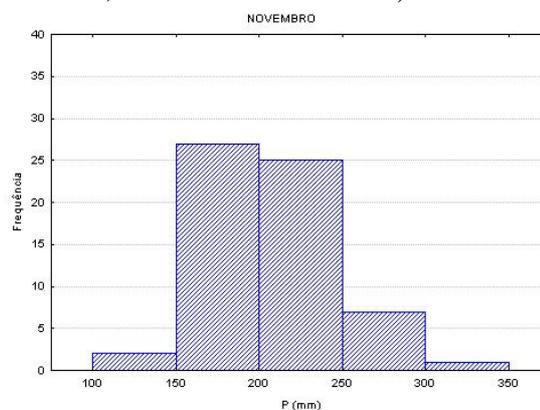


Figura 12. Precipitação total do mês de novembro, das 63 estações climatológicas do Estado de Minas Gerais (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).

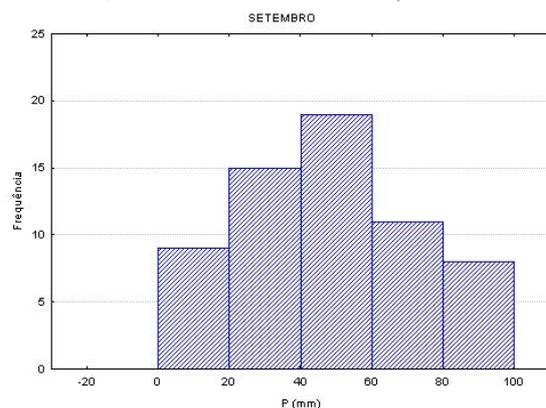


Figura 10. Precipitação total do mês de setembro, das 63 estações climatológicas do Estado de Minas Gerais (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).

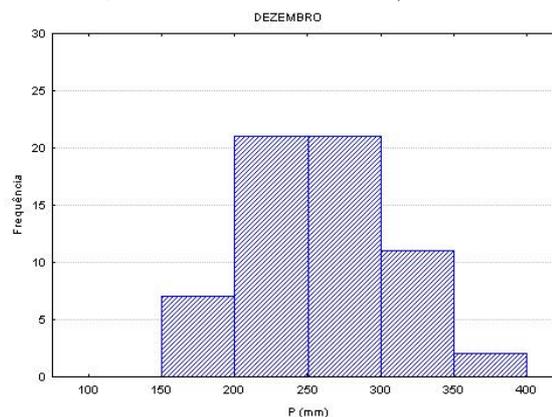


Figura 13. Precipitação total do mês de dezembro, das 63 estações climatológicas do Estado de Minas Gerais (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).

A análise das Figuras 2 a 13 revelam ainda a evolução do comportamento da precipitação pluviométrica de Minas Gerais ao longo do ano. O conhecimento da distribuição da precipitação pluviométrica interferem diretamente nos planejamentos urbanos e rurais, tendo em vista que a disponibilidade, o uso e o manejo da água, nos dias atuais, tem sido uma das principais preocupações da humanidade.

As observações sobre o comportamento da precipitação discutidas para o Minas Gerais, foram semelhantes às observações feitas por de Eltz et al (1992) e Ribeiro e Lunardi (1997), em outras regiões do Brasil.

A distribuição dos índices pluviométricos no território do estado de Minas Gerias é apresentado nas Figuras 25 a 36.

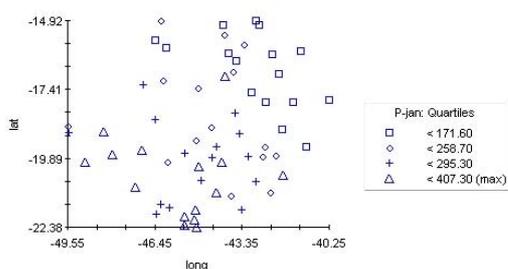


Figura 25: Gráfico de dispersão da precipitação total (mm), do mês de Janeiro das 63 Estações Climatológicas do Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

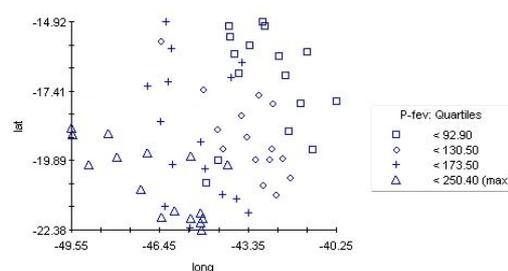


Figura 26: Gráfico de dispersão da precipitação total (mm), do mês de fevereiro das 63 Estações Climatológicas do Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

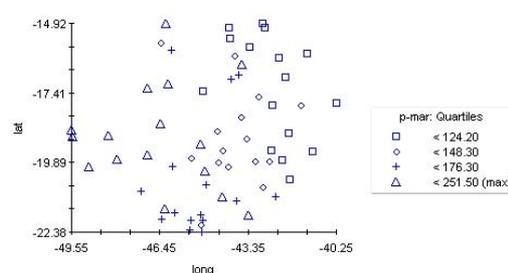


Figura 27: Gráfico de dispersão da precipitação total (mm), do mês de março das 63 Estações Climatológicas do Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

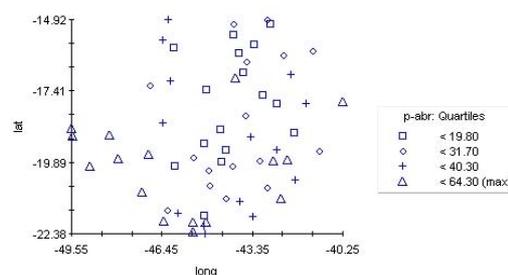


Figura 28: Gráfico de dispersão da precipitação total (mm), do mês de abril das 63 Estações Climatológicas do Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

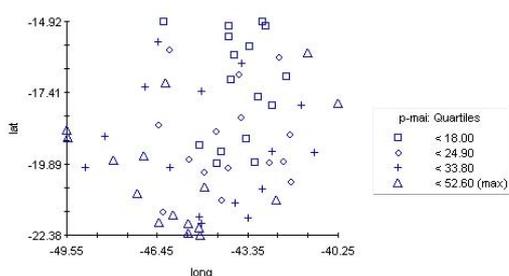


Figura 29: Gráfico de dispersão da precipitação total (mm), do mês de maio das 63 Estações Climatológicas do Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

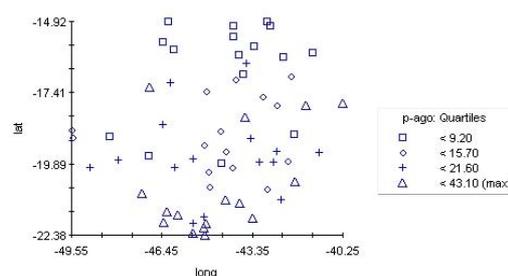


Figura 32: Gráfico de dispersão da precipitação total (mm), do mês de agosto das 63 Estações Climatológicas do Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

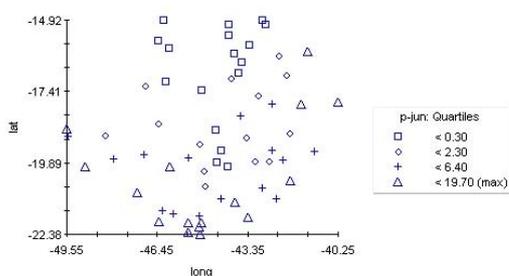


Figura 30: Gráfico de dispersão da precipitação total (mm), do mês de junho das 63 Estações Climatológicas do Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

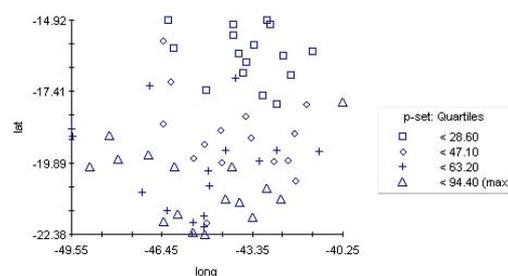


Figura 33: Gráfico de dispersão da precipitação total (mm), do mês de setembro das 63 Estações Climatológicas do Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

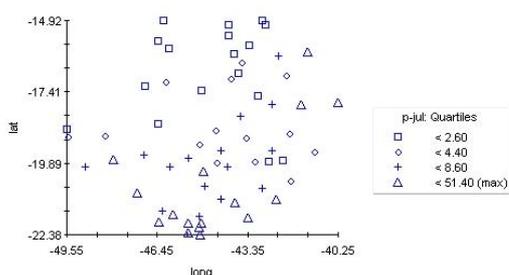


Figura 31: Gráfico de dispersão da precipitação total (mm), do mês de julho das 63 Estações Climatológicas do Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

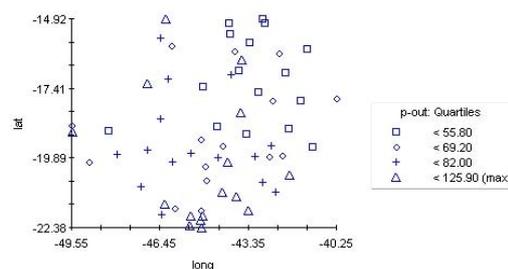


Figura 34: Gráfico de dispersão da precipitação total (mm), do mês de outubro das 63 Estações Climatológicas do Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

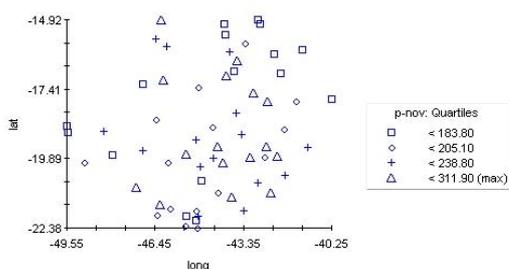


Figura 35: Gráfico de dispersão da precipitação total (mm), do mês de novembro das 63 Estações Climatológicas do Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

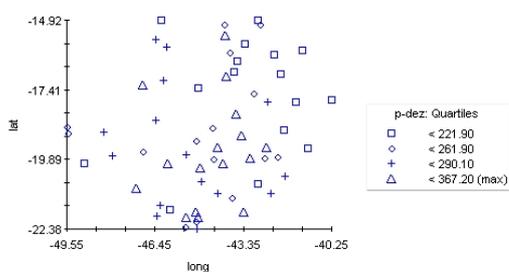


Figura 36: Gráfico de dispersão da precipitação total (mm), do mês de dezembro das 63 Estações Climatológicas do Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

Estas figuras mostram que existe uma tendência dos valores mais altos de precipitação pluviométrica se concentrarem nas regiões sul e centro-oeste do estado e os níveis mais baixos dos índices pluviométricos ocorrem nas regiões norte e nordeste do estado ao longo de todo período avaliado. Essa tendência na distribuição dos valores pode, de acordo com Vieira (2000), afetar o ajuste do semivariograma fazendo com que a

definição do patamar não seja clara. Esse autor sugere que a tendência seja removida por meio de ajuste de superfície de tendência, entretanto, neste trabalho, optou-se por trabalhar com os dados originais.

Nas Figuras 37 a 48 tem-se os modelos de semivariogramas ajustados para a precipitação pluviométrica mensal.

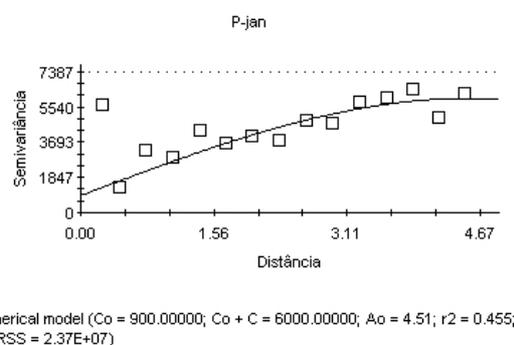


Figura 37: Semivariograma da precipitação total do mês de janeiro, no Estado de Minas Gerais. (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).

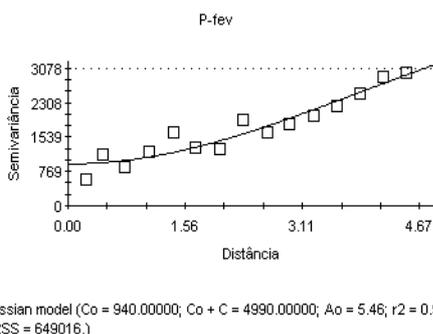
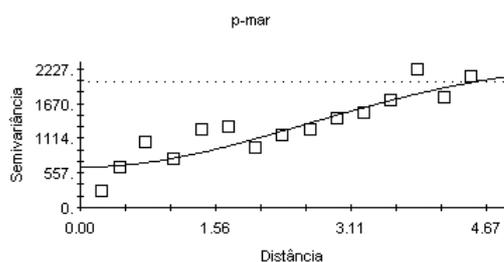
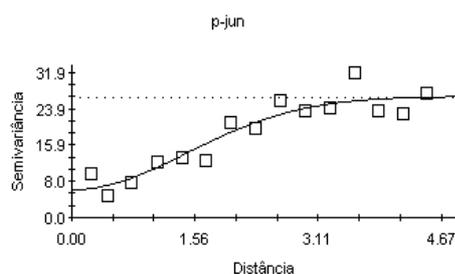


Figura 38: Semivariograma da precipitação total do mês de fevereiro, no Estado de Minas Gerais. (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).



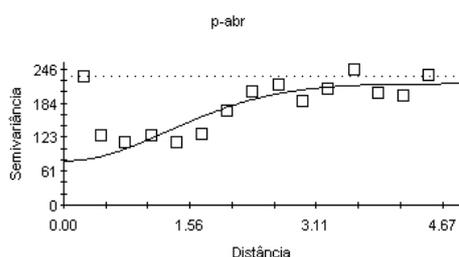
Gaussian model ($C_0 = 650.00000$; $C_0 + C = 2400.00000$; $A_0 = 3.66$; $r^2 = 0.822$; $RSS = 731762$.)

Figura 39: Semivariograma da precipitação total do mês de março, no Estado de Minas Gerais. (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).



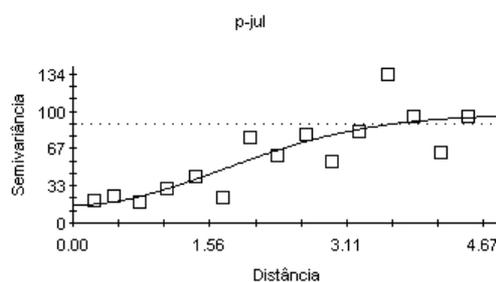
Gaussian model ($C_0 = 6.11000$; $C_0 + C = 26.64000$; $A_0 = 2.05$; $r^2 = 0.876$; $RSS = 111$.)

Figura 42: Semivariograma da precipitação total do mês de junho, no Estado de Minas Gerais. (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).



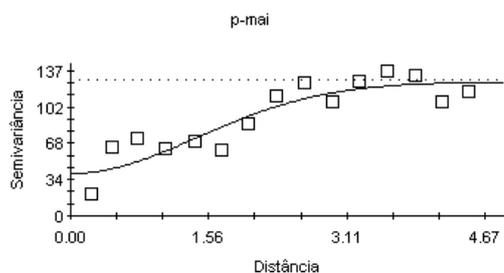
Gaussian model ($C_0 = 80.00000$; $C_0 + C = 220.00000$; $A_0 = 1.85$; $r^2 = 0.368$; $RSS = 28676$.)

Figura 40: Semivariograma da precipitação total do mês de abril, no Estado de Minas Gerais. (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).



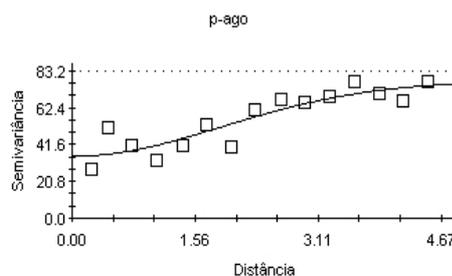
Gaussian model ($C_0 = 16.20000$; $C_0 + C = 97.40000$; $A_0 = 2.40$; $r^2 = 0.714$; $RSS = 4689$.)

Figura 43: Semivariograma da precipitação total do mês de julho, no Estado de Minas Gerais. (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).



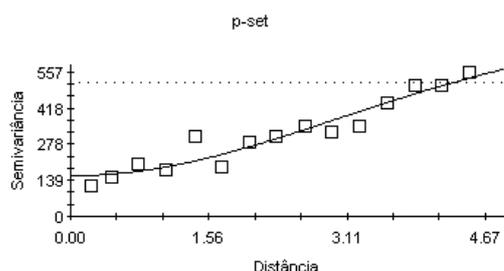
Gaussian model ($C_0 = 40.00000$; $C_0 + C = 126.20000$; $A_0 = 2.02$; $r^2 = 0.816$; $RSS = 2948$.)

Figura 41: Semivariograma da precipitação total do mês de maio, no Estado de Minas Gerais. (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).



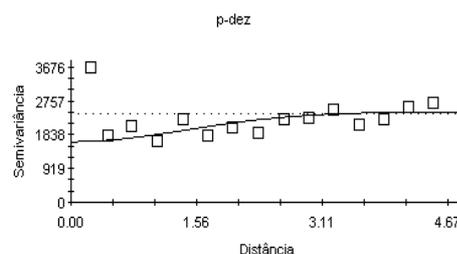
Gaussian model ($C_0 = 35.00000$; $C_0 + C = 77.53000$; $A_0 = 2.68$; $r^2 = 0.802$; $RSS = 726$.)

Figura 44: Semivariograma da precipitação total do mês de agosto, no Estado de Minas Gerais. (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).



Gaussian model (Co = 157.00000; Co + C = 724.90000; Ao = 4.30; r2 = 0.922; RSS = 20612.2)

Figura 45: Semivariograma da precipitação total do mês de setembro, no Estado de Minas Gerais. (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).



Gaussian model (Co = 1650.00000; Co + C = 2465.00000; Ao = 2.02; r2 = 0.000; RSS = 4709437.)

Figura 48: Semivariograma da precipitação total do mês de dezembro, no Estado de Minas Gerais. (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).

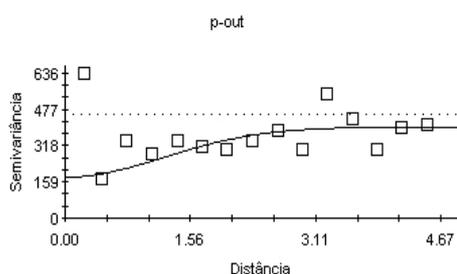
Os semivariogramas mostram comportamentos de variabilidade espacial diferenciado ao longo do tempo.

Em linhas gerais pode-se observar três grupos distintos, sendo um primeiro grupo de comportamento correspondente aos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro, estes com modelo gaussiano de patamar bem definido.

Já os meses de fevereiro, março e setembro não apresentam patamar definido para a variabilidade espacial do estado de Minas Gerais.

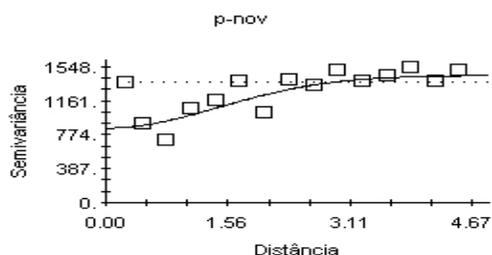
Os meses de abril, maio, junho, julho e agosto formam um terceiro grupo, também com patamar bem definido.

Tal fato pode estar associado a distribuição temporal da chuva no estado de Minas Gerais, sendo que o primeiro grupo se caracteriza pelos meses com maior volume de chuvas, o segundo grupo é um período de transição e no terceiro



Gaussian model (Co = 180.00000; Co + C = 400.00000; Ao = 1.73; r2 = 0.006; RSS = 266667.)

Figura 46: Semivariograma da precipitação total do mês de outubro, no Estado de Minas Gerais. (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).



Gaussian model (Co = 850.00000; Co + C = 1450.00000; Ao = 473635.)

Figura 47: Semivariograma da precipitação total do mês de novembro, no Estado de Minas Gerais. (INMET/5^o DISME, Período: 1999 a 2003).

grupo tem-se o menor volume pluviométrico.

Nota-se ainda que ocorre uma certa periodicidade no semivariograma que pode estar relacionada à sazonalidade da precipitação.

Associando os resultados dos semivariogramas (Figuras 37 a 48) com as Figuras 25 a 36 (gráficos de dispersão espacial) pode-se verificar que ocorre uma estabilidade temporal da precipitação ao longo do ano, ou seja, neste caso espera-se que as regiões sul e centro-oeste do estado apresentem, ao longo de todo ano, precipitação mais elevada que as regiões norte e nordeste do estado. Gonzaga et al (2005), em estudos sobre a estabilidade temporal da precipitação em Uberlândia – MG e utilizando a metodologia proposta por Vachaud et al (1985), observaram estabilidade temporal para a precipitação mensal.

Nas Figuras 49 a 60 encontram-se os mapas dos índices pluviométricos de Minas Gerais ao longo do ano. Nestes mapas pode-se notar a estabilidade temporal da precipitação no estado, ou seja, percebe-se claramente que ao longo de todo ano as regiões sul e centro-oeste sempre apresentam índices pluviométricos mais elevados.

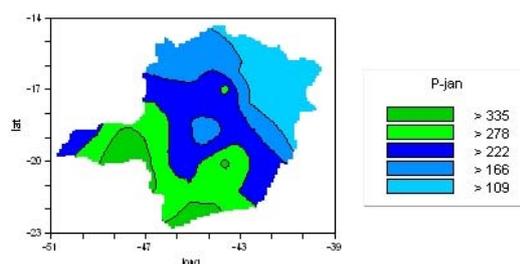


Figura 49: Mapa da precipitação total (mm), do mês de janeiro, no Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

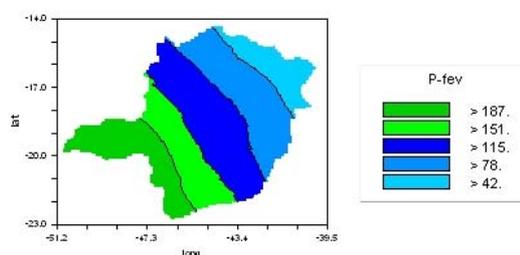


Figura 50: Mapa da precipitação total (mm), do mês de fevereiro, no Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

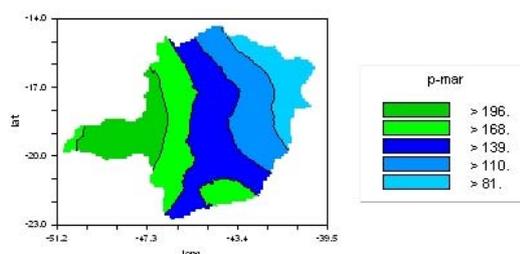


Figura 51: Mapa da precipitação total (mm), do mês de março, no Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

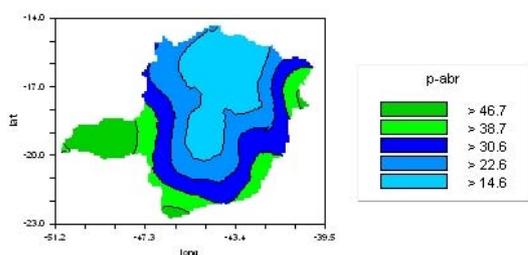


Figura 52: Mapa da precipitação total (mm), do mês de abril, no Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

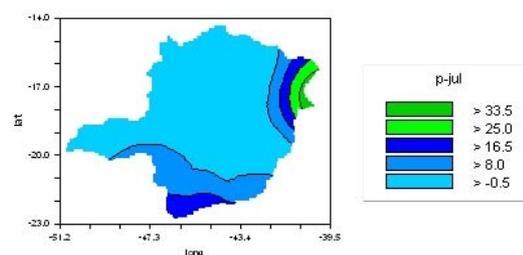


Figura 55: Mapa da precipitação total (mm), do mês de julho, no Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

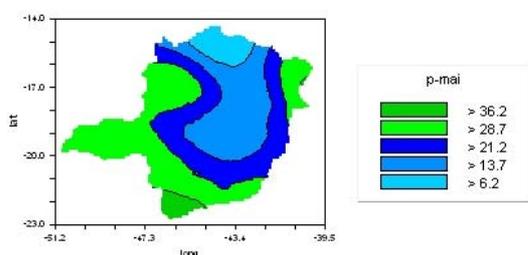


Figura 53: Mapa da precipitação total (mm), do mês de maio, no Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

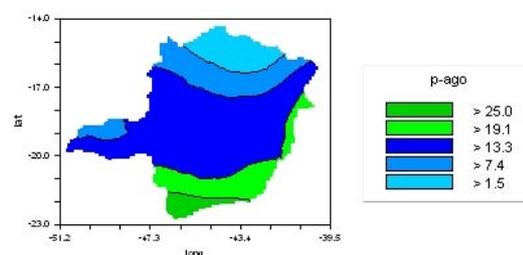


Figura 56: Mapa da precipitação total (mm), do mês de agosto, no Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

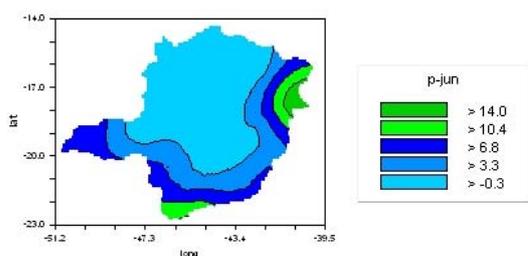


Figura 54: Mapa da precipitação total (mm), do mês de junho, no Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

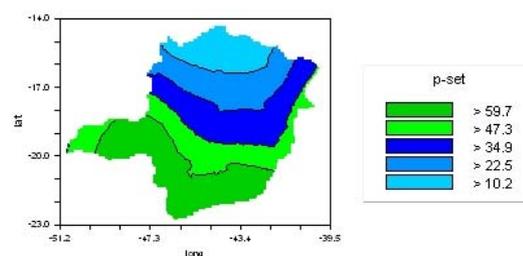


Figura 57: Mapa da precipitação total (mm), do mês de setembro, no Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

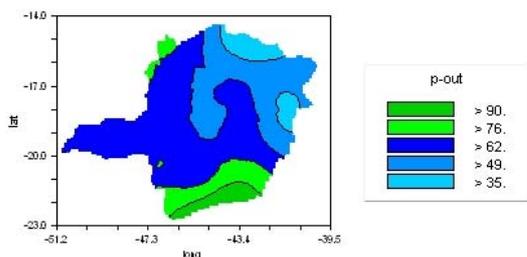


Figura 58: Mapa da precipitação total (mm), do mês de outubro, no Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

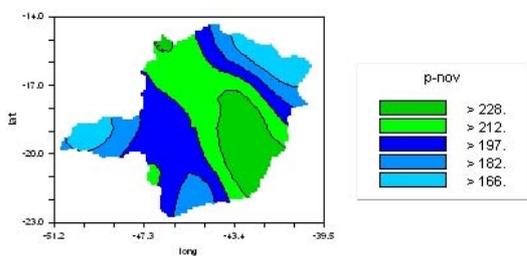


Figura 59: Mapa da precipitação total (mm), do mês de novembro, no Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

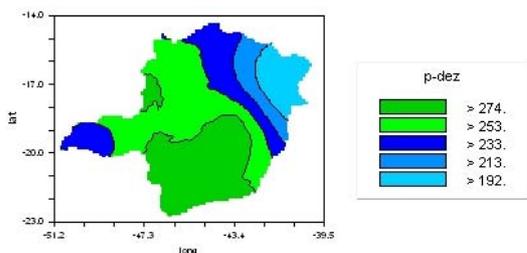


Figura 60: Mapa da precipitação total (mm), do mês de dezembro, no Estado de Minas Gerais, no período de 1999 a 2003.

Verifica-se também que, de acordo com o semivariograma ajustado, os mapas de precipitação mensal são variáveis. Nos meses em que o patamar não foi definido

os mapas apresentam-se com áreas praticamente paralelas entre si, já nos casos de definição clara do patamar esse paralelismo não é observado. Vieira (2000) e Guimarães (2005) ressaltam que o ajuste do semivariograma é de fundamental importância na análise geoestatística pois estão diretamente relacionados com a krigagem e, por consequência, com a qualidade dos mapas.

CONCLUSÕES

- 1) A precipitação pluviométrica mensal do Estado de Minas Gerais apresenta-se autocorrelacionada no espaço e também no tempo.
- 2) Estimativas de precipitação pluviométrica mensal devem levar em consideração o modelo de dependência espacial caracterizado pelo semivariograma.
- 3) Não é possível utilizar um único modelo de semivariograma escalonado para caracterizar a distribuição espacial da precipitação pluviométrica.
- 4) O mapeamento dos atributos climáticos é uma forma eficiente de

visualizar o comportamento dessas variáveis com o tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, R. M. B. *Características climatológicas do regime de chuvas em Minas Gerais*. Viçosa, 1995, 64 p.. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa.
- ASSAD, M. L. L.; ASSAD, E. D.; EVANGELHISTA, B. A. *Chuvas extremas na região dos cerrados*. In: ASSAD, C. D. (coord.) *Chuva no cerrado: análise e espacialização*. Brasília: EMBRAPE/CPAC, 1994, p. 49-54.
- BOTELHO, V. A. V. A.; MORAIS, A. R. Estimativas dos parâmetros da distribuição gama de dados pluviométricos no município de Lavras, Estado de Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 23, n. 3, p. 697-706, jul./set. 1999.
- CARDIM, M. *Mapeamento do comportamento multivariado das principais variáveis climáticas de interesse agrícola do estado de São Paulo*. Botucatu. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas Campus de Botucatu, 2001. 124p.
- CARVALHO, M. F.; GUIMARÃES, E. C. ; SOUZA JUNIOR, A. Comportamento espacial da precipitação anual do Estado de Minas Gerais. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 51, 2006, Botucatu. *Anais...*,2006, 1 CD-ROOM.
- CRESSIE, N. A. C. *Statistics for spatial data*. John Wiley & Sons, Inc., 1993, 900 p..
- ELTZ, F. L. F.; REICHERT, J. M.; CASSOL, E. A. Período de retorno de chuvas de Santa Maria, RS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Campinas, v.16, p. 265-269, 1992.
- FREITAS, V. A. *Análise de dados espaciais por meio de semivariogramas*. Uberlândia. Monografia (Graduação em Matemática) – Universidade Federal de Uberlândia, 2000, 30p.
- GAMMA DESIGN SOFTWARE. *GS⁺: Geostatistics for the Environmental Sciences*. Gamma Design Software, Plainwell, Michigan USA, 2004.

GOMES, B. M. *Comportamento espacial do percentil 75 da precipitação decenal do estado de São Paulo*. Botucatu, 2001, 101p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônomicas - Campus de Botucatu.

GONZAGA, F. A. da S.; ALVES, G. de F.; GUIMARÃES, E. C. Estabilidade temporal da precipitação pluviométrica mensal em Uberlândia – MG. In: ENCONTRO INTERNO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, V, 2005, Uberlândia. *Anais...*, 2005, 1 CD-ROOM.

GUIMARÃES, E. C. *Geoestatística Básica e Aplicada*. Uberlândia: UFU, 75p., 2005. (Disponível em: www.ufu.famat.br/prof/ednaldo/ednaldo.htm).

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. *Applied geostatistics*. New York: Oxford University Press, 1989.

MELLO, C. R.; FERREIRA, D. F.; SILVA, A. M.; LIMA, J. M. Análise de modelos matemáticos aplicados ao estudo de chuvas intensas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa, v. 25, n. 3, p. 693-698, 2001.

MINAS GERAIS. Secretaria de Planejamento. *Anuário estatístico de Minas Gerais -1988 e 1989*. V. 7, 1990, 896 p.

OLIVEIRA, J. A. de.; GUIMARÃES, E. C. ; TAVARES, M. Comportamento espacial de chuvas de verão no estado de Minas Gerais. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 50, 2005, Londrina. *Anais...*, 2005, 1 CD-ROOM.

PHILLIPS, D. L.; DOLPH, J.; MARKS, D. A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 58, p. 119-141, 1992.

PINTO, F. A. Chuvas intensas no Estado de Minas Gerais: análises e modelos. Viçosa, 1995, 87 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa.

RIBEIRO, A. M.; LUNARDI, D. M. C. A precipitação mensal provável para Londrina - PR, através da função gama. *Energia na Agricultura*. Botucatu, v. 12, n. 4, p. 37-44, 1997.

SILVA, J. W.; GUIMARÃES, E. C.; TAVARES, M. Variabilidade temporal da precipitação mensal e anual na estação climatológica de Uberaba-MG, *Ciência e Agrotecnologia*, 27(3), 2003, p. 665-674.

TRIOLA, M. F. *Introdução à Estatística*. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC. 410 p. 1999.

VERONESE, D. O.; GUIMARÃES, E. C. Análise geoestatística da temperatura média de Uberaba - MG, nas quatro estações do ano. *Ciência e Engenharia*. Uberlândia, 11(2), 2002, p. 21-26.

VACHAUD, G.; SILANS, A. P. de; BALABANIS, P.; VAUCLIN, M. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. *Soil Science Society America Journal*.v. 49, p. 822 – 828, 1985.

VIEIRA, S. R. *Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo*. In: Novais, R. F.; Alvarez, V. H.; Schaffer, C. E. G. R. Tópicos em Ciência do Solo.

Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Cap. 1, p. 1- 54, 2000.

VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F.; BURROWS, I. T. Mapeamento da chuva diária máxima provável para o estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Campinas, v. 15, n.1, p. 93-98, 1991.

ZAMBOTI, J. L. *Mapas pluviométricos médios mensais no verão para o Estado do Paraná, utilizando métodos geoestatísticos*. Botucatu. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agronômicas Campus de Botucatu, 2001. 117p.