

PLANTAS DE VALORES INFERENCIAIS: A ESPACIALIDADE CONSIDERADA ATRAVÉS DE *TREND SURFACES**

MARCO AURÉLIO STUMPF GONZÁLEZ

Eng. Civil, M.Sc, Professor DMPA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

E-Mail: Gonzalez@Vortex.Ufrgs.BR

Rua Dr. Eduardo Chartier, 211/304 - (051) 342.3617 - 90520-100/Porto Alegre/RS

Resumo. Atualmente, os tributos imobiliários representam uma importante fonte de arrecadação para as prefeituras. Contudo, existem dificuldades na determinação dos valores venais, principalmente por causa da dinâmica imobiliária, que altera heterogeneamente os preços na área urbana. Os métodos tradicionais são imprecisos, ineficientes e provocam inequidade de tributação. É interessante pesquisar novas técnicas, inferenciais, que permitam o aprimoramento do processo e a obtenção de melhores estimativas dos valores dos imóveis. Este trabalho apresenta uma aplicação da técnica de *trend surfaces*, que permite a consideração simplificada dos efeitos de localização em modelos inferenciais, utilizando-se para tanto equações matemáticas com termos representando as coordenadas dos imóveis.

Abstract. Nowadays, resources of real estate taxes are very important for most local governments. However the assessment is uneasy. Property market play a unequal role on values in the urban area. Assessment by traditional approaches is a critical issue. This processes are imprecise, inefficient, and provokes fiscal inequity. Is need research other techniques to improve the tax system and to get actually market values. This article investigates a new method on urban economy: trend surface analysis, which is useful to analyzing location effects by polynomial regression models.

INTRODUÇÃO

Os tributos imobiliários são importantes para as administrações locais, como fonte de recursos e como instrumentos extrafiscais de controle urbano. O processo de arrecadação é semelhante em todos os municípios brasileiros e os recursos obtidos geralmente representam significativa parcela da receita.

Para o bom funcionamento do sistema, a manutenção de cadastros de valores venais atualizados é fundamental. Todavia, os métodos de cálculo e as práticas atuais são incorretos, causando diversos problemas. Os procedimentos tradicionalmente utilizados, baseados no custo de reprodução, não permitem que sejam atingidos os valores de mercado. As revisões são infreqüentes, por causa do custo e da demora na formação da planta de valores. Corrigidos apenas monetariamente, os valores dos cadastros ficam ultrapassados, não logrando acompanhar a dinâmica urbana, que modifica os valores dos imóveis de forma diferenciada por tipo e localização. Também não há integração entre os tributos arrecadados, utilizando-se bases de cálculo diferentes para o Imposto sobre a Transmissão de Bens Imóveis (Itbi) e para o Imposto Predial e Territorial Urbano (Iptu), embora ambos deveriam ser baseados em "valores de mercado".

Estas dificuldades acarretam inequidade de tributação e perda de receita, que poderiam ser

eliminadas pela revisão contínua dos cadastros, com alteração dos métodos utilizados para determinação dos valores.

Uma das formas de aperfeiçoamento é pela aplicação de plantas de valor com inferência estatística, através da montagem de modelos hedônicos, baseados em regressões múltiplas. Neste método, os valores são calculados por meio de equações que representam o mercado, determinadas a partir de amostras deste. A validade e a precisão dos modelos podem ser aferidas através de testes estatísticos, garantindo-se a qualidade dos valores inferidos (em termos de proximidade aos níveis de mercado). Hoje isto é possível, principalmente por causa das facilidades propiciadas pelo baixo custo de acesso aos recursos da informática.

A integração entre Itbi e Iptu é interessante, tanto no sentido da cobrança, mantendo-se um cadastro único de valores venais, quanto na utilização dos dados de Itbi para geração da planta de valores (Leal, 1990; Smolka, 1991; González e Formoso, 1995).

Uma questão remanescente é sobre as variáveis a serem empregadas nos modelos hedônicos. Os imóveis são bens compostos e seus valores são influenciados por diversos atributos, principalmente os ligados ao imóvel em si e à sua localização. As variáveis que representam o prédio são facilmente obtidas, porém as medidas relativas ao valor da localização (acessibilidade, vizinhança e qualidade do entorno) são de difícil

* Este trabalho contou com o apoio da FAPERGS.

obtenção, por não serem diretamente observáveis. Se forem mal representadas no modelo, podem surgir problemas estatísticos, como a correlação espacial, diminuindo a precisão dos valores inferidos.

Em geral, a localização é considerada através da identificação de regiões homogêneas, nas quais o preço do sítio é considerado igual para todos os imóveis. A classificação pode ser feita através da delimitação de trechos de mesmo padrão, em vistorias detalhadas, ou pela adoção de indicadores sócio-econômicos, como a renda média por bairro, obtidos em Censos ou outros *surveys*. A ordenação das regiões é difícil e mesmo a delimitação é problemática, por causa da questão da descontinuidade nas fronteiras entre regiões. De qualquer forma, a simplificação em valores médios por região não é uma boa solução, pois a área urbana é muito diversificada. Além disso, a cidade muda continuamente e as medidas precisam ser atualizadas, com a necessária participação de técnicos, acarretando custos e demora no processamento.

Assim, é importante pesquisar novas técnicas de medição do valor de localização, facilitando o emprego dos modelos inferenciais. Uma forma alternativa é pelo emprego de *trend surface analysis (TSA)*, que consiste no ajustamento de equações que representam a variação espacial de valores através de superfícies matemáticas. Este método estatístico é pouco usado nos estudos sobre o mercado imobiliário, mas é uma opção interessante para o uso com regressão múltipla, principalmente pela simplicidade.

Apresenta-se a seguir uma análise comparada de modelos inferenciais ajustados com superfícies matemáticas e com a técnica convencional, verificando-se as peculiaridades de cada um. Antes da análise empírica, são revisados alguns conceitos sobre distribuição espacial dos valores dos imóveis, modelos hedônicos de preços e *TSA*, embasando teoricamente o estudo realizado. Os resultados da análise permitem concluir pela viabilidade da alternativa.

CONCEITOS BÁSICOS SOBRE O MERCADO IMOBILIÁRIO

Os imóveis possuem um comportamento diferenciado em relação aos demais bens economicamente apreciáveis. Isto ocorre por causa de seus atributos singulares, especialmente o custo elevado, a imobilidade e a durabilidade. Além disto, este mercado é atomizado, contando com a participação simultânea de inúmeros agentes.

A combinação destes elementos permite explicar grande parcela das variações de preços.

A durabilidade dos imóveis faz com que a imensa maioria das transações na área urbana seja composta de elementos do estoque. Sem dúvida, este fator é fundamental, porque diminui os efeitos das novas construções, tornando lentas as transformações urbanas.

Também por este motivo, os preços praticados pelo mercado são definidos pelos níveis dos imóveis do estoque, e os imóveis novos adaptam-se a eles. Fica claro então que é um erro avaliar os imóveis pelo seu custo de produção. É preciso modificar este critério, adotando-se plantas de valores baseadas em dados de mercado não apenas para terrenos, mas também para as construções.

Por outro lado, a imobilidade confere ao mercado uma atribuição geográfica. A característica espacial do mercado imobiliário é notável: existem grandes diferenças nos preços de um local para outro. O excedente de oferta em uma determinada região não pode ser deslocado para compensar a falta em outra. Por isso, o equilíbrio de demanda entre os diferentes bairros ou cidades se dá, à curto prazo, unicamente via preços (Lavender, 1990).

A localização está relacionada com as características da vizinhança, ou seja, do entorno do imóvel, enquanto que a acessibilidade depende das alternativas de transporte. A medição destes efeitos é difícil, pois não são observáveis diretamente, sendo medidos por *proxies*, tais como a renda média da população ou a distância ao centro comercial-histórico da área urbana.

Porém, as cidades raramente têm uma estrutura monocêntrica simples. Centros de atração localizados longe do *Central Business District* podem configurar complexos gradientes de preços. Por isso, os estudos empíricos que usam a distância ao *CBD* como medida de acessibilidade geralmente encontram pouca significação estatística para a variável, segundo Dubin e Sung (1987). Efetivamente, uma consulta aos *papers* de Ball (1973), Bartik e V. Smith (1987) e L. Smith *et alli* (1988), nos quais foram resumidos inúmeros trabalhos, confirma esta impressão, pois os autores citados por eles usaram abordagens muito distintas e não apresentaram homogeneidade nos resultados. Como lembra Straszheim (1987, p.740): "*The standard monocentric model focusing on land consumption and one-dimensional distance gradients ignores the role of neighborhood characteristics such as socioeconomic composition, population density, air quality, or public services in location decisions. The importance of neighborhood characteristics was first illustrated by empirical studies of housing prices.*"

Os efeitos de vizinhança e acessibilidade relativa fazem com que imóveis próximos, de mesmas características construtivas, tenham valores semelhantes. Esta semelhança tende a diminuir com o aumento da distância que os separa. As variações são contínuas, isto é, os valores não surgem de forma aleatória. Ao contrário, é razoável supor que o nível dos preços seja influenciado pelos imóveis circundantes (Dubin, 1992; Schroeder e Sjoquist, 1976).

Nota-se que os valores dos imóveis são espacialmente distribuídos, com diversos picos pela área urbana e com variação contínua de um para outro,

formando gradientes de variação em todas as direções. A tentativa de descrever esta conformação de valores através de medidas lineares ou genéricas tem sido infrutífera, como comprovam os estudos empíricos encontrados na literatura de economia urbana, em parte porque os valores transformam-se continuamente e lentamente, como resultado de complexos relacionamentos entre os agentes públicos e privados.

Os atributos singulares do mercado imobiliário apontam no sentido da necessidade de reavaliação periódica dos cadastros, com métodos que permitam considerar as variações espaciais nos valores dos imóveis. Por causa do comportamento dinâmico do mercado e da grande quantidade de variáveis, a determinação de plantas de valores não pode ser feita com modelos pré-determinados, mas sim através da formulação e teste de hipóteses de relacionamentos, o que é possível através dos modelos hedônicos de preços, utilizando-se a estatística inferencial.

OS MODELOS HEDÔNICOS

As plantas de valores inferenciais são constituídas por modelos hedônicos. Um "modelo" é uma representação matemática de um fenômeno. No caso, a formação dos preços no mercado imobiliário urbano. Formalmente, o modelo consiste de uma equação de múltiplas variáveis, sendo incluídas as características consideradas importantes para a formação dos valores. O analista deve estipular modelos, com as hipóteses de relacionamento entre as variáveis, que devem ser testadas pelos critérios estatísticos de ajuste, verificando-se a validade destas hipóteses, ou seja, se os modelos são razoáveis ou não, perante as evidências do mercado.

Para tanto, são coletados dados de transações, analisando-se o ajuste destes elementos aos modelos considerados, dentro de um determinado grau de precisão. Os testes estatísticos permitem avaliar o próprio modelo e a importância individual das variáveis incluídas, indicando a qualidade do modelo formulado e permitindo a adoção de esquemas mais adequados.

Naturalmente, os dados devem representar o mercado. Se isso não ocorrer, por deficiência na amostragem ou por erros de medida, os modelos não serão boas aproximações do mercado, qualquer que seja o método empregado.

PROBLEMAS NA ESTIMAÇÃO DOS MODELOS

As avaliações de valores de imóveis envolvem variações heterogêneas no espaço intra-urbano. Bennett e Hordijk (1986) afirmam que em econometria espacial as técnicas de mínimos quadrados ordinários geralmente não funcionam bem, porque há violações nas condições básicas necessárias para validade da técnica, surgindo problemas como multicolinearidade, heterocedasticidade e autocorrelação espacial.

As alternativas seriam a estimação por processos baseados em máxima verossimilhança ou o emprego de técnicas iterativas, como o Filtro de Kahlman, amplamente usados nas séries econômicas. Todavia, os métodos iterativos são complexos e não são conhecidas aplicações para o mercado imobiliário. Assim, é preciso empregar com cuidado a análise de regressão convencional, verificando-se a ocorrência das fugas nas condições básicas.

A ocorrência de multicolinearidade pode ser eliminada pelo emprego de técnicas que transformam os dados, como a análise fatorial, e não é um empecilho sério (Harmann, 1976; Maddala, 1988). Também a heterocedasticidade pode ser contornada, com o emprego de mínimos quadrados generalizados, desde que sejam obtidas boas estimativas para a matriz de ponderação. Porém, em amostragens do tipo *cross sections*, este problema poderá aparecer justamente por causa de variações espaciais não explicadas corretamente no modelo, surgindo simultaneamente com a correlação espacial. Neste caso, a correlação é que deve ser controlada (Judge *et alli*, 1982; Neter e Wassermann, 1974).

Nas séries de tempo, existe posição definida e ordenação de progressão para os dados: há só um caminho de variação. A autocorrelação implica em que os erros de um elemento sejam relacionados com os erros de um ou mais dos elementos anteriores. Este tipo é conhecido como correlação serial, que pode ser causada por omissão de variáveis importantes ou por má especificação do modelo (Dubin, 1988; Maddala, 1988). Se isto ocorrer, a solução apontada é corrigir o modelo teórico e recomeçar a estimação. Neste sentido, a autocorrelação não pode ser encarada como um problema dos dados, a ser removido por transformação das séries ou dos resíduos, mas por especificação correta do modelo. A análise de *time series* é fundamental na Economia e além disso o tratamento é simplificado pelo tipo linear de variação. Por isso, no caso de correlação serial, os testes e métodos de estimação estão bastante desenvolvidos (Cuthbertson *et alli*, 1992; Hendry e Mizon, 1978; Pereira, 1991).

Porém, na correlação espacial as variações nos dados ocorrem em todas as direções, o que dificulta a análise, e os métodos estatísticos não estão tão desenvolvidos. Pouca evolução houve desde trabalhos importantes como o de Cliff e Ord (1973), que firmaram importantes bases teóricas de análise espacial. Segundo Kelejian e Robinson (1992), muitos testes foram desenvolvidos para investigar a correlação espacial. São testes sofisticados, mas todos com restrições teóricas. Na verdade, os testes de avaliação da dependência espacial dos resíduos não são poderosos (no sentido da confiabilidade da conclusão) e não estão implementados na maioria dos *softwares* disponíveis.

Resta a alternativa de empregar métodos gráficos, analisando-se a concentração ou dispersão espacial dos resíduos. Havendo resíduos agrupados (segundo um

padrão definido) poderá existir autocorrelação. Se forem aleatoriamente distribuídos, a hipótese de correlação espacial poderá ser rejeitada.

De qualquer forma, a existência de variações espaciais nos preços dos imóveis é evidente (decorre das características singulares do mercado), e não pode ser simplesmente ignorada. É preciso adotar métodos mais convenientes. Alguns dos procedimentos práticos disponíveis para tratamento e descrição de dados com distribuição espacial foram desenvolvidos para utilização na geologia, como as técnicas relatadas por Matheron(1963), Miller e Khan(1962) e Paredes(1986).

TREND SURFACE ANALYSIS (TSA)

Diante das dificuldades de consideração empírica dos efeitos espaciais nos valores, uma alternativa viável é empregar técnicas geoestatísticas, descrevendo os dados como mapas digitais. Basicamente existem duas formas de analisar dados espacialmente distribuídos: por redes de pontos (*kriging*) e através de superfícies matemáticas (modelos numéricos).

O método *kriging* consiste em estimar valores para cada ponto de uma malha, de formato regular ou irregular. Os valores são calculados por ponderações dos dados de uma amostra (Matheron, 1963).

As superfícies podem ser baseadas em equações polinomiais, *splines* ou séries de Fourier. A meta deste tipo de análise é resumir ou descrever espacialmente os dados em questão. O resultado é uma função de uma ou mais variáveis, representando as coordenadas geográficas dos dados. Cada par (x,y) identifica a localização de um ponto, no sistema de coordenadas empregado, geralmente cartesiano (Hembd e Infanger, 1981, p.307). Os termos que participam do modelo são combinações das coordenadas em estudo, em diversas potências. As equações são classificadas pela ordem do termo de maior grau. Podem ser estimadas por regressão múltipla, inclusive considerando-se os termos da superfície simultaneamente com outras variáveis. A variável dependente será o valor em estudo (Miller e Kahn, 1962; Paredes, 1986).

Existem alguns textos que relatam aplicações destes métodos aos valores de imóveis e outros aspectos relacionados com o mercado. Schroeder e Sjoquist (1976) descreveram os gradientes de densidade de população de Atlanta usando superfícies de segundo e terceiro grau, sem remover os termos de pequena significância. Hembd e Infanger (1981) empregaram um modelo semi-logarítmico, adotando combinações das coordenadas como variáveis independentes, em conjunto com variáveis referentes aos atributos dos prédios. Eles usaram *stepwise* para selecionar os termos importantes para a equação. Parker III (1981) utilizou superfícies para analisar uso do solo e gastos com habitação em Los Angeles, comparando equações com termos até quinta ordem. Dubin e Sung (1987) estimaram os gradientes de preços através de *splines*,

comprovando, pelo formato destas funções, que a cidade (Baltimore) não era monocêntrica, com o aparecimento de picos de valor fora do CBD. Dubin (1988 e 1992), analisando Baltimore novamente, empregou modelos semelhantes, estimados com *kriging*, empregando correlogramas com as distâncias entre os imóveis. Ela usou diversas variáveis para explicar as variações na estrutura dos imóveis e combinações das coordenadas, no segundo *paper*, para identificar padrões espaciais.

Estes estudos demonstram interessantes possibilidades das análises empíricas através de superfícies matemáticas. Então, é oportuno investigar a utilização destas ferramentas de representação de variáveis no espaço. Neste trabalho, foi empregada a técnica de superfícies. Um exemplo da aplicação dos métodos relacionados com *kriging* pode ser encontrado em outro texto, também apresentado neste evento, versando sobre avaliação de aluguéis (González, 1995).

UMA APLICAÇÃO DE TSA EM MODELOS DE PLANTA DE VALORES

Investigando a aplicação da técnica, a análise realizada procurou a comparação de um modelo comum com as *trend surfaces*. Foram comparados dois formatos básicos, descritos a seguir, divididos em três modelos: o primeiro segue a especificação tradicional, enquanto que os outros dois são ajustados com termos representando as coordenadas geográficas.

A amostra provém de uma pesquisa com dados de Itbi. Foram obtidos junto à Secretaria da Fazenda da Prefeitura Municipal de Porto Alegre, consistindo de valores declarados pelos contribuintes para pagamento do Imposto sobre a Transmissão de Bens Imóveis, no período de Janeiro de 1990 até Junho de 1994. O conjunto de dados empregado neste estudo contém 1029 apartamentos residenciais, distribuídos por diversos bairros da cidade, sendo eliminados os elementos com valores sub-declarados, restando um conjunto adequado para a análise realizada. Foram incluídas as características representativas da estrutura do prédio (seus atributos físicos), tais como área, idade e existência de garagem (detalhes podem ser obtidos em González e Formoso, 1995).

Os valores declarados nas guias de Itbi foram corrigidos monetariamente até Setembro de 1995 pelo IGP-DI (da Fundação Getúlio Vargas), considerando-se também o tempo decorrido desde o início do período da amostragem (*Mês*).

As equações de melhor ajuste estatístico foram sempre as semi-logarítmicas. As diferenças nos modelos consistem na identificação dos efeitos de localização, feita através de variáveis convencionais (*Distância e Bairro*), no primeiro, e através de *trend surfaces*, nos demais, empregando as coordenadas geográficas dos imóveis (X, Y). As variáveis utilizadas estão descritas na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1 - Variáveis consideradas nas análises de regressão^a

variável	tipo ^b	unid.	descrição
VALOR	C	R\$	valor total, corrigido até Setembro de 95 pelo IGP-DI (FGV)
ÁREA	C	m ²	área total construída
BAIRRO	C	-	classificação baseada na renda média por bairro (BRASIL, 1980)
BOX	D	-	indica a existência de garagem ou box de estacionamento
DISTÂNCIA	C	km	distância ao centro comercial-histórico da cidade (CBD)
IDADE	C	ano	idade fiscal da construção ("Habite-se")
LUXO	D	-	<i>dummy</i> para imóveis especiais (de padrão superior)
MÊS	C	mês	número de meses desde Janeiro de 1990 até a transação
X	C	km	coordenada Leste-Oeste
Y	C	km	coordenada Norte-Sul

(a) Ver texto para esclarecimentos; (b) Tipo: C-variável contínua; D-dicotômica

O primeiro modelo (1) inclui termos descritivos na forma tradicional, testando a distância ao centro da cidade (*Distância*) e uma medida baseada na renda média por bairro, do Censo de 1980 (*Bairro*). Nesta apresentação, α_i são os coeficientes a serem estimados, ϵ_1 é o erro aleatório e as variáveis são as relacionadas na Tabela 1.

Modelo convencional :

$$\ln(\text{VALOR}) = \alpha_0 + \alpha_1 \ln(\text{ÁREA}) + \alpha_2 \text{BAIRRO} + \alpha_3 \text{BOX} + \alpha_4 \text{DISTÂNCIA} + \alpha_5 \ln(\text{IDADE}) + \alpha_6 \text{LUXO} + \alpha_7 \ln(\text{MÊS}) + \epsilon_1 \quad (1)$$

O segundo formato representa os modelos com estimação da superfície matemática e inclui termos combinados das coordenadas geográficas (X,Y), medidas em quilômetros, em um sistema cartesiano com origem na sede da Prefeitura Municipal de Porto Alegre.

Foram testados dois modelos: com termos até terceiro grau (2) e com termos de quarto grau (3). Não participam as medidas de localização anteriores (*Distância e Bairro*).

Os elementos X e Y, em combinações de produtos com graus variados, são os termos da superfície matemática, e seus coeficientes, obtidos pela regressão, são β_j e θ_k . Os demais elementos seguem a descrição apresentada no modelo anterior.

Modelos alternativos (TSA)

cúbico:

$$\ln(\text{VALOR}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{ÁREA}) + \beta_2 \text{BOX} + \beta_3 \ln(\text{IDADE}) + \beta_4 \text{LUXO} + \beta_5 \ln(\text{MÊS}) + \beta_6 X + \beta_7 Y + \beta_8 X^2 + \beta_9 XY + \beta_{10} Y^2 + \beta_{11} X^3 + \beta_{12} X^2 Y + \beta_{13} Y^2 X + \beta_{14} Y^3 + \epsilon_2 \quad (2)$$

quártico:

$$\ln \text{VALOR} = \theta_0 + \dots + \theta_{15} X^4 + \theta_{16} X^3 Y + \theta_{17} X^2 Y^2 + \theta_{18} Y^3 X + \theta_{19} Y^4 + \epsilon_3 \quad (3)$$

Com estas especificações, foram ajustadas as equações hedônicas de regressão múltipla. Os testes estatísticos seguiram os parâmetros normais de 5% de significância no teste t para as variáveis e no teste F para os modelos, compilados pelo processo *stepwise*. Os limites mínimos para 95% de confiança e graus de liberdade acima de 1000 eram de $t=1,645$ e $F=1,7$.

A seleção de equações e avaliação da precisão foi realizada por análise comparativa dos testes t e F, coeficientes de determinação (R^2_a , ajustados para os graus de liberdade), matriz de correlação entre as variáveis e gráficos de resíduos. Não foram detectados problemas de fugas às condições básicas dos mínimos quadrados. No caso dos modelos com termos de superfície, especial atenção foi dada ao comportamento dos resíduos, e as configurações que apresentavam tendências foram recusadas. A variável *Distância* foi sistematicamente insignificante, não sendo incluída em nenhuma das equações. Este comportamento indica que a cidade não é monocêntrica. Os modelos compilados estão na Tabela 2, indicando-se os coeficientes e a estatística t, calculados para cada variável incluída.

Tabela 2 - Estatísticas para os modelos ajustados com a variável dependente LnVALOR

modelo variável	NORMAL		TSA - cúbico		TSA-quártico	
	coef.	t	coef.	t	coef.	t
LnÁrea	1,0730	43,3	1,0995	44,2	1,0970	44,3
Bairro	0,0282	5,3	-	-	-	-
Box	0,1912	4,5	0,2134	5,0	0,2019	4,8
LnIdade	-0,1323	-12,3	-0,1230	-10,9	-0,1269	-11,2
Luxo	1,0988	9,9	1,0652	9,6	1,0659	9,7
LnMês	-0,0647	-3,9	-0,0592	-3,6	-0,0604	-3,7
X	-	-	0,0810	3,3	0,0992	3,9
Y	-	-	-0,0299	-2,4	-0,0554	-3,6
X ²	-	-	-0,0234	-3,9	-0,0264	-4,3
XY	-	-	0,0122	2,7	0,0342	4,3
Y ²	-	-	-0,0076	-3,4	-0,0062	-3,4
X ³	-	-	0,0014	3,6	0,0015	3,7
X ² Y	-	-	-0,0012	-2,1	-0,0057	-3,9
Y ² X	-	-	-	-	-	-
Y ³	-	-	-0,0006	-2,7	-	-
X ⁴	-	-	-	-	-	-
X ³ Y	-	-	-	-	0,0003	2,5
X ² Y ²	-	-	-	-	-	-
Y ³ X	-	-	-	-	-0,0003	-3,4
Y ⁴	-	-	-	-	-	-
const.	5,5902	45,0	5,8011	46,4	5,7991	46,6
R ² _a	77,26%		77,47%		77,60%	
F	583,10		272,87		255,35	
k	6		13		14	
SE	0,368		0,367		0,366	

Para a maioria das variáveis, o teste de significância (t) ficou bem abaixo do limite de inclusão nos modelos. Apenas algumas variáveis apresentaram significância acima de 1%. No modelo cúbico, X²Y (3,28%) e Y (1,59%) são as menos significantes. No modelo quártico, X³Y tem 1,37%, enquanto que todas as demais têm significância abaixo de 0,1%. Não há problemas neste sentido, portanto.

Os coeficientes de determinação, explicando próximo de 77% das variações dos preços, são bons, bem como o erro padrão dos modelos (SE). Como os três modelos têm parâmetros semelhantes, em geral, podem ser considerados equivalentes. A única diferença é quanto ao teste F, com valor calculado bastante inferior para os modelos TSA, o que se explica pela quantidade maior de variáveis incluídas nos modelos (k). Ainda assim, ultrapassa com folga os requisitos mínimos. As variáveis comuns aos modelos têm coeficientes e significação estatística semelhantes: não ocorreram mudanças de sinal ou mesmo nos módulos dos preços hedônicos com a aplicação dos termos de coordenadas.

A semelhança dos coeficientes dos termos comuns é indicativa da validade da análise estatística. A variável *Bairro*, que mede a localização e foi obtida através de

prolongada análise, pode ser substituída facilmente por produtos das coordenadas, sem alterar significativamente os coeficientes das outras variáveis das equações.

Como uma forma de comparação dos três modelos, pode-se inferir valores, para um imóvel hipotético, aplicando-se os atributos participantes das equações. Por exemplo, se o imóvel fosse um apartamento de 80m², com 9 anos de idade, sem garagem, de acabamento normal, situado no bairro Cidade Baixa, considerando o nível de preços em Janeiro de 1994 (MÊS=49), em uma localização de coordenadas X= 0.5, Y= -1.0, os valores de mercado, calculados pelas três equações da Tabela 2, e corrigidos monetariamente para Setembro de 1995, seriam os apresentados na Tabela 3. Repetindo este procedimento de forma informatizada seriam obtidas estimativas para todos os imóveis da região coberta pela amostra de dados.

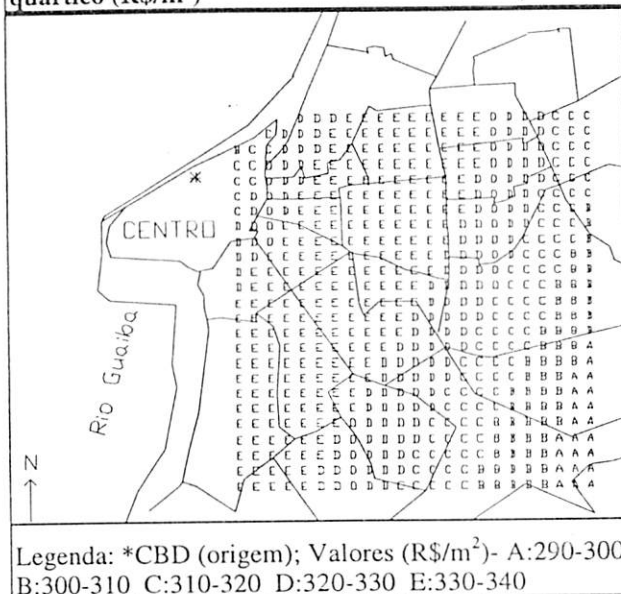
Tabela 3 - Inferência de valores para os três modelos ajustados (ver texto)

modelo	Ln(Valor)	Total - R\$	Unit.-R\$/m ²
Normal	10,11569	24.727,96	309,10
Tsa-Cúbico	10,17071	26.126,62	326,58
Tsa-Quártico	10,16897	26.081,20	326,01

Nos modelos com superfícies matemáticas, pode-se ainda obter uma representação gráfica do mercado. Utilizando os mesmos parâmetros do exemplo acima (Tabela 3), apresenta-se a seguir um mapa de valores de parte da cidade de Porto Alegre (Figura 1). Nesta figura, a escala é tal, que cada caractere representa uma área de 100m x 100m. Percebe-se a continuidade dos valores no espaço.

O mapa foi montado a partir dos valores totais, calculados pela equação ajustada para o modelo (3), com a superfície polinomial quártica, divididos pela área empregada no exemplo (80m²), obtendo-se os valores unitários. Estes foram divididos em categorias de intervalo igual a R\$ 10/m². A região representada corresponde aos bairros centrais de Porto Alegre. A variação espacial dos maiores valores calculados, entre R\$ 330/m² e R\$ 340/m² (codificados com a letra "E") coincide com os trechos mais valorizados da cidade.

Figura 1 - Mapa de valores unitários para um trecho de Porto Alegre, obtido pelo modelo TSA-quártico (R\$/m²)



Deve ser ressaltado que, à semelhança de qualquer outro método estatístico, as funções devem ser empregadas nos seus domínios, evitando, ou considerando com cautela, as extrapolações para regiões sem representação na amostra de dados.

Os resultados da análise estatística são bons. Os modelos com superfícies matemáticas descrevem os dados tão bem quanto o convencional, que emprega variáveis de difícil estimação. A vantagem maior é que as coordenadas podem ser obtidas diretamente dos cadastros de imóveis, sem demanda de vistorias ou custos de amostragem, nem mesmo os trabalhosos ajustamentos estatísticos das classificações qualitativas nos bairros.

A representação gráfica poderá ser incrementada através do emprego de Sistemas Geográficos de Informações (SIG/GIS), com a investigação de padrões de valor para os diferentes tipos de imóveis na área urbana. O estudo detalhado de regiões da cidade pode levar a modelos ainda melhores, com maior precisão nas estimativas.

Uma extensão desta aplicação pode ser obtida pela inclusão de produtos cruzados entre o tempo e as coordenadas geográficas, como proposto por Robinson e Salih (1973), investigando-se a variação simultânea dos valores no tempo e no espaço.

CONCLUSÃO

Os tributos imobiliários urbanos, sobre a propriedade e sobre a transmissão, têm grande importância econômica e social. A administração dos cadastros é difícil, pelas dificuldades de cálculo dos valores dos imóveis. Os métodos utilizados atualmente

não oferecem boas estimativas. O mercado imobiliário é complexo, sendo que uma das parcelas de mais difícil análise empírica é o valor relativo à localização do imóvel. Estas deficiências provocam incorreções na tributação. A adoção de plantas de valores inferenciais e a integração entre Iptu e Itbi são passos necessários para o aperfeiçoamento da arrecadação, com influências sobre a justiça tributária.

Como uma contribuição para o desenvolvimento do cálculo das plantas de valores, neste trabalho apresenta-se uma aplicação da investigação dos efeitos da localização através de *trend surfaces*. A técnica proposta consiste em descrever as variações espaciais através da adição de termos baseados nas coordenadas geográficas dos imóveis nos modelos estatísticos.

Foram gerados modelos hedônicos segundo esta opção e na forma convencional. Os testes estatísticos foram favoráveis. Deve ser ressaltado o bom ajustamento dos três modelos, que poderiam ser empregados para inferência dos valores venais em cadastros imobiliários urbanos, constituindo parte de uma planta inferencial de valores.

A comparação dos resultados permite concluir pela viabilidade da alternativa. Esta técnica não aumenta a dificuldade de análise ou montagem dos modelos, possibilitando até economia de recursos gastos em vistorias.

LITERATURA CONSULTADA

- BALL, Michael J. *Recent empirical work on the determinants of relative house prices*. **Urban Studies**, v.10, p.213-233, 1973.
- BARTIK, Timothy J. e SMITH, V. Kerry. *Urban amenities and public policy*. In: E.S. MILLS (ed). **Handbook of regional and urban economics**, v.2. Amsterdam, Elsevier, c.31, p.1207-1254, 1987.
- BENNETT, Robert J. e HORDIJK, Leen. *Regional econometric and dynamic models*. In: P. NIJKAMP (ed). **Handbook of regional and urban economics**, v.1. Amsterdam: Elsevier, c.10, p.407-441, 1986.
- BRASIL. **Censos demográficos**. Rio de Janeiro: IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 1980.
- CLIFF, A.D. e ORD, J.K. **Spatial autocorrelation**. London: Pion, 1973.
- CUTHBERTSON, Keith; HALL, Stephen G.; TAYLOR, Mark P. **Applied econometric techniques**. New York: H. Wheatsheaf, 1992.
- DUBIN, Robin A. *Estimation of regression coefficients in the presence of spatially autocorrelated error terms*. **Review of Economics and Statistics**, v. 70, p.466-474, 1988.
- _____. *Spatial autocorrelation and neighborhood quality*. **Regional Science and Urban Economics**, v.22, n.3, p.433-452, Sept.1992.

- _____. e SUNG, Chein-Hsing. *Spatial variation in the price of housing: Rent gradients in non-monocentric cities*. *Urban Studies*, v.24, p.193-204, June, 1987.
- GONZÁLEZ, Marco Aurélio Stumpf. *Avaliação de aluguéis residenciais com ponderação pela distância ao imóvel-objeto*. **Anais-VIII COBREAP** (Congresso Brasileiro de Avaliações e Perícias). Florianópolis: ICAPE/ABRAP/IBAPE, 1995.
- _____. e FORMOSO, Carlos Torres. **Determinação de planta de valores com base em dados do Itbi. Estudo da viabilidade de aplicação em Porto Alegre** (Relatório de pesquisa). Porto Alegre: Fapergs, 1995.
- HALVORSEN, Robert e PALMQUIST, Raymond. *The interpretation of dummy variables in semilogarithmic equations*. *American Economic Review*, v.70, n.3, p.474-5, June, 1980.
- HARMANN, Harry Horace. **Modern factor analysis**. 3ed. Chicago: University of Chicago, 1976.
- HEMBD, Jerry e INFANGER, Craig L. *An application of trend surface analysis to a rural-urban land market*. *Land Economics*, v.57, n.3, p.303-322, Aug. 1981.
- HENDRY, D.F. e MIZON, G.E. *Serial correlation as a convenient simplification, not a nuisance: a comment on a study of the demand for money by the Bank of England*. *The Economic Journal*, v.88, p.549-563, Sept. 1978.
- JUD, G. Donald. *The effects of zoning on single-family residential property values: Charlotte, North Carolina*. *Land Economics*, v.56, n.2, p.142-154, May, 1980.
- JUDGE, George G.; HILL, R. Carter; GRIFFITHS, William; LÜTKEPOHL, Helmut; LEE, Tsoung-Chao. **Introduction to the theory and practice of econometrics**. New York: John Wiley, 1982.
- KELEJIAN, Harry H. e ROBINSON, Dennis P. *Spatial autocorrelation: A new computationally simple test with an application to per capita county police expenditures*. *Regional Science and Urban Economics*, v.22, p.317-331, 1992.
- LAVENDER, Stephen D. **Economics for builders and surveyors**. Essex, UK: Longman, 1990.
- LEAL, José Agostinho Anachorreta. **Políticas de integração da tributação sobre a renda e sobre a propriedade imobiliária urbana**. Rio de Janeiro: IPPUR/UFRJ, 1990. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano).
- MADDALA, G. S. **Introduction to econometrics**. New York: Macmillan, 1988.
- MATHERON, G. *Principles of geostatistics*. *Economic Geology*, v.58, p.1246-1266, 1963.
- MILLER, Robert L. e KAHN, James Steven. **Statistical analysis in the geological sciences**. New York: John Wiley, 1962.
- NETER, John e WASSERMANN, William. **Applied linear statistical models**. Homewood: Richard D. Irwin, 1974.
- PAREDES, Evaristo Atencio. **Introdução à aerofotogrametria para engenheiros**, v.2. Brasília/Maringá: Cnpq/Concitech, 1986.
- PARKER III, Carl. *Trend surface and the spatio-temporal analysis of residential land-use intensity and household housing expenditure*. *Land Economics*, v.57, n.3, Aug. 1981.
- PEREIRA, Pedro L. Valls. *Co-integração e suas representações: uma resenha*. *Revista Brasileira de Econometria*, v.11, n.2, p.185-216, Nov. 1991.
- ROBINSON, Geoffrey e SALIH, K. B. *An illustration of four-variable trend analysis applied to regional growth*. *Regional Science*, v.8, p.47-55, 1974.
- ROVATTI, João Farias. **A fertilidade da terra urbana em Porto Alegre: Uma leitura da intervenção do estado na cidade**. Rio de Janeiro: IPPUR/UFRJ, 1990. Dissertação (Mestrado em Plan. Urbano).
- SCHROEDER, Larry D. e SJOQUIST, David L. *Investigation of population density gradients using trend surface analysis*. *Land Economics*, v.52, n.3, p.382-392, Aug. 1976.
- SMITH, Lawrence B.; ROSEN, Kenneth T.; FALLIS, George. *Recent development in economic models of housing markets*. *Journal of Economic Literature*, v.26, p.29-64, Mar. 1988.
- SMOLKA, Martim Oscar. *Impostos sobre o patrimônio imobiliário urbano: aprimorando as informações e a sistemática de recolhimento*. **Ensaio FEE**, Porto Alegre: FEE, v.11, p.442-454, 1991.
- STRASZHEIM, Mahlon. *The theory of urban residential location*. In: E.S. MILLS (ed). **Handbook of regional and urban economics**, v.2. Amsterdam: Elsevier, c.18, p.717-757, 1987.