

EFEITOS ESPACIAIS EM MERCADOS DE TERRAS RURAIS: MODELAGEM, VALIDAÇÃO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO.

Spatial Effects on Rural Land Markets: Modeling, Validation and Performance Evaluation.

Hélder Gramacho dos Santos¹
José Antonio Moura e Silva¹
José Luiz Portugal²

¹Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA
Superintendências Regionais do Estado da Bahia e de Petrolina-PE

Av. Ulisses Guimarães, 640 - 1º Andar - Centro Administrativo - Salvador, BA - CEP: 41213-000, Brasil.
agrohelder@gmail.com; mourajantonio@yahoo.com.br

²Universidade Federal de Pernambuco-UFPE

Centro de Tecnologia e Geociências / Departamento de Engenharia Cartográfica

Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n - 2º andar - Cidade Universitária - Recife, PE - CEP: 50740-530, Brasil.
joseluiz.portugal@gmail.com

RESUMO

A geoestatística e a econometria espacial são técnicas que tem sido utilizadas com resultados satisfatórios na modelagem de efeitos espaciais presentes nos mercados imobiliários. Embora tais efeitos afetem indistintamente tanto áreas urbanas quanto rurais, no Brasil, os estudos tem se concentrado em áreas urbanas. Além disso, a valoração cadastral rural nos municípios Brasileiros encontra-se por demais atrasada quando comparada com os países da Europa e América do Sul. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a combinação de técnicas da econometria espacial e da geoestatística na modelagem dos efeitos espaciais em mercados de terras rurais e geração de Plantas de Valores Genéricos (PVG), propondo uma metodologia que seja aplicável à realidade dos municípios brasileiros. A proposta metodológica consistiu em investigar o efeito que a autocorrelação espacial provoca sobre os modelos clássicos de regressão linear (MCRL), modelar estes efeitos por meio da econometria espacial e da geoestatística, avaliar o desempenho dos MCRL comparando-os com os modelos espaciais e produzir a PVG por meio da krigagem. A área de estudos foi o município de Petrolina-PE, onde foram coletadas 104 amostras de mercado georreferenciadas. A amostra de trabalho consistiu de 84 observações e a de verificação consistiu de 20 observações. Os resultados mostraram que a autocorrelação espacial pode ter seus efeitos controlados tanto pela econometria tradicional quanto pela econometria espacial. A combinação de metodologias se mostrou aplicável à realidade dos mercados de terras rurais e permitiu a obtenção de modelos representativos da realidade destes mercados bem como a elaboração da PVG. Os modelos são adequados para avaliações dos imóveis propriamente ditos enquanto que em função da escala da base cartográfica disponível para geração das PVG estas são indicadas para informar as faixas de preços nas diferentes regiões do município.

Palavras chaves: Plantas de valores genéricos, Econometria espacial, Geoestatística.

ABSTRACT

The geostatistical and spatial econometrics are techniques that have been used with satisfactory results in modeling spatial effects present in real estate markets. Although such effects affect indiscriminately both urban and rural areas, in Brazil, studies have focused on urban areas. In addition, the valuation rural cadastral municipalities in the Brazilian is too late when compared with the countries of Europe and South America. In this context, the aim of this study was to evaluate the combination of techniques of spatial econometrics and geostatistical modeling of spatial effects in rural land markets and generation of PVG, proposing a methodology that is applicable to the reality of Brazilian municipalities. The methodology was to investigate the effect that the spatial autocorrelation causes on the classical linear regression models (MCRL), modeling these effects through the spatial econometrics and geostatistics, evaluate the performance of MCRL comparing them with spatial models and produce the PVG by kriging. The study area was the city of Petrolina-PE, which were collected 104 samples of georeferenced market.

The work sample consisted of 84 observations and the check consisted of 20 observations. The results showed that the spatial autocorrelation can have its effects controlled both by traditional econometrics as the spatial econometrics. The combination of methodologies proved applicable to the reality of rural land markets and allowed to obtain representative models of the reality of these and the development of PVG markets. The models are suitable for evaluation of the properties themselves while in range of the function of the cartographic base available for generation of PVG these are indicated to inform price ranges in different regions of the city.

Keywords: Plant of values. Spatial econometrics. Geostatistics.

1. INTRODUÇÃO

A obtenção de modelos de avaliação em massa eficientes, não tendenciosos e consistentes é um dos principais objetivos da Valoração Cadastral Rural. Para alcançar este objetivo é fundamental que tais modelos estejam livres dos chamados efeitos espaciais, a saber a autocorrelação e a heterogeneidade espacial, os quais afetam os pressupostos dos modelos clássicos de regressão linear (MCRL), invalidando-os para as finalidades às quais se destinam. Embora tais efeitos afetem indistintamente tanto as áreas urbanas quanto as rurais, no Brasil os estudos que buscam a modelagem destes efeitos tem se concentrado nas áreas urbanas.

O Brasil possui dois impostos que incidem sobre os imóveis rurais: o imposto sobre a transmissão de bens imóveis e de direitos a eles relativos (ITBI) e o imposto territorial rural (ITR). Atualmente a obtenção da base de cálculo para estes impostos na grande maioria dos municípios se dá sem a utilização de critérios técnicos e sem transparência. Para o ITBI os municípios utilizam como base de cálculo os valores declarados no cartório (geralmente subdeclarados), ou então utilizam tabelas de valores por região, estabelecidos sem critérios técnicos e que reconhecidamente não representam a realidade dos mercados pois frequentemente estão desatualizadas; o ITR é autodeclaratório sendo que os valores informados não passam por fiscalização sistemática.

De acordo com Oliveira (2010), nos países desenvolvidos a cobrança de impostos sobre a terra é plenamente estabelecida e o valor arrecadado em relação ao PIB é significativo. Num exemplo, esse mesmo autor, apresenta o percentual de arrecadação de alguns países em relação ao PIB para o período de 2002 a 2005: Estados Unidos: 3,09%; Canadá: 3,05%; Argentina: 0,82%; enquanto no Brasil, essa arrecadação é de 0,46%.

O ITR possui uma função extrafiscal importante que é evitar a especulação com as terras, fazendo com que estas sejam inseridas nos sistemas produtivos. Entretanto, a falta de fiscalização deste imposto produz situações como a relatada por Silva e Barreto (2014) na qual estimativas indicam que no ano de 2010 havia cerca de 12 milhões de hectares de pastagens mal utilizadas na amazônia. Segundo os mesmos autores o potencial de arrecadação do ITR no Pará seria de 133 vezes maior frente ao que é arrecadado atualmente.

Silva e Barreto (2014) apontam entre outras soluções para que haja uma maior efetividade na cobrança e fiscalização do ITR que “os órgãos públicos envolvidos (Receita Federal e prefeituras) devem

providenciar, anualmente, a coleta ou aquisição de preços de mercado das terras para que sirvam de referência para a fiscalização, e tais dados devem ser disponibilizados facilmente ao público” e além disso, propõem a utilização de mapas para a fiscalização do ITR: “Os órgãos fiscalizadores devem submeter as declarações do ITR a uma análise do tipo malha fina com base em informações geográficas e dos preços de terra”.

Na Argentina, a valoração cadastral rural vem evoluindo e incorporando as mais recentes ferramentas tecnológicas disponíveis (BENIGNI, 2008; BENIGNI, 2010; BONILLA, ROBLEDO, LÓPEZ, 2010). Para exemplificar, estão sendo desenvolvidos sistemas nos quais as variáveis influenciadoras do mercado são obtidas a partir de bases de dados disponibilizadas em SIG; imagens de satélite de alta resolução são utilizadas para realizar estimativas de áreas plantadas; são utilizados índices de vegetação para determinar o rendimento potencial das culturas; realiza-se a aquisição de informações georreferenciadas em campo para inserção no banco de dados; são obtidas séries históricas de preços das diferentes atividades para não penalizar o produtor em função das oscilações típicas dos preços agrícolas. Tais sistemas vão na direção de obterem o valor das parcelas de forma automática, e oferecerem maior objetividade, precisão e facilidade de atualização. Como consequência, há uma maior equidade da carga tributária.

Embora seja de competência federal, a Constituição de 1988 (BRASIL, 1988) permite que sejam firmados convênios entre a União, intermediada pela Secretaria da Receita Federal, e os municípios aos quais são delegadas a fiscalização e cobrança do ITR. Os resultados dessa descentralização para vários municípios tem resultado em incrementos significativos de arrecadação. De acordo com Confederação Nacional dos Municípios (2012), os resultados alcançados por municípios que aderiram ao convênio, como Ribas do Rio Pardo (MS), que aumentou sua arrecadação do ITR em 412% passando de R\$983.954,26 em 2008 para R\$4.057.514,11 em 2011 e Jataí (GO) que aumentou sua arrecadação em 674% passando de R\$350.790,18 em 2008 para R\$2.367.481,73 em 2011, mostram ser vantajoso o convênio com a união. Atualmente, segundo informações da Receita Federal do Brasil (RFB) (BRASIL, 2014) apenas 35% dos 5565 municípios firmaram convênio.

Oliveira (2010) realizou um estudo sobre a viabilidade da descentralização da cobrança do ITR em dois municípios do estado de São Paulo. Realizou simulações utilizando um valor médio de alíquota do ITR e valor médio de mercado para o preço da terra por hectare. Seus resultados mostram que a descentralização

da cobrança do ITR permite ampliar significativamente a sua arrecadação, a qual para os dois municípios estudados foi em torno de 340%. O autor também afirma que o Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) tem importante papel nesta descentralização e entre os resultados esperados tem-se a manutenção das informações fidedignas com a situação de fato e também o consequente aumento da arrecadação do ITR. A implementação da descentralização deve ser tratada em função das características dos municípios, entretanto, acreditam os autores que municípios com população acima de 100.000 habitantes possuem infraestrutura tanto física quanto de recursos humanos para gerir isoladamente seu perímetro. Com a implementação da cobrança do ITR espera-se proporcionar maior equidade tributária, melhor governança das terras e do uso e ocupação do solo.

Entre os instrumentos utilizados pelas administrações municipais para avaliações em massa com fins tributários destaca-se a PVG. Segundo Michael et al. (2006) “A principal função da PVG é permitir a definição de uma política de tributação imobiliária que seja justa e tenha equidade. A Planta de Valores Genéricos consiste em um documento gráfico que representa a distribuição espacial dos valores médios dos imóveis em cada região da cidade, normalmente apresentados por face de quadra”. Como se pode perceber nesta definição, a grande maioria dos trabalhos envolvendo PVG se referem a imóveis urbanos, mas existe potencial para aplicação desta técnica aos mercados de terras rurais.

Entretanto, a elaboração de plantas de valores pela metodologia tradicional, que corresponde aos modelos clássicos de regressão linear (MCRL), pode gerar resultados tendenciosos. Isso acontece porque nessa metodologia parte-se do pressuposto que os modelos estão livres dos efeitos de autocorrelação e heterogeneidade espacial, o que nem sempre ocorre (Dantas et al.,2003). Esses óbices têm solução na econometria espacial e geoestatística, técnicas estas que foram utilizadas para definir os objetivos deste artigo: Avaliar a combinação de técnicas da econometria espacial e da geoestatística na modelagem dos efeitos espaciais em mercados de terras rurais e geração de PVG, propondo uma metodologia que seja aplicável à realidade dos municípios brasileiros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O modelo clássico de regressão representa um processo no qual que não se leva em consideração a influência dos efeitos espaciais e é dado por:

$$Y = \beta X + \varepsilon, \varepsilon \sim Normal(0, \sigma^2 I_n) \quad (1)$$

em que Y é um vetor n por 1 de observações sobre a variável dependente, X é uma matriz n por k de observações sobre as variáveis explicativas exógenas (mais a constante) com um vetor associado k por 1 de coeficientes de regressão β , ε é um vetor n por 1 de termos de erro aleatório, com média zero e variância constante, I_n é a matriz identidade de dimensão do tamanho da amostra, n por n.

A representação esquemática da Figura 1

mostra que entre as regiões vizinhas i e j existe uma relação de contiguidade, entretanto, não existe interação espacial entre as regiões. Devido a este fato, a Equação 1 não incorpora nenhuma defasagem espacial.

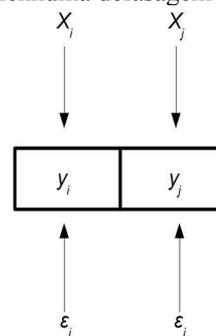


Figura 1 - Processo a-espacial. Fonte: Almeida, (2012).

2.1 Modelo Espacial Autorregressivo ou SAR

Trata-se de um modelo econométrico que envolve a incorporação de defasagens espaciais ao modelo expresso em (1) com o objetivo de se controlar a dependência espacial. O modelo é de alcance global, caracterizando-se por hospedar a dependência espacial em um multiplicador espacial que faz com que um impacto sobre a variável dependente seja refletido para todas as regiões da área de estudo (ALMEIDA, 2012).

A Figura 2 mostra que além da relação de contiguidade entre as regiões i e j, estas também apresentam interação espacial por meio da variável dependente.

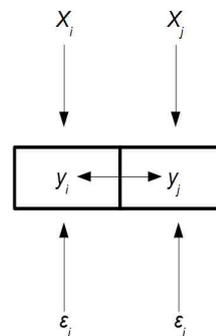


Figura 2 - Processo de defasagem espacial. Fonte: Almeida (2012).

O modelo SAR (Spatial Auto Regressive) puro pode ser expresso do seguinte modo:

$$y = \rho W y + \varepsilon \quad (2)$$

no qual $W y$ é um vetor n por 1 de defasagens espaciais para a variável dependente, ρ é o coeficiente autorregressivo espacial. Este coeficiente é um indicador de autocorrelação positiva (negativa) caso ρ seja positivo (negativo). Caso este não seja estatisticamente significativo, significa que o coeficiente é zero, indicando a inexistência de autocorrelação espacial.

Quando o mesmo inclui o conjunto de variáveis explicativas exógenas X, obtém-se o modelo misto do modelo SAR:

$$y = \rho W y + X \beta + \varepsilon \quad (3)$$

no qual X é uma matriz de variáveis exógenas, permanecendo os demais termos como mostrado anteriormente.

O modelo SAR misto é especificado para que o valor da variável dependente observado numa determinada região seja determinado pela média dos valores da variável dependente observados na vizinhança (Wy), pelos valores das variáveis explicativas exógenas (X) e ainda sejam influenciados aleatoriamente por um termo de erro (ϵ).

2.2 Modelo do Erro Espacial ou SEM

Também caracteriza-se por ser um modelo econométrico de alcance global. Nesse caso, o padrão espacial encontra-se no termo do erro que é espacialmente autocorrelacionado (ALMEIDA, 2012).

A representação esquemática desse modelo, conforme a Figura 3, mostra que além da relação de contiguidade entre as regiões i e j , esta presente uma interação espacial por meio do erro.

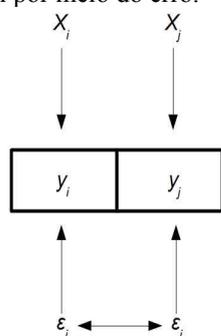


Figura 3 - Processo de erro autorregressivo espacial. Fonte: Almeida, (2012)

A dependência espacial do modelo SEM manifesta-se no termo do erro ao invés da variável dependente.

A expressão formal do modelo SEM, contendo o erro espacial autorregressivo de primeira ordem é representada por:

$$y = X\beta + \xi \quad (4)$$

Onde:

$$\xi = \lambda W\xi + \epsilon \quad \text{com } \epsilon \sim \text{Normal}(0, \sigma^2 I_n) \quad (5)$$

no qual o coeficiente λ é o parâmetro do erro autorregressivo espacial que acompanha a defasagem $W\xi$. Neste modelo, os erros associados com qualquer observação são uma média dos erros nas regiões vizinhas mais um componente de erro aleatório.

2.3 Geoestatística

Landim (2006) explica que a geoestatística proporciona a estimativa das variáveis regionalizadas usando informações e relações a partir de um conjunto discreto de amostras, com a avaliação dos erros de estimativa, para estabelecer o grau de segurança em previsões e os padrões ótimos de amostragem, que assegurem que um erro máximo de estimativa não seja excedido.

No estudo do comportamento das variáveis regionalizadas duas são as ferramentas fundamentais

dos métodos geoestatísticos: o semivariograma e a krigagem.

O semivariograma expressa o comportamento espacial da variável regionalizada e identifica (LANDIM, 2006) (i) o tamanho da zona de influência em torno de uma amostra (ii) a anisotropia e (iii) a continuidade.

A Krigagem é um processo geoestatístico de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço e/ou tempo, com base em valores adjacentes quando considerados interdependentes pela análise do variograma (YAMAMOTO e LANDIM, 2013). Ainda segundo os referidos autores quando comparada com os métodos tradicionais de estimativa por médias ponderadas ou por médias móveis, a principal vantagem da Krigagem é que apenas ela proporciona estimativas não tendenciosas e a mínima variância associada ao valor estimado.

Além dos autores acima citados, para maior aprofundamento nessa temática recomenda-se Burrough & MacDonnell (1988).

1.3 Avaliação de Desempenho

A avaliação de desempenho tem por finalidade avaliar a habilidade de um determinado modelo em estimar valores para um conjunto de dados reais não empregados na sua construção como recomendam Marques et al. (2012) e Averbeck (2003). A partir dos resultados obtidos nesta avaliação, é possível realizar ajustes globais ou parciais nos modelos. Esta análise é realizada por meio de indicadores estatísticos, citando-se a seguir os utilizados nesse trabalho:

Crítérios de Informação de Akaike (AIC) e de Schwartz (SC): Almeida (2012) recomenda que quando da utilização da estimação por Máxima Verossimilhança (MV) que seja feita a combinação do valor da função de verossimilhança (LIK) com os critérios de informação de Akaike (AIC) e de Schwartz (SC) com o objetivo de escolher o melhor modelo. A interpretação da função de verossimilhança é de que quanto maior o valor dessa função, melhor é o modelo, de forma contrária a interpretação do AIC e SC é de que quanto menores os seus valores, melhor é a qualidade do modelo.

Os critérios de informação AIC e SC utilizam em suas fórmulas de cálculo, o valor da função de verossimilhança:

$$AIC = -2LIK + 2k \quad (6)$$

$$SC = -2LIK + k \cdot \ln(n) \quad (7)$$

Onde:

k se refere ao número de variáveis utilizadas no modelo;

n é o número de observações utilizadas.

Razões de Avaliação: As medidas de performance global da avaliação se referem ao quociente ou “ratios” (r) entre os valores avaliados (va) e os preços de venda (pv) e dado por:

$$r = \frac{va}{pv} \quad (8)$$

Quanto mais próximos estiverem os valores avaliados dos valores de mercado, melhor é a qualidade

das avaliações. Tais medidas fornecem informações sobre o grau de alcance dos objetivos ou dos requerimentos legais. A partir da obtenção das razões de avaliação, caso sejam identificados valores extremos estes devem ser retirados da análise de acordo com recomendação da IAAO (2013).

Mediana das razões de avaliação: A mediana das razões de avaliação é uma medida que é menos afetada pela presença de valores extremos quando comparada com outras medidas de tendência central. Devido a este fato, ela geralmente é a medida preferida para avaliar o nível geral das avaliações, determinar prioridades de reavaliação ou avaliar a necessidade de reavaliação (IAAO, 2013).

Coefficiente de Dispersão (CD): A uniformidade das avaliações se refere ao grau em que as propriedades são avaliadas em igual percentual dos valores de mercado (IAAO, 2013). O Coeficiente de Dispersão (CD) é a medida mais útil da variabilidade ou uniformidade e mede o percentual médio em que as razões de avaliação se desviam da mediana das razões de avaliação. O CD é referido como uma medida de dispersão horizontal. Ele proporciona informação percentual sobre a uniformidade da avaliação dos imóveis em toda a área de estudo.

Diferencial Relativo ao Preço (PRD, Price Related Differential): é obtido a partir da divisão da Média das razões de avaliação pela Média ponderada das razões. É utilizado para detectar diferenças sistemáticas na forma como são avaliados os imóveis de alto e de baixo valor (HORNBERG, 2009). Caso seus valores sejam maiores que 1 é um sinal de regressividade, ou seja, os imóveis de baixo valor estão sendo superavaliados quando comparados com os imóveis de alto valor em termos relativos; caso seus valores sejam menores que 1 é um sinal de progressividade, ou seja, os imóveis de alto valor estão sendo superavaliados quando comparados com os imóveis de baixo valor em termos relativos.

Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (REM_Q): Para avaliação de desempenho das superfícies de preços de terras foi utilizada a Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (REM_Q) como proposto por Marques et al. (2012) e Xavier et al. (2010) por meio da Equação 9.

$$REM_{Q} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (VTI/ha_{estimado} - VTI/ha_{real})^2} \quad (9)$$

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no município de Petrolina-PE, cuja sede se localiza nas coordenadas (09°23'55" S, 40°30'03" WGr). O município é banhado pelas águas do Rio São Francisco, o que proporcionou o desenvolvimento de um importante polo de fruticultura irrigada que coloca o município como o maior produtor de frutas do país segundo IBGE (2013).

Nele, o valor da produção frutícola somou R\$ 918 milhões, ou seja, 3,9% do valor total da produção frutícola nacional em 2013. Estes fatores fizeram surgir um mercado de terras dinâmico e consolidado, proporcionando informações a respeito de transações e ofertas de imóveis rurais tanto em quantidade quanto

adequadamente especializados nas diferentes regiões do município, razão pela qual foi escolhido para desenvolver o trabalho.

Foram coletadas 104 observações de mercado, sendo que destas, 84 foram utilizadas na construção dos modelos e 20 foram utilizadas para avaliação de desempenho dos produtos obtidos. Das 84 observações utilizadas na modelagem 29 foram caracterizadas como ofertas e 55 foram caracterizadas como transações. As 20 observações utilizadas para avaliação foram compostas apenas por transações. O ano das observações compreende o período de 2009 a 2014. Todas as observações foram georreferenciadas conforme mostradas na Figura 4.

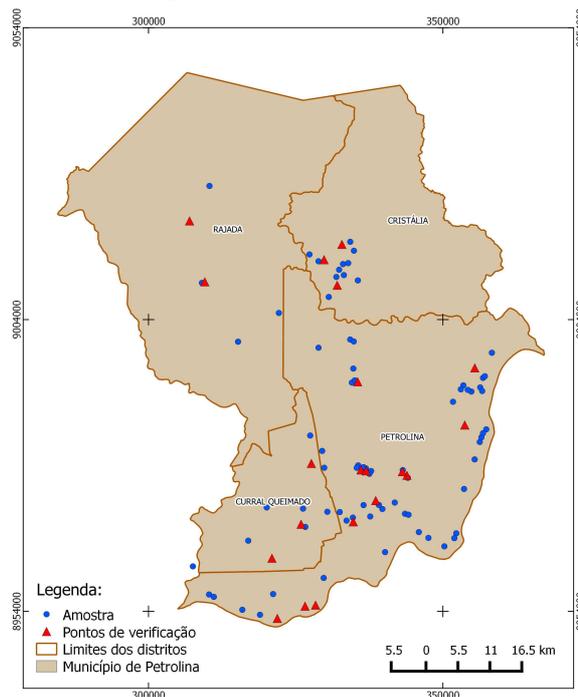


Figura 4 - Distribuição espacial da amostra de trabalho e da amostra de verificação.

Na sua integralidade, esse trabalho empregou programas livres. As análises estatísticas foram realizadas no R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013) e como SIG foi utilizado o QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2014).

A partir da coleta da amostra, o método seguiu os seguintes passos:

- Análise exploratória, com o objetivo de conhecer o conjunto de dados amostrais (variável independente e dependentes), identificando ou não tendências e correlações entre eles;
- Implementação do modelo clássico de regressão, com a finalidade de identificar e quantificar as variáveis influentes nos preços;
- Análise dos resíduos, com a finalidade de identificar os pressupostos do modelo clássico de regressão (inexistência de autocorrelação e homogeneidade espacial);
- Análise geoestatística dos resíduos, com a finalidade de identificar ou não autocorrelação espacial e em caso positivo determinar parâmetros para implementar os modelos SAR e SEM;
- Análise econométrica espacial: construção da matriz

de pesos espaciais, especificação e construção dos modelos de regressão espacial SAR ou SEM;
 f. Avaliação de desempenho dos modelos gerados com base na norma Standard on Ratio Studies (IAAO, 2013);
 g. Geração da superfície de preços de terras por meio do interpolador da Krigagem Ordinária; avaliação do desempenho por meio da Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (REMQ); obtenção da Planta de Valores Genéricos das terras agrícolas municipais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise Exploratória

A variável dependente foi o valor total do imóvel por hectare (VTI/ha), seu histograma e boxplot são mostrados na Figura 5. Nela pode-se observar uma forte assimetria e considerável número de outliers, impedindo o emprego de testes paramétricos.

Para minimizar essa problemática, a variável dependente foi transformada por uma função logarítmica. Além disso, essa função é a mais indicada para modelos com dados de valores imobiliários porque tornam os modelos de regressão multiplicativos, característica sugerida pelas normas brasileiras de avaliações (Dantas, 2005). O histograma e boxplot dessa variável transformada (Ln do VTI/ha) são mostrados na Figura 5, observando-se que a forte assimetria anterior foi corrigida e somente um outlier foi identificado. Desse modo, essa passa a ser a variável dependente a ser estudada.

Como variáveis independentes foram selecionadas as a seguir relacionadas, que poderiam explicar a variação dos preços:

DN, DE: coordenadas dos centroides dos imóveis, em escala kilométrica, tendo como origem o canto inferior esquerdo da área estudada, obtidas por translação de eixos do sistema UTM;

NE: natureza do evento (dicotômica) que recebe o valor zero caso o valor seja obtido a partir de transação e o

valor 1 caso seja obtido a partir de oferta;

Ln AT: área total do imóvel medida em hectares, transformada para escala logarítmica;

Ln AI: área irrigada do imóvel em hectares, informada pelo entrevistado, transformada para a escala logarítmica;

DH: disponibilidade hídrica (dicotômica) que recebe o valor zero ser for área de sequeiro e o valor 1 caso estejam localizadas nas margens de rio ou sejam irrigadas;

EB: estado das benfeitorias (dummy) que recebe o valor 1 para imóveis sem benfeitorias, 2 para os que possuem benfeitorias sem condições de uso, 3 para os que possuem benfeitorias necessitando manutenção e 4 para os que possuem benfeitorias em uso;

LCR: limite confrontante com rio em metros, fornecido pelo entrevistado;

IPV: índice de produção vegetal que é o produto da área cultivada pelo índice de valoração da produção vegetal, transformado para a escala logarítmica seguindo a metodologia proposta por Silva, Nali e Marote (2009).

4.2 Modelo Clássico de Regressão Linear Múltipla

Esta etapa compreendeu a busca pela construção de um modelo representativo do mercado de terras de Petrolina-PE. Serão mostradas duas estratégias para evitar o surgimento de autocorrelação nos resíduos, a primeira utilizando o MCRL com variáveis relacionadas à localização e a segunda utilizando a econometria espacial.

Os resultados da primeira estratégia podem ser visualizados na Tabela 1 e Tabela 2.

A partir deste ponto serão utilizadas duas estratégias para controlar a dependência espacial nos resíduos do modelo. Primeiramente serão inseridas variáveis relacionadas à localização e em seguida será utilizada a econometria espacial.

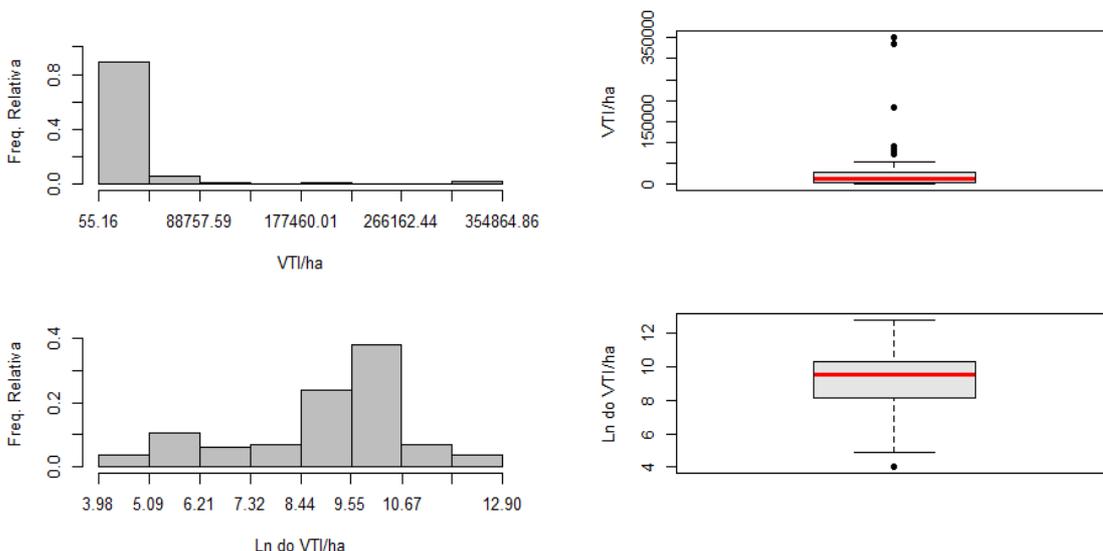


Figura 5-Variável dependente na sua escala original e após transformação logarítmica.

O modelo contou com 8 variáveis, o teste de significância global se mostrou altamente significativo. Apresentou um R² ajustado de 0,89, ou seja, 89% da variação de preços que ocorre no mercado em estudo pode ser explicada por este modelo.

Este aumento do poder de explicação está associado à inserção de variáveis relacionadas à localização. Estas foram computadas na forma de um polinômio de tendência de 1º grau. O modelo teve a transformação logarítmica da variável dependente bem como das variáveis independentes Área Total do Imóvel e Índice de Produção Vegetal, as demais permaneceram nas suas escalas originais.

O teste de Goldfeld-Quandt o qual avalia a variância não constante nos resíduos teve um valor p=0,1783 indicando que o modelo é homocedástico, a inserção de variáveis relacionadas à localização no modelo contribuiu para evitar o surgimento de heterocedasticidade nos resíduos.

Tabela 1: Resultados Gerais do modelo 1.1

Discriminação	Valor
Desvio padrão	0,63
Estatística Fc	81,36
Probabilidade associada a Fc	< 2.2e-16
R ²	0,90
R ² ajustado	0,89
n	82,00

Tabela 2: Estimativas dos parâmetros, erros-padrão, valor t e valor p do modelo 1.1

	Estimativa	Erro padrão	valor t	valor p
β_0	9,2609	0,4883	18,9657	6,28E-30
DN	-0,0271	0,0062	-4,4085	3,51E-05
DE	0,0028	0,0058	0,4825	6,31E-01
NE	0,6646	0,1926	3,4499	9,00E-04
lnAT	-0,5015	0,0677	-7,4074	1,81E-10
EB	0,1964	0,0712	2,7578	7,30E-03
LCR	0,0064	0,0020	3,2110	2,00E-03
DH	1,4070	0,2692	5,2273	1,57E-06
lnIPV	0,1542	0,0392	3,9285	2,00E-04

A partir desta etapa será utilizada a econometria espacial com o objetivo de controlar a dependência espacial nos resíduos do modelo. Foram construídas matrizes de pesos espaciais baseadas na vizinhança e na distância, em seguida foi realizado o teste difuso I de Moran o qual indicou que as matrizes mais eficientes na captura da autocorrelação espacial foram as de 6 e 8 vizinhos Tabela 3.

Tabela 3: Teste I de Moran e significância para as matrizes de ponderação espacial testadas em duas estratégias sobre os resíduos do modelo 2.1.

k vizinhos	I de Moran	valor p
6	0,1638	0,0002703
8	0,1610	1,31E-005
9	0,1535	5,96E-006
4	0,1533	0,0064222

Distância	I de Moran	valor p
15km	0,1407	2,66E-007
20km	0,1315	2,30E-008
24km	0,1250	2,80E-014
25km	0,1150	2,96E-014

Para a especificação dos modelos de regressão espacial foram utilizados os testes focados baseados no Multiplicador de Lagrange pois estes são capazes de identificar a autocorrelação espacial, e indicar se ela ocorre predominantemente na variável dependente ou nos termos do erro. Foram realizados os testes para a variável dependente LM (lag), para o termo do erro LM (erro), e também nas suas versões robustas, utilizando o processo de decisão para especificação de modelo de regressão espacial proposto por Anselin (2005). Utilizou-se para isto a matriz baseada nos 8 vizinhos mais próximos.

Na Tabela 4 são mostrados os resultados dos testes de especificação baseados no Multiplicador de Lagrange e sua significância. Pode-se observar que o LM (lag) e o LM (erro) foram ambos significativos. Devido a isso foi realizada a forma robusta de ambos os testes as quais mostraram que apenas o LM (lag) robusto foi significativo a 1% enquanto que LM (erro) robusto foi não significativo. Diante deste resultado, a especificação do modelo indicou ser necessário a construção do modelo econométrico espacial autorregressivo mais conhecido como *Spatial Autoregressive Model* (SAR).

Tabela 4: Resultados do teste de especificação da regressão espacial utilizando o multiplicador de Lagrange.

Teste	Valor	valor p
LM (lag)	21,03	4,52E-06
LM (erro)	9,65	0,0019
LM (lag) robusto	13,69	0,0002
LM (erro) robusto	2,31	0,1284

O modelo SAR é mostrado na Tabela 5. De acordo com Trivelloni (2005), o equivalente ao valor t de *Student* para o método de mínimos quadrados corresponde à estatística z nos modelos de regressão por máxima verossimilhança. As probabilidades indicam o grau de significância de cada variável de forma análoga ao da regressão por mínimos quadrados. Observa-se que todas as variáveis são significativas.

Tabela 5: Variáveis independentes do modelo espacial autorregressivo SAR.

	Coefficientes	Desvio padrão	Estatística z	valor p
(Intercept)	6,5630	0,7187	9,1315	0,00E+000
NE	0,8959	0,2094	4,2782	1,88E-005
lnAT	-0,6973	0,0675	-10,3286	0,00E+000
lnAI	0,1317	0,1020	1,2917	0,1964440
LCR	0,0105	0,0026	4,1019	4,10E-005
EB	0,3231	0,0827	3,9076	9,32E-005
lnIPV	0,1759	0,0499	3,5266	0,0004210
P (Rho)	0,3039	0,0690	4,4061	1,05E-005

A variável ρ (*Rho*) representa o coeficiente autorregressivo espacial o qual se mostra fortemente significativo, indicando a existência de forte autocorrelação espacial. Isto reforça a importância da aplicação dos testes focados para a adequada especificação dos modelos de regressão espacial. O fato de ρ (*Rho*) ser positivo indica que quando o valor da variável dependente nos 8 vizinhos mais próximos é elevado o valor do imóvel também é elevado.

De acordo com o Teste de Jarque Bera os resíduos do modelo apresentam distribuição normal. E considerando o teste de Breusch-Pagau o qual apresentou valor $p=0,05315$ os resíduos do modelo não apresentam problemas de heterocedasticidade, ou seja, o coeficiente autorregressivo espacial foi capaz de corrigir a heterocedasticidade apresentada pelo modelo 2.1.

4.3 Avaliação de Desempenho dos Modelos Qualidade do Ajuste

Na Tabela 6 é mostrado um comparativo entre os parâmetros de qualidade do ajuste dos modelos de regressão avaliados. Nele percebe-se o modelo obtido pela econometria tradicional obteve um melhor ajuste que o modelo econométrico espacial.

Tabela 6: Comparativo entre os modelos por meio do Critério de Informação de Akaike e Schwartz.

Modelos	AIC	SC
1.1	167,09	191,40
SAR	190,25	211,80

O fato do modelo 1.1 ter obtido um ajuste melhor que o modelo SAR significa que tanto os MCRL utilizando variáveis relacionadas à localização quanto os modelos de regressão espacial podem ser opções para modelar a dependência espacial presente nos mercados de terras rurais.

Outro fato importante é que nem sempre as variáveis relacionadas à localização podem estar disponíveis (como no caso do modelo 1.1) ou mesmo que estejam disponíveis podem não conseguir capturar toda a autocorrelação presente na região. Nestes casos os modelos de regressão espacial são um importante recurso à disposição dos profissionais, por isso torna-se importante saber utilizá-los. A seguir serão apresentadas

as interpretações dos modelos que obtiveram os melhores ajustes: Modelo 1.1 e o modelo SAR.

Em condições *ceteris paribus* a interpretação do modelo 1.1 é mostrada a seguir:

$$VTI/ha = 10.518,71 * 0,9732334^{DN} * 1,002821^{DE} * 1,943728^{NE} * AT^{-0,5015347} * 1,216986^{EB} * 1,006412^{LCR} * 4,083526^{DH} * IPV^{0,154184259} * \epsilon$$

O valor médio do hectare no município de Petrolina é de R\$ 10.518,71;

A cada 1km em direção ao norte o valor do hectare diminui 2,67%;

A cada 1km em direção a oeste o valor do hectare aumenta 0,28%;

Os dados das ofertas são 94,37% maiores que os dados de negócios realizados;

O aumento da área em 10% provoca redução no valor do hectare em 5,01%;

A cada aumento do estado de conservação das benfeitorias o valor do hectare aumenta 21,69%;

O aumento de 1 metro no limite confrontante com o rio provoca aumento de 0,64% no valor do hectare;

A disponibilidade hídrica para irrigação provoca aumento de 308,35% no valor do hectare;

O aumento do Índice de Produção Vegetal em 10% provoca aumento de 1,54% no valor do hectare.

Em condições *ceteris paribus* a interpretação do modelo SAR é mostrada a seguir:

$$VTI/ha = 708,4143 * 1,355106 W_1 VTI/ha * 2,449472^{NE} * AT^{-0,6973065} * AIR^{0,1317411} * 1,010587^{CMR} * 1,381345^{EB} * IPV^{0,1758903} * \epsilon$$

O valor médio do hectare no município de Petrolina é de R\$ 708,41. Chama a atenção que este valor seja bastante diferente do obtido no modelo 1.1.

Isto se deve ao fato de que neste modelo tal valor também é influenciado pelo coeficiente autorregressivo espacial $\rho=1,355106$ o qual é positivo, indicando que

quando o valor do VTI/ha dos 8 vizinhos mais próximos $W_1 VTI/ha$ aumenta, o valor do VTI/ha do imóvel avaliado também aumenta;

Os dados das ofertas são 144% maiores que os dados de negócios realizados;

O aumento da área em 10% provoca redução no valor do hectare em 6,97%;

O aumento de 10% na área irrigada provoca aumento no valor do hectare em torno de 1,31%;

O aumento de 1 metro no limite confrontante com o rio provoca aumento de 1,05% no valor do hectare;

O aumento de uma unidade no Estado de Conservação das benfeitorias aumenta 38,13% no valor do hectare; O aumento do Índice de Produção Vegetal em 10% provoca aumento de 1,75% no valor do hectare.

Chama a atenção o coeficiente que a variável Natureza do Evento apresentou em ambos os modelos. No Modelo 1.1 as ofertas são 87% maiores que os negócios realizados e no Modelo SAR as ofertas são 144% maiores que os negócios realizados. Isto se deve ao fato que os dados caracterizados como ofertas estão concentrados às margens do Rio São Francisco, e tratam-se de imóveis em transição de uma aptidão rural para a criação de chácaras de lazer ou ainda a implantação de condomínios nas margens do rio. Devido a isso, existe uma expectativa de valorização dos preços dos imóveis situados nesta região. Isto faz com que a diferença entre os imóveis ofertados quando comparados com os negócios realizados que estão distribuídos em toda a área de estudos chegue aos níveis inicialmente comentados. Este acontecimento seria melhor controlado com a coleta de dados oriundos de ofertas de forma melhor distribuída nas regiões do município com isso, o coeficiente refletiria melhor a influência desta variável em toda a região analisada.

4.4 Avaliação de Desempenho

A amostra utilizada para avaliação de desempenho corresponde a 23,8% do total de observações, na Figura 6 é possível observar a sua distribuição espacial.

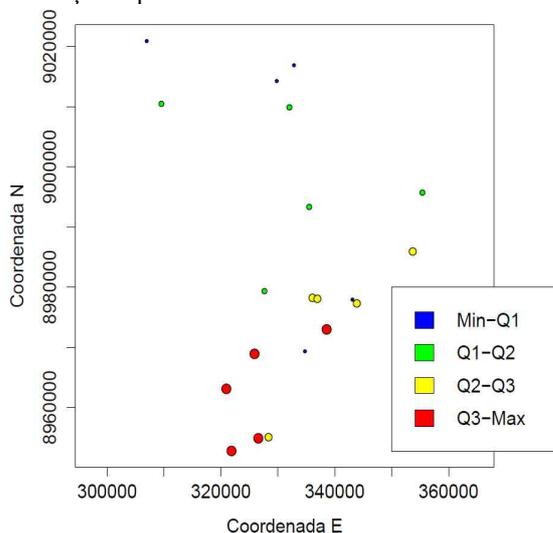


Figura 6: Distribuição espacial das observações que compõem a amostra de verificação utilizada na avaliação de desempenho dos modelos.

Esta amostra foi utilizada para o cálculo dos parâmetros definidos pela Standard on Ratio Studies (IAAO, 2013) a saber: Mediana das razões, Coeficiente de Dispersão (CD) e Diferencial Relativo ao Preço (PRD). Os resultados foram discutidos levando-se em consideração os parâmetros de referência para avaliação do desempenho.

Os resultados podem ser visualizados na Tabela 7. Com relação à Mediana das Razões os modelos 1.1 e SAR ficaram dentro dos limites estabelecidos pela norma indicando que o nível geral

das avaliações está adequado enquanto que o Modelo 2.1 ficou acima dos limites de referência.

Com relação ao CD todos os modelos se mostraram com uma dispersão elevada quando se analisa toda área de estudo. Provavelmente isto se deve ao fato dos modelos contemplarem regiões muito diferentes como a região de sequeiro e a região dos projetos de irrigação. Apesar disso, o modelo 1.1 foi o que apresentou o menor CD ou seja, foi mais eficiente para controlar a dispersão dos dados.

Com relação ao PRD observa-se que todos os modelos se mostraram com valores pouco acima mas próximos dos níveis de referência, indicando haver pouca regressividade, sendo que o modelo 1.1 foi o que obteve o valor mais próximo dos limites de referência.

Tabela 7: Parâmetros de avaliação de desempenho dos modelos.

	Mediana das Razões	CD (%)	PRD
Recomendado	Entre 0,9 e 1,1	<20,0%	Entre 0,98 e 1,03
Modelo 1.1	1,1	50,1	1,12
Modelo SAR	1,0	79,9	1,43

Avalia-se que o Modelo 1.1 apresentou o melhor desempenho entre os analisados, seguido pelo Modelo SAR, o que corrobora as informações obtidas na avaliação da qualidade do ajuste mostrada na Tabela 6.

A importância da realização da avaliação de desempenho é que ela é capaz de indicar quais aspectos do modelo devem receber maior atenção e assim por meio das correções é possível construir modelos mais eficientes. Nos modelos em análise, o principal aspecto a ser aperfeiçoado é o coeficiente de dispersão elevado. Provavelmente com a subdivisão do município em duas regiões (por exemplo região de sequeiro e região dos projetos de irrigação) e a construção de modelos específicos para cada região seja possível enquadrar os modelos dentro dos limites definidos pela norma. A indisponibilidade de uma quantidade maior de dados na região de sequeiro impossibilitou a adoção desta providência.

4.5 Elaboração da Planta de Valores Genéricos

Nesta etapa foi utilizado o conjunto de dados obtidos em campo para elaborar as superfícies de preços do município de Petrolina. Este conjunto conta com 84 observações.

Nesta etapa foi utilizada novamente a geoestatística. Primeiramente foi realizada a modelagem dos semivariogramas teóricos os quais forneceram os parâmetros necessários para que em seguida fosse utilizado o interpolador da Krigagem Ordinária possibilitando assim elaborar a superfície de preços de terras.

4.6 Modelagem Geoestatística

Primeiramente foi construído o

semivariograma experimental o qual contou com 26 pontos num espaçamento de aproximadamente 1,1km e considerando 60% da distância máxima entre pontos o que correspondeu a 44km. Todos os pontos foram calculados a partir de no mínimo 51 pares de pontos, bem acima do mínimo recomendado que é 32 pares.

Após o cálculo do semivariograma experimental foram ajustados modelos teóricos de semivariogramas cujos parâmetros de ajuste encontram-se apresentados na Tabela 8. O alcance variou de 30 a 32km e o Efeito Pepita Relativo (EPR) indicou que há forte dependência espacial.

Tabela 8: Parâmetros dos semivariogramas teóricos ajustados pelo método dos mínimos quadrados para 84 observações dos dados originais.

Modelo	ϕ_1	ϕ_2	$\phi_1+\phi_2$	$\phi_3=g(a)$	a	EPR
Esférico	0	1,62	1,62	30,46	30,46	0
Exponencial	0	1,67	1,67	10,72	32,11	0

ϕ_1 : efeito pepita; ϕ_2 : contribuição; $\phi_3=g(a)$: função do alcance; a: alcance (km); $EPR=\phi_1/(\phi_1+\phi_2)$: efeito pepita relativo.

Dando prosseguimento à análise, foi realizada a validação cruzada dos modelos teóricos anteriormente ajustados cujos resultados encontram-se expostos na Tabela 10. Segundo Faraco (2008), o melhor modelo ajustado será aquele que apresentar os menores Erro Médio e Erro Médio Reduzido, Desvio padrão do erro médio menor possível, Desvio padrão do erro reduzido mais próximo de 1 e Erro Absoluto menor possível. A análise dos parâmetros permite afirmar que o modelo exponencial foi o que obteve o melhor ajuste. Na Figura 7 encontra-se a representação do referido modelo teórico.

A partir do melhor modelo teórico ajustado, seus parâmetros de ajuste foram utilizados para gerar a superfície de preços de terras do município de Petrolina, bem como a superfície do desvio padrão da krigagem ordinária, os quais podem ser visualizados na Figura 9. Da observação da figura do lado esquerdo percebe-se como a krigagem conseguiu representar a variação de preços que ocorre no município de Petrolina com os valores mais altos situados na parte sul, próximo ao Rio São Francisco e à medida que se avança para o norte ocorre uma significativa redução dos preços a qual é reflexo da indisponibilidade hídrica para o desenvolvimento da agricultura irrigada.

O mapa do desvio padrão da krigagem mostra que o erro de estimativa foi menor nas proximidades de onde houve pontos amostrados e cresce à medida que afasta-se destes pontos. Como na região de sequeiro houve maior dificuldade de obter observações de

Tabela 10: Parâmetros para escolha dos modelos ajustados.

Modelos	Erro Médio	Erro Médio Reduzido	Desvio padrão do erro médio	Desvio padrão do erro reduzido	Erro absoluto
Esférico	0,0060	1,6014	-0,0141	4,0054	100,8695
Exponencial	0,0070	1,5858	-0,0079	2,8873	99,1512

mercado, refletindo-se numa menor densidade de amostragem, observa-se que é nesta região que também o erro de estimativa é maior. Isto reforça a importância de que haja uma boa espacialização dos dados amostrais com o objetivo de diminuir o erro de estimativa em toda a região de abrangência da superfície de preços.

4.7 Avaliação do Desempenho da Krigagem Ordinária.

A estimativa da REMQ Tabela 9 foi obtida a partir das 20 observações da amostra de avaliação sendo VTI/ha_{real} o valor da transacionado e o $VTI/ha_{estimado}$ obtido por meio da krigagem ordinária.

Tabela 9: Estimativa da Raiz do Erro Médio Quadrático no VTI/ha dos vinte pontos de verificação.

Superfícies de preços	REMQ RS/ha
Dados originais (84 obs.)	18.301,40

Ressalta-se que o valor obtido para a REMQ é elevado e mostra a limitação da utilização da PVG para a realização de avaliações pontuais. Isto se deve ao fato que a base cartográfica disponível para a elaboração da PVG estava na escala 1:250.000. Sendo assim, a principal indicação das PVG rurais é de indicar as faixas de preços nas diferentes regiões do município.

Além disso, destaca-se que a PVG foi gerada a partir da interpolação apenas da variável dependente nas diferentes localizações. Entretanto, os modelos mostram que o valor da variável dependente é controlado tanto pelas suas coordenadas quanto por uma série de variáveis como a disponibilidade hídrica, a área, o índice de produção vegetal entre outras. Isto reforça a ideia de que quando for necessário realizar a avaliação de um imóvel especificamente o ideal é utilizar o modelo, e a PVG será capaz de fornecer uma ideia geral dos preços numa determinada região. Trata-se portanto de dois produtos com diferentes aplicações. Sendo assim, na Figura 8 pode-se visualizar a PVG do município de Petrolina.

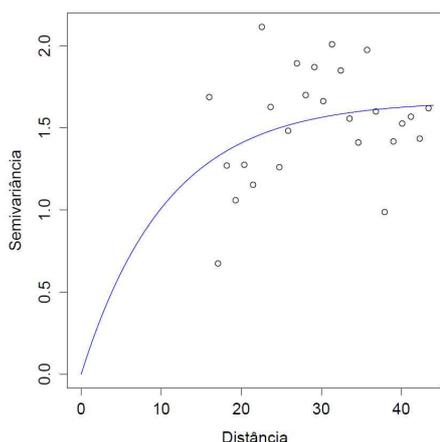


Figura 7: Semivariograma teórico, modelo exponencial, ajustado para 84 observações dos dados originais, a distância é dada em quilômetros.

Da mesma forma como observado por Marques et al. (2012) percebe-se que a interpolação por krigagem ordinária permitiu a observação de fatores que podem influenciar diretamente na definição dos parâmetros da modelagem tais como a disposição dos elementos na área, a proximidade entre eles e o tamanho da amostra, permitindo assim uma melhor estimativa dos valores que compõem a PVG.

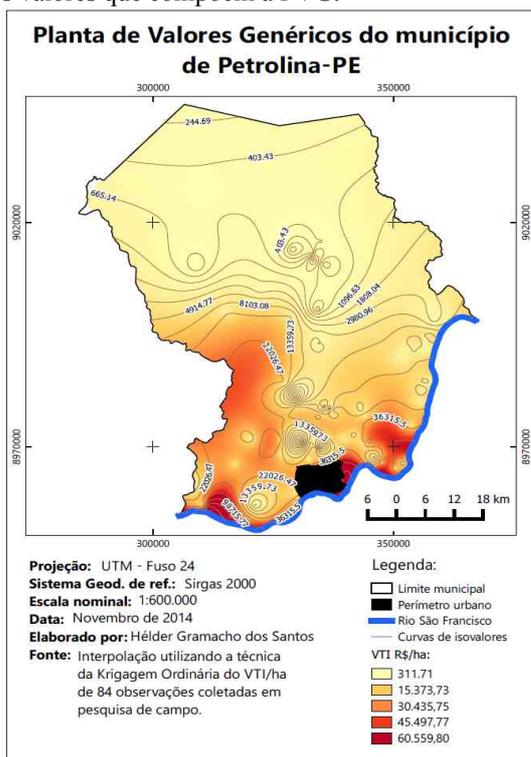


Figura 8: Planta de Valores Genéricos do município de Petrolina-PE.

A disponibilização das PVG num ambiente SIG permite a sobreposição de diferentes camadas de informações como as principais localidades municipais, rodovias e principalmente os limites dos imóveis, quando disponíveis. Se pensarmos nos dois principais cadastros, o Cadastro Ambiental Rural e o Cadastro Nacional de Imóveis Rurais, a sobreposição destas

informações à PVG se torna um importante instrumento de planejamento e de fiscalização em vários níveis de atuação.

Outro aspecto importante se refere ao fato que a PVG é um instrumento de justiça fiscal pois permite que a avaliação dos imóveis seja realizada com base nas variações locais dos preços nas diferentes regiões. Isto evita que haja superavaliações o que onera os produtores, e também possibilita aumento de arrecadação para o município pois evita que os imóveis sejam subavaliados.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma metodologia baseada na modelagem da autocorrelação espacial por meio da econometria espacial e da geoestatística para obtenção de modelos e geração de PVG em mercados de terras rurais. Os resultados mostraram que é possível controlar o surgimento da autocorrelação espacial nos resíduos dos modelos tanto pela introdução de variáveis relacionadas à localização nos modelos econométricos tradicionais quanto pela econometria espacial.

Entretanto, a análise da qualidade do ajuste mostrou que o modelo econométrico tradicional obteve um resultado melhor no AIC e SC quando comparado com o modelo econométrico espacial.

A avaliação de desempenho de todos os produtos gerados representa uma importante contribuição para os mercados de terras rurais. Além da avaliação da qualidade do ajuste, também foi realizada a avaliação de desempenho dos modelos com base na metodologia estabelecida pela IAAO, (2013) e neste aspecto, merece destaque a utilização de pontos de validação do modelo que não fizeram parte da construção dos mesmos, seguindo a recomendação de diversos autores. Além disso, a utilização de 20 pontos de verificação, o equivalente a 23,8% das observações de trabalho foi importante para que a avaliação de desempenho fosse capaz de mostrar a eficiência dos modelos bem como mostrar os pontos que necessitam ser aprimorados.

A avaliação de desempenho analisou o nível geral das avaliações, a dispersão em toda área de estudos e questões de progressividade e regressividade por meio dos respectivos parâmetros Mediana das razões, Coeficiente de Dispersão e o Diferencial Relativo do Preço. No geral, os modelos apresentaram bom nível geral das avaliações e pequena regressividade entretanto, todos eles ficaram fora dos parâmetros estabelecidos pela *Standard on Ratio Studies* (IAAO, 2013) no que se refere ao CD, apresentando portanto elevada dispersão.

Posteriormente à obtenção dos modelos, foi realizada a modelagem geoestatística dos dados originais coletados em campo e finalizando com a krigagem de tais valores. A interpolação deu origem à superfície de preços, a qual também foi submetida à avaliação de desempenho com os dados de validação utilizados na etapa anterior.

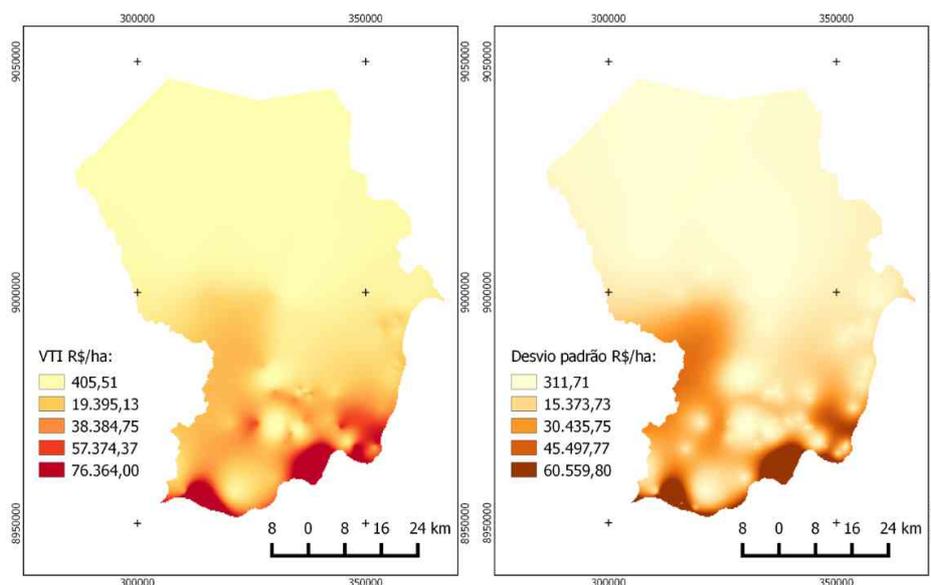


Figura 9: krigagem ordinária (esquerda) e desvio padrão (direita) para as 84 observações coletadas em campo. Os valores do VTI/ha e do desvio padrão estão representados em reais.

A avaliação de desempenho da superfície de preços utilizando o RMSE foi importante para indicar a aplicação da PVG rural. Como a base cartográfica digital obtida para a elaboração da PVG estava na escala 1:250.000 observou-se um RMSE elevado o que torna a PVG imprópria para avaliações pontuais mas adequada para uma indicação geral das faixas de preços nas diferentes regiões do município. À medida em for possível obter bases cartográficas digitais em escalas maiores espera-se um melhor desempenho das PVG rurais.

Diante disso, mostra-se que a metodologia proposta possibilitou a obtenção de um modelo bem como a elaboração da PVG, ambos representativos da realidade dos preços de terras do município de Petrolina. Tais produtos possuem diferentes aplicações, o modelo é indicado para avaliações em massa, pois utiliza as principais variáveis que influenciam os preços das terras no município; enquanto que a PVG serve como indicação geral dos preços nas regiões. Sendo assim, está demonstrado que o objetivo principal de trabalho foi alcançado.

Neste trabalho, a variável dependente utilizada foi o Valor Total do Imóvel/ha entretanto, tal metodologia pode ser aplicada para obter estimativas também do Valor da Terra Nua. Sendo assim, os municípios podem obter a base de cálculo para a cobrança tanto do ITBI quanto do ITR. Ressalta-se que para os município conveniados com a RFB, uma das obrigações é manter atualizados os preços das terras. Acredita-se que a utilização dos valores atualizados destas bases de cálculos pode significar incrementos de arrecadação importantes para o município e a utilização da metodologia proposta confere transparência e justiça fiscal para os contribuintes.

Neste trabalho, em virtude dos dados que estavam disponíveis optou-se por trabalhar com um modelo para representar todo o município. Quando ocorrem diferenças muito grandes entre regiões de um mesmo município, desde que existam dados suficientes,

recomenda-se construir modelos específicos para cada região. Provavelmente isso fará com que ocorra menos dispersão nos resultados de avaliação de desempenho dos modelos.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA pela concessão de licença que proporcionou as condições necessárias para a dedicação integral ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLOGRÁFICAS

ALMEIDA, E. **Econometria espacial aplicada**. Campinas, SP: Editora Alinea, 2012.

ANSELIN, L. **Exploring Spatial Data with Geoda™: A Workbook**. Spatial Analysis Laboratory and Center for Spatially Integrated Social Science (CSISS). Department of Geography, University of Illinois, Urbana-Champaign, 2005.

BENIGNI, M. **Los bienes rurales y el catastro**. Revista de la Red de Expertos Iberoamericanos en Catastro. n. 2, 2008.

BENIGNI, M. **Valuación y Descripción de Parcelas Rústicas. Nuevo Diseño de Valuación**. Revista de la Red de Expertos Iberoamericanos en Catastro, n. 7, 2010.

BONILLA, D. E.; ROBLEDO, E. C.; LÓPEZ, Y. M. A. **Nueva Metodología para el Avalúo de Inmuebles Rurales. Valor Económico por Parcela Rural en San Luis. Análisis para Optimizar su Aplicación**. Revista de la Red de Expertos Iberoamericanos en Catastro, n. 7, 2010.

- BURROUGH, Peter A.; MCDONNELL, Rachael A. **Principles of GIS**. Oxford University Press, London, 1998.
- BRASIL. Constituição (1988). **Constituição nº 8, de 05 de outubro de 1988. Constituição da República Federativa do Brasil**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm>. Acesso em: 08 maio 2013.
- BRASIL, RECEITA FEDERAL DO. **ITR Convênio - Consulta de Optantes pelo Convênio**. Disponível em: <<http://www.receita.fazenda.gov.br/Aplicacoes/ATSDR/TermoITR/default.asp>>. Acessado em 05 out. 2014.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS MUNICÍPIOS (CNM). **Informativo CNM Finanças: Imposto Territorial Rural e os municípios**. Maio de 2012. Disponível em: <http://www.cnm.org.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=562&Itemid=4>. Acesso em: 19 set. 2012.
- DANTAS, R. A. (2005). **Engenharia de Avaliações: uma introdução à metodologia científica**, Pini, São Paulo.
- QGIS Development Team, 2014. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.
- HORNBURG, R. A.; HOCHHEIM, N. **Elaboração de planta de valores genéricos com uso combinado de regressão espacial e krigagem**. In: XV Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias. São Paulo, 2009.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ASSESSING OFFICERS (IAAO). **Standard on ratio studies**. Kansas City: IAAO, 2013.
- MARQUES, A. P. da S. et al. **Aplicação do interpolador krigagem ordinária para a elaboração de planta de valores genéricos**. Revista Brasileira de Cartografia, [s. L.], v. 2, n. 64, p.175-186, abr. 2012.
- OLIVEIRA, T. A. M.. **Imposto Territorial Rural: um Estudo Econômico sobre a Descentralização da Cobrança**. 2010. 135 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós Graduação em Desenvolvimento Econômico, Instituto de Economia, Unicamp, Campinas, 2010.
- R Development Core Team (2013). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- SILVA, J. A. M.; NALI, L. R.; MAROTE, F. M. M. **Modelagem de dados por regressão linear múltipla para avaliação de imóveis rurais do submédio São Francisco**. In: XV Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias, 2009, São Paulo, 2009.
- SILVA, D.; BARRETO, P. **O potencial do Imposto Territorial Rural contra o desmatamento especulativo na Amazônia**. Belém: Imazon, 2014. 48 p.
- TRIVELLONI, C. A. P.. **Método para determinação do valor da localização com uso de técnicas inferenciais e geoestatísticas**. 2005. 172 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- 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.