



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

*O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

### Análise geostatística de pluviosidade anual para o município de Joinville (SC)



Yara de Mello<sup>1</sup>; Therezinha Maria Novais de Oliveira<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geógrafa, Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Saúde e Meio Ambiente, Univille, Joinville – SC, Fone: (47)3461-9035, [yarademello@gmail.com](mailto:yarademello@gmail.com)

<sup>2</sup> Engenheira Ambiental e Sanitarista, Prof<sup>a</sup> Titular, Programa de Pós-Graduação em Saúde e Meio Ambiente, Univille, Joinville – SC, [t.novais@univille.br](mailto:t.novais@univille.br)

**RESUMO:** A precipitação pluviométrica é um fator importante na definição de um clima, sendo o resultado do conjunto de diversos eventos físicos, principalmente meteorológicos e geográficos. Seu estudo é indispensável devido a forte influencia que exerce sobre as condições ambientais e socioeconômicas. Sendo assim, faz-se necessário a realização de pesquisas de distribuição pluviométrica que contribuam para uma melhor gestão socioambiental. Portanto, neste estudo, foram utilizados dados pluviométricos de 42 amostras na região de Joinville (SC) objetivando aprimorar o mapeamento da precipitação média anual do município. Foi realizada a análise da dependência espacial dos dados através do semivariograma esférico, exponencial e gaussiano e geradas as superfícies interpoladas de precipitação pelo método de krigagem. Para selecionar a melhor superfície foi utilizada a validação cruzada, análise do IDE e grau de aleatoriedade. O mapeamento foi realizado utilizando a extensão *geostatistical analyst* do *software ArcGIS 10.2.2*. Os resultados mostraram que o modelo esférico de semivariograma na krigagem apresenta bom desempenho em todos os parâmetros de validação, gerando uma média anual de precipitação de 2.130,1 mm para Joinville.

**PALAVRAS-CHAVE:** semivariograma, krigagem, precipitação

#### Geostatistical analysis of the rainfall in the municipality of joinville (sc)

**ABSTRACT:** The rainfall is a prevailing factor in the definition of a place's weather, being the result of the group of physical events, especially weather and geographical. Its study is necessary due to the strong influence it exerts upon the environmental and socioeconomic conditions. Therefore, it is necessary to undertake research of rainfall distribution contributing to a better socio-environmental administration. 42 samples of rainfall data, Joinville (SC) area, were used in this study, seeking to improve the map of the municipality's average yearly rainfall. The spatial dependence analysis of the data through the spherical, exponential and gaussian semivariograms were conducted and generated the interpolated surfaces of precipitation by the kriging method. In order to select the better surface, cross-validation, SDI and randomness degree analysis were used. The mapping was performed with the ArcGIS software Geostatistical Analyst. The results show that the spherical semivariogram, in kriging show good performance generating yearly average rainfall of 2,130.1 mm for Joinville.

**KEY WORDS:** semivariogram, kriging, precipitation

#### 1. INTRODUÇÃO

A precipitação pluviométrica é uma variável climática que possui uma distribuição aleatória no espaço e no tempo, exercendo forte influência nas condições ambientais. Os equipamentos comumente

***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

utilizados para medir a quantidade de chuva que cai sobre uma região são chamados de pluviômetros e pluviógrafos (automáticos), existindo um conjunto destes, forma-se uma rede que possibilita o estudo climatológico de uma determinada área (Tucci, 2001; Moulin, 2005; Caram, 2007).

Quando se realiza o mapeamento de uma variável climática a partir de estações de superfície tem-se a problemática de generalizar o resultado para uma área a partir de amostras pontuais. A precipitação apresenta certo grau de dependência espacial, desta forma a geoestatística ou teoria das variáveis regionalizadas é uma alternativa na análise das amostras, pois permite definir o raio de dependência entre elas. No conceito fundamental da geoestatística tem-se que as amostras mais próximas no tempo e no espaço sejam mais similares entre si (Baú *et al.*, 2006; Caram, 2007).

O semivariograma é uma função matemática fundamental na aplicação da geoestatística, ele determina, sobretudo a dependência entre duas variáveis aleatórias regionalizadas locais, levando em consideração à auto correlação em função da distância e da direção delas. É pré-requisito para os métodos de interpolação de krigagem, se houver dependência espacial entre as amostras podem-se estimar valores para os locais não amostrados (Carvalho *et al.*, 2004; Mello, 2004; Moulin, 2005; Baú *et al.*, 2006).

Krigagem é um método univariado de inferência espacial que usa a dependência no espaço expressa no semivariograma entre amostras vizinhas para estimar valores em qualquer posição da área de estudo, sem tendência e com variância mínima, tornando-se um ótimo estimador. A utilização da krigagem possibilita o cálculo de uma medida do erro de estimação para cada valor e de um intervalo de confiança (Mello, 2004; Moulin, 2005; Baú *et al.*, 2006; Caram, 2007; Bargaoui *et al.*, 2009; Viola *et al.*, 2010; Lellis *et al.*, 2011; Carvalho *et al.*, 2012; Wanderley *et al.*, 2012).

O objetivo desta pesquisa foi realizar um mapeamento pluviométrico aprimorado para Joinville (SC), município que possui uma média anual de precipitação de 2.200 mm. A distribuição pluviométrica regional é influenciada pela presença marcante da serra (altitudes superiores a mil metros) em conjunto com a proximidade do Oceano Atlântico (Oliveira, 2006; Mello *et al.*, 2013).

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. REDE DE PLUVIÔMETROS**

Foram utilizados dados de 42 postos pluviométricos localizados na região de Joinville e utilizados no trabalho de Mello *et al.* (2013) para caracterizar a distribuição pluviométrica na região. Neste contexto, os dados compreendem a média anual de 55 anos (1953 a 2008).

### **2.2 SEMIVARIOGRAMA**

Para a utilização do método de krigagem o semivariograma é a ferramenta básica, pois permite analisar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado. As propriedades típicas de um variograma analisadas foram: alcance (a), efeito pepita ( $C_0$ ), variância estrutural (C) e patamar ( $C_0 + C$ ). Foram utilizados nesta pesquisa os modelos teóricos de variogramas com patamar esférico, exponencial e gaussiano. Através da análise do semivariograma é possível perceber se o fenômeno é isotrópico (a função variograma muda com a direção) ou anisotrópico (a função variograma não se altera com a direção), desta forma a covariância foi calculada em quatro direções horizontais: 0°, 45°, 90° e 135° (Andriotti, 2003; Carvalho *et al.*, 2004; Viola *et al.*, 2010; Lellis *et al.*, 2011; Wanderley *et al.*, 2012; Yamamoto *et al.*, 2013).

***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

Foi verificado o Índice de Dependência Espacial (IDE) descrito em Caram (2007) que relaciona ( $C_0$ ) e ( $C_0 + C$ ) em sua equação para avaliar o grau de dependência espacial da variável. Para avaliar o grau de aleatoriedade presente nos dados utilizou-se a equação descrita em Yamamoto *et al.* (2013) que utiliza a razão entre ( $C_0$ ) e ( $C$ ). A análise do semivariograma foi realizada no *software ArcMap 10.2.2* através da extensão *Geostatistical Analyst*.

## **2.3 KRIGAGEM**

Após verificar a dependência espacial das amostras através do semivariograma é possível estimar valores de precipitação para os locais não amostrados dentro da área de análise através da técnica de krigagem. Estimativas geoestatísticas são muitas vezes superiores aos demais métodos de interpolação justamente pela utilização da função variograma, que depende da existência ou não do efeito pepita, da amplitude e da presença de anisotropia. (Alvares, 2011; Wanderley *et al.*, 2012; Yamamoto *et al.*, 2013).

Foi selecionada para esta pesquisa a krigagem ordinária, por ser o método mais utilizado devido a sua simplicidade e os resultados que proporciona. Utilizaram-se os valores de erro (diferença entre valor medido e previsto) para gerar o mapa de resíduos pelo método Inverso do Quadrado da Distância (IQD) (Andriotti, 2003; Yamamoto *et al.*, 2013).

Toda a análise foi realizada no *ArcMap 10.2.2* e a técnica de validação cruzada foi utilizada para definir o melhor ajuste de modelo. Os mapas de krigagem e IQD foram elaborados com base digital do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Comitê Cubatão Cachoeira (CCJ) e *raster SRTM* da Nasa, utilizando a projeção UTM (zona 22 sul) e Datum Sirgas 2000, a escala numérica utilizada foi 1: 250.000.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

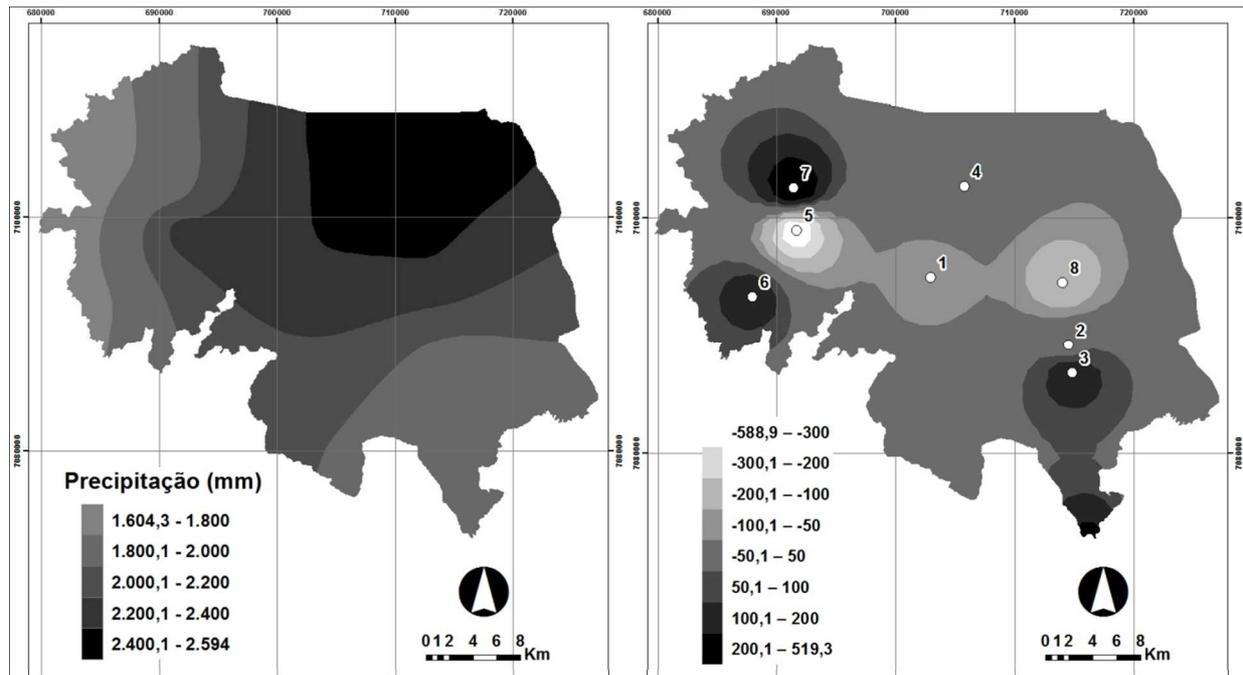
Foram testados os semivariogramas para diferentes modelos teóricos e o melhor resultado da superfície anual interpolada por krigagem se deu com o modelo linear esférico. Os erros foram comparados através da técnica de validação cruzada, resultado semelhante foi encontrado nos trabalhos de Caram (2007), Carvalho *et al.* (2012) e Wanderley *et al.* (2012). A covariância calculada nas quatro direções horizontais não mostrou diferenças significativas, desta forma o conjunto de dados foi considerado isotrópico. O tamanho do passo utilizado foi de 7.100 metros, e o número de passos foi de 6.

No semivariograma selecionado foi utilizada a transformação *log* para ajustar os dados a uma distribuição normal, a covariância negativa apareceu aos 20 km, o alcance ( $a$ ) foi de 42,6 km, o que delimita o grau de homogeneização entre as amostras, o patamar ( $C_0 + C$ ) foi de (0,0329), ou seja, a variância se estabilizou neste valor e, por fim, o efeito pepita ( $C_0$ ) foi de 0,0006 demonstrando haver irregularidade a curtos espaçamentos. Ainda assim o valor representou apenas 1,8% do patamar, valor expressivamente inferior a 30%, limite considerado elevado segundo Andriotti (2003). O IDE, idêntico à relação entre efeito pepita e patamar, foi de 1,82% representando forte dependência espacial, o grau de aleatoriedade foi de 0,02, classificado como pequeno.

O modelo teórico esférico de semivariograma foi selecionado através da técnica de validação cruzada que utiliza para comparar os modelos às estatísticas de erro médio (ME), que deve ser próximo a (0), raiz quadrada do erro médio padronizado (RMSSE), que deve ser próximo a (1), erro padrão médio (ASE) e raiz quadrada do erro médio (RMSE) que devem ter os valores próximos e menores possíveis. A superfície anual interpolada apresentou valores de erro médio (-0,01) e raiz quadrada do erro médio

padronizado (1,09). O erro padrão médio foi de 214,68 mm e a raiz quadrada do erro médio de 215,36 mm, ou seja, a previsão foi subestimada em 0,68 mm.

O mapa de precipitação anual para o município de Joinville (Figura 1 - A) elaborado pelo método de krigagem ordinária apresentou o valor mínimo de 1.604,3 mm, máximo de 2.594,2 mm, média de 2.130,1 mm e desvio padrão de 238,7 mm.



**Figura 1** - Superfície interpolada pelo método de krigagem ordinária de precipitação anual para o município de Joinville (A). Superfície representando os erros de estimação de precipitação anual pelo método inverso do quadrado da distância para Joinville (B).

A superfície de erros (Figura 1 – B) para os dados anuais mostrou que a previsão em relação ao valor medido variou entre (-588,9 mm) e 519,3 mm, sendo que a faixa predominante de erros esta compreendida entre (-50 mm) e 50 mm. Os valores negativos indicam que a previsão foi inferior ao valor medido e vice-versa. Estes valores se justificam porque o método interpolador tem a tendência de suavizar a previsão de acordo com as amostras próximas, neste caso o mapa de erros destaca os pluviômetros que não são tão homogêneos em relação à vizinhança.

A análise da distribuição de chuvas no município de Joinville foi similar a encontrada em Mello *et al.* (2013), os maiores valores anuais e mensais estão concentrados mais ao norte do município, próximo a Garuva, região da serra do Quiriri e zona rural de Pirabeiraba, os menores índices pluviométricos distribuem-se no planalto e zona sul de Joinville.

#### 4. CONCLUSÕES

A geoestatística permitiu aprofundar a análise espacial dos dados de precipitação média anual para o município de Joinville e aprimorar o seu mapeamento. O IDE foi forte na interpolação por



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*



krigagem e os demais parâmetros de validação do modelo selecionado também apresentaram bons resultados.

Sendo assim a média de precipitação anual gerada para Joinville foi de 2.130,1 mm, os maiores volumes médios de chuva espacializaram-se próximos a serra do Quiriri, mais ao norte do município, influenciando a região de Pirabeiraba.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A. **Mapeamento e modelagem edafoclimática da produtividade de plantações de *Eucalyptus* no sul do Estado de São Paulo.** Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/ Universidade de São Paulo, 2011.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística.** São Leopoldo: Editora Unisinos/ Universidade do Vale do rio dos Sinos, 2003.

BARGAOUI, Z. K.; CHEBBI, A. Comparison of two kriging interpolation methods applied to spatiotemporal rainfall. **Journal of Hydrology** 365 (2009) 56-73.

BAÚ, A. L.; GOMES, B. M.; QUEIROZ, M. M. F. de.; OPAZO, M. A. U.; SAMPAIO, S. C. Comportamento espacial da precipitação pluvial mensal provável da mesorregião oeste do Estado do Paraná. **Irriga**, Botucatu, v.11, n.2, p. 150-168, abril-junho, 2006.

CARAM, R. de O. **Reconstrução de séries e análise geoestatística da precipitação no Estado de Minas Gerais.** Dissertação (*Magister Scientiae*) – Universidade Federal de Viçosa, 2007.

CARVALHO, J. R. P. de; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. Interpoladores geoestatísticos na análise da distribuição espacial da precipitação anual e de sua relação com altitude. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.9, p.1235-1242, set. 2012.

CARVALHO, J. R. P. de; VIEIRA, S. R. Validação de modelos geoestatísticos usando teste de Filliben: aplicação em agroclimatologia. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária. 2004, 4p. Comunicado Técnico.

LÉLLIS, F. S.; BARROSO, G. F. Modelagem geoestatística de precipitação pluviométrica na bacia do rio Jacaraípe, Serra (ES). Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE, p.5201.

MELLO, J. M. de. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal.** Tese (Doutor em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/ Universidade de São Paulo, 2004.

MELLO, Y. R. de; KOEHNTOPP, P. I; OLIVEIRA T. M.; VAZ, C.. **Distribuição de precipitação pluviométrica na região de Joinville.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia). Universidade da Região de Joinville – Univille. Joinville, 2013.

MOULIN, G. D. **Técnicas de entropia e de geoestatística no dimensionamento de redes pluviométricas.** Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

*O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*



OLIVEIRA, F. A. de. **Estudo do aporte sedimentar em suspensão na baía da babitonga sob a ótica da geomorfologia.** Tese (Doutor em Geografia) - Universidade de São Paulo – USP. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, 2006.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2. ed.; 2. reimpr. – Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS: ABRH, 2001.

VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. de; PINTO, D. B. F.; MELLO, J. M. de; ÁVILA, L. F. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.9, p. 970-978, 2010.

WANDERLEY, H. S.; AMORIM, R. F. C.; CARVALHO, F. O. de. Variabilidade espacial e preenchimento de falhas de dados pluviométricos para o Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.3, 347-354, 2012.

YAMAMOTO, J. K. **Geoestatística: conceitos e aplicações/** Jorge Kazuo Yamamoto, Paulo M. Barbosa Landim. – São Paulo: Oficina de Textos, 2013.