

O Modelo TIN como Ferramenta de Avaliação dos Espaços Abertos

Luiz Carlos S Borges¹, MSc.
Prof. Dr. Ing. Tarcísio F Silva²

¹ UFPE – Departamento de Engenharia Cartográfica
Mestrado Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação
50740-530, Recife, Pernambuco
lcsbborges@yahoo.com.br

² UFPE – Departamento de Engenharia Cartográfica
50740-530, Recife, Pernambuco
tarcisiofs@yahoo.de

Resumo : As novas tecnologias de análise espacial vem sendo utilizadas nas mais diversas áreas do conhecimento. Neste sentido, o estudo de comportamento do mercado imobiliário e sua variação no espaço é analisado a partir da perspectiva de integração da ocorrência do valor com sua posição no espaço, referenciada a uma estrutura geodésica. Esse trabalho procura mostrar como a técnica de modelagem de superfícies contínuas por rede irregular de triângulos pode ser aplicada em substituição ao procedimento convencional adotado na avaliação de terrenos conceituados como Espaços Abertos.

Palavras-chave: Espaços Abertos; Avaliação; Estrutura Geodésica; Rede Irregular de Triângulos

Abstract : The new technologies of space analysis come being used in the most diverse areas of the knowledge. In this direction, the study of behavior of the real estate market and its variation in the space it is analyzed from the perspective of integration of the occurrence of the value with its position in the space, reference to a geodesic structure. This work looks for to show as the technique of modeling of continuous surfaces for irregular net of triangles can be applied in substitution to the adopted conventional procedure in the appraised land evaluation as Open Spaces.

Keywords: Open Spaces; Evaluation; Geodesic Structure; Triangulated Irregular Network

1. Introdução

Os Espaços Abertos são constituídos por parcelas da paisagem que não foram utilizadas para as finalidades urbanas de construção, e, quando preservados em seu estado natural, são normalmente utilizados com o propósito recreacional, tais como parques e praças, ou ainda, com o propósito de preservação ambiental.

A função matemática que expressa a intensidade e a variação do valor dos Espaços Abertos, sob os princípios da norma brasileira, é comumente concebida sob a perspectiva de que a análise probabilística do erro deva ter um comportamento inteiramente aleatório, não admitindo, por hipótese, a ocorrência de dependência entre as observações.

A técnica de construção de superfícies contínuas na forma do modelo *TIN – Triangulated Irregular Network*, é sugerida como procedimento complementar à análise probabilística do erro aleatório, diagnosticando a dependência espacial do valor.

A estimativa de valor dos Espaços Abertos é matematicamente expressa por um algoritmo de interpolação que relaciona a superfície de valor e a superfície plana, em substituição à estimativa convencionalmente adotada, na qual, o valor é individualizado em função da característica de cada variável significativa contida no modelo de avaliação.

2. Avaliação de Espaços Abertos

Os Espaços Abertos são considerados ambientes terrestres e aquáticos que se caracterizam pela densa presença de elementos naturais e, em cujas superfícies expostas, se realizam intensos fluxos de energia natural.

A análise de valor dos Espaços Abertos, no entendimento de *Geoghegan (2002)*, tem sido considerada, tradicionalmente, sob o mesmo procedimento de avaliação utilizado para os terrenos urbanos em geral, os quais podem ser historicamente distinguidos entre duas categorias: a) modelo de avaliação que individualiza o valor da propriedade a partir da distribuição espacial de uso da terra em torno de um centro de negócios, e; b) modelo de avaliação que individualiza o valor da propriedade em função dos beneficiamentos na infraestrutura pública

O modelo de avaliação do terreno objetiva a determinação técnica de seu valor ou dos direitos a ele relativos. Este valor, na visão da norma brasileira para avaliação de imóveis urbanos, *NBR 14653.1 - Avaliação de Bens – Parte 1: Procedimentos Gerais*, corresponde sempre aquele que, num dado instante, é único, qualquer que seja a finalidade da avaliação.

Os critérios para mensuração da distribuição do valor no espaço urbano, no entendimento de *Borges (2004)*, podem ser circunstanciados ao longo do tempo, entre: a) o uso de critérios analíticos, que comumente admitem uma relação matemática de ponderação entre as características dos terrenos observados e o paradigma da região, e, b) a análise probabilística do erro aleatório da amostra.

A presença do erro aleatório na estimativa decorre da percepção de que os valores observados podem variar de um ponto a outro no espaço, entretanto, o fenômeno poderá conter características espaciais, já que os valores observados poderão ter alguma relação de dependência espacial, e a sua variação ocorrer mais em uma direção do que em outra.

A relação de dependência espacial com o fenômeno de valor é, neste trabalho, obtida sob a perspectiva da análise por superfícies de tendência (*Trend Surfaces*), onde o espaço amostral é constituído por um conjunto de pontos tridimensionais (X_i, Y_i, Z_i), sendo a variável de interesse representada por Z_i e sua posição representada por coordenadas planas (X_i, Y_i). Segundo *Burroughs (1986)*, a significância estatística de equação polinomial formulada como superfície de tendência pode ser testada de forma similar ao ajustamento de funções por regressão múltipla.

A análise probabilística do erro na regressão múltipla, é desenvolvida de forma a modelar o valor $E(Y)$ do vetor Y , que contém os valores coletados de oferta e/ou transação, como uma função (*Equação 1*) das variáveis explicativas X_i definidas e dos parâmetros estimados β (*Cordeiro, 1986*):

$$Y = f(\beta, X_i) + \varepsilon \quad \text{Equação 1}$$

A estrutura geodésica necessária ao posicionamento espacial dos elementos da amostra, de acordo com a *NBR 14166/98*, é a rede de referência cadastral de apoio básico a todos os levantamentos que se destinem à implantação de projetos, cadastros ou realização de obras no âmbito municipal, vinculado ao Sistema Geodésico Brasileiro.

3. A Modelagem de Superfícies TIN

A modelagem de superfícies matemáticas por rede irregular de triângulos é denominada de *TIN – Triangulated Irregular Network*, a qual consiste na estruturação vetorial de um conjunto de polígonos

triangulares não sobrepostos, de diferentes tamanhos, e que, juntos, permitem definir o comportamento de um fenômeno em estudo para uma determinada região, a partir da cota de elevação em cada vértice. (Figura 1).

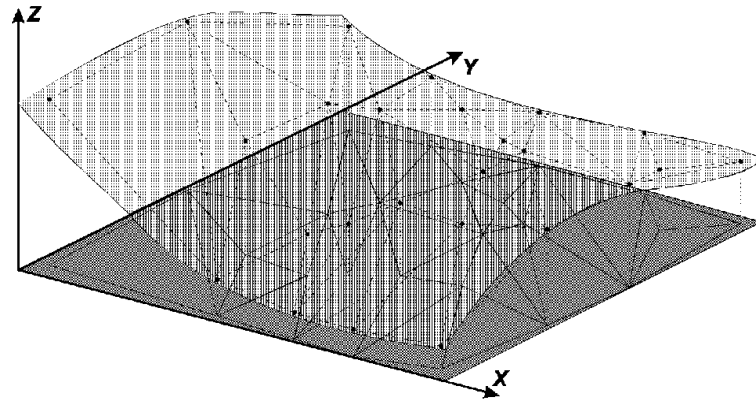


Figura 1 – Análise por Rede Irregular de Triângulos

Estas estruturas de dados vetoriais recorrem ao método de construção de triângulos de *Delaunay*, que está baseada em dois elementos básicos: pontos com coordenadas (x,y,z) e uma série de segmentos ligando estes pontos para formar triângulos.

O critério de Delaunay estabelece que qualquer triângulo inserido num círculo desenhado a partir de seus três pontos, não conterá nenhum outro triângulo pertencente à triangulação neste círculo. Desta definição, conclui-se que se um triângulo é formado por três pontos, d_i, d_j , e d_k , onde z_c é o centróide do triângulo d_i, d_j, d_k e $(z_c - d_i)$ é o raio do círculo que circunscreve o triângulo, o mesmo será de *Delaunay*, se e somente se, não houver nenhum outro ponto d_m dentro do domínio D circunscrito.

O modelo *TIN* pode possibilitar, dentre outros procedimentos, estimar valores não conhecidos da variável de interesse no espaço amostral (X_a, Y_a) , a partir das observações (Z_i) da variável de interesse com posição definida nesse mesmo espaço amostral (X_i, Y_i) (Figura 2).

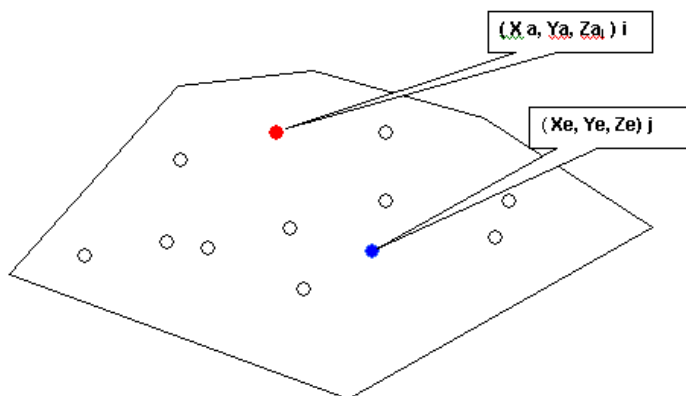


Figura 2 – Espaço Amostral para Estimativa com o Modelo TIN

O algoritmo de interpolação para uma superfície TIN poderá suportar diferentes técnicas de construção, sendo a mais usual a que adota uma variação por **ajuste linear** (Equação 2), onde os coeficientes a, b, c , e d , são parâmetros determinados a partir das coordenadas dos vértices de cada triângulo.

$$a \cdot X + b \cdot Y + c \cdot Z + d = 0$$

Equação 2



Figura 5 – Ambiente de Definição da Equação Polinomial

A estimação do vetor de parâmetros β foi realizada, inicialmente, por um procedimento iterativo de mínimos quadrados, que admitiu, por hipótese, a escolha da função de distribuição normal como padrão de comportamento das observações e a função identidade como ligação, o que permitiu inferir o peso de cada uma das variáveis explicativas no comportamento do valor no espaço urbano e selecionar a melhor função (Equação 3), com um coeficiente de determinação para o modelo ($R^2 = 95,4\%$) e um coeficiente de determinação ajustado ($R^2 \text{ ajustado} = 95,2\%$), conforme a tabela de análise de variância do modelo (Figura 6).

$$Vlr(m^2) = 1+0,0232*CoordE-0,003936CoordN-48,12*Fon -1,955*Resg--6,437*Loc-4,528*Col \quad \text{Equação 3}$$

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Variância
Regressão	$SQR = \sum (Y_a - Y_m)^2$ = 13,3059	K = 9	Explicada (QMR) = $SQR / k = 1.4784$
Resíduos	$SQE = \sum (Y_i - Y_a)^2$ = 0,6441	n - p = 195	Não explicada (QME) $= SQE / (n-p) = 0,0033$
Total	$SQTO = \sum (Y_i - Y_m)^2$ = 13,9499	n - 1 = 204	Total (QMTO) = $SQTO / (n-1)$

Figura 6 – Análise de Variância do Modelo

O conjunto de pontos tridimensionais da grade irregular do modelo TIN tem, cada um, uma posição que equivale às coordenadas planas (N,E) do ponto médio do segmento de testada da parcela, referenciada a uma estrutura geodésica, sendo a terceira componente correspondente ao valor estimado pela equação polinomial em cada trecho de logradouro do espaço amostral

A geração da superfície de valor é decorrente da aplicação do modelo TIN, onde é possível, dentre outros, a integração de mapas com imagens em níveis de cinza, curvas de nível de valor, bem como da visualização do espaço cartográfico no relevo da superfície de valor (Figura 7).

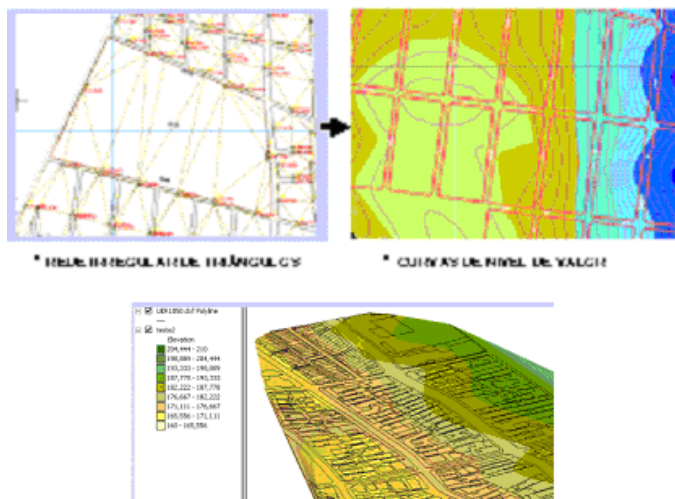


Figura 7 – Simulações no Modelo TIN

Admitindo-se que F seja a área do terreno avaliando, a formulação matemática que irá expressar o valor de seu volume V pode ser definida por uma relação (Equação 4) entre a área e as alturas $h_1, h_2, h_3, \dots, h_N$ obtidas por diferença entre o plano de referência e a superfície de valor escolhida para o cálculo, nos vértices definidores do limite de cada terreno (Kahmen, 1988).

$$V = F * (h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_N) / N \quad \text{Equação 4}$$

5. Considerações Finais

O uso das novas tecnologias de análise espacial no procedimento de avaliação imobiliária para terrenos urbanos pode se constituir numa alternativa com amplas possibilidades de diminuição do nível de incerteza das estimativas de valor.

A utilização das coordenadas planas (N, E) no conjunto das variáveis explicativas do modelo de avaliação para Espaços Abertos, se constituiu numa destas possibilidades e permitiu estabelecer uma integração entre o espaço geodésico da amostra, o espaço de valor e o espaço cartográfico. Por outro lado, a geração da superfície matemática possibilitou definir um cenário alternativo para análise das tendências direcionais de variação do valor no espaço geodésico, como pode ser constatado no comportamento anisotrópico da variação do valor nas direções norte/sul e leste/oeste.

O uso do volume, como alternativa ao cálculo do valor do terreno, permite a introdução automática de um fator de correção que adequa as características peculiares dos Espaços Abertos, como a de possuir várias frentes, ocupar uma área extensa e ser limitado por diferentes níveis de infraestrutura, vizinhança, acessibilidade, dentre outros, à variação do valor unitário dos terrenos no espaço.

O nível de confiança da estimativa, no modelo proposto, incorpora ao procedimento convencional de mensurar a significância estatística dos dados com o mercado em análise, à perspectiva de definição da exatidão posicional do valor, tendo em vista que a função polinomial integra a precisão do posicionamento geodésico das observações, das características atributivas do espaço e das características atributivas e de posicionamento geodésico do terreno avaliando.

Por fim, entendemos que a proposição apresentada nesse trabalho, qual seja, do uso da tecnologia de geoprocessamento para integrar o espaço de valor e o espaço cartográfico como procedimento necessário na estimativa de valor dos terrenos considerados Espaços Abertos, sem desvirtuar-se dos procedimentos e critérios definidos atualmente na norma brasileira para avaliação de imóveis.

6. Referências Bibliográficas

ABNT.: *NBR 14653-1– Avaliação de Bens – Parte 1: Procedimentos Gerais, 2004.*

ABNT.: *NBR 14653-2 – Avaliação de Bens – Parte 2: Imóveis Urbanos, 2004.*

ABNT.: *NBR 13.133 – Norma Brasileira para Execução de Levantamento Topográfico, 1994.*

ABNT.: *NBR 14.166 – Norma Brasileira para Rede de Referência Cadastral Municipal, 1998*

Dantas,R.: *Engenharia de Avaliações. Uma Introdução à Metodologia Científica, Ed. Pini, SP, 1998*

Gemael,C.: *Introdução ao Ajustamento de Observações, Aplicações Geodésicas - Curitiba, UFPR, 1994*

Cordeiro,G.: *Modelos Lineares Generalizados, livro texto do VI Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística (SINAPE), UNICAMP, Campinas, SP, 1986.*

Robinson,A.; Morrison,J.L.; Muehrcke,P.C., Kimerling,J.; Guptill,S.C.: *Elements of Cartography, John Wiley & Sons, Inc.*

Silva,T.F.: *Um Conceito de Cadastro Metropolitano, Dissertação de Mestrado, Curitiba, UFPR, 1979*

Burrough,P.A.: *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, Nova York, Estados Unidos, Oxford University Press, 194. 1986*

Philips,J.: *Os Dez Mandamentos para um Cadastro Moderno de Bens Imobiliários, 2º. COBRAC.*

Geoghegan,J.: *The Value of open spaces in residential land use. Land Use Policy, Department of Economics, Clark University, USA, 2002.*

Borges,L.C.S: *Alternativa de Contorno para o Problema de Descontinuidade na Avaliação de Terrenos Urbanos no Cadastro Imobiliário, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Cartográfica, UFPE, 2004.*