

ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DA PRECIPITAÇÃO PARA O ESTADO DE ALAGOAS

Henderson Silva Wanderley¹; Frede Oliveira de Carvalho²; Ricardo Carlos Ferreira de Amorim³; José Rafael de Albuquerque Cavalcanti⁴ & Raphael Ribeiro Cruz Santos⁵

RESUMO -- Nas regiões tropicais a precipitação determina as chamadas estações secas e chuvosas, o conhecimento de sua variabilidade espacial e temporal torna-se fundamental para obtenção dos padrões definidores dos regimes hidrológicos e climatológicos de uma região. Consoante a isso, objetivou-se com este trabalho investigar a utilização de técnicas Geoestatísticas no estudo da variabilidade espacial de dados pluviométricos para Estado de Alagoas, com a análise da dependência espacial por meio de variograma isotrópicos, da técnica de Krigagem Ordinária para a interpolação dos dados, e da validação cruzada para identificação do melhor modelo testado. Foram selecionados dados mensais de 63 estações pluviométricas, provenientes do banco de dados da Agência Nacional de Águas – ANA, distribuídos espacialmente no Estado de Alagoas para o período de 1965 a 1980. Verificou-se que os variogramas apresentaram forte dependência espacial entre a distribuição dos dados utilizados. A Krigagem Ordinária apresentou resultados satisfatórios, com erros mínimos na interpolação, estando condizentes seus resultados com as características climatológicas da região. A distribuição espacial da precipitação mostrou grande variabilidade espacial, com totais pluviométricos que variam de 500 a 2500mm.

Palavras-chave: Interpolação, Variograma, Krigagem Ordinária.

ABSTRACT -- In the tropics the precipitation determines the calls dry and rainy seasons, and knowledge of its spatial and temporal variability becomes crucial to achieving the standards defining the cycle climatologic of region. It was aimed with this paper to investigate the uses of geostatistic tecnic in the study of the spatial variability of pluviometrics data for the Alagoas State, with analysis of the spatial dependence through isotropic variograms the Ordinary Kriging 2D technique of data interpolation, and calculation to identify the best model tested. We selected monthly data of 63 rainfall stations from the database of the Agência Nacional de Águas - ANA, spatially distributed in the Alagoas State for the period 1965 to 1980. It was found that the variograms showed strong spatial dependence between the distribution of the data used. The Ordinary Kriging showed satisfactory results with minimal errors in the interpolation, the results are consistent with the climatological characteristics of the region. The spatial distribution of precipitation showed large spatial variability, with total rainfall ranging from 500 to 2500mm.

Keyword: Interpolation, Variograms, Ordinary Kriging.

¹Discentes do Prog. de Pós-Graduação em Meteorologia do Inst. de Ciências Atmosféricas da Univ. Fed. de Alagoas, Maceió - Al, Bra. e-mail: henderson@ccon.ufal.br

²Prof^o Dr. Unidade Acadêmica de Tecnologia da Univ. Fed. de Alagoas, Maceió-Al, Bra. e-mail: fredecarvalho@yahoo.com.br

³Prof^o Dr. Instituto de Ciências Atmosféricas da Univ. Fed. de Alagoas, Maceió-Al, Bra. e-mail: rfca@fapeal.br

⁴Graduando no Curso de Engenharia Ambiental da Univ. Fed. de Alagoas, Maceió-Al, Bra. e-mail: rafaelcavalcantii@gmail.com

⁵Graduando no Curso de Engenharia Química da Univ. Fed. de Alagoas, Maceió-Al, Bra. e-mail: rres.al@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

As regiões tropicais são marcadas por apresentarem uma grande variabilidade quanto à distribuição dos regimes pluviométricos. Nestas localidades, a precipitação determina as chamadas estações secas e chuvosas, e o conhecimento de sua variabilidade espacial e/ou temporal torna-se fundamental para obtenção dos padrões definidores dos regimes hidrológicos e climatológicos desta região.

A modelagem dessa variabilidade utilizando técnicas adequadas surge como uma alternativa para a compreensão da distribuição da precipitação. Mediante a necessidade de se obter informações em lugares de difícil acesso, onde, em certas condições, torna-se praticamente impossível montar uma estação de superfície ou fazer qualquer outro tipo de coleta de dados sem a necessidade de visitar o local. Além disso, os registros de várias estações apresentam falhas, as quais dificultam o processo de estimação, aumentando o erro na interpolação da variável para essa localidade.

Deste modo, surge a necessidade de se relacionar a obtenção de dados para regiões que não apresentam estações de medição, ou que apresentem falhas em seu banco de dados, através de técnicas de interpolação. A estimativa de dados para essas localidades que não apresentam estações, ou que, em seu conjunto de dados apresentam falhas, permanece sendo uma tarefa difícil, sobretudo para as grandes bacias hidrográficas.

A representação da distribuição espacial e temporal da precipitação é essencial para se determinar suas características como: duração, intensidade, infiltração, influencia no ciclo hidrológico, utilização na agricultura, dentre outras. Mas quando se trata da modelagem de processos hidrológicos, o uso de dados pluviométricos para calibração de modelos hidrológicos é fundamental, podendo proporcionar a redução de impactos causados por alterações dos regimes das chuvas, como enchentes.

Haberlandt (2007) destaca que alguns trabalhos têm sido publicados utilizando métodos de interpolação para áreas remotas, com diferentes variáveis regionalizadas em: geologia, ciências ambientais, meteorologia e hidrologia. Esses trabalhos têm mostrado o potencial da geoestatística, e, na maioria desses estudos é utilizada a técnica de krigagem como instrumento de interpolação das variáveis de interesse. Esse autor ainda enfatiza que, apesar da existência de outros métodos para

gerar informações espaciais de medidas pontuais, a utilização da técnica de krigagem para o processo de interpolação vem mostrando resultados mais realistas que outros métodos de interpolação, com mapas alta resolução da distribuição da precipitação, Veer et al. (2009).

A Geoestatística se diferencia de outras técnicas estatísticas de interpolação quando assumem que todas as amostras são aleatórias e independentes de uma distribuição de probabilidade simples. Sua aplicação não envolve qualquer conhecimento da posição atual das amostras ou do relacionamento entre elas. Admitindo que a distribuição das diferenças entre dois pontos amostrados depende somente da distância entre eles e de sua orientação.

Dentre os métodos geoestatísticos de interpolação de dados a krigagem é um dos mais importantes, com grande potencial na geração mapas da distribuição espacial de uma variável. Esse método de interpolação é precedido da utilização do variograma, o qual expresso à dependência espacial entre as amostras. Sendo verificada a dependências espacial entre as amostras, se utiliza a Krigagem.

Szolgay et al. (2009) discutem que a qualidade e as propriedades dos mapas de precipitação, produzidos pelo método de krigagem, são essenciais na compreensão dos processos hidrológicos. Segundo os autores, esses mapas quando aplicado ao processo de precipitação-vazão, pode determinar o período de retorno das águas de uma bacia hidrográfica, bem como, os riscos de inundações decorrentes desse fenômeno.

Bargaoui e Chebbi (2009) utilizaram os métodos geoestatísticos para estimativa da variabilidade espacial da intensidade máxima da chuva. Onde a utilização da krigagem ordinária para duas e três dimensões, demonstrou resultados satisfatórios para ambos os métodos. Os autores também destacam a eficácia da utilização do variograma e validação cruzada, a fim de avaliar a variabilidade espacial das chuvas.

A krigagem quando comparada com outros métodos de interpolação vêm demonstrando resultados mais satisfatórios. Bucene e Zimback (2003) compararam a krigagem ao método do quadrado do inverso da distância e concluíram que a técnica de krigagem oferece uma melhor estimativa dos parâmetros nos locais não amostrai, com uma boa distribuição e continuidade. Oliveira et al. (2006) compararam a krigagem com o método de interpolação linear; os resultados mostraram uma melhor predição dos dados interpolados pelo método de krigagem.

Desta forma, o objetivo deste trabalho consiste em utilizar a Geoestatísticas no estudo da variabilidade espacial de dados pluviométricos para Estado de Alagoas. Mediante a análise da dependência espacial por meio de variograma e da validação cruzada. Com a interpolação dos dados pela técnica de Krigagem Ordinária para duas dimensões (KO2D).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Localizado no leste da região do Nordeste Brasileiro (NEB), o Estado de Alagoas conta ao todo com 102 municípios em uma área de 27.933,1 km². O Estado possui uma larga faixa costeira ao longo do Oceano Atlântico, entre as coordenadas geográficas 35° 8'W e 38° 15'W de longitude e 8° 45'S e 10° 30'S de latitude, fazendo divisa ao norte e noroeste com o Estado de Pernambuco, ao sul com Sergipe, e ao sudoeste com a Bahia, como mostra a Figura-1.

Foram utilizadas as médias mensais do acumulado anual da precipitação para 63 estações pluviométricas, espacialmente distribuídas por todas as micro-regiões do Estado, entre os anos de 1965 a 1980, provenientes do banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA). O mapa do acumulado anual da precipitação foi elaborado o programa Easykrig 3.0, em ambiente Matlab, o qual desempenha os cálculos geoestatísticos.

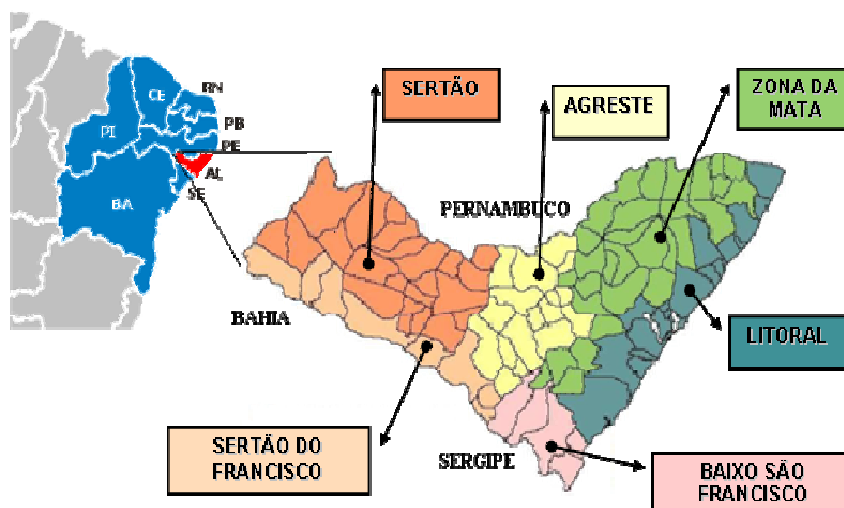


Figura 1 - Localização do estado de Alagoas no Nordeste Brasileiro e seus municípios divididos em meso-regiões.

2.2 Métodos

A geoestatística é definida como sendo um conjunto de técnicas que estima valores regionalizados e espacializados de variáveis ou elementos de uma determinada área. A geoestatística é uma metodologia que permite uma análise espacial e/ou temporal de dados correlacionados. O traço marcante das características da geoestatística é o uso do variograma. O variograma permite através de técnicas simples definir um modelo estrutural de correlação espacial de uma variável. Além disso, inclui-se várias técnicas semelhantes de krigagem que utilizam modelos de correlação estrutural.

O variograma é a ferramenta básica para o procedimento de interpolação através do método de Krigagem, pois permite uma representação quantitativa da variação de um fenômeno regionalizado no espaço e no tempo. O mesmo expressa a dependência espacial através da medida da variância dos valores amostrais, separados por uma distância h . O nível de dependência entre duas variáveis regionalizadas, X e Y, é representado pelo variograma, $2\gamma(\mathbf{h})$, o qual é definido como a esperança matemática do quadrado da diferença entre os valores de pontos no espaço, separados pelo vetor distância h , definido pela equação-1.

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

onde, $N(h)$ = número de pares de valores amostrados $[Z(x_i) - Z(x_i+h)]$ separados pelo vetor h .

Neste estudo foram utilizados os modelos isotrópicos experimental de variogramas, dos tipos Esférico, Exponencial e Gaussiano, ambos com patamar, os quais vêm demonstrando resultados satisfatórios em estudos sobre precipitação, Zamboti (2001).

Um exemplo ilustrativo do variograma e seus parâmetros: patamar, efeito pepita, alcance e Variância Estrutural, podem ser visto na Figura-2.

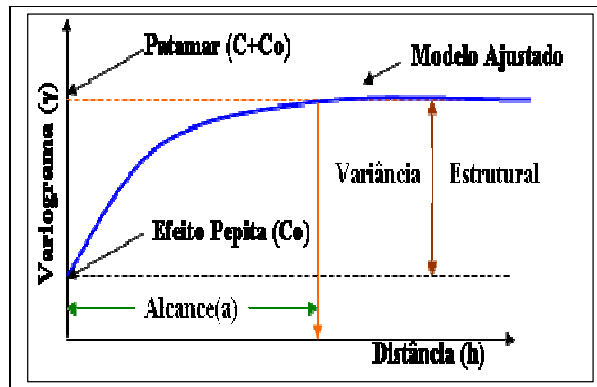


Figura 2 - Modelo de Variograma Experimental com Patamar.

- *Patamar* ($C + C_0$) - ponto o qual a função se estabiliza no variograma, é o valor do variograma correspondente a seu *alcance* (a). Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras, porque a variância da diferença entre pares de amostras torna-se invariante com a distância;
- *Alcance* (a) - distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente;
- *Efeito Pepita* (C_0) - ponto onde o variograma toca o eixo das ordenadas, esse ponto revela a descontinuidade do variograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras;
- *Variância Estrutural* (C) - é a diferença entre o patamar ($(C + C_0)$) e o Efeito Pepita (C_0).

Verificada a dependência espacial, é possível se estimar valores da variável para os locais não amostrados dentro do campo de análise através da técnica de Krigagem.

Os parâmetros obtidos com o ajuste dos variogramas são utilizados para estimar o Índice de Dependência Espacial (IDE), proposto por Trangmar et al. (1985). Essa porcentagem é calculada através da seguinte equação-2.

$$IDE (\%) = \frac{C}{C + C_0} \times 100 \quad (2)$$

Cambardella et al. (1994) propuseram os seguintes intervalos para a mesma equação:

onde:

$\geq 25\%$ - fraca dependência espacial

entre 25% e 75% - moderada dependência espacial

$\leq 75\%$ - forte dependência espacial

Zimback (2001) adaptou os limites propostos por Cambardella et al.(1994) e propôs uma outra forma do cálculo do IDE (%), apresentando uma melhor visualização do resultado, equação-3.

$$IDE (\%) = \frac{C_0}{C + C_0} \times 100 \quad (3)$$

onde:

$\geq 25\%$ - forte dependência;

entre 25% e 75% - moderada dependência;

$\leq 75\%$ - fraca dependência;

A krigagem usa informações do variograma para encontrar os pesos ótimos a serem associados às amostras com valores conhecidos que irão estimar pontos desconhecidos. O termo krigagem é derivado do nome Daniel G. Krige, que foi o pioneiro a introduzir o uso de médias móveis para evitar a superestimação sistemática de reservas de mineração.

Inicialmente, o método de krigagem foi desenvolvido para solucionar problemas de mapeamentos geológicos, mas seu uso expandiu-se com sucesso para outras áreas. A krigagem pode ser entendida como uma série de técnicas de análise de regressão que procura minimizar a variância estimada a partir de um modelo prévio, que leva em conta a dependência estocástica entre os dados distribuídos no espaço.

Os três tipos de krigagem mais conhecidos são: Krigagem Simples, Krigagem Ordinária e Krigagem Universal. A Krigagem Ordinária foi escolhida para a interpolação neste estudo por apresentando resultados mais satisfatórios quando comparadas com os outros tipos de Krigagem, Alsamamra et al. (2009).

As estimativas por Krigagem Ordinária assumem que a médias das amostras é constante, mais desconhecidas dos dados disponíveis. O método de Krigagem Ordinária pode ser escritos em notação matricial como:

$$K \cdot \lambda = \kappa \quad \Rightarrow \quad \lambda = K^{-1} \cdot \kappa \quad (4)$$

onde, K e κ são matrizes das covariâncias (ou variogramas) e λ o vetor dos pesos. No caso da Krigagem Ordinária as matrizes são assim definidas:

$$K = \begin{vmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} & 1 \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ C_{n1} & C_{n2} & \dots & C_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{vmatrix}, \quad \lambda = \begin{vmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \alpha \end{vmatrix}, \quad \kappa = \begin{vmatrix} C_{10} \\ C_{20} \\ \vdots \\ C_{n0} \\ 1 \end{vmatrix}$$

A vantagem principal da Krigagem Ordinária é que os dados usados descrevem o grau de influência e da dependência espacial usado atribuir pesos às observações. Llyud (2005) comenta que os pesos são atribuídos arbitrariamente pela equação-5. E a correlação espacial entre os pontos de medida pode ser quantificada por meio da função de variância, pela equação-6.

$$Z(x_i) = f(x_i) + e(x_i), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

onde, $f(x_i)$ = função aleatória F num ponto x_i ; $e(x_i)$ são realizações médias de zero e erros.

$$\gamma(x, h) = \frac{1}{2} \text{var}[F(x) - F(x+h)] \quad (6)$$

onde, assumimos que h é a distância euclidiana entre dois pontos e que a tendência é constante, e $y(x, h)$ são independente de x . Uma função paramétrica é usada para modelar a variância para valores diferentes de h .

O processo de validação cruzada permite através de um procedimento interpolativo, como o de krigagem, estimar valores de dados amostrais. Este procedimento retira de um ponto em um conjunto de dados, valores conhecidos $Z(x_i)$ e o estima $Z^*(x_i)$, repetindo o processo para todo o conjunto. Obtendo assim, dois valores para cada ponto, o real e o estimado, e a diferença entre os valores são definidos como erro na estimativa, ou cálculo da validação cruzada. A regressão linear dos valores é obtida pela equação-7.

$$Z^*(x_i) = A + bZ(x_i) \quad (7)$$

onde, onde a é a intercessão e b é o coeficiente angular da reta.

A utilização da validação cruzada permite decidir entres os possíveis modelos teóricos de variogramas escolhidos, aquele que melhor descreve o comportamento espacial das propriedades da variável em estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise Geoestatística dos Variogramas Esfericos, Exponencial e Gaussiano.

A autocorrelação entre a precipitação no Estado de Alagoas foi analisada mediante a construção dos variogramas experimentais adirecionais, e do ajuste de modelos teóricos experimentais. Vale salientar que, para ajustar os modelos teóricos foram utilizados somente variogramas isotrópicos, por não se dispor de dados suficientes para gerar variogramas direcionais.

Nós cálculos dos variogramas experimental observa-se que os três modelos teóricos escolhidos, esférico, exponencial e gaussiano, obtiveram bons ajustes. Entretanto, dois destes modelos, esférico e exponencial, demonstraram um melhor ajuste de suas curvas aos dados de precipitação. Também é verificado para ambos os modelos os excelentes valores dos índices de dependência espacial (IDE), demonstrados na Tabela-1.

Tabela 1 – Parâmetros dos modelos teóricos ajustados de variograma experimental para a precipitação em superfícies 2D. (C_0 =Efeito Pepita, $C+C_0$ =Patamar, C =Variância Estrutural, a =Alcance, IDE%=Índice de Dependência Espacial).

SUPERFÍCIE 2D (KO)						
Modelo	C_0	$C+C_0$	C	a	IDE (%)	
					Cambardella	Zimback
Esférico	220e-014	1.5008	1.5008	90	100	0
Exponencial	220e-014	2.2400	2.2400	87	100	0
Gaussiano	0.09489	1.5427	1.4478	82	93.84	06,15

*cálculos sugeridos por Cambardella et al. (1994) e Zimback (2001).

O efeito pepita (C_0), para ambos os modelos, apresentou valores muito próximo de zero. Segundo Valente (1989), o efeito pepita reflete a variação de pequena escala não detectada pela amostragem, devido à presença de erros de medida. Sendo assim, os dados não apresentam erros significativos de medição. O patamar ($C+C_0$) e a variância estrutural (C) apresentaram-se com valores iguais da escala do variograma, devido ao efeito pepita (C_0) resultar em número muito pequeno.

O índice e dependência espacial (IDE) calculados pelos métodos descritos por Cambardella (1994) e Zimback (2001), demonstram forte dependência espacial para os intervalos propostos pelos os autores, entre 0% e 100%. Isso mostra que o número de pontos amostrados de estações pluviométricas são suficientes para a realização de estimativas através da interpolação. O alcance demonstrado pelos modelos variaram entre 82 e 90Km. Essa distância expressa à área máxima de influência da variável em estudo, após essa distância, as amostras tornam-se independente, não sendo mais caracterizada a dependência espacial.

O modelo esférico (Fig-3) apresentou melhores resultados nos cálculos da validação cruzada (Fig-4), onde o desvio padrão do erro (σ) e o erro médio absoluto ($\langle Z-Z^* \rangle$) apresentaram valores menores para o método de interpolação testado. A Tabela-2 mostra os resultados do desvio padrão do erro e o erro médio absoluto para os modelos de variogramas testados.

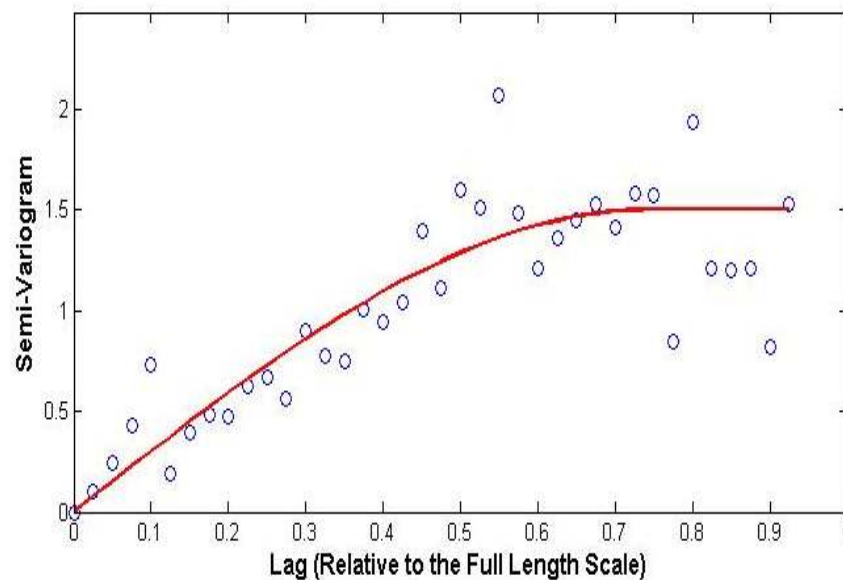


Figura 3 – Modelo esférico ajustado ao variograma da precipitação.

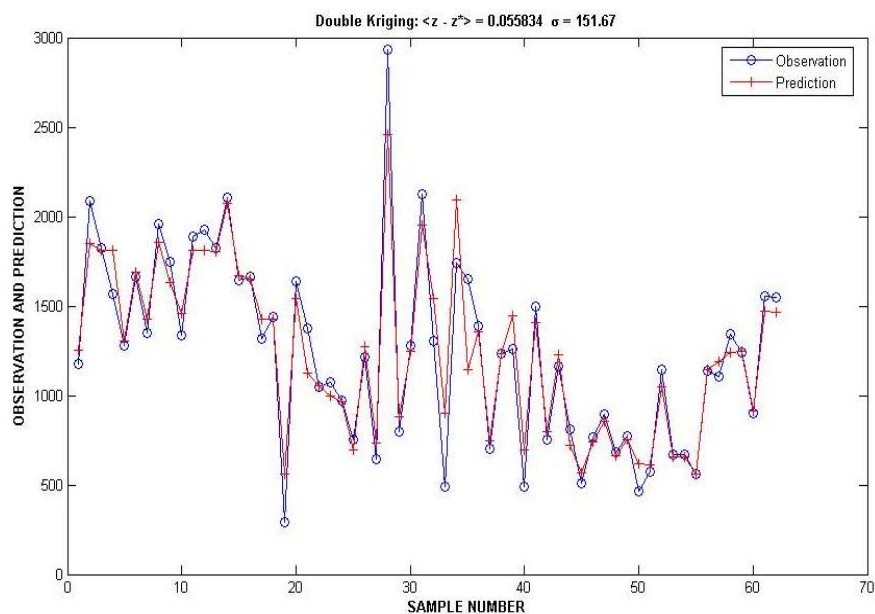


Figura 4 – Validação cruzada pelo método “Double Kriging”, correspondente ao melhor modelo variográfico ajustado da precipitação.

Tabela 2 – Validação cruzada pelo método “Double Kriging” correspondente ao melhor modelo variográfico, através de interpolações por krigagem ordinária-2D, [$\langle Z - Z^* \rangle$ =Erro médio absoluto, σ =desvio padrão do erro].

Modelos de Variogramas					
Esférico		Exponencial		Gaussiano	
$\langle Z - Z^* \rangle$	σ	$\langle Z - Z^* \rangle$	σ	$\langle Z - Z^* \rangle$	σ
0.055834	151.67	0.130306	152.572	0.904241	268.175

3.2 Interpolação Espacial da Precipitação por Krigagem Ordinária.

A variabilidade interanual da distribuição de chuvas sobre o Nordeste Brasileiro (NEB), em escala espacial e/ou temporal, está intimamente relacionada com as mudanças na configuração da circulação atmosférica de grande escala, e com a interação oceano-atmosfera. Segundo Molion e Bernardo (2002), as precipitações estão diretamente relacionadas com a convecção local da região. Esta convecção é caracterizada por movimentos ascendentes de ar úmido, resultante da ocorrência de pressão atmosférica mais baixa, junto à superfície terrestre, em consequência do aquecimento do

ar em contato com essa superfície, ou pela ação de fenômenos transientes, de caráter puramente dinâmico, como sistemas frontais, ou frentes frias, e perturbações ondulatórias no campo dos ventos.

O Estado de Alagoas está localizado na costa Leste do Nordeste do Brasil e possui um clima fortemente regido pela variabilidade pluviométrica, onde diferentes regimes de chuvas são identificados. A principal estação chuvosa da costa leste do nordeste ocorre de abril a julho, podendo ocorrer neste período até 60% da chuva anual. A estação seca, para a maior parte da região nordeste, ocorre de setembro a dezembro.

Rao et al. (1993) ratificam a penetração de sistemas frontais, associada à convergência de umidade dos Alísios e das brisas, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), e os fenômenos de La Niña e El Niño/Oscilação Sul (ENOS), como sendo os principais mecanismos produtores de chuva no Nordeste. Além desses sistemas, ocorrem também os fenômenos de microescala, que são constituídos por circulações orográficas e células convectivas.

A precipitação média acumulada para Alagoas apresentou grande variabilidade espacial. O litoral e a zona da mata alagoana sofrem a influência direta do fluxo de umidade proveniente do Oceano Atlântico, local que apresenta os maiores índices pluviométricos do Estado. Nestas regiões observa-se frequentemente precipitações acima de 1500mm/ano, sendo observados os maiores totais de chuva no norte destas localidades. A precipitação diminui significativamente ao adentrar no continente, sendo o agreste o divisor de águas, marcado com índices pluviométricos superiores a 1000mm/ano a leste, e inferiores a oeste do Estado de Alagoas, Figura-5.

O sertão alagoano, quase que em sua totalidade, não apresenta índices pluviométricos superiores a 1000mm/ano. Essa característica torna-se um obstáculo para a agricultura, existindo meses em que não ocorre precipitação. Quadro (2005) comenta que no Nordeste, pode-se verificar desde um clima semi-árido no interior da região com precipitação acumulada inferior a 500 mm/ano, até o clima chuvoso observado principalmente na costa leste da região, com precipitação acumulada anual superior a 1.500mm/ano.

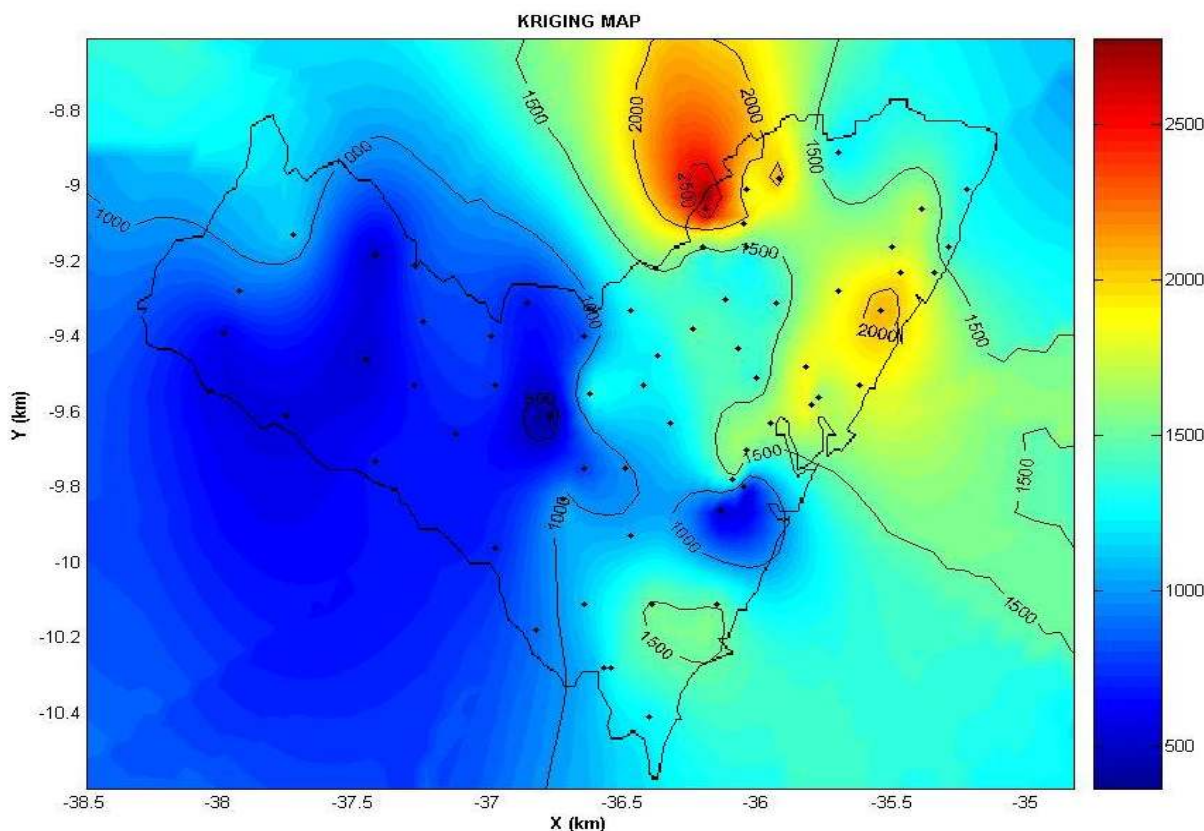


Figura 5 - Estimação da precipitação média climatológica para o Estado de Alagoas através da Krigagem Ordinária.

4. CONCLUSÕES

A utilização da geoestatística mostrou que as características estruturais estudadas da precipitação estão correlacionadas, apresentando forte dependência espacial. O modelo esférico apresentou resultados satisfatórios quando avaliado pela validação cruzada, demonstrando um melhor ajuste aos dados de precipitação do que os outros modelos testados. A região de dependência espacial foi definida, a qual limita a correlação entre as amostras.

A estimativa da precipitação obtida pelo método de interpolação, Krigagem Ordinária em duas dimensões, apresentou bons resultados, estando condizentes com as características locais da região. Dessa forma, assim como outros estudos encontrados na literatura, o método interpolativo de Krigagem, representou as características climatológicas da precipitação para o Estado de Alagoas.

O acumulado anual da precipitação apresentou grande variabilidade espacial quanto à distribuição da precipitação. A região litorânea e a zona na mata apresentaram os maiores índices

pluviométricos do Estado, atribuídos a influencia do oceano. Ao entra no continente, é observada uma redução significativa dos totais de precipitação, sendo para esta região, inviável o plantio em algumas épocas do ano.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas – FAPEAL, pelo auxílio financeiro, bolsa de mestrado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALSAMAMRA, H.; RUIZ-ARIAS, J. A.; POZO-VÁZQUEZ, D.; TOVAR-PESCADOR, J. A. **comparative study of ordinary and residual kriging techniques for mapping global solar radiation over southern Spain.** *Agricultural and Forest Meteorology, Volume 149, Issue 8, 3 August 2009, Pages 1343-1357.*

BARGAOUI, K. K.; CHEBBI, A. **Comparison of two kriging interpolation methods applied to spatiotemporal rainfall.** *Journal of Hydrology, Volume 365, Issues 1-2, 15 February 2009, Pages 56-73.*

BUCENE, L. C.; ZIMBACK, C. R. L. **Comparação de métodos de interpolação e análise especial em dados de pH, em Butucatu-SP.** *Irriga, Butucatu, v. 8, n. 1, p. 21-28, jan-abr, 2003.*

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. **Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils.** *Soil Sci. Soc. Am. J., v.58, p.1501-11, 1994.*

HABERLANDT, U. **Geostatistical interpolation of hourly precipitation from rain gauges and radar for a large-scale extreme rainfall event.** *Journal of Hydrology (2007) 332, 144– 157*

LLUYD, C. D. **Assessing the effect of integrating elevation data into the estimation of monthly precipitation in Great Britain.** *Journal of Hydrology. Volume 308, Issues 1-4 , 12 July 2005, Pages 128-150.*

MOLION, L. C. B. e BERNARDO, S. O. **Uma revisão das dinâmicas das chuvas no Nordeste Brasileiro.** *Revista Brasileira de Meteorologia, v. 17, n.1, 1-10. 2002.*

OLIVEIRA, L. G. L. de; PEREIRA, G.; CAMARGO, F. F.; GUERRA, J. B. **Comparação entre o Método de Interpolação Linear e o Método Estatístico de krigagem para a Geração de Mapas**
XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos

de Ilhas de Calor Através de Sistemas de Informação Geográfica. Anais – III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Aracaju/SE, 25 a 27 de outubro de 2006.

QUADRO, M. F. L.; MACHADO, L. H. R.; CALBETE, S.; BATISTA, N. N. M.; OLIVEIRA, G. S. Climatologia de Precipitação e Temperatura. Centro de previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC/INPE, (2005).

RAO, V.B.; LIMA, M. C.; FRANCHITO, S.H. **Seasonal Interrannual variation of rainfall over Eastern Northeast Brazil.** Journal Climate, v.6 (1993) p.1754-1763.

SZOLGAY, J.; PARAJKA, J.; KOHNOVÁ, S.; HLAVCOVÁ, K. **Comparison of mapping approaches of design annual maximum daily precipitation.** *Atmospheric Research, Volume 92, Issue 3, May 2009, Pages 289-307.*

TRAGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. **Application of geostatistics to special studies of soil properties.** Advance in Agronomy, Vol. 38, p45 – 94, 1985.

VALENTE, J. M. G. P. **Geomatématica – Lições de Geoestatísticas.** Ouro Preto. Ed Fundação Gorceix, 1989, 8v.

VEER, G. V. D.; VOESRKELIUS, S.; LORENTZ, G.; HEISS, G.; HOOGEWERFF, J. A. **Spatial interpolation of the deuterium and oxygen-18 composition of global precipitation using temperature as ancillary variable.** *Journal of Geochemical Exploration, Volume 101, Issue 2, May 2009, Pages 175-184.*

ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo.** Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. 2001. 114p.

ZAMBOTI, J. L. **Mapas pluviométricos médios mensais no verão para o Estado do Paraná, utilizando métodos geoestatísticos.** Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2001. 134p.