

Revista Brasileira de Cartografia (2016), N^o 68/4, Edição Especial Geoinformação e Análise Espacial: 759-777
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

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,
Lucilene Antunes Correia Marques de Sá² & José Luiz Portugal²**

¹Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA
Superintendências Regionais do Estado da Bahia (SR-05) e do Médio São Francisco (SR-29)
Av. Ulisses Guimarães, 640 - 1^o 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 - 2^o andar - Cidade Universitária - Recife, PE - CEP: 50740-530, Brasil
joseluiz.portugal@gmail.com; lacms@ufpe.br

Recebido em 18 de Agosto, 2015/ Aceito em 23 de Fevereiro, 2016
Received on August 18, 2015/ Accepted on February 23, 2016

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 desta pesquisa 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, Pernambuco, onde foram coletadas 104 amostras de mercado georreferenciadas. A amostra da pesquisa 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

Geostatistics and spatial econometrics are techniques that have been used with satisfactory results in the modeling spatial effects present in real estate markets. Although such effects act upon, indiscriminately, both urban and rural areas, in Brazil, studies have focused on urban areas. In addition, the evaluation of rural registers of cities in the Bra-

zilian is less developed when compared with the countries of Europe and other South American. 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 commerce, and also the generation mapping of land prices, proposing a methodology that is applicable to the reality of Brazil. The methodology was to investigate the effect that the spatial autocorrelation on the classical linear regression models (MCRL), modeling these effects through the spatial econometrics and geostatistics, evaluating the performance of MCRL, comparing them with spatial models and producing maps of land prices by kriging. The study area was the city of Petrolina, Pernambuco, where were collected 104 samples of georeferenced market. The work sample consisted of 84 observations and the checking consisted of 20 observations. The results showed that the spatial autocorrelation can have its effects controlled both by traditional econometrics as well as by 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 maps of land price markets. The models are suitable for evaluation of the properties themselves, while in range of the function of the cartographic base available for the generation of the maps of land prices. 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 áreas urbanas quanto rurais, no Brasil, os estudos que buscam a modelagem destes efeitos tem se concentrado nas áreas urbanas (MICHAEL, 2004; TRIVELLONI, 2005; HORNBERG, 2009; DANTAS *et al.*, 2006; DALAQUA *et al.*, 2010; MARQUES *et al.*, 2012; FLORENCIO, 2012; MALAMAN *et al.*, 2014).

O Brasil possui dois impostos que incidem sobre os imóveis rurais: o ITBI – Imposto sobre a Transmissão de Bens Imóveis e de direitos a eles relativos e o ITR – Imposto Territorial Rural. 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 – Produto Interno Bruto é significativo. Como exemplo 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. Além disso, o potencial de arrecadação do ITR no Pará seria 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”. 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 – Sistemas de Informação Geográfica; estimativas de áreas plantadas são obtidas a partir de imagens de satélite de alta resolução; índices de vegetação determinam o rendimento potencial das culturas; informações georreferenciadas em campo são adquiridas para inserção no banco de dados; são obtidas séries históricas de preços das diferentes atividades objetivando 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 SRF – 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 sido 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% entre 2008 e 2011 e Jataí-GO, que aumentou sua arrecadação em 674% entre 2008 e 2011, mostram ser vantajoso o convênio com a União. Atualmente, segundo informações da RFB – Receita Federal do Brasil (BRASIL, 2014) apenas 35% dos 5.565 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. Os 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%. Oliveira (2010) também afirma que, o CTM – Cadastro Territorial Multifinalitário tem importante papel nesta descentralização e pode-se esperar que a manutenção das informações fidedignas com a situação de fato, além do consequente aumento da arrecadação do ITR. A implementação da descentralização deve ser tratada em função das características dos municípios. Entretanto, os 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 (2004) “*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 PVG pela metodologia tradicional, que corresponde aos 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 não se leva em consideração a influência dos efeitos espaciais e é dado pela Equação 1:

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

onde:

Y = vetor n por 1 de observações sobre a variável dependente;

X = 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 = vetor n por 1 de termos de erro aleatório, com média zero e variância constante; e

I_n = 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.

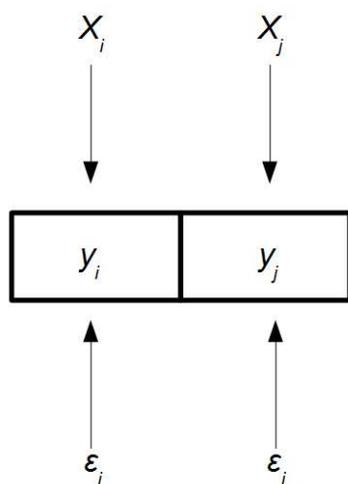


Fig. 1 - Processo a-espacial. Fonte: Almeida (2012).

2.1 Modelo de Defasagem Espacial

Também conhecido como *Spatial Auto Regressive (SAR)*, trata-se de um modelo econométrico que envolve a incorporação de defasagens espaciais ao modelo expresso na Equação 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.

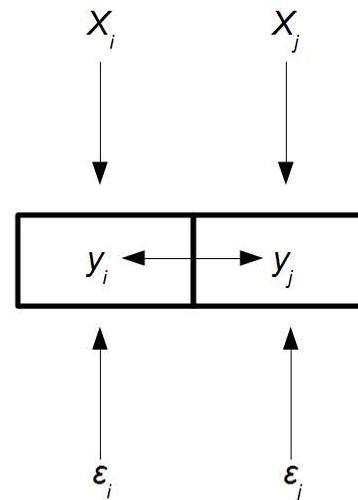


Fig. 2 - Processo de defasagem espacial. Fonte: Almeida (2012).

O modelo SAR puro pode ser expresso pela Equação 2:

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

onde:

$W y$ = vetor n por 1 de defasagens espaciais para a variável dependente; e

ρ = coeficiente autorregressivo espacial.

O coeficiente ρ é um indicador de autocorrelação positiva (negativa) caso ρ seja positivo (negativo). Caso este não seja estatisticamente significativo, indica que o coeficiente é zero, logo não existe autocorrelação espacial.

Quando o mesmo inclui o conjunto de variáveis explicativas exógenas X , obtém-se o modelo misto do modelo SAR, Equação 3:

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

onde:

X = 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 em uma determinada região seja determinado pela média dos valores da variável dependente observados na vizinhança (Wy), pelos valores das variáveis explicativas exógenas (X) e ainda influenciados aleatoriamente por um termo de erro (ϵ).

2.2 Modelo de Erro Autorregressivo Espacial

Também chamado de *Spatial Error Model (SEM)*, este também se caracteriza 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, Figura 3, mostra que além da relação de contiguidade entre as regiões i e j , está presente uma interação espacial por meio do erro.

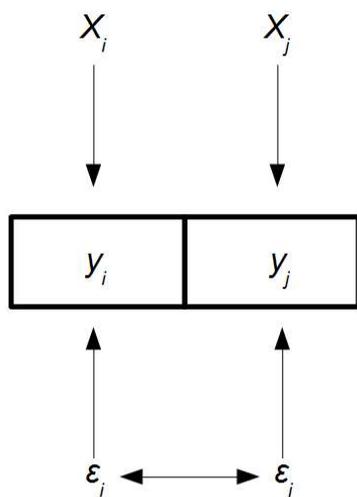


Fig. 3 - Processo de erro autorregressivo espacial. Fonte: Almeida (2012).

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 pelas equações 4 e 5:

$$y = X\beta + \xi \tag{3}$$

$$\xi = \lambda W\xi + \epsilon \text{ com } \epsilon \sim \text{Normal}(0, \sigma^2 I_n) \tag{4}$$

onde:

λ = coeficiente cujo parâmetro é 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 ou tempo, com base em valores adjacentes quando considerados interdependentes pela análise do variograma (YAMAMOTO & LANDIM, 2013). Ainda segundo os autores quando comparada com os métodos tradicionais de estimativa por médias ponderadas ou por médias móveis, a principal vantagem da Krigagem é proporcionar estimativas não tendenciosas e a mínima variância associada ao valor estimado.

Para maior aprofundamento nessa temática recomenda-se Burrough e MacDonnell (1998).

2.4 Avaliação de Desempenho

A avaliação de desempenho tem por finalidade aferir 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. A análise é realizada por meio de indicadores estatísticos, citando-se os utilizados nessa pesquisa:

2.4.1 Critérios de Informação de Akaike (AIC) e de Schwartz (SC)

Almeida (2012) recomenda que quando da utilização da estimação por MV – Máxima Verossimilhança que seja feita a combinação do valor da função de verossimilhança (LIK) com os AIC e de 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 (equações 6 e 7):

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

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

onde:

k = número de variáveis utilizadas no modelo; e
 n = número de observações utilizadas.

2.4.2 Razões de Avaliação

As medidas de performance global da avaliação se referem ao quociente ou razões (r) entre os valores avaliados (va) e os preços de venda (pv) que é dado na Equação 8:

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

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).

2.4.3 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, geralmente é a medida preferida

para estimar o nível geral das avaliações, determinar prioridades de reavaliação ou avaliar a necessidade de reavaliação (IAAO, 2013).

2.4.4 CD – Coeficiente de Dispersão

A uniformidade das avaliações se refere ao grau em que as propriedades são avaliadas em igual percentual dos valores de mercado (IAAO, 2013). O 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. O CD é referido como uma medida de dispersão horizontal. CD proporciona informação percentual sobre a uniformidade da avaliação dos imóveis em toda a área de estudo.

2.4.5. PRD – Price Related Differential ou Diferencial Relativo ao Preço

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.

2.4.6 REMQ – Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático

Para avaliação de desempenho das superfícies de preços de terras foi utilizada a REMQ como proposto por Marques *et al.* (2012) e Xavier *et al.* (2010) por meio da Equação 9.

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

$VTI/ha_{estimado}$ - Valor total do imóvel por hectare estimado pelo modelo.

VTI/ha_{real} - Valor total do imóvel por hectare obtido na pesquisa de mercado.

n = número de observações.

2.5 Avaliação de Imóveis e Elaboração de Plantas de Valores Genéricos

Na Tabela 1 são apresentados os principais trabalhos envolvendo imóveis rurais ao longo dos últimos anos, as técnicas envolvidas e os principais resultados alcançados. Nela percebe-se que a combinação de técnicas para obtenção

de modelos e para a geração de superfícies interpoladas é o mais comum nos trabalhos. Enquanto que no Brasil os trabalhos combinam MCRL com a Análise de Superfície de Tendência (AST), trabalhos mais recentes realizados na Alemanha combinam MCRL com técnicas de modelagem de efeitos espaciais.

Tabela 1: Trabalhos recentes envolvendo avaliação de imóveis rurais

Autor(es)	Ano	Técnicas	Resultados
Resener	2005	MCRL+Superfície de tendência até 4ª ordem.	Realizaram avaliação em massa de imóveis atingidos por inundação.
Machado	2006	Regressão Múltipla + AST para gerar a PVG	Elaboraram a PVG de Chapecó-SC.
Lourival <i>et al.</i>	2008	Regressão múltipla	Analysaram o comportamento das variáveis que influenciam o valor o valor da terra no Pantanal Sul-mato-grossense.
Silva et al.	2009	Regressão múltipla	Obtiveram modelo para avaliação de imóveis rurais no Submédio São Francisco.
Oliveira	2010	Simulação de Preços	Avaliaram a viabilidade da realização do convênio entre RFB e municípios.
Sunak e Madlener	2012	Regressão múltipla + Análise de <i>intervisibilidade</i> + Regressão Geograficamente Ponderada (heterogeneidade espacial)	Avaliaram o impacto provocado pela implantação de projetos de energia eólica na região da Renânia do Norte (Vestefália, Alemanha) sobre os preços das terras
Feichtinger e Salhofer	2013	Regressão múltipla + Modelo espacial geral (SAR + SEM)	Identificaram os fatores que influenciam os preços das terras agrícolas na Bavária, utilizaram um conjunto extenso de dados de mercado composto por 7300 negócios realizados entre 2001 e 2007.

Sunak e Madlener (2012) avaliaram o impacto provocado pela implantação de projetos de energia eólica na Vestefália (Alemanha) sobre os preços das terras. Utilizaram um modelo de precificação hedônico, em conjunto com efeitos espaciais fixos, análise de intervisibilidade e um modelo de Regressão Geograficamente Ponderada para lidar com a heterogeneidade espacial. Seus resultados mostraram que a proximidade, medida pela distância inversa para a turbina eólica mais próxima, provoca impactos negativos significativos sobre os valores de propriedades vizinhas.

Feichtinger e Salhofer (2013) realizaram uma análise espacial dos preços de terras na Bavária (Alemanha). Utilizaram um conjunto extenso de dados de mercado composto por 7300 negócios realizados entre 2001 e 2007 com o objetivo de identificar os fatores que influenciam os preços das terras agrícolas. Aplicaram o modelo espacial geral, o qual combina o modelo de defasagem espacial e um modelo de erro espacial, em conjunto com outras variáveis explicativas. Verificaram a existência

de forte influência de fatores agrícolas, como a produtividade da terra, variáveis que descrevem a estrutura regional do mercado de terras e de fatores não-agrícolas, tais como a pressão urbana sobre os preços das terras. Encontraram também influência positiva sobre os preços provocada pelo pagamentos de apoios governamentais aos produtores. Foram observadas fortes relações espaciais no conjunto dos dados e de acordo com os autores, quando os preços dos vizinhos aumentam 1%, provocam o aumento do preço de um área específica na ordem de 0,24%.

Com o objetivo de nortear a definição da metodologia, foi feita uma compilação dos principais trabalhos que envolveram a elaboração de PVG ou a geração de superfícies de preços no Brasil. O resultado está apresentado na Tabela 2. De forma geral, podemos afirmar que os trabalhos se concentraram em áreas urbanas, sendo apenas 2 em áreas rurais. Baseado nisso, percebe-se que os trabalhos envolvendo imóveis urbanos apresentam maior desenvolvimento que os realizados em áreas rurais pois desde os primeiros trabalhos existe a preocupação em

realizar a modelagem da dependência espacial por meio da geoestatística.

Para geração de superfícies interpoladas, observa-se a utilização da krigagem em substituição à AST utilizada nos primeiros trabalhos. De acordo com Marques *et al.* (2012) a krigagem pode proporcionar mais proximidade às situações reais enfrentadas pelo CTM. Isto se explica pelo fato de que as PVG elaboradas por tal interpolador permitem que os valores das

parcelas possam ser descritos em função das características da região, bem como definidas as zonas de transição dentro de uma mesma parcela. Estes autores avaliaram de forma positiva a combinação da Krigagem ordinária com métodos de classificação para geração de PVG e recomendaram a realização de novos testes, considerando-se novas áreas de estudo e um número maior de elementos amostrais, com o objetivo de realizar a validação desta técnica.

Tabela 2: Compilação das diferentes metodologias propostas para a elaboração de plantas de valores

Autor(es)	Tipo	Nº obs.	Metodologia	Validação/ Nº obs.	Detalhes
Dantas <i>et al.</i> (2003)	Urbana/ apartamentos	147	MCRL + Geoestatística.	Não/0	Usa a superfície gerada pela krigagem dos resíduos para corrigir os valores obtidos pelo MCRL.
Michael, (2004)	Urbana/ apartamentos	186	MCRL+Superfície de tendência até 4ª ordem.	Não/0	Utiliza imóvel paradigma para gerar a PVG para as faces de quadra.
Resener, (2005)	rural	57	MCRL+Superfície de tendência até 4ª ordem.	Não/0	Compara valores obtidos pelo modelo com valores de indenização, identificando supervalorização dos mesmos.
Trivelloni, (2005)	Urbana/ diversos	249 ofertas	Regressão Espacial SEM+krigagem por blocos.	Sim/ 243	Utilizados os dados da modelagem na avaliação de desempenho (norma IAAO).
Dantas <i>et al.</i> (2006)	Urbana/ terrenos	1055	MCRL + Geoestatística.	Não/0	Usa a superfície gerada pela krigagem dos resíduos para corrigir os valores do MCRL e gerar a Planta de Valores Espacial.
Machado, (2006)	rural	47	MCRL+Superfície de tendência até 4ª ordem.	Não/0	Utiliza um imóvel paradigma para gerar uma malha densa de 62.000 pontos a partir da qual é gerada a PVG.
Hornburg, (2009)	Urbana/ terrenos	39 ofertas	Regressão Espacial SAR+krigagem ordinária.	Sim/39	Utiliza 3 imóveis paradigmas para gerar uma malha (não informa nº de pontos) e gerar a PVG. Utiliza os dados da modelagem na avaliação de desempenho (norma IAAO).
Dalaqua <i>et al.</i> (2010)	Urbana/	123	Análise de agrupamento + MCRL	Não/0	Propõe a utilização da análise de <i>clusters</i> para identificar grupos homogêneos e gerar modelos a partir destes. Utiliza métodos indiretos para obter dados em regiões onde não há informação.
Marques <i>et al.</i> (2012)	Urbana/ terrenos	71	MCRL + Geoestatística.	Sim/6	Utiliza a Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (REMQ) para validar a planta de valores.
Malaman <i>et al.</i> (2012)	Urbana/ terrenos	71	MCRL	Sim/6	Compara 6 modelos, utilizando a REMQ.
Malaman <i>et al.</i> (2014)	Urbana/ terrenos	71	Camparação dos MCRL com a Lógica Fuzzy	Sim/6	Utiliza a REMQ para validar os modelos. Propõe que a avaliação do terreno seja feita pelo somatório dos pixel por ele delimitado.

Percebe-se que tanto em áreas urbanas quanto nas rurais há pouca disponibilidade de dados de mercado, isto pode ser um reflexo da falta do CTM implantado e atualizado. A exceção é o trabalho de Dantas *et al.* (2006) que contou com número de observações superior a 1000.

Possivelmente devido à escassez de dados de mercado, poucos trabalhos realizaram a validação dos modelos. Os poucos que o fizeram utilizaram os mesmos dados de mercado usados na modelagem. A exceção são os trabalhos de Marques *et al.* (2012), Malaman *et al.* (2012) e Malaman *et al.* (2014) os quais reservaram pontos de validação que não fizeram parte da modelagem e recomendam que trabalhos futuros

procedam da mesma forma. Dois trabalhos realizaram a avaliação de desempenho com base na *Standard on Ratio Studies* (IAAO, 2013). Três trabalhos utilizaram a REMQ para avaliar o desempenho dos modelos e das PVG geradas.

Sendo assim, buscando trazer uma contribuição relevante para a valoração cadastral rural no Brasil este trabalho incorporou as metodologias mais recentes já testadas em áreas urbanas como a econometria espacial e a geoestatística, particularmente o interpolador da krigagem ordinária na geração de modelos representativos de um determinado mercado, bem como da geração de PVG. Além disso, seguiu a recomendação de diversos autores para

a realização da avaliação de desempenho dos produtos obtidos utilizando dados de mercado que não fizeram parte da modelagem e num quantitativo representativo em relação ao total de dados utilizados. Estas informações serão descritas em maiores detalhes na etapa a seguir.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no município de Petrolina, Pernambuco, cuja sede tem como ponto central as 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 o coloca como o maior produtor de frutas do País, segundo IBGE (2013).

Em Petrolina, 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 espacializados nas diferentes regiões do Município, razão pela qual foi escolhido como área de estudo.

As observações de mercado coletadas foram 104, 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 caracterizadas como transações. As 20 observações utilizadas para avaliação de desempenho 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.

Na sua integralidade, a pesquisa 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, foram executados 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;

c. Análise dos resíduos, com a finalidade de atender aos pressupostos do modelo clássico de regressão (inexistência de autocorrelação e homogeneidade espacial);

d. 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;

e. 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 SRS – *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 REMQ; obtenção da Planta de Valores Genéricos das terras agrícolas municipais.

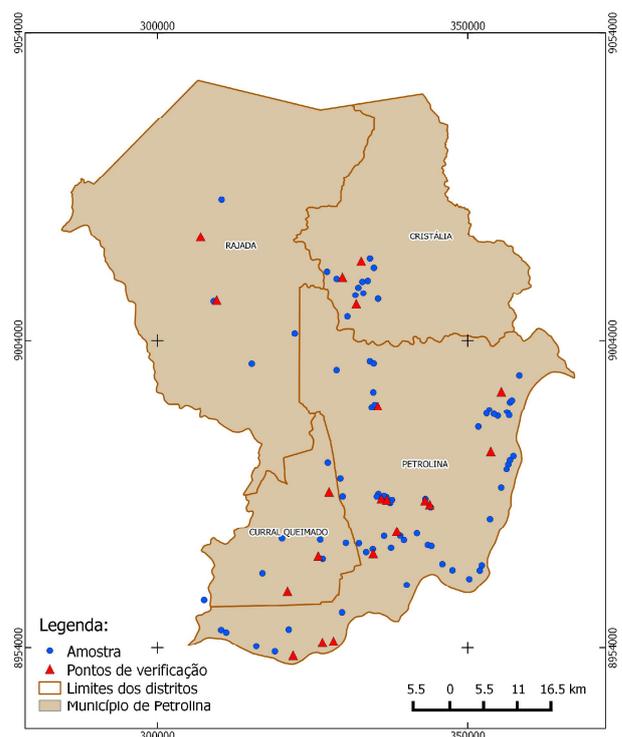


Fig. 4 – Distribuição espacial da amostra de trabalho e da amostra de verificação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta etapa do trabalho foi dividida em 7 subitens nos quais são discutidos os resultados desde a análise exploratória, passando pela modelagem espacial dos preços das terras e

finalizando com a geração da superfície de preços. Destaca-se também a avaliação de desempenho tanto dos modelos quanto das superfícies de preços de terras, etapa fundamental para obtenção dos produtos definidos nos objetivos deste trabalho.

4.1 Análise Exploratória

A variável dependente foi o VTI/ha – Valor Total do Imóvel por hectare, 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 seguintes, que poderiam explicar a variação dos preços:

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

NE: natureza do evento (dicotômica) que recebe o valor zero, caso 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 se 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 et al. (2009).

4.2 Modelagem da Autocorrelação Espacial

Esta etapa compreendeu a busca pela construção de um modelo representativo do mercado de terras de Petrolina. A partir deste ponto são apresentadas 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 3 e Tabela 4.

Tabela 3: Resultados Gerais do MCRL

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

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 elevado 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.

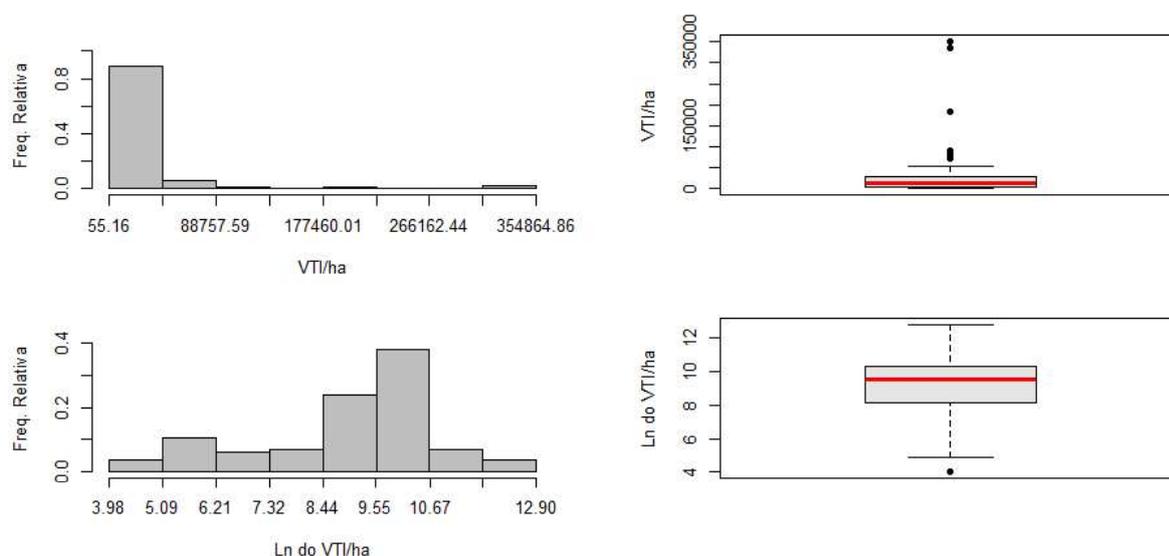


Fig. 5 - Variável dependente na sua escala original e após transformação logarítmica

Tabela 4: Estimativas dos parâmetros, erros-padrão, valor t e valor p do MCRL

	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

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.

A partir desta etapa foi utilizada a econometria espacial com o objetivo de controlar a dependência espacial nos resíduos de um MCRL sem variáveis relacionadas à localização.

As matrizes de pesos espaciais baseadas na vizinhança e na distância foram construídas, 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 5.

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 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.

Tabela 5: Teste I de Moran e significância para as matrizes de ponderação espacial testadas em duas estratégias sobre os resíduos do MCRL

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

Na Tabela 6 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. Tais resultados indicaram a construção do modelo

econométrico espacial autorregressivo mais conhecido como SAR.

Tabela 6: 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 7. De acordo com Trivelloni (2005), o equivalente ao valor *t-Student* para o método de mínimos quadrados corresponde à estatística *z* nos modelos de regressão por máxima verossimilhança.

Tabela 7: 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
<i>P (Rho)</i>	0,3039	0,0690	4,4061	1,05E-005

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 MCRL.

4.3 Avaliação da Qualidade do Ajuste

Na Tabela 8 é mostrado um comparativo entre os parâmetros de qualidade do ajuste dos modelos de regressão avaliados. No comparativo percebe-se que o modelo obtido pela econometria tradicional obteve um melhor ajuste que o modelo econométrico espacial.

Tabela 8: Comparativo entre os modelos por meio do Critério de Informação de Akaike e Schwartz

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

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.

A variável ρ 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 ser positivo indica que quando o valor da variável dependente nos 8 vizinhos mais próximos é elevado o valor do imóvel também é elevado.

O fato do MCRL 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, 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. Seguem as interpretações dos modelos que obtiveram os melhores ajustes: MCRL e o modelo SAR.

Em condições *ceteris paribus* a interpretação do MCRL é a mostrada:

$$VTI/ha = 10.518,71 \times 0,9732334^{DN} \times 1,002821^{DE} \times 1,943728^{NE} \times AT^{0,5015347} \times 1,216986^{EB} \times 1,006412^{LCR} \times 4,083526^{DH} \times IPV^{0,154184259} \times \epsilon \quad (10)$$

- 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; e
- 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:

$$VTI/ha = 708,4143 \times 1,355106 W_1 VTI/ha \times 2,449472^{NE} \times AT^{-0,6973065} \times AIR^{0,1317411} \times 1,010587^{CMR} \times 1,381345^{EB} \times IPV^{0,1758903} \times \varepsilon \quad (11)$$

- O valor médio do hectare em Petrolina é de R\$708,41. Chama a atenção que este valor seja bastante diferente do obtido no MCRL. 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; e

- 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 MCRL 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 de que os dados caracterizados como ofertas estão concentrados às margens do rio São Francisco, e são imóveis em transição de uma aptidão rural para a criação de chácaras de lazer, ou com potencial para 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.

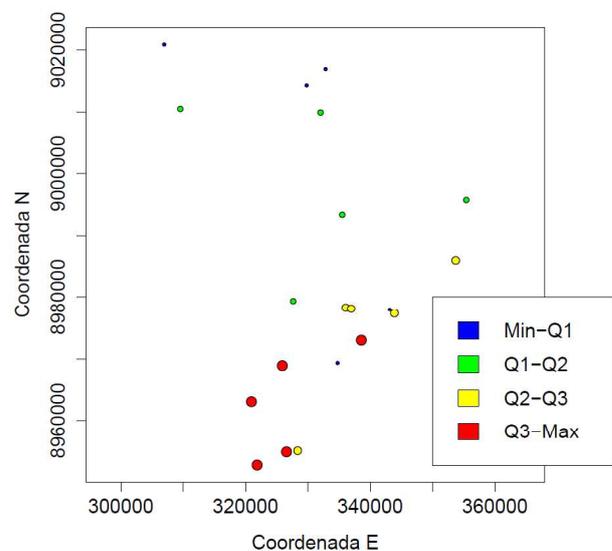


Fig. 6 – Distribuição espacial das observações que compõem a amostra utilizada na avaliação de desempenho dos modelos.

A amostra foi utilizada para o cálculo dos parâmetros definidos pela SRS (IAAO, 2013) a saber: Mediana das razões, CD e PRD. Os resultados foram discutidos levando-se em consideração os parâmetros de referência para avaliação do desempenho.

Os resultados podem ser visualizados na Tabela 9. Com relação à Mediana das Razões o MCRL e o SAR ficaram dentro dos limites estabelecidos pela norma, indicando que o nível geral das avaliações está adequado.

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 MCRL 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 MCRL foi o que obteve o valor mais próximo dos limites de referência.

Tabela 9: 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
MCRL	1,1	50,1	1,12
Modelo SAR	1,0	79,0	1,43

Avalia-se que o MCRL 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 realização da avaliação de desempenho é importante por ser 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 Obtenção da Planta de Valores Genéricos

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

Nesta etapa foi utilizada 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

O semivariograma experimental foi construído e contou com 26 pontos em um 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 10. O alcance variou de 30 a 32km e o EPR – Efeito Pepita Relativo indicou que há forte dependência espacial.

A análise prossegue com a realização da validação cruzada dos modelos teóricos ajustados anteriormente, cujos resultados encontram-se expostos na Tabela 12.

Tabela 10: Parâmetros dos semivariogramas teóricos ajustados pelo método dos mínimos quadrados para 84 observações dos dados originais

Modelo	φ_1	φ_2	$\varphi_1 + \varphi_2$	$\varphi_3 = g(a)$	a	EPR
Esférico	0	1,62	1,62	30,46	30,46	0
Exponencial	0	1,67	1,67	10,72	32,11	0

onde:

φ_1 =efeito pepita;

φ_2 =contribuição;

$\varphi_3 = g(a)$ =função do alcance; **a**: alcance (km); e

EPR= $\varphi_1 / (\varphi_1 + \varphi_2)$ =efeito pepita relativo.

Segundo Faraco (2008), o melhor modelo ajustado será aquele que apresentar os menores EM e EMR, 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, Figura 7.

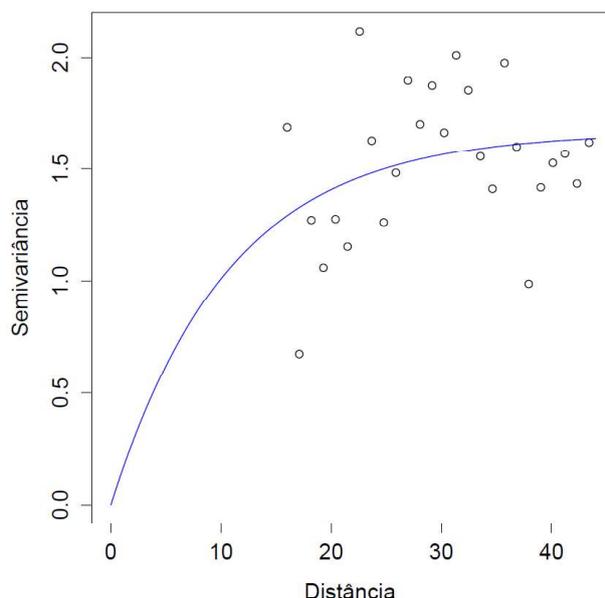


Fig. 7 – Semivariograma teórico, modelo exponencial, ajustado para 84 observações dos dados originais, a distância é dada em quilômetros.

A partir do melhor modelo teórico ajustado, seus parâmetros de ajuste foram utilizados para gerar a superfície de preços de terras em Petrolina, bem como a superfície do desvio padrão da krigagem ordinária, os quais podem ser visualizados na Figura 8. Ao observar a Figura 8, esquerda, percebe-se como a krigagem conseguiu representar a variação de preços que ocorre em Petrolina com os valores mais altos situados na parte Sul, próximo ao rio São Francisco e à medida que avança para o Norte ocorre uma significativa redução dos preços, que 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 em que se afasta. Como na região de sequeiro houve maior dificuldade de obter observações de mercado, refletindo-se numa menor densidade de amostragem, observa-se que 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 11, 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 11: Estimativa da Raiz do Erro Médio Quadrático no VTI/ha dos 20 pontos de verificação

Superfícies de preços	REMQ R\$/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 está 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 por 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. A PVG será capaz de fornecer uma ideia geral dos preços em uma determinada região. Trata-se, portanto, de dois produtos com diferentes aplicações. Sendo assim, na Figura 9 pode-se visualizar a PVG de Petrolina.

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.

Tabela 12: 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

A disponibilização das PVG em um ambiente SIG permite a sobreposição de diferentes camadas de informações como as principais localidades municipais, rodovias e principalmente os limites dos imóveis, quando disponíveis.

A sobreposição das informações dos dois principais cadastros, o CNIR – Cadastro Nacional de Imóveis Rurais e o Cadastro Ambiental Rural à PVG torna-se um importante instrumento de planejamento e de fiscalização.

o município, pois evita que os imóveis sejam subavaliados.

5. CONCLUSÕES

A pesquisa 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 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, CD e o Diferencial Relativo do Preço. No geral, os modelos apresentaram bom nível geral das avaliações e pequena regressividade. Entretanto, todos ficaram fora dos parâmetros estabelecidos pela *Standard on Ratio Studies* (IAAO, 2013), no que se refere ao CD, apresentando elevada dispersão.

Após obtenção dos modelos foi realizada a modelagem Geoestatística dos dados originais coletados 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.

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 está na escala 1:250.000 observou-se um RMSE elevado, o que torna a PVG imprópria para avaliações pontuais. A PVG deve ser utilizada apenas para indicação geral das faixas

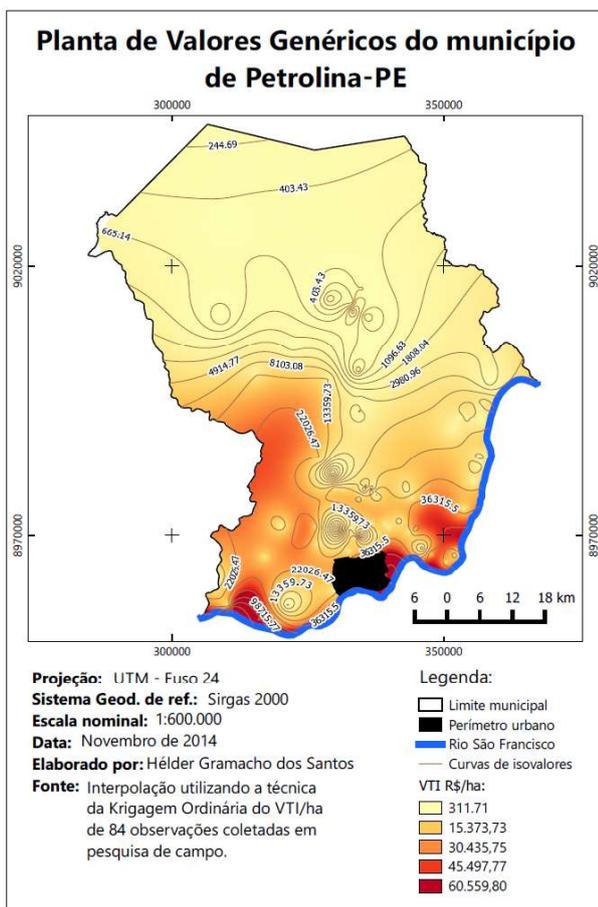


Fig. 9 – Planta de Valores Genéricos de Petrolina.

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

de preços nas diferentes regiões do Município. Quando 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 do modelo, bem como a elaboração da PVG. Ambos representativos da realidade dos preços de terras em 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. A PVG serve como indicação geral dos preços nas regiões. Sendo assim, está demonstrado que o objetivo principal da pesquisa foi alcançado.

A variável dependente utilizada foi o VTI/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 municípios 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 os municípios. A utilização da metodologia proposta confere transparência e justiça fiscal para os contribuintes.

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 menor dispersão nos resultados da 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 BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, E. **Econometria espacial aplicada**. Campinas, São Paulo: Editora Alínea, 2012. 498p.

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. 244p.

AVERBECK, C. E. **Os sistemas de cadastro e planta de valores no município: prejuízos da desatualização**. 2003, 200 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC, 2003.

BENIGNI, M. Los bienes rurales y el catastro. **Revista de la Red de Expertos Iberoamericanos en Catastro**. n. 2, 2008. p26-28.

BENIGNI, M. Valuación y Descripción de Parcelas Rústicas. Nuevo Diseño de Valuación. **Revista de la Red de Expertos Iberoamericanos en Catastro**, n. 7, 2010. p19-25.

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. p13-18.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of GIS**. Oxford University Press, London, 1998. 352p.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil (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.
- DALAQUA, R. R.; AMORIM, A.; FLORES, E. Utilização de métodos combinados de avaliação imobiliária para a elaboração da planta de valores genéricos. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 16, n. 2, p. 232-252, 2010.
- DANTAS, R. A. (2005). **Engenharia de Avaliações: uma introdução à metodologia científica**, Pini, São Paulo. 255p.
- DANTAS, R. A.; SÁ, L. A. C. M.; PORTUGAL, J. L. Elaboração de Planta de Valores sob a Ótica da Inferência Espacial. In: **Anais do XII Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias**. Belo Horizonte/MG. 2003. 1154p.
- DANTAS R. A.; PORTUGAL J. L.; PRADO J. F. Avaliação de cidades por inferência espacial: um estudo de caso para a cidade de Aracaju. In: **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias**. Fortaleza/CE, 2006. 1192p.
- FEICHTINGER, P.; SALHOFER, K. **A Spatial Analysis of Agricultural Land Prices in Bavaria**. Factor Markets: Comparative Analysis of Factor Markets for Agriculture across the Member States. Factor Markets Working Paper Nº. 50/June 2013. Disponível em: <<http://www.factormarkets.eu/content/spatial-analysis-agricultural-land-prices-bavaria>>. Acesso em 20 de dez. 2013.
- FLORENCIO, L. A.; CRIBARI-NETO, F.; OSPINA, R. Real estate appraisal of land lots using GAMLSS models. **Chilean Journal of Statistics** 3, 75–91, 2012.
- HORNBURG, R. A. **Avaliação em massa com uso combinado da regressão espacial e da geoestatística**. 2009. 224 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2009.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Produção Agrícola Municipal**., Rio de Janeiro, v. 40, p.1-102, 2013.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ASSESSING OFFICERS (IAAO). **Standard on ratio studies**. Kansas City: IAAO, 2013. 64p.
- LANDIM, P. M. B. **Sobre Geoestatística e mapas**. Terrae Didatica, v. 2, p. 19-33, 2006.
- LOURIVAL, R.; CALEMAN, S. M. D. Q.; VILLAR, G. I. M.; RIBEIRO, A. R. e ELKIN, C. **Getting fourteen for the price of one! Understanding the factors that influence land value and how they affect biodiversity conservation in central Brazil**. Ecological Economics, v. 67, n. 1, p. 20-31, 2008.
- MACHADO, E. F. **Elaboração de planta de valores genéricos para zona rural com uso de superfície de tendência**. 2006. 105 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2006.
- MALAMAN, C. S.; MARQUES, A. P. S.; TACHIBANA, V. M.; AMORIM, A. Elaboração de planta de valores genéricos a partir de distintos modelos de regressão linear múltipla. In: **IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife – PE, 2012. 9p.
- MALAMAN, C. S. **Aplicação de lógica fuzzy na elaboração de planta de valores genéricos**. 2014. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas. Presidente Prudente, 2014, 85p.
- MARQUES A. P. S.; MARCATO JUNIOR J.; AMORIM A.; FLORES E. F. **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.
- MICHAEL, R. **Avaliação em massa de imóveis com uso de inferência estatística e análise de superfície de tendência**. 2004. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- OLIVEIRA, T. A. M. **Imposto Territorial Rural: um Estudo Econômico sobre a Descentralização da Cobrança**. 2010. Tese (Doutorado) - Curso de Pós Graduação em

Desenvolvimento Econômico, Instituto de Economia, Unicamp, Campinas, 2010. 135p.

QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2014. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acessado em: 18/01/2014.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2013). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acessado em: 23/01/2014.

RESENER, M. C. **Avaliação de imóveis rurais por inferência estatística e análise de superfície de tendência**. 2005. 186 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2005.

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. 30p.

SILVA, D.; BARRETO, P. **O potencial**

do Imposto Territorial Rural contra o desmatamento especulativo na Amazônia. Belém: Imazon, 2014. 48p.

SUNAK, Y.; MADLENER, R. **The Impact of Wind Farms on Property Values: A Geographically Weighted Hedonic Pricing Model** (May 1, 2012). FCN Working Paper No. 3/2012 (revised March 2013). Disponível em: <http://ssrn.com/abstract=2114216> Acesso em: 20 jan. 2014.

TRIVELLONI, C. A. P. **Método para determinação do valor da localização com uso de técnicas inferenciais e geoestatísticas**. 2005. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. 172p.

XAVIER, A. C.; CECÍLIO, R. A.; LIMA, S. S. Módulos em MATLAB 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. p67-76.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística. Conceitos e Aplicações**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 215 p.