

Revista Brasileira de Cartografia (2012) N^o 64/2: 175-186
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

APLICAÇÃO DO INTERPOLADOR KRIGAGEM ORDINÁRIA PARA A ELABORAÇÃO DE PLANTA DE VALORES GENÉRICOS

Application of Ordinary Kriging Interpolation to Elaborate Plants of Generic Values

**Ana Paula da Silva Marques¹, José Marcato Junior¹, Amiltom Amorim²
& Edilson Ferreira Flores³**

UNESP – Univ. Estadual Paulista

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas – PPGCC

Rua Roberto Simonsen, 305, 19060-900 Presidente Prudente, SP

²Departamento de Cartografia

³Departamento de Estatística

{marques.engcart; jrmarcato}@gmail.com

{amorim; efflores}@fct.unesp.br

Recebido em 05 Janeiro, 2012/ Aceito em 22 Maio, 2012

Received on January 05, 2012/ Accepted on May 22, 2012

RESUMO

Este trabalho propõe a inferência de Planta de Valores Genéricos (PVG) a partir da interpolação por krigagem e classificação pelo método de Quebras Naturais. Ajustou-se a superfície com base no Valor do Metro Linear de Testada Corrigida (VMLTC) para um total de 71 observações. Seis observações participaram como pontos de verificação do modelo. Aplicou-se a krigagem do tipo ordinária, pois, na análise de tendência, o semivariograma omnidirecional mostrou-se estacionário. A continuidade espacial foi invariante para distintas direções caracterizando a ocorrência de isotropia, a qual foi representada pelo modelo teórico Gaussiano. Para a validação matemática do modelo, determinou-se a Raiz quadrada do Erro Médio Quadrático (REMQ) no VMLTC. Inicialmente considerou-se os 71 pontos utilizados na interpolação e, posteriormente, os seis pontos de verificação. A REMQ no VMLTC dos pontos de verificação foi equivalente a R\$ 277,43. A classificação da superfície interpolada pelo método de Quebras Naturais, e a associação de equipamentos urbanos, públicos e privados, auxiliou na interpretação das áreas mais e menos valorizada da cidade e, por conseguinte, na inferência das possíveis razões da distribuição espacial dos valores das parcelas. No caso em estudo, verificou-se, a partir da REMQ, que a krigagem pode auxiliar na produção de PVG, a qual refere-se a um documento, descritivo e cartográfico, de planejamento urbano que promove a justiça fiscal.

Palavras chaves: Representação Temática, Mapa Isaritmico, Cadastro Técnico Multifinalitário, Planejamento Urbano.

ABSTRACT

This work presents the inference of a Plant of Generic Values (PVG) through the combination of Kriging interpolation and Natural Breaks classification method. The surface adjustment was conducted with 71 observations. Six points were used to verify the model. The Ordinary Kriging was applied because the tendency analysis showed a stationarity between the pairs of points characterizing an unbiased sample set. The spatial continuity analysis in several directions revealed the occurrence of isotropy, which was described by the Gaussian theoretical model. The mathematical model validation was accomplished based on the Root Mean Square (RMSE) in the VMLTC. Initially, it was calculated the RMSE for the 71 points and then the same statistic was determined to the check points. The RMSE in the check points

was R\$277,43. The interpolated surface classification through the Natural Breaks method generated an isarithmic thematic map, which combined to urban equipments, public and private, allowed identifying some more and less valued places in the city, and the inference of possible reasons for the spatial distribution of parcel values. It was observed in the case studied that the Kriging can be used in the production of a PVG, which is a descriptive and cartographic document of urban planning used to promote the fiscal justice.

Keywords: Thematic Representation, Isarithmic Map, Multipurpose Cadastre, Urban Planning.

1. INTRODUÇÃO

O Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) é formado por um conjunto de cadastros temáticos, e dentre os quais se destaca o Cadastro de Valores, cujo é materializado pela Planta de Valores Genéricos (PVG). Uma PVG deve auxiliar no uso eficaz dos recursos econômicos de um município, de maneira a respaldar a política de planejamento urbano, buscando-se, assim, garantir o desenvolvimento sustentável da cidade e viabilizar a promoção da justiça fiscal e social entre os cidadãos (AVERBECK, 2003; DALAQUA, AMORIM; FLORES, 2010; SCHNEIDER, 1993).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (NBR 14.653-2, 2004) os métodos, em geral, utilizados para a avaliação dos bens imóveis, terrenos ou edificações, e elaboração de uma planta de valores consistem em métodos direto ou indireto. Todavia, independentemente do método empregado, o cálculo dos valores dos objetos pode ser realizado por diversas técnicas, tal como pelo uso de fatores de homogeneização, redes neurais e(ou) Regressão Linear Múltipla (RLM) (DALAQUA, 2007; DALAQUA, AMORIM; FLORES, 2010; NADAL, JULIANO; RATTON, 2003).

Uma característica das plantas de valores geradas por regressão linear múltipla refere-se à maneira adotada para a avaliação dos valores dos objetos, tal como do objeto do tipo terreno, a qual pode ser realizada em função do valor do metro quadrado ou metro quadrado fixado por face de quadra ou, ainda, a partir do Valor do Metro Linear de Testada Corrigida (VMLTC) (DALAQUA; AMORIM; FLORES, 2010). Observa-se que essa abordagem resulta na obtenção de uma superfície discreta, uma vez que para cada parcela fixa-se um valor único. Isso, portanto, inviabiliza a representação das variações de valores que pode ocorrer dentro de uma mesma parcela, o que

poderia tornar o processo de avaliação ainda mais consistente com a realidade (DANTAS; PORTUGAL; PRADO, 2007).

Uma possibilidade de se mapear as áreas de transição de valores que podem ocorrer em uma PVG consiste na estimativa de superfícies de ajuste, as quais descrevem a área de estudo com base em um processo de interpolação. Dentre os interpoladores têm-se aqueles apresentados pela geoestatística, tal como a krigagem, a qual, submetida a um processo de classificação, possibilita gerar representações temáticas isarítmicas a partir de dados irregularmente espaçados. Bettini (2007) afirma que a principal diferença entre a krigagem e outros métodos de interpolação convencionais, tais como média móvel, inverso da distância, triangulação, poligonação, etc., refere-se à maneira como se determina os pesos para o cálculo do valor a ser interpolado. Na krigagem o peso decorre da relação entre a distância da observação e o ponto de interesse, a continuidade espacial e o arranjo geométrico do conjunto amostral. Portanto, para estimar as ponderações atribuídas às diferentes amostras, realiza-se uma análise espacial pautada no semivariograma experimental e considera as direções na interpolação – isotropia e anisotropia (CAMARGO; FUCKS; CÂMARA, 2004).

A krigagem compreende suas subdivisões, dentre as quais a do tipo ordinária, a qual tem sido empregada na modelagem dos mais diversos fenômenos naturais e antrópicos, sobretudo, em estudos realizados na área de Geociências (BERVEGLIERI; MENEGUETTE JUNIOR; PITERI, 2011; LANDIM; STURARO; MONTEIRO, 2002; RODOLFO JUNIOR; SOBREIRA; BORTOLOTTI, 2007; ROTA, 2011; XAVIER; CECÍLIO; LIMA, 2010). Entretanto, ainda pouco se sabe sobre o potencial dessa técnica geoestatística nas questões relacionadas ao CTM, tal como na produção de PVG (DANTAS; PORTUGAL; PRADO, 2007). Esse contexto aponta para a necessidade de investigação da

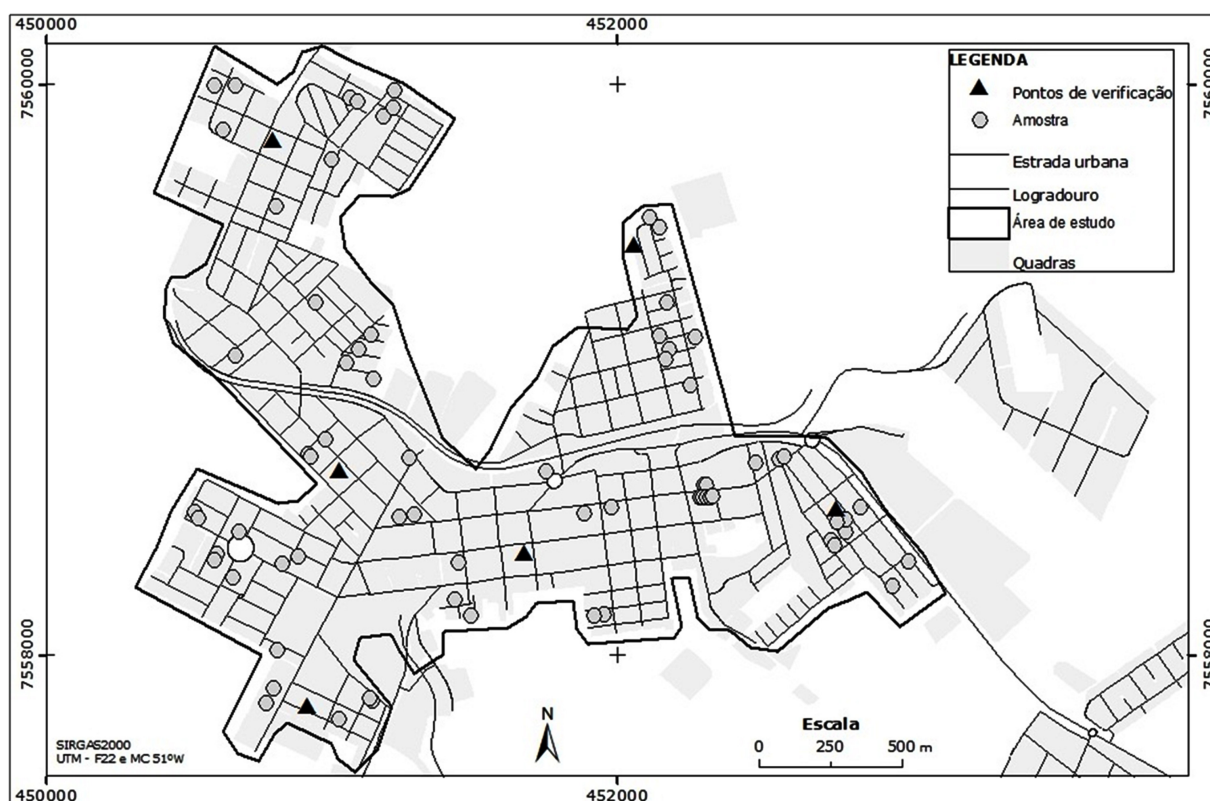


Fig. 1 – Distribuição espacial das amostras e pontos de verificação.

krigagem enquanto uma nova abordagem para a produção de PVG, pois os valores das parcelas podem ser descritos em função das características da região, bem como definido as zonas de transição dentro de uma mesma parcela, o que pode proporcionar mais proximidade às situações reais enfrentadas pelo CTM.

Diante disso, a proposta deste trabalho é inferir uma PVG, a partir do interpolador krigagem ordinária, e aplicar o método de classificação Quebras Naturais sobre a superfície interpolada, com a finalidade de se obter uma carta temática isarítmica. Pretende-se utilizar o produto cartográfico na identificação e interpretação das áreas mais e menos valorizadas na cidade, bem como na compreensão das possíveis razões da distribuição espacial dos valores das parcelas.

2. INTERPOLAÇÃO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA

Os dados utilizados neste trabalho foram cedidos por Dalaqua, Amorim e Flores (2010), e totalizam 77 observações, das quais seis foram selecionadas como pontos de verificação e, portanto, não participaram do ajuste do modelo. Tais informações foram levantadas por Dalaqua

(2007) e são referentes à cidade de Álvares Machado/SP, a qual está situada a oeste do estado de São Paulo. Os dados são oriundos de consultas realizadas junto às imobiliárias da cidade, bem como de entrevistas com os compradores e vendedores dos terrenos comercializados no ano de 2006. Na Figura 1, apresenta-se a distribuição espacial dos elementos amostrais utilizados na interpolação da superfície, bem como dos seis pontos selecionados para verificação.

Vale ressaltar que a variável empregada para descrever a PVG não concerniu nos valores de venda e compra do imóvel, mas no VMLTC, Equação (1), conforme a abordagem de *Harper-Berrini*. Isso porque o intuito consistiu em estimar um modelo que represente não apenas o valor de negociação do imóvel, mas uma unidade de medida do valor, neste caso representado pelo VMLTC (DALAQUA, AMORIM; FLORES, 2010).

$$VMLTC = \frac{VALOR_{terreno}}{Testada Corrigida}$$

$$Testada Corrigida = \sqrt{\frac{T_e \times A_e}{P_p}} \quad (1)$$

Em que: T_c representa o valor da testada efetiva, em metros; A_c é a área do lote em metros quadrados; e P_p a profundidade padrão adotada para o município, em metros.

A krigagem compreende um conjunto de técnicas de estimação e previsão de superfícies utilizadas para aproximar dados. O princípio consiste na existência de correlação entre os elementos amostrados, isto é, um ponto geográfico tem maior semelhança com os pontos vizinhos se comparado aos elementos mais distantes (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). Esse princípio traduz um conceito que representa a estrutura teórica da krigagem que é o conceito de variável regionalizada, desenvolvido por Georges Matheron (CAMARGO; FUCKS; CÂMARA, 2004).

Segundo Matheron (1971), uma variável não deve ser tratada de forma independente, mas autocorrelacionada no espaço, pois um valor elevado possivelmente terá próximo de si outro valor também elevado, o que reflete a autocorrelação entre os elementos, isto é, a dependência espacial. O termo “dependência espacial” consiste na relação existente entre os elementos amostrais, portanto, quando ocorrer dependência entre as observações pode-se afirmar que os elementos próximos tendem a ser mais semelhantes, caso contrário, essa afirmativa não será verdadeira (JACOMO, 2011).

Nesse sentido, uma vez que a krigagem pressupõe a existência de dependência entre os dados, uma necessidade refere-se a conhecer até onde espacialmente esta correlação importa (CAMARGO; FUCKS; CÂMARA, 2004). Assim, a estimativa por krigagem ordinária de um atributo z , na posição i e com coordenadas dado pelo vetor x , é dada pela Equação (2) (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989):

$$z(x_i) = \sum_{i=1}^n Z(x_i) \times \lambda_i \quad (2)$$

Em que, λ_i são as ponderações aplicadas aos i -ésimos valores dos atributos que possuam dependência espacial com o valor da variável a ser estimado na posição x_i .

As ponderações são calculadas em função da matriz de semivariâncias (K), entre os pares de pontos utilizados na interpolação e o vetor de semivariância (k) referente a cada ponto usado na interpolação e o ponto de interesse (x_i) (Equação 3).

$$\lambda = K^{-1} \times k \quad (3)$$

Quanto às semivariâncias, estas são determinadas por modelos ajustados ao semivariograma experimental ($\hat{\gamma}$), Equação (4), em que $N(h)$ é o número de pares de pontos amostrais do atributo z , separados por uma distância h , também denominada de distância de lag. A representação gráfica entre $\gamma(h)$ e a distância h caracteriza o semivariograma experimental.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \left\{ \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \right\} \quad (4)$$

O semivariograma descreve quantitativamente a variação de um fenômeno no espaço e permite evidenciar sua estrutura espacial (LANDIM, 2004), portanto, representa o grau de dependência espacial entre os elementos e define parâmetros para a estimativa de valores em locais não amostrados (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

A partir do semivariograma experimental é realizado o ajuste de um ou mais modelos teóricos, e dentre os principais modelos destaca-se o modelo gaussiano. Os parâmetros envolvidos nos modelos teóricos são: alcance (a), patamar (C), efeito pepita (C_0) e contribuição (C_1). O alcance é a distância a partir da qual as amostras tornam-se independentes, não ocorrendo mais dependência espacial. O efeito pepita é o valor da função na origem ou descontinuidade do semivariograma, para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. A contribuição representa a diferença entre o patamar e o efeito pepita, e refere-se ao valor da semivariância em que não ocorrerá mais dependência espacial. O patamar, por sua vez, consiste no valor onde o semivariograma se estabiliza e as amostras se tornam independentes (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

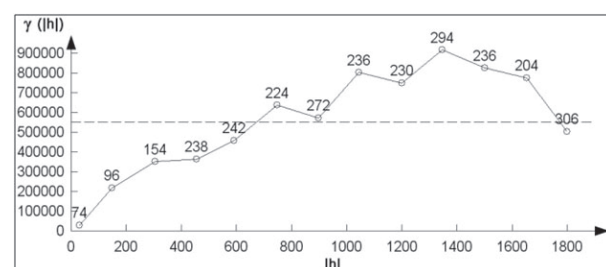


Fig. 2 – Semivariograma omnidirecional.

Definido um ou mais modelos teóricos de interesse, ajusta-se o(s) modelo(s) às semivariâncias calculadas e inicia-se a interpolação da superfície. Dentro disso, no intuito de se interpolar a superfície a partir dos 71 elementos amostrais e produzir a PVG, cada uma dessas fases elencadas acima foram desenvolvidas ao longo de três grandes etapas: (1) verificação de tendência no conjunto de dados; (2) elaboração e análise dos semivariogramas e; (3) ajuste do modelo e aplicação do interpolador. Além disso, realizou-se a classificação da superfície ajustada, conforme descreve as próximas seções.

2.1 Verificação de tendência no conjunto amostral

A interpolação por krigagem ordinária torna-se inviável caso seja constatada tendência nas observações. Portanto, a verificação de tendência ou também chamada de deriva nos dados, consiste em uma etapa que precede a fase de interpolação (LANDIM; STURARO; MONTEIRO, 2002). A tendência consiste em uma característica particular das amostras, a qual pode ser detectada a partir da construção de um semivariograma omnidirecional com direção angular igual a 0° e tolerância angular de 90° (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

Para o caso em estudo, gerou-se o semivariograma omnidirecional no aplicativo *GS+ for Windows*, e constatou-se a estabilização do conjunto amostral a partir de 1000 metros(m) de distância entre os pares de pontos (Figura 2). Isso porque o semivariograma entra em um estado de efeito aleatório, crescimento e decrescimento, indicando, portanto, a inexistência de dependência espacial entre os elementos amostrais a partir dessa distância (1000m), isto é, a variabilidade torna-se constante. Esse comportamento do semivariograma também é denominado de estabilização ou estacionariedade do semivariograma, o que descaracteriza tendência nos dados e viabiliza a aplicação da krigagem ordinária.

2.2 Elaboração e análise dos semivariogramas

Os fenômenos estudados no campo das Geociências, muitas vezes, descrevem um comportamento de anisotropia, pois a variabilidade do fenômeno é acentuada para determinadas direções, o que, no contexto da Geoestatística implica na existência de direções privilegiadas que condicionam a gênese do fenômeno

(BERVEGLIERI; MENEGUETTE JUNIOR; PITERI, 2011). Para os elementos que apresentam variabilidade espacial constante, em qualquer direção analisada, diz-se ocorrer um caso de isotropia (BETTINI, 2007).

A forma isotrópica ou anisotrópica dos dados pode ser identificada a partir de semivariogramas direcionais e algumas das direções por convenção adotadas são 0°, 45°, 90° e 135°. Assim, com base na sobreposição desses semivariogramas ao semivariograma omnidirecional, pode-se afirmar que ocorre isotropia se todos os gráficos apresentam comportamento semelhante, e até para que distancia entre os pares de pontos isso ocorre. Caso contrário tem-se a caracterização de uma continuidade espacial desigual em uma ou mais direção e, portanto, presença de anisotropia (LANDIM, 2003).

Outra possibilidade que auxilia na constatação de isotropia ou anisotropia refere-se à produção do mapa variográfico, cuja apresentação ocorre na forma de pixels. Os mapas variográficos são formados pelas distâncias h – distância entre os pares de pontos (eixo das abscissas) e o valor da média da semivariância dos pares (eixo da ordenada). O centro do mapa implica na distância nula e a direção da variabilidade é descrita pelas cores. A ocorrência acentuada dos matizes verdes em uma determinada direção representa o eixo de maior variabilidade e, portanto, ocorrência de anisotropia, e a 90° desta direção tem-se o eixo de menor variabilidade espacial. A presença dos matizes frios, tais como azul e magenta, em todas as direções indicam um comportamento isotrópico (LANDIM; STURARO; MONTEIRO, 2002).

Para a elaboração dos semivariogramas direcionais e produção dos mapas variográficos utilizou-se o aplicativo *IDRISI Andes*, considerando-se os seguintes parâmetros: distância entre os pares de pontos (lag) de 120m, número de lag igual a 10 e tolerância de lag de 80m. Cabe ressaltar que o incremento de lag de 120m, com tolerância de 80m, foi estabelecido, pois ao se calcular o segundo lag de 240m, por exemplo, são utilizados todos os pares de observações cuja distância está compreendida entre 160m e 320m. Além disso, vale lembrar que o produto da distância entre os pares de pontos (lag de 120m) e número de lags corresponde aproximadamente à metade da diagonal da área estudada, isto é, à metade da maior

distância possível entre pontos, conforme a abordagem de Landim (2004).

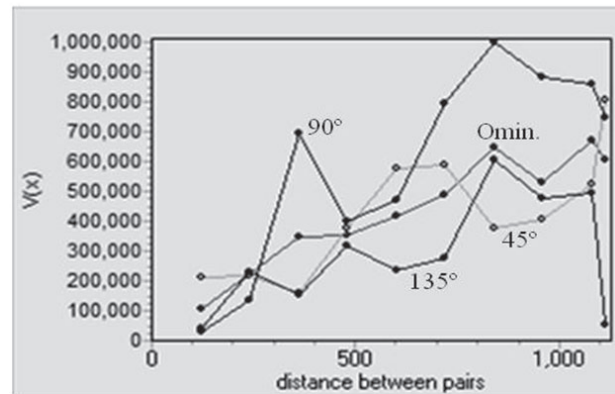
A análise dos semivariogramas, bem como do mapa variográfico (Figura 3), indicam isotropia. Isso porque ao que se refere-se aos semivariogramas (Figura 3a), verifica-se que a até uma distância aproximada de 1000m os gráficos apresentam comportamento similar e que, além disso, o semivariograma omnidirecional pode ser considerado um semivariograma médio em relação aos semivariogramas direcionais. Neste caso, os semivariogramas direcionais foram construídos para as seguintes direções: 45°, 90° e 135°, com tolerância angular de 22,5°. Dessa maneira, para a direção 45° com tolerância angular de 22,5°, tem-se que qualquer par de observações compreendido entre 22,5° e 67,5° será incluído no cálculo do semivariograma para o lag definido.

Quanto ao mapa variográfico (Figura 3b), nota-se que embora exista uma pequena porção de pixels (em verde) de maior variabilidade na direção de 12°, essa concentração pode ser desconsiderada, visto que a maior parte dos pixels descrevem variabilidade mínima em todas as direções. Esse aspecto corrobora o observado nos semivariogramas, sendo, portanto, possível trabalhar com modelagem isotrópica.

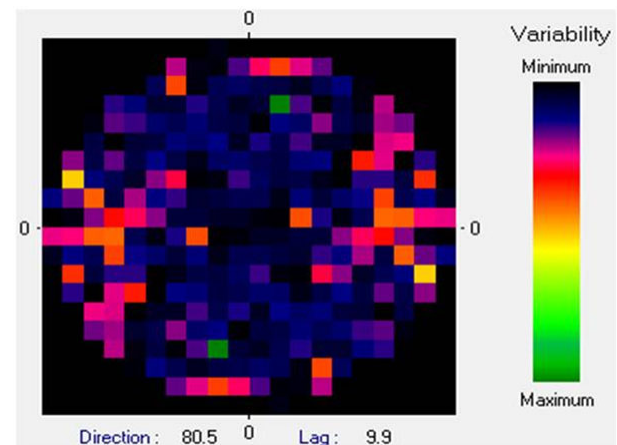
2.3 Ajuste do modelo e aplicação da krigagem

O ajuste do modelo teórico, também denominado de transitivo, é realizado de modo experimental e interativo por meio da manipulação de seus parâmetros, tais como alcance, efeito pepita e patamar. Dessa forma, é possível estabelecer uma representação matemática que descreve as características do fenômeno espacial (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989).

No caso em estudo, a isotropia do conjunto amostral foi representada pelo modelo gaussiano, o qual possui comportamento parabólico nas vizinhanças da origem e é muito empregado na descrição de fenômenos de natureza contínua (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989). Esse modelo foi estabelecido, pois durante o procedimento interativo de escolha do modelo e manipulação de seus parâmetros, foi o que melhor se ajustou aos pares de pontos (Ver Figura 4). Os parâmetros definidos para o modelo gaussiano consistiram em alcance de 922m, efeito pepita de 110618, patamar de 867217 e contribuição de 866295.



(a)



(b)

Fig. 3 – Semivariogramas, omnidirecional e direcionais, sobrepostos (a) e mapa variográfico (b).

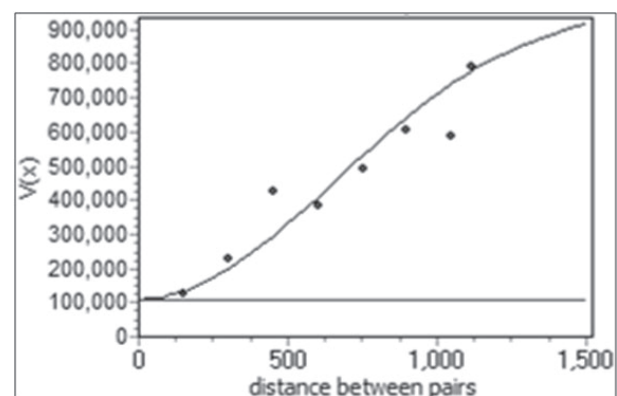


Fig. 4 – Ajuste do modelo gaussiano no IDRISI Andes.

A etapa posterior ao ajuste do modelo consistiu na interpolação. Neste caso, a regra estabelecida para krigagem foi a seleção das amostras por tamanho de raio, de acordo com Berveglieri (2011). Além disso, limitou-se a quantidade mínima e máxima de pontos a participar

da estimativa de cada novo VMLTC. O raio de 500m foi adotado, pois observou-se que esse valor permite utilizar um mínimo de três e um máximo sete observações do VMLTC para cada novo valor interpolado. Tais valores, três e sete, justifica-se, porque constatou-se que ao aumentar o número de pontos, mínimo e máximo, o modelo utiliza amostras a um alcance muito superior a 1000m, o implica em considerar elementos não correlacionados como visto no semivariograma omnidirecional (Figura 2). As estimativas do VMLTC determinadas pela interpolação por krigagem encontra-se na Figura 5.

3. CLASSIFICAÇÃO DA SUPERFÍCIE INTERPOLADA E PRODUÇÃO DA PVG

Com a finalidade de favorecer a análise visual da distribuição do VMLTC realizou-se a classificação da superfície interpolada pela krigagem e obteve-se uma carta isarítmica. O método de classificação empregado foi o de Quebras Naturais (ou otimização de *Jenks*) e umas das razões é devido esse método definir as classes com base na semelhança entre as observações, o que provoca a

formação de grupos internamente homogêneas e heterogêneos entre si (DENT, 1999; SLOCUM, 1999). Para estabelecer o número de classes utilizou-se o critério de *Sturges*, em que o número de classes (k) representa a raiz quadrada do número de observações (N) não repetidas da amostra (SLOCUM, 1999). Um total de oito classes de representação foi definido, pois nove dos 71 elementos amostrais são valores repetidos. Ambos os processos, classificação da série de dados e produção da carta temática, foram realizados no ArcGIS 10.0.

Para permitir a identificação visual dos elementos no mapa selecionou-se a escala 1/1.600, e devido a grande dimensão da área de estudo fez-se necessário projetar a carta da PVG em folha de tamanho A0 (118,88 x 84,1 cm). Parte do produto cartográfico produzido encontra-se na Figura 6(a), enquanto que a legenda da carta temática pode ser analisada na Figura 6(b).

Nota-se (Figura 6a) que há uma maior valorização das parcelas (terrenos) situadas na área central da cidade e, em contrapartida, uma

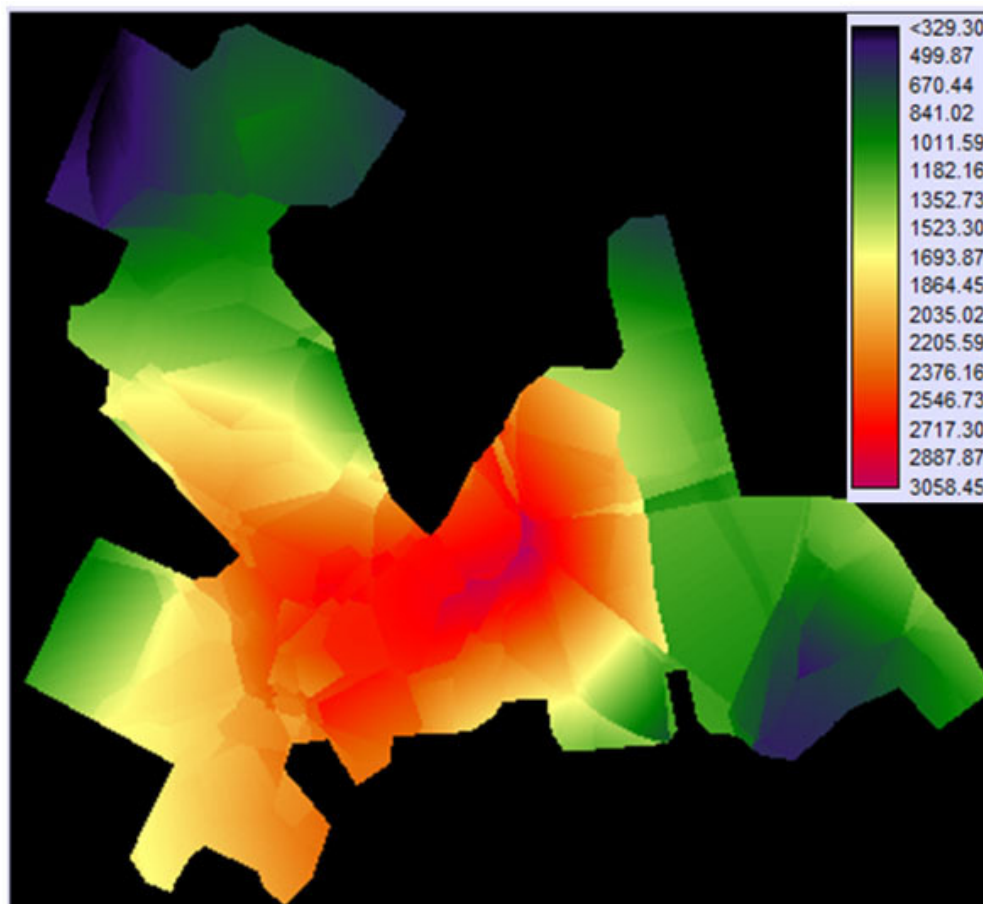
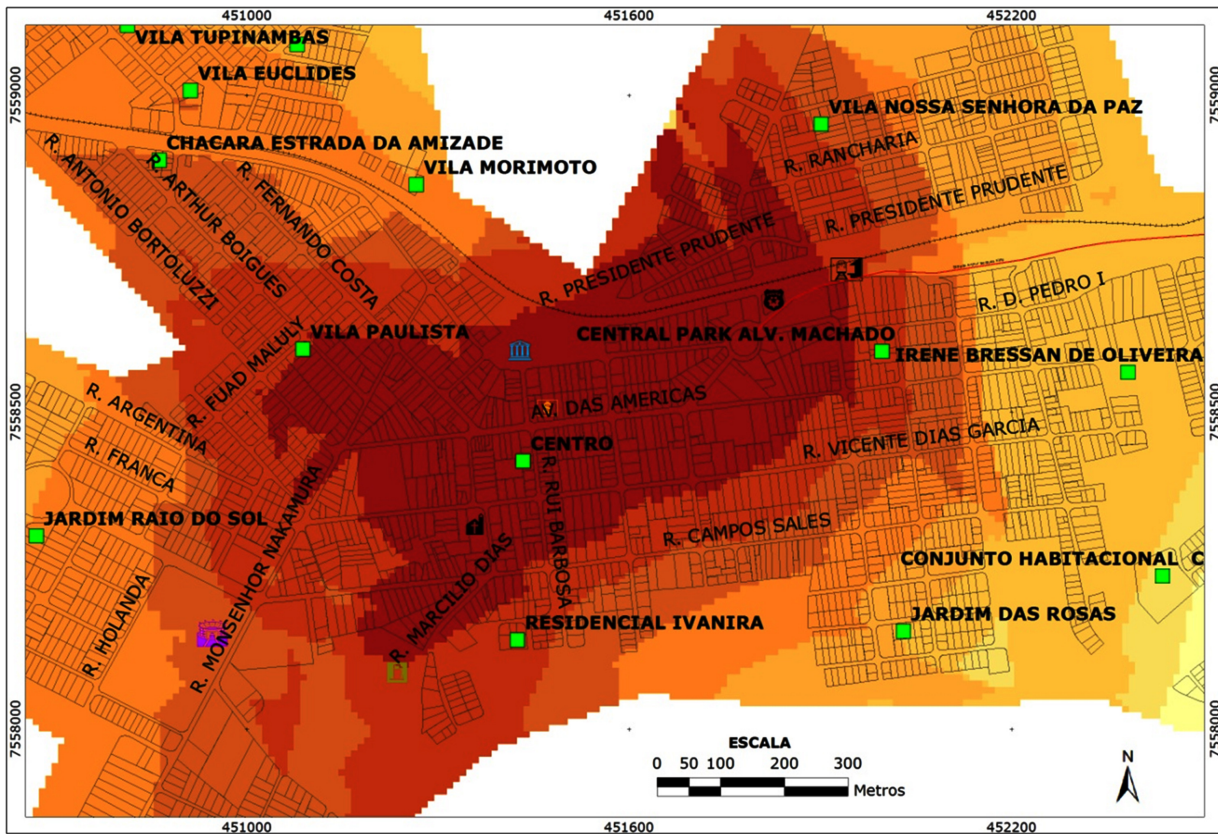


Fig. 5 – Krigagem ordinária isotrópica para o VMLTC.



(a)



(b)

Fig. 6 – Carta isarítmica resultante da interpolação por krigagem ordinária e classificação por quebras naturais. Em (a) representação de parte da PVG elaborada para a cidade de Álvares Machado e, em (b) a legenda do produto.

desvalorização dos imóveis situados na periferia. Uma das razões desse pode ser devido à região do centro ser uma forte zona de comércio, o que estimula a lei da oferta e da procura e valoriza as parcelas nesse local.

Outro aspecto relevante, e que pode justificar a alta distribuição do VMLTC na área central de Álvares Machado, é o histórico inerente a essa região, visto que representa a porção mais antiga da cidade. Além disso, em virtude do centro e dos

bairros adjacentes concentrarem a maioria dos equipamentos públicos (igreja, posto policial, prefeitura, etc.) e privados, tem-se que os moradores dessa região são privilegiados quanto à infraestrutura disponível, a qual provoca uma valorização dos imóveis.

Ainda com base na carta temática, pode-se identificar que há uma divisão na cidade, em relação à valorização dos imóveis, provocada pela passagem da linha férrea da Alta Sorocabana. A PVG aponta para uma maior desvalorização das parcelas situadas ao Norte da ferrovia comparada aos terrenos posicionados ao Sul da linha. No entanto, para um diagnóstico mais detalhado e que explique a verdadeira razão dos baixos valores dos imóveis ao Norte da linha férrea, deve-se associar a PVG a outras fontes de informação, tais como mapa de declividade, áreas de proteção ambiental, geologia, dentre outros, e analisar o peso destas variáveis na obtenção do VMLTC.

4. ANÁLISES DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para validar a interpolação por krigagem estimou-se a Raiz quadrada do Erro Médio Quadrático - REMQ, no VMLTC das 71 observações e dos seis pontos selecionados para verificação do modelo (ver Tabela 1). A expressão da REMQ é dada na Equação (5), em que n refere-se ao número de pontos.

$$REMQ = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (VMLTC_{estimado} - VMLTC_{real})^2} \quad (5)$$

A REMQ no VMLTC dos (71) pontos amostrais apresentou-se na ordem de R\$ 110,00. Ao passo que considerando os (6) pontos de verificação esse valor foi maior e de aproximadamente R\$ 280,00 (Tabela 1). Cabe ressaltar que esse aumento na REMQ dos pontos de verificação é esperado uma vez que tais elementos não participam da interpolação. Todavia, considerando que os valores de VMLTC oscilam entre R\$300,00 e R\$ 3000,00 (ver Figura 6b) e que a REMQ dos pontos de verificação é inferior ao menor valor de VMLTC, pode-se constatar que o modelo ajustado é consistente.

Embora Dantas, Portugal e Prado (2007) apontam para uma superioridade da krigagem (resíduo igual a R\$ 89,11) sobre o modelo tradicional de avaliação de imóveis, isto é, RLM (resíduo igual a R\$ 282,59), a análise realizada, por esses autores, sobre a superfície interpolada com base em 1055 pontos, para a cidade de Aracaju, não foi baseada na REMQ dos pontos de verificação, mas sim sobre o conjunto amostral. Nesse sentido, cabe destacar a importância de se avaliar a representatividade do modelo por intermédio dos pontos de verificação, isso porque tais elementos podem evidenciar a capacidade do modelo em estimar valores para a variável de interesse (VMLTC) em locais aleatórios da área de estudo. Dentro disso, a análise pela REMQ pode permitir identificar o quanto um imóvel está sendo sub ou supervalorizado ao estimar seu valor com base na Planta de Valores Genéricos oriunda da krigagem.

Tabela 1. Estimativa da REMQ no VMLTC dos seis pontos de verificação.

| Pontos interpolados pela krigagem | | | Pontos de verificação | | | Resíduo (VMLTC – R\$) |
|-----------------------------------|-----------|-------------|-----------------------|---------|-------------|-----------------------|
| E(m) | N(m) | VMLTC (R\$) | E(m) | N(m) | VMLTC (R\$) | |
| 450789,1 | 7559811,5 | 667,88 | 450794 | 7559807 | 949,37 | -281,49 |
| 452059,1 | 7559441,5 | 864,27 | 452061 | 7559440 | 751,88 | 112,39 |
| 451029,1 | 7558651,5 | 2471,11 | 451029 | 7558647 | 2525,25 | -54,14 |
| 451679,1 | 7558361,5 | 2495,67 | 451677 | 7558359 | 2873,3 | -377,62 |
| 450909,1 | 7557821,5 | 2003,98 | 450913 | 7557824 | 1715,85 | 288,13 |
| 452769,1 | 7558511,5 | 1087,17 | 452767 | 7558515 | 833,33 | 253,84 |
| REMQ | | | | | | R\$ 277,43 |

5. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho consistiu na inferência de uma PVG para a cidade de Álvares Machado, por meio da combinação do interpolador krigagem ordinária e do método de classificação Quebras Naturais. Para avaliar a superfície interpolada determinou-se a REMQ no VMLTC, inicialmente, para todos os pontos empregados na estimativa do modelo (71 pontos) e, posteriormente, apenas para os seis elementos selecionados como pontos de verificação.

Na análise de tendência, por intermédio do semivariograma omnidirecional, pode-se verificar que há uma estacionariedade entre os pares de pontos, o que refletiu na não observância de tendência nos dados e, por conseguinte, na possibilidade de aplicação da krigagem do tipo ordinária. Ao analisar a sobreposição dos semivariogramas omnidirecional e direcional, e realizar a produção do mapa variográfico, observou-se uma continuidade espacial invariante para as diferentes direções analisadas apontando isotropia nos dados.

A partir das análises desenvolvidas com base na REMQ, no VMLTC, observou-se que o erro apresentado nos pontos utilizados na determinação da superfície foi menor comparado ao estimado sobre os seis pontos de verificação. Esse aspecto revela a importância da validação do modelo pelo uso de pontos de verificação, visto que nesse tipo de análise pode-se avaliar a capacidade do modelo em calcular o VMLTC de terrenos distribuídos aleatoriamente na cidade e, conseqüentemente, evidenciar a possibilidade de uso do interpolador krigagem ordinária para a elaboração de planta de valores.

A interpolação por krigagem ordinária possibilita pontuar alguns aspectos referentes à espacialidade dos dados, tais como a disposição dos elementos na área, a proximidade entre eles e o tamanho da amostra, isso porque são fatores que podem influenciar diretamente na definição dos parâmetros da modelagem e, portanto, na estimativa dos valores que compõe a PVG.

Quanto à classificação da superfície pelo método de Quebras Naturais, esta possibilitou gerar classes internamente homogêneas e heterogêneas entre si, o que pode facilitar a compreensão do agrupamento dos dados. Além disso, a associação de outras informações georreferenciadas, tais como

equipamentos urbanos públicos e privados, à superfície classificada, mostrou-se um importante instrumento de análise, pois pode contribuir para a identificação e a interpretação das áreas mais e menos valorizadas na cidade, bem como auxiliou na inferência das possíveis razões da distribuição espacial do VMLTC.

Conclui-se, no caso em estudo, que a krigagem ordinária, juntamente com os métodos de classificação de dados, pode ser uma nova abordagem para a produção de Planta de Valores Genéricos, a qual além de auxiliar no planejamento urbano, também promove a justiça fiscal e social na cidade. Contudo, novos testes devem ser realizados considerando-se novas áreas de estudo e um número maior de elementos amostrais, no intuito de validar o método proposto nesse trabalho.

Para trabalhos futuros, recomenda-se considerar uma maior densidade de pontos e desenvolver sobre tais elementos uma análise de agrupamento, para posterior aplicação da krigagem ordinária nos *clusters* formados. Sugere-se, ainda, classificar a superfície interpolada utilizando a inferência *fuzzy*, isso porque esta técnica possibilita mapear zonas suaves de transição, de maneira que o VMLTC seja adotado como a variável linguística e cujos valores possam ser “Alto”, “Médio” e “Baixo”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) (2004). **Avaliação de bens** – Parte 2: imóveis urbanos (NBR 14.653-2). Rio de Janeiro: ABNT.

AVERBECK, C. E. **Os sistemas de cadastro e planta de valores no município: prejuízos da desatualização** (Dissertação). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC. 2003.

BERVEGLIERI, A. **Classificação Fuzzy de vertentes por krigagem e TPS com agregação de regiões via diagrama de Voronoi**. 2011. Dissertação. (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente/SP.

BERVEGLIERI, A.; MENEGUETTE JUNIOR, M.; PITERI, M., A. Aplicação do interpolador krigagem em modelos digitais de terrenos, comparando-se os casos de isotropia e anisotropia.

- XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto** - SBSR, Curitiba/PR. INPE p.7222. Maio de 2011.
- BETTINI, C. **Conceitos básicos de geoestatística**. In: MEIRELLES, M. S. P.; CÂMARA, G.; ALMEIDA, C. M. (Ed.). *Geomática: modelos e aplicações ambientais*. cap. 4. Brasília: Embrapa, 2007.
- CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. **Análise espacial de superfícies**. Brasília: Embrapa, 2004.
- DALAQUA, R. R. **Aplicação de métodos combinados de avaliação imobiliária na elaboração de valores genéricos**. 2007. Dissertação. (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente/SP.
- DALAQUA, R. R.; AMORIM, A.; FLORES, E. Utilização de métodos combinados de avaliação imobiliária para a elaboração da planta de valores genéricos. **Boletim de Ciências Geodésicas**. v. 16, no 2, p.232-252, abril 2010.
- DANTAS, R. A.; PORTUGAL, J., L.; PRADO, J., F. Aplicação de cidades por inferência espacial: um estudo de caso para a cidade de Aracaju. **XXII Congresso Panamericano de avaliações IBAPE – XIII COBREAP - Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias, Fortaleza/CE**, Fortaleza/CE. Maio de 2007.
- DENT, B. D. **Cartography: Thematic Map Design**. 3rd ed. Dubuque: Wm. C. Brown Publishers, 1999.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989.
- JACOMO, C. A. **Modelos Geoestatísticos Espaço-Tempo aplicados a dados pluviométricos no Oeste do estado de São Paulo** 2011. Dissertação. (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente/SP.
- JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. 5ª Ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2002.
- LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2. ed. São Paulo: Unesp, 2003.
- LANDIM, P. M. B. **Introdução à análise variográfica com o variowin: lab. geomatemática**. Rio Claro: DGA, IGCE, UNESP, 2004. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/DIDATICOS/LANDIM/Variowin.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2011.
- LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R.; MONTEIRO, R. C. **Krigagem ordinária para situações com tendência regionalizada**. Rio Claro: DGA, IGCE, UNESP, 2002. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 05 ago. 2011.
- MATHERON, G. **The theory of regionalized variables**. Paris: École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 1971.
- NADAL, C. A.; JULIANO, K. A.; RATTON, E. Testes estatísticos utilizados para a Validação de regressões múltiplas aplicadas Na avaliação de imóveis urbanos. **Boletim de Ciências Geodésicas**. v. 9, n 2, p. 243-262, jul-dez, 2003.
- RODOLFO JUNIOR, M. C.; SOBREIRA, F. G.; BORTOLOTTI, F. D. Modelagem geoestatística a partir de parâmetros de qualidade da água (IGANSF) para a sub-bacia hidrográfica do rio castelo (ES) usando Sistema de Informações Geográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 03, no 59, ISSN 1808-0936. 2007.
- ROTTA, L. H. S. **Inferência espacial para mapeamento de macrófitas submersas – estudo de caso**. 2011. Dissertação. (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente/SP.
- SCHNEIDER, V. P. **Análise do Sistema Tributário Quanto a Propriedade Imobiliária a Nível Municipal, Utilizando Dados do Cadastro Técnico Multifinalitário** 1993. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC.
- SLOCUM, T. A. **Thematic cartography and visualization**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999.
- XAVIER, A. C.; CECÍLIO, R. A.; LIMA, S. S. Módulos em MATILAB para interpolação espacial

pelo método de krigagem ordinária e do inverso da distância. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 01, no 62, ISSN 0560-4613. 2010.