

ANÁLISE DA DEPENDÊNCIA ESPACIAL NA AVALIAÇÃO EM MASSA DOS TERRENOS DE SÃO JOSÉ DO VALE DO RIO PRETO - RJ

Analysis Of Spatial Dependence in the Mass Evaluation of Land in São José do Vale do Rio Preto - RJ

Marlene Salete Uberti

Universidade Federa Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ
Departamento de Engenharia
msuberti@ufrj.br

Priscila de Lima e Silva

Universidade Federa Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ
Departamento de Engenharia
priscilalima@ufrj.br

Iago Matheus de Mello

Universidade Federa Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ
Departamento de Engenharia
iagomello10@gmail.com

Rhyan Freitas Damasceno

Universidade Federa Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ
Departamento de Engenharia
rhyandamasceno@gmail.com

Breno da Silva

Universidade Federa Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ
Departamento de Engenharia
brenosilvamatrix@gmail.com

Resumo:

O município de São José do Vale do Rio Preto, localizado no estado do Rio de Janeiro realizou em 2022, a atualização do cadastro imobiliário e da Planta de Valores Genéricos (PVG) da área urbana. O presente trabalho foca na avaliação em massa dos terrenos do município, visando analisar com o uso da regressão espacial se há dependência espacial nos valores, contribuindo assim para que sejam equitativos e justos. A área urbana do município foi dividida em duas zonas homogêneas – ZH1 e ZH2. Na ZH1 não foi detectada dependência espacial nos valores dos imóveis, ou seja, o Modelo Clássico de Regressão Linear (MCRL) é apropriado para essa zona. Na ZH2 o I de Moran e o Multiplicador de Lagrange detectou dependência espacial na variável dependente, utilizando o software GeoDa. Posteriormente com o auxílio da Geoestatística no software QGIS, o interpolador da Krigagem Ordinária foi aplicado nos valores preditos da regressão espacial. O semivariograma exponencial foi escolhido obtendo o grau de dependência mais significativo, deste modo, se elaborou a superfície de valores da ZH2 do município e permitiu a extrapolação dos valores do metro quadrado nas áreas não mostradas desta zona. Por fim foi necessário avaliar a qualidade de desempenho da Geoestatística seguindo os parâmetros estabelecidos pela International Association of Assessing Officers (IAAO). Apesar da detecção da dependência espacial na ZH2, o desempenho em detrimento do MCRL não melhorou, onde se concluiu que o MCRL foi capaz de representar o comportamento dos valores dos terrenos do município.

Palavras-chave: Regressão Espacial; Planta de Valores Genéricos; IPTU.

Abstract:

The municipality of São José do Vale do Rio Preto, located in the state of Rio de Janeiro, carried out in 2022, the update of the real estate registry and the Generic Values Plant (PVG) of the urban area. The present work focuses on the mass evaluation of the land of the municipality, aiming to analyze with the use of spatial regression if there is spatial dependence in values, thus contributing to their being equitable and fair. The urban area of the municipality was divided into two homogeneous zones - ZH1 and ZH2. In ZH1, no spatial dependence was detected in the values of the real estate, that is, the Classic Linear Regression Model (MCRL) is appropriate for this zone. In ZH2 the Moran I and the Lagrange Multiplier detected spatial dependence on the dependent variable, using GeoDa software. Later, with the help of geostatistics in QGIS software, the interpolator of Ordinary Kriging was applied to the predicted values of spatial regression. The exponential semivariogram was chosen to obtain the most significant degree of dependence, thus, it was elaborated the value surface of ZH2 of the municipality and allowed the extrapolation of the square meter values in the areas not shown in this zone. Finally, it was necessary to evaluate the quality of geostatistics performance following the parameters established by the International Association of Assessing Officers (IAAO). Despite the detection of spatial dependence in ZH2, performance to the detriment of MCRL did not improve, where it was concluded that MCRL was able to represent the behavior of the values of the municipal land.

Keywords: São José do Vale do Rio Preto; Generic Value Plant; IPTU.

1 INTRODUÇÃO

A Planta de Valores Genéricos (PVG) é uma ferramenta técnica e científica, que utiliza os métodos de avaliação de imóveis e uma base cartográfica informativa, que permite aos municípios determinar de forma justa e atualizada o valor venal dos imóveis, para a cobrança de impostos, visto que, os poderes públicos municipais acumulam valores fiscais na cobrança de alguns impostos como o Imposto sobre Propriedade Predial e Territorial (IPTU) e Imposto sobre Transmissão de Bens Imóveis (ITBI). De maneira análoga, a PVG também é uma forma de clareza em relação aos trâmites da administração pública. (PAIVA E ANTUNES, 2024).

Economicamente é quase sempre inviável realizar avaliações individuais para toda a população de imóveis em um município. O tempo também é fator característico e para suprir essa necessidade são utilizados processos de avaliação em massa de imóveis. Para Marisco e Hochheim (2021) a avaliação em massa é uma forma sistemática de determinação de valores para todos os imóveis de uma determinada área, evitando ao máximo a desproporcionalidade dos valores. Assim, essa ferramenta é utilizada nos trabalhos desenvolvidos para fins tributários, principalmente, no caso de desenvolvimento da Planta de Valores Genéricos (PVG).

A Norma Brasileira de Avaliações de Imóveis Urbanos NBR 14.653/2 (ABNT, 2011), conceitua a PVG como uma "representação gráfica ou listagem dos valores genéricos do metro quadrado do imóvel em uma mesma data". De acordo com Dalaqua et al., (2010), no contexto brasileiro, a ABNT, através da norma 14653-2, define diretrizes específicas para a avaliação de imóveis urbanos, destacando a PVG como uma etapa essencial nesse processo. A finalidade primordial da PVG reside em fornecer os valores unitários de terreno e de edificação, essenciais para o cálculo dos Valores Venais dos Imóveis (VVI) e a determinação de tributos imobiliários municipais.

Neste trabalho, foi utilizado dois métodos de avaliação, sendo eles: inferência estatística em conjunto com o Método Comparativo Direto de Dados de Mercado aplicando Modelos de Regressão Linear Múltipla (MCRL), por meio do método dos mínimos quadrados ordinários (MQO) e Método da Regressão Espacial (MRE), através da econometria espacial, utilizando-se das abordagens do erro espacialmente

correlacionado (SEM) e modelo de defasagem espacial (SAR), conforme metodologia proposta por Anselin e Rey (2014).

O MRE é um instrumento estatístico utilizado para análise de dados espaciais e geográficos. A utilização da técnica de regressão espacial, para a geração de modelos de avaliação de imóveis é de suma importância, visto que, a regressão espacial incorpora a localização geográfica como uma de suas variáveis, permitindo uma análise mais completa dos dados que contribuirá para o aprimoramento de fatores que influenciam os preços dos imóveis e desenvolvimento de estratégias mais eficazes de avaliação e planejamento (UBERTI, 2018).

A metodologia empregada na elaboração da PVG visa determinar os valores dos terrenos em um ambiente de mercado estável, buscando estabelecer valores que estejam mais próximos do praticado pelo mercado imobiliário. Portanto, este trabalho tem como objetivo verificar a necessidade do MRE na elaboração da PVG da área urbana do Município de São José do Vale do Rio Preto – RJ e analisar o desempenho da Superfície de Valores (SUV). Neste contexto foi utilizado amostras de valores de terrenos para a PVG, sendo o valor das edificações obtido por outros métodos de avaliação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo e amostragem

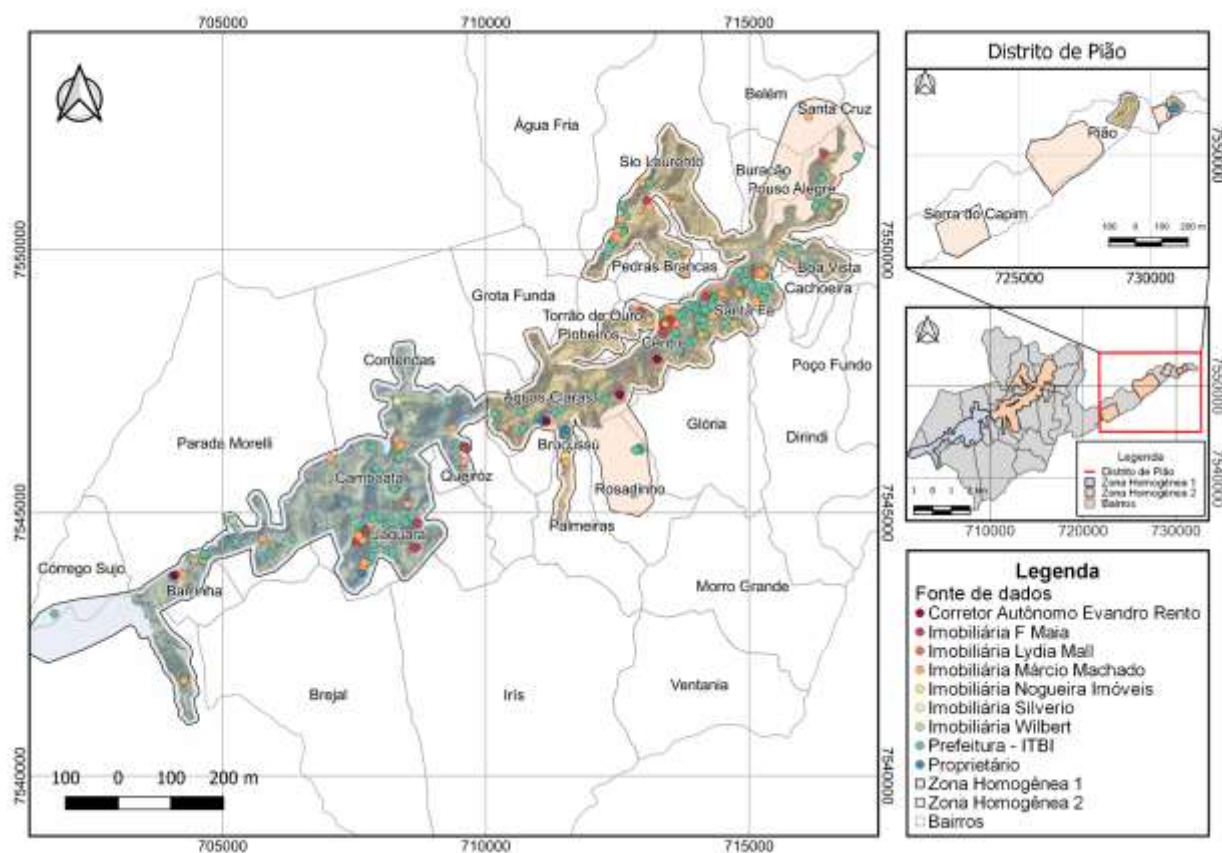
O município de São José do Vale do Rio Preto, localizado no estado do Rio de Janeiro, possui área territorial de 220,17 km². Em 1987 foi elevado à categoria de município, desmembrado de Petrópolis e de acordo com o último censo tem população de 22.080 habitantes. A última PVG aprovada foi em 1990 e apresenta os valores dos terrenos por logradouro e das edificações por tipologia construtiva. Em 2021, através de convênio entre a prefeitura e o Departamento de Engenharia da UFRRJ, foi realizado o recadastramento imobiliário, de logradouros e numeração de correio da área urbana do município, bem como a PVG.

A coleta das amostras foi realizada em 2022, nas imobiliárias, corretores autônomos ou diretamente com os proprietários, com 85 dados. Para complementar foram utilizadas mais 211 dados de ITBI, que após uma análise criteriosa e atualização dos valores declarados pelo contribuinte até o ano de 2022, foram consideradas confiáveis para utilizar na modelagem. A Figura 1, apresenta a espacialização dos dados e a localização do município, sendo possível visualizar a distribuição espacial ao longo da área urbana e identificar os locais de maior concentração de informações, bem como a divisão da área urbana em duas Zonas Homogêneas (ZH).

A segmentação da cidade em Zonas Homogêneas (ZH), quanto a adequabilidade e a valorização imobiliária, é uma prática comum nas avaliações realizadas para fins fiscais (DE CESARE, 2015; DUARTE, 2021). Ainda segundo os autores este procedimento é fundamental nas avaliações em massa de imóveis, visto que, os valores dos imóveis são influenciados por sua localização geográfica.

A distribuição espacial das amostras na área urbana do município aconteceu ao longo do Rio Preto, com imóveis mais valorizados em torno do Bairro Centro, com a diminuição dos valores à medida que os imóveis se afastam da RJ 134 – Avenida Silveira da Mota. Por esse motivo, a área urbana foi dividida em duas ZH.

Figura 1 – Distribuição espacial das amostras.



Fonte: Os autores.

2.2 Modelo Clássico de Regressão Linear

Após a coleta de amostras e identificação das variáveis, todos os dados coletados passaram por uma análise exploratória de dados. Este processo teve como objetivo eliminar aqueles elementos amostrais que representam outliers, analisar as variáveis que influenciam na valorização/desvalorização dos imóveis e verificar a adequabilidade das variáveis coletadas. Se a variável se mostrasse importante esta era utilizada na modelagem, caso contrário, se comprovado através de testes estatísticos como Student e da matriz de correlação parcial, a sua não significância, era rejeitada para a modelagem.

A inferência estatística foi adotada para a elaboração dos modelos avaliatórios, realizada por meio do MCRL, de modo a eleger modelos matemáticos que melhor representem o mercado imobiliário municipal. No MCRL, a variável dependente é expressa por uma combinação linear das variáveis independentes (Equação 1), em escala original ou transformada, acrescida de um erro aleatório (ABNT, 2011).

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1.X_1 + \alpha_2.X_2 + \alpha_3.X_3 + \dots + \alpha_k.X_k + \varepsilon_\alpha = Y^h + \varepsilon_\alpha \quad (1)$$

Onde: Y : é a variável dependente; X_1, \dots, X_k : são as (k-1) variáveis independentes; α_0 : é o intercepto do modelo; $\alpha_1, \dots, \alpha_k$: são os coeficientes parciais de inclinação

estimados pelo métodos dos mínimos quadrados ordinários (MQO); ε_a : erro aleatório e Y^h é a estimativa para a variável dependente, calculada em função das variáveis explicativas incluídas.

A qualidade da avaliação está relacionada com o desempenho do modelo matemático, ou seja, com o grau de aderência entre os valores calculados pelos modelos e os valores observados no mercado. As medidas de desempenho referem-se a dois tipos de qualidade: medidas de desempenho global da avaliação e medidas relacionadas com a equidade e uniformidade (UBERTI, 2016; DUARTE, 2019).

Segundo Dantas (2012), para verificar a qualidade do MCRL são utilizados indicadores como o Coeficiente de Correlação (R), Coeficiente de Determinação (R^2) e o Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2_{ajust}) e testes de hipóteses. Além disso, para a utilização de modelos de regressão, é necessário atender os pressupostos básicos, a fim de obter estimativas eficientes, consistentes e não-tendenciosas. A norma 14653-2 destaca que os pressupostos a serem atendidos estão correlacionados com a: Micronumerosidade, Linearidade, Multicolinearidade, Normalidade, Homocedasticidade, Autocorrelação e Outliers (ABNT, 2011).

Nesta etapa foram definidas o MCRL para cada zona homogênea, verificado seus pressupostos e qualidade conforme determina a NBR 14.653-2.

2.3 Modelos de Regressão Espacial

A econometria espacial é uma área da estatística que estuda como aplicar modelos espaciais na economia. É realizada com técnicas estatísticas para identificar se há alguma relação espacial entre as amostras e como funciona (ALMEIDA, 2012).

Para Machado (2006), os métodos econométricos tornam a avaliação mais objetiva e os resultados menos tendenciosos na elaboração de uma PVG. Enquanto o modelo clássico sugere que não há correlação entre as variáveis, a econometria espacial afirma que essa correlação existe, violando o pressuposto do MCRL.

O modelo econométrico-espacial, também conhecido como regressão espacial, inclui a incorporação de defasagens espaciais no MCRL. De acordo com Tyszler (2006), essas defasagens podem se manifestar nas variáveis dependentes (W_y), nas variáveis independentes (W_x) e nos termos de erro (W_ε).

O Modelo de Defasagem Espacial (SAR - Spatial Auto Regressive) tem um alcance global. Se caracteriza por definir que a dependência espacial, ocorre sobre a variável dependente (valor do imóvel) que por sua vez vai afetar os valores de área de estudo (ALMEIDA, 2012).

O modelo SAR (Equação 2) inclui uma variável dependente (y), um coeficiente que representa a dependência espacial (ρ), uma matriz de pesos espaciais (W_y), uma matriz de observações de variáveis independentes (X), um vetor de parâmetros (β) e um vetor de resíduos (ε).

$$y = \rho W_1 y + X\beta + \varepsilon \quad (2)$$

O coeficiente de autocorrelação (ρ) indica o grau de correlação entre as variáveis. Se o coeficiente for positivo, isso significa que há uma correlação proporcional entre as variáveis. Por outro lado, se o coeficiente for negativo, indica uma correlação inversamente proporcional. Quando o coeficiente é igual a zero, não há autocorrelação

espacial entre as variáveis.

O Modelo de erro espacial (SEM - Spatial Error Model) também tem alcance global e seu significado, segundo Almeida (2012) é que a configuração espacial dos erros resultantes é causada por fatores que não foram adequadamente considerados no modelo devido a falta de medidas precisas. Esses erros não ocorrem de forma aleatória no espaço, mas estão relacionados espacialmente uns com os outros, ou seja, é uma autocorrelação.

O modelo SEM se concentra na estrutura defasada do erro da regressão (Equação 3):

$$y = X\beta + \varepsilon \quad \text{com} \quad u = \lambda Wu + \varepsilon \quad (3)$$

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

Estes dois modelos de estimação de regressão espacial não podem ser estimados diretamente via Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), pois os estimadores assim gerados são viesados e inconsistentes, dado que existe viés de simultaneidade no modelo. Os modelos de regressão espacial podem ser estimados utilizando vários métodos, segundo Anselin (1999), sendo os mais comumente usados o de máxima verossimilhança.

Para inserir a contribuição dos efeitos espaciais nas modelagens, o primeiro passo é determinar se há mesmo a presença desses efeitos espaciais e em qual dos modelos está ocorrendo, se no SAR ou no SEM. Para tanto é necessário a definição da matriz de dependência espacial. As matrizes de pesos espaciais mais tradicionais são construídas a partir de atributos físicos e geográficos, como vizinhança, distâncias geográficas e tempo de deslocamento. De acordo com a distância geográfica, a construção da matriz W está baseada no ordenamento de um espaço cartesiano representado por latitudes e longitudes. Esse tipo de ordenamento permite calcular as distâncias de quaisquer pontos no espaço. Com relação à dependência espacial, assume-se que a intensidade da dependência espacial declina à medida que a distância entre as unidades aumenta.

Em avaliações de imóveis as matrizes de pesos espaciais são construídas em função da distância geográfica e/ou número de vizinhos mais próximos. A matriz baseada na contiguidade não se aplica, pois, as amostras estão separadas geograficamente, não possuindo limites em comum.

Almeida (2012) utilizou a mesma metodologia que Baumont (2004), que propõe o seguinte procedimento para a matriz de vizinhos mais próximos:

- a) Roda-se o modelo clássico de regressão linear por mínimos quadrados ordinários;
- b) Testam-se os resíduos para autocorrelação espacial por intermédio do valor da estatística I de Moran, usando L matrizes de k vizinhos mais próximos e variando L de $k=1$ a $k=20$;
- c) Define-se k que tenha gerado o maior valor de I de Moran, significativo estatisticamente.

Outra matriz de ponderação espacial de natureza geográfica é aquela que define proximidade com base na distância inversa a partir dos pontos centroides dos

polígonos. A ideia intuitiva é que quanto mais distantes dois dados estão, menor será a dependência espacial entre elas.

Nesta etapa, levando-se em consideração que os modelos foram corretamente especificados, foi determinada a matriz de pesos espaciais que obteve o maior valor de I de Moran para as duas zonas homogêneas, utilizando os resíduos do MCRL no software Geoda. Empregando como entrada de dados a matriz de pesos espaciais, foi realizada a etapa da Econometria Espacial.

2.4 Testes de especificação

Os testes de especificação são responsáveis pela detecção da presença de dependência espacial nos resíduos. Com a especificação busca-se identificar qual tipo de variável defasada espacialmente será introduzida ao modelo econométrico espacial (ALMEIDA, 2012).

Os principais testes utilizados para a detecção da presença de dependência espacial são: I de Moran (erro); Multiplicador de Lagrange – LM (erro); LM (defasagem); LM robusto (defasagem); e Kalejian-Robinson (erro). Matricialmente, essa estatística é representada pela Equação 4 (ALMEIDA, 2012):

$$I = (N / S) * (e'.We / e'.e) \quad (4)$$

Onde, I representa o índice global de Moran, N é o número de observações, S é o somatório de todos os elementos da matriz W , e é o vetor dos resíduos do MQO e W é a matriz de ponderação dos pesos espaciais.

O índice global de Moran é uma estatística que varia entre -1 e 1, conforme esse índice se aproxima de -1 significa a presença de autocorrelação espacial negativa, já quando se aproxima de 1 indica a presença de autocorrelação espacial positiva. Quanto mais próximo este índice for de zero indicará que a autocorrelação espacial não é significativa. O teste de I de Moran apresenta em alguns estudos aspectos positivos e negativos, pois apresenta um desempenho superior que outros indicadores em termos de poder do teste para identificar correlações espaciais, mas não é capaz de distinguir se a correlação espacial está presente nos erros ou na variável dependente (TYSZLER, 2006).

Deste modo, de forma a complementar a verificação da presença de dependência espacial, são comumente utilizados outros testes de especificidade. Entre eles se destacam os testes baseados no Multiplicador de Lagrange (Lagrange Multiplier – LM). Para Almeida (2012) o teste LM tem o objetivo de distinguir se a defasagem espacial está presente na variável dependente, que consiste no modelo SAR, ou no erro, que consistem no modelo SEM. Para isso é calculada no teste o LM junto de sua versão robusta.

A matriz determinada na etapa anterior que capturou a dependência espacial, permitiu identificar se a autocorrelação espacial estava presente na variável dependente (Modelo SAR) ou nos erros (Modelo SEM ou CAR) para as duas zonas homogêneas. Após a especificação do modelo de regressão espacial - MRE, este foi validado através dos testes para verificar a não violação dos seus pressupostos.

2.5 Validação

A validação é um componente considerado crucial no processo de avaliação em massa de imóveis, importante para mostrar o desempenho e eficiência dos modelos e também mostrar pontos que precisam ser aprimorados. (Uberti, 2016).

As normas da *International Association Assessing Officers* (IAAO, 2013) foram um parâmetro de equidade no trabalho de validação dos resultados por meio de indicadores padronizados de eficiência (Tabela 1) como: Mediana das Razões de Avaliação (MRA), Diferencial Relativo ao Preço (PRD) e Coeficiente de Dispersão (COD). Para a amostra de validação foram separados aproximadamente 20% dos dados, que não foram utilizados na modelagem e especialmente coletados para esta análise.

Tabela 1 – Valores da norma da IAAO.

Métricas	Valores
Mediana das razões da avaliação (MRA)	Entre 0,90 e 1,10
Coeficiente de Dispersão (COD)	Entre 5 a 20%
Diferencial Relativo ao Preço (PRD)	Entre 0,98 e 1,03

Fonte: Adaptado da IAAO (2013).

A Geoestatística, por meio da Krigagem, faz uso de modelos estocásticos provenientes de processos aleatórios que tem o objetivo de modelar uma variável por meio de sua distribuição e variabilidade, apresentado as incertezas associadas ao modelo (Yamanoto e Landim, 2013).

A Krigagem Ordinária é um método de estimativa local, ou seja, a estimativa do ponto não amostrado resulta da combinação linear dos valores encontrados na vizinhança próxima. Segundo Yamanoto e Landim (2013), é o estimador mais utilizado em virtude da simplicidade e qualidade dos resultados que proporciona.

Segundo Marques et al. (2012); Uberti (2016 e 2018), a Krigagem Ordinária tem se mostrado uma abordagem eficaz para avaliação em massa de imóveis urbanos e rurais, na elaboração da PVG. Esta técnica espacializa os valores em uma superfície contínua, facilitando a interpretação e auxiliando na tomada de decisão.

Para a realização das etapas citadas até agora, foram utilizadas as observações originais bem como os valores preditos pelos modelos para gerar as SUVs por meio da Krigagem no software QGIS. Esta etapa, que envolve a Geoestatística, tem como objetivo interpolar os valores preditos de cada modelo e os pontos amostrais de modo a obter uma superfície de valores que corresponderá à PVG através da Krigagem ordinária nos locais que não possuem amostras. Em seguida foram calculadas novamente as métricas da IAAO, para verificar o desempenho da SUV após a Geoestatística.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Amostragem e variáveis testadas

A coleta das amostras de dados de ITBI foi iniciada com o apoio da fiscalização municipal da prefeitura. O setor de fiscalização da prefeitura mantém uma comissão de avaliadores que analisa o valor declarado pelo contribuinte. Quando ocorre a subdeclaração o valor declarado é alterado e arbitrado pela comissão.

A consulta foi realizada em diversas fontes de informação, totalizando 296 dados sendo 132 de terrenos sem uso/baldio e 164 de imóveis construídos. Para os dados com edificação no lote, foi calculado o valor das construções através do Método da Quantificação do Custo, para obter o valor somente do terreno. Para aplicar o Método da Quantificação do Custo, foi calculado o valor das edificações pelo Custo Unitário Básico (CUB) e depreciado pelo Método de Ross-Heidecke.

Seguindo a recomendação da NBR 14.653:1, os imóveis em oferta no mercado imobiliário tiveram seu valor reduzido para refletir a margem de negociação entre vendedor e comprador. Já os dados de ITBI, que são imóveis negociados antes da coleta dos dados para a PVG e correspondem a imóveis previamente negociados, os valores foram atualizados até o ano de 2022 para se aproximarem dos praticados no mercado imobiliário.

A variável dependente foi o Valor Unitário do Terreno (VUT) dos imóveis e as variáveis independentes foram características intrínsecas que são próprias de cada terrenos e variáveis extrínsecas que são as características da região onde se localizam os imóveis pesquisados. As seguintes variáveis independentes foram testadas (Tabela 2):

Tabela 2 – Variáveis independentes.

Variáveis	Tipo	Classe	Descrição	Domínio
VUT	Quantitativa	Lote	Valor Unitário do Terreno	R\$/m ²
Área	Quantitativa	Lote	Área do Terreno	m ²
Rodovia	Quantitativa	Geográfica	Distância a Rodovia Silveira da Mota	m
Ruas Principais	Quantitativa	Geográfica	Distância as principais ruas da área urbana	m
Áreas de risco	Quantitativa	Geográfica	Distâncias das áreas de risco	m
Área comercial	Quantitativa	Geográfica	Distância a áreas comerciais	m
Rio Preto	Quantitativa	Geográfica	Distância ao Rio Preto	m
Saúde	Quantitativa	Geográfica	Distância a estabel. de saúde	m
Esportes e Lazer	Quantitativa	Geográfica	Distância a estabel. de esportes e lazer	m
Educação	Quantitativa	Geográfica	Distância a estabel. de educação	m
Esgotamento Sanitário	Qualitativa	Logradouro	Presença de infra. de rede esgoto	Sim = 1 Não = 0
Risco Geológico	Qualitativa	Lote	Presença de risco de deslizamento	Sim=0 Não=1
Rede Elétrica	Qualitativa	Logradouro	Presença de infra. de rede de energia elétrica	Sim = 1 Não = 0
Arborização	Qualitativa	Logradouro	Presença de arborização	Sim = 1 Não = 0
Iluminação pública	Qualitativa	Logradouro	Presença de infra. de iluminação pública	Sim = 1 Não = 0

Elasticidade	Qualitativa	Lote	Situação sobre oferta ou ITBI	Oferta = 2 ITBI = 1 Esquina = 5 Mais de uma frente = 4 Meio de quadra = 3 Vila = 2 Encravado = 1
Situação	Qualitativa	Lote	Situação em relação a quadra	Alvenaria = 4 Cerca/arame/madeira = 3 Cerca viva = 2 Sem = 1 Seco = 4 Rochoso = 3 Inundável = 2 Alagado/Brejo/Mangue = 1
Limitação	Qualitativa	Lote	Condições de limitação	Plano = 3 Active/Declive = 2 Irregular = 1
Pedologia	Qualitativa	Lote	Condições pedológicas	Asfalto = 5 Concreto = 4 Bloco sextavado = 3 Parelelepipedo = 2 Sem = 1
Topografia	Qualitativa	Lote	Condições de topografia	Concessionária = 3 Poço/cisterna = 2 Sem abastecimento = 1
Pavimento	Qualitativa	Logradouro	Presença de infra. de pavimentação	Cerâmica = 3 Cimento = 2 Sem passeio = 1
Abastecimento de água	Qualitativa	Logradouro	Presença de infra. de abastecimento água	
Passeio	Qualitativa	Lote	Condições de calçada do terreno	

Fonte: Os autores (2024).

3.2 MCRL das zonas homogêneas

As variáveis independentes foram adicionadas no software Infer 32 nas formas direta, inversa, exponencial, quadrática e logarítmica para ajustar linearmente os dados. Para o modelo da ZH1 foram utilizadas 104 dados (76 para o modelo, 16 para validação e 12 outliers) e para a ZH2 foram utilizadas 192 dados (154 para o modelo, 20 para validação e 18 outliers). Constam a seguir o MCRL da ZH1 e 2 respectivamente.

$$[VUT] = \text{Exp}(4,8930 + 0,05408 \times [\text{cod_sit}]^2 + 0,4603 \times [\text{dic_arb}] - 2,8458 \times 10^{-4} \times [\text{Dist_Sil}] - 2,9316 \times 10^{-4} \times [\text{Area}])$$

$$[VUT] = \text{Exp}(8,8690 - 0,5104 / [\text{dic_elas}] + 0,4092 \times \text{Ln}[\text{cod_topo}] + 0,3816 \times [\text{cod_passeio}] + 6,0919 \times 10^{-5} \times [\text{Dist_Rio}] - 2,3326 \times 10^{-4} \times [\text{Dist_prin}] - 5,6426 \times 10^{-5} \times [\text{Dist_com}] - 0,5992 \times \text{Ln}[\text{Area}])$$

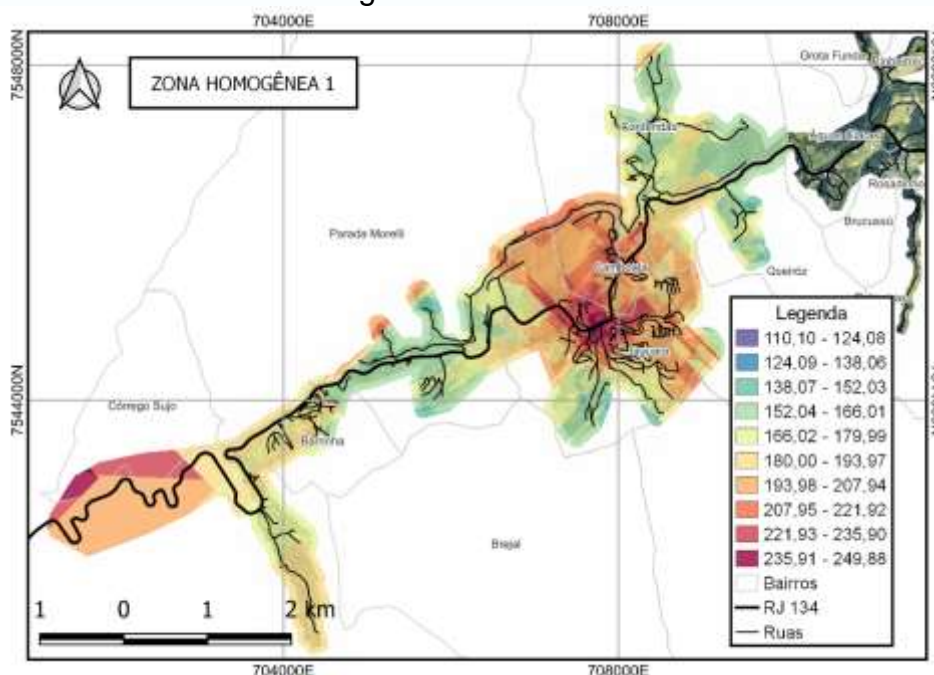
As variáveis independentes estatisticamente significativas da 1 foram: área, situação em relação a quadra, presença de arborização no logradouro, distância a Rodovia Silveira da Mota. Da ZH2 foram: área, situação do lote sobre oferta ou ITBI,

topografia do terreno, condições de calçada do terreno, distância ao Rio Preto, distância a ruas principais, distância a áreas comerciais.

Os modelos foram aprovados no teste F com 1% de significância, indicando a existência de regressão. As variáveis foram testadas individualmente e aprovadas estatisticamente com *p-value* menores de 10%. Todas as variáveis independentes apresentaram os sinais esperados de acordo com a hipótese avaliativa proposta para a área urbana do município. O grau de correlação foi forte para as duas ZH (R=0,81 e 0,86 respectivamente), conforme a NBR 14653-2. Todos os requisitos desta norma foram atendidos, incluindo Micronumerosidade, Linearidade, Multicolinearidade, Normalidade dos Resíduos, Homocedasticidade e Não-Autocorrelação e ausência de Outliers.

A superfície de valores foi gerada por meio da Geoestatística, utilizando o interpolador Krigagem Ordinária, com os valores estimados pelo MCRL de cada zona homogênea. Utilizou-se o modelo teórico exponencial de semivariograma para a Krigagem Ordinária da ZH1, já na ZH2 o modelo de semivariograma utilizado foi o Gaussiano que obteve melhores valores em detrimento dos outros modelos testados. O objetivo em gerar as SUVs (Figuras 2 e 3) é interpolar e obter os valores nos locais que não tenham amostras de valores.

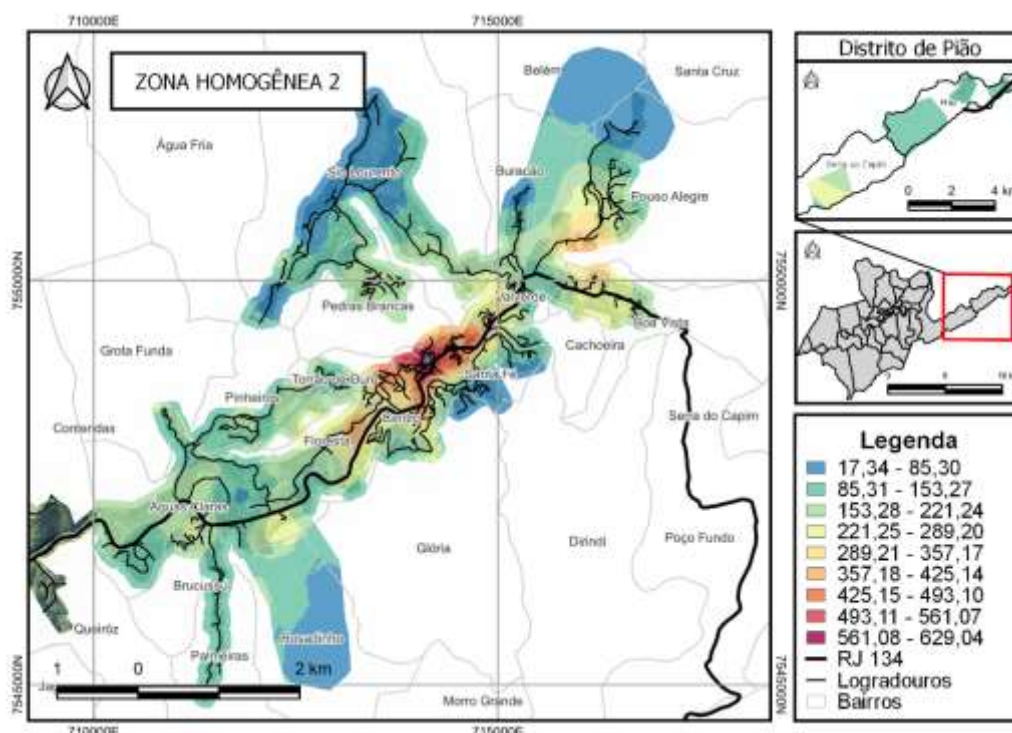
Figura 2 – SUV da ZH1.



Fonte: Os autores (2024).

Os valores interpolados estão de acordo com o esperado, maiores no Centro do município (ZH2) e em algumas nas áreas comerciais da RJ134 - Rodovia Silveira da Mota (ZH1), ficando menores nas bordas da SUV onde a ocupação do solo passa a ser de imóveis com características rurais. As normas da IAAO foram utilizadas para a validação do MCRL e da Geoestatística baseada nos valores estimados pela regressão clássica da ZH1 e 02 e de acordo com o Tabela 3 apresentaram os seguintes valores para as três métricas analisadas pela norma.

Figura 3 – SUV da ZH2.



Fonte: Os autores (2024).

Tabela 3 – Valores das métricas da IAAO para a ZH1 e ZH2.

Métricas	ZH1		ZH2	
	MCRL	Geoestatística	MCRL	Geoestatística
Mediana das razões da avaliação (MRA)	1,18	1,24	1,41	1,61
Coeficiente de Dispersão (COD)	29%	20%	70%	32%
Diferencial Relativo ao Preço (PRD)	0,76	0,71	0,70	0,53

Fonte: Os autores (2024).

Analisando os valores das métricas pode-se observar que o COD do MCRL das duas ZH diminuiu com relação ao valor da Geoestatística, indicando que os valores ficaram mais uniformes, entretanto para a ZH2 o COD ficou acima do indicado pela IAAO. O PRD ficou abaixo do exigido pela norma, indicando que ocorreu progressividade na avaliação, ou seja, os imóveis de alto valor foram avaliados como uma porcentagem maior do valor de mercado que os imóveis de baixo valor. A MRA ficou acima do recomendado pela norma.

3.3 MRE das zonas homogêneas

Para obter o valor I de Moran no *software* GeoDa e testar os resíduos dos dados para a dependência espacial, foi usada a matriz de peso espacial, utilizando diversas distâncias Euclidiana e número de vizinhos, para determinar qual capturou a maior parte da dependência espacial. Além disso, a partir da estatística I de Moran obteve-

se o *p-value* associado, que busca determinar a significância estatística do padrão espacial observado, ou seja, que não ocorreu por acaso. Para que seja significativa, o *p-value* deve estar abaixo de valores pré-determinados, que no caso do trabalho foi adotado 10%.

Os resultados do teste I de Moran para a ZH1, com a matriz de distância de banda e número de vizinhos, não obteve valores de I de Moran significativos, uma vez que se aproximam de 0 (zero). Isso significa que não foi detectada a presença de dependência espacial nos dados da ZH1. O intervalo do I de Moran varia de -1 a +1 e quando se aproxima de zero significa que não existe dependência espacial na variável testada.

Para a ZH2 não apresentou dependência espacial para as matrizes de peso elaboradas a partir da distância de bandas com valores inferiores a 0,1. Porém observou-se resultados positivos para o método utilizando os vizinhos K-próximos, em que diversos valores de k foram aceitáveis, com destaque para k=4 e k=6, que obtiveram os maiores valores de I de Moran, com *p-values* abaixo de 10%, caracterizando assim uma dependência espacial entre os dados da ZH2 (Tabela 4).

Tabela 4 – MRE das ZH1 e 2.

	ZH1			ZH2		
	Largura de Banda (m)	I de Moran	p-value	Largura de Banda (m)	I de Moran	p-value
Distância Euclidiana	2500	-0,016	0,47	14000	-0,006	0,31
	2600	-0,021	0,31	15000	-0,006	0,03
	3000	-0,022	0,30	16000	-0,006	0,01
	3500	-0,018	0,31	17000	-0,006	0,04
	4500	-0,013	0,49	18000	-0,007	0,05
	5500	-0,012	0,34	19000	-0,007	0,09
	6500	-0,016	0,10	20000	-0,007	0,09
	7500	-0,013	0,12	21000	-0,007	0,07
	8500	-0,013	0,24	21331	-0,007	0,37
Vizinhos K-próximos	Número de Vizinhos	I de Moran	p-value	Número de Vizinhos	I de Moran	p-value
	2	0,088	0,15	4	0,188	0,02
	3	0,089	0,12	6	0,190	0,01
	4	0,025	0,30	8	0,144	0,02
	6	-0,003	0,47	10	0,116	0,02
	8	-0,016	0,46	12	0,105	0,01

Fonte: Os autores (2024).

O teste do multiplicador de Lagrange foi calculado no software GeoDa e pode ser observado na Tabela 5. Tanto o LM (erro) quanto o LM robusto (erro) não se mostraram significativos, já o LM (lag) e o LM robusto (lag) se mostraram significativos a um nível de 5% de probabilidade. Portanto o modelo espacial escolhido foi o SAR, pois é o modelo aplicado quando a dependência espacial se encontra na variável dependente.

Tabela 5 – Teste do multiplicador de Lagrange (LM).

Teste	Valor	p-value
LM (lag)	6,0891	0,01360
LM robusto (lag)	8,1087	0,00441
LM (erro)	0,1461	0,70233
LM robusto (erro)	2,1657	0,14112

Fonte: Os autores (2024).

A estatística z corresponde ao equivalente para a regressão por máxima verossimilhança, ao valor t de Student para o método de mínimos quadrados. As probabilidades apontam o grau de significância de cada variável de forma parecida ao da regressão por Mínimos Quadrados Ordinários. Observou-se que, exceto as variáveis distância ao Rio Negro (Dist_rio) e distância as áreas comerciais (Dist_com), todas as demais variáveis são significativas a um nível de 10 % de probabilidade, como detalhado na Tabela 6.

Tabela 6 – Estimativas dos parâmetros, erro-padrão, valor z e probabilidade do modelo SAR.

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Valor-z	Probabilidade
W_InVUT	0,1570	0,0726	2,1623	0,0305
CONSTANT	7,9201	0,5383	14,7110	0,0000
invdic_elas	-0,5290	0,2039	-2,5940	0,0094
lncod_topo	0,4042	0,1543	2,6182	0,0088
lnArea	-0,5799	0,0386	-15,0123	0,0000
Cod_passei	0,3534	0,1033	3,4215	0,0006
Dist_rio	$2,79 \times 10^{-5}$	0,0000	0,4176	0,6761
Dist_prin	$-1,52 \times 10^{-4}$	0,0000	-1,6542	0,0980
Dist_com	$-2,94 \times 10^{-5}$	0,0000	-0,5953	0,5515

Fonte: Os autores (2024).

A partir dos novos coeficientes gerados, foi possível estabelecer a equação do MRE para a ZH2:

$$0,1570W * [VUT] = \text{Exp} (7,9201 - 0,5290/[dic_elas] + 0,4042 * \text{Ln}([\text{cod_topo}])) - 0,5799 * \text{Ln}[\text{Area}] + 0,3534 * [\text{Cod_passei}] + 2,79 \times 10^{-5} * [\text{Dist_rio}] - 1,52 \times 10^{-4} * [\text{Dist_prin}] - 2,94 \times 10^{-5} * [\text{Dist_com}]$$

Uma nova superfície de valores foi gerada por meio da Geoestatística para a ZH2, utilizando o interpolador Krigagem Ordinária, com os valores preditos pelo MRE. Utilizou-se o modelo teórico exponencial que obteve melhores valores em detrimento dos outros modelos testados.

Foi necessário realizar a validação, para analisar o desempenho na SUV. Para isso foram calculadas novamente as métricas das normas da IAAO (Tabela 7).

Observou-se que nenhuma das métricas está dentro dos padrões estabelecidos pela IAAO e no caso do COD ficou o mesmo valor (32%), da Geoestatística com os valores estimados pela MCRL. Ou seja, o desempenho não melhorou com a aplicação da regressão espacial, portanto a SUV da ZH2 obtida a partir dos valores estimados pelo MCRL representou de forma eficiente os valores dos imóveis.

Tabela 7 – Valores das métricas da IAAO para validação de desempenho.

Métricas	Valores
Mediana das razões da avaliação (MRA)	1,63
Coeficiente de Dispersão (COD)	32%
Diferencial Relativo ao Preço (PRD)	0,53

Fonte: Os autores (2024).

3.4 Determinação do VUT por face de quadra

Para aplicar o valores estimados pelo MCRL no cálculo do Valor Venal dos Terrenos em cada imóvel individualmente, foi necessário transpor a SUV para as faces de quadra e assim representar a PVG da área urbana. A SUV de 2022 do município em questão, variou entre R\$/m² 17,34 e R\$/m² 697,01, com valores mais altos no Centro urbano (Figura 4) e menores nas áreas periféricas e distantes da Rodovia Silveira da Mota. Alguns procedimentos foram seguidos para determinar o VUT para as faces de quadra.

A transposição foi realizada mediante a sobreposição da SUV, representada como uma imagem raster com pixel de 1 metro, aos limites das quadras, seguida pelo cálculo dos valores venais médios por lote (somatório dos pixels do lote) e sua atribuição nas faces de quadra correspondentes, além da junção de todas as testadas voltadas para o mesmo logradouro. Este processo não apenas homogeneizou os valores de modo espacial, mas também permitiu uma análise detalhada dos padrões de valorização imobiliária, essencial para a gestão tributária municipal.

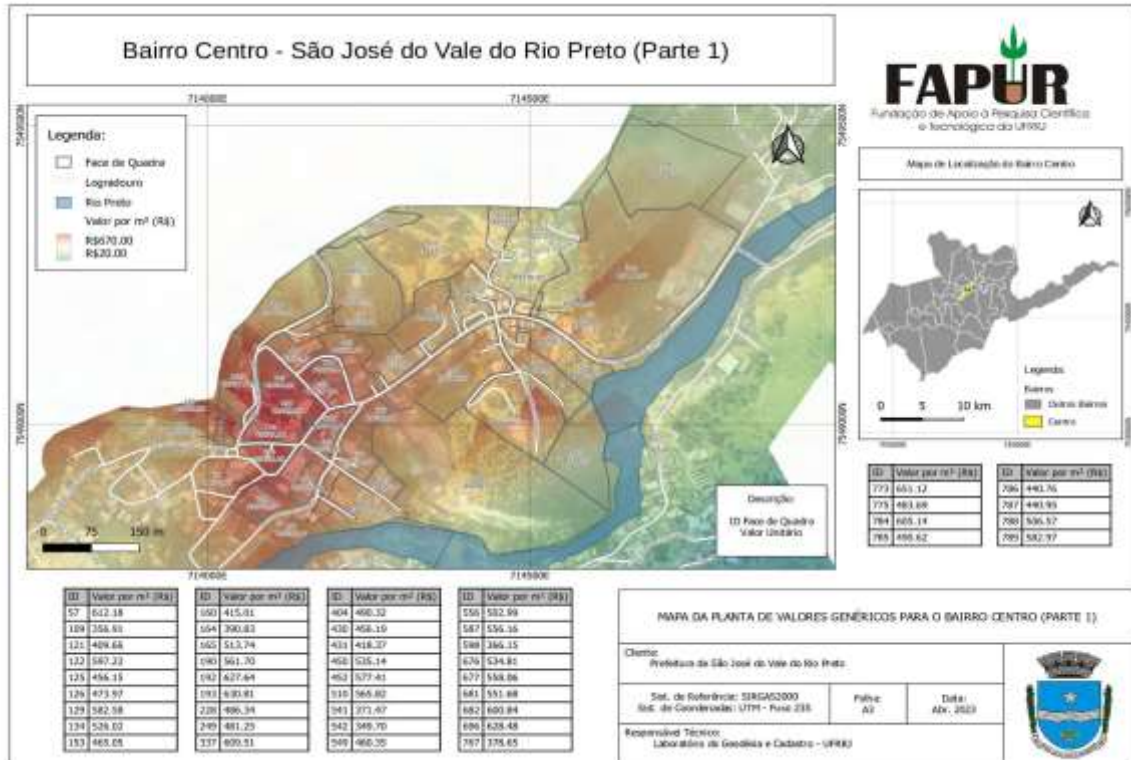
4 CONCLUSÃO

A Planta de Valores Genéricos (PVG) do município de São José do Vale do Rio Preto RJ, desenvolvida com métodos estatísticos e modelos econométricos, melhorou precisamente os valores venais dos imóveis urbanos. Além disso, os modelos e parâmetros utilizados ao longo do trabalho, discriminam a localização geográfica como um ponto de valorização dos imóveis, ademais o trabalho contribuiu para uma administração fiscal mais transparente e eficaz do município em questão.

Com relação à dependência espacial nos valores, somente na ZH2, o I de Moran detectou dependência, entretanto apesar de serem estatisticamente significativos, os valores ficaram menores que 0,2 indicando que capturou pouca dependência espacial. O teste do multiplicador de Lagrange indicou o modelo espacial SAR e os valores preditos foram corrigidos em função da defasagem espacial na variável dependente. Entretanto, apesar da correção, as métricas da IAAO não indicaram melhora no desempenho com o MRE, portanto o modelo espacial não melhorou o comportamento do mercado imobiliário do município, tornando a superfície de valores realizada com a regressão clássica com o desempenho muito próximo da regressão espacial.

Isso aconteceu, muito provavelmente, porque a divisão da área urbana do município em duas zonas homogêneas, contribuiu para a pouca dependência espacial. Agrupar dados semelhantes em uma única área, pode gerar homogeneização nos valores, tornando não dependentes da sua localização.

Figura 4: Faces de quadra do bairro Centro.



Fonte: Relatório da PVG de SJVRP (2023).

Os resultados obtidos foram entregues à Prefeitura de São José do Vale do Rio Preto, contendo detalhadamente a metodologia empregada, a pesquisa imobiliária realizada, todos os cálculos pertinentes, a plantas com a identificação de vias principais, áreas de valorização e infraestruturas urbanas relevantes, além dos valores correspondentes a cada face de quadra.

Agradecimentos

Agradecemos a Prefeitura Municipal de São José do Vale do Rio Preto – RJ e a Fundação de Apoio à Pesquisa Científica e Tecnológica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – FAPUR, pela disponibilização dos dados para a realização deste estudo.

Referências

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Avaliação de Bens Parte 2: Imóveis Urbanos**. NBR 14653-2. Rio de Janeiro. ABNT. 2011.

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

ANSELIN, Luc. **Spatial econometrics**. Bruton Center. School of Social Sciences. University of Texas. Dallas. Richardson. 1999.

ANSELIN, Luc; REY, Sergio J. **Modern Spatial Econometrics in Practice: A Guide to Geoda, Geodaspace and Pysal**. Chicago: GeoDa Press LLC, 2014. 394p.

DALAQUA, Roberto Ruano; AMORIM, Amilton; FLORES, Edilson F. 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. **Engenharia de Avaliações: Uma Introdução à Metodologia Científica**. 3. ed. São Paulo: Pini, 2012. 255 p

DE CESARE, C. M., FERNANDES, C. E. e CAVALCANTI, C. B. **Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana: Caderno Técnico de Regulamentação e Implementação**. Brasília: Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Acessibilidade e Programas Urbanos, Programa Nacional de Capacitação das Cidades e Lincoln Institute of Land Policy, Vol. 3 vol. Coleção Cadernos Técnicos de Regulamentação e Implementação de Instrumentos do Estatuto da Cidade. ISBN: 978-85-7958-056-7. 2015.

DUARTE, D. C. O. **Análise Multicritério e Geoestatística aplicadas na avaliação em massa de imóveis urbanos**. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2019

DUARTE, D. C. O. Análise Multicritério aplicada à determinação de áreas de adequabilidade à valorização imobiliária. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 73, n. 2, 2021.

IAAO (INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ASSESSING OFFICERS). **Standard on mass appraisal of real property**. Missouri: IAAO. 2013.

MACHADO, E. F. **Elaboração de planta de valores genéricos para zona rural com uso de superfície de tendência**. 2006. 105 f. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. 2006.

MARISCO, Nelson; HOCHHEIM, Norberto. Avaliação em massa para a elaboração da planta de valores genéricos para as cidades de Aquidauana-MS e Anastácio-MS através de Macromodelos Espaciais. **Revista Pantaneira**, v. 19, p. 111-129, 2021.

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**. v. 2. n. 64. p.175-186. abr. 2012.

PAIVA, C. dos A.; ANTUNES, A. F. B. Geração de Planta de Valores Genéricos a partir do cadastro territorial urbano. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 69, n. 3, 2017. DOI: 10.14393/rbcv69n3-44345. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44345>. Acesso em: 28 maio. 2024.

TYSZLER, M. **Econometria Espacial: discutindo medidas para a matriz de ponderação espacial**. 2006. 155 f. Dissertação (Mestrado). Escola de Administração de Empresas de São Paulo. Fundação Getúlio Vargas. São Paulo. SP. 2006.

UBERTI, M.S. **Avaliação em massa de imóveis rurais, através de modelagem clássica, espacial e geoestatística**. 2016. 151p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

UBERTI, M. S.; ANTUNES, M. A. H.; DEBIASI, P.; TASSINARI, W. Mass appraisal of farmland using classical econometrics and spatial modeling. **Land Use Policy**, v.72, p. 161-170, 2018.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2013.