

Modelagem econométrica do preço de alugueis de apartamentos na cidade de Petrópolis-RJ: utilizando regressão linear múltipla

Rodrigo de Vasconcellos Viana Medeiros

Sunamita Theobald Carvalho

Resumo

O presente estudo tem como objetivo formular um modelo para avaliar os preços de alugueis dos apartamentos do município de Petrópolis-RJ. Foram coletadas características de 263 apartamentos disponíveis para alugar nas corretoras da cidade. A técnica utilizada para a construção do modelo foi a regressão linear múltipla. Os resultados obtidos revelaram que 77,5% da variabilidade nos preços dos alugueis de apartamentos são explicadas pelas variáveis localização, quantidade de quartos, metragem e número de vagas de garagem. Com relação a validade e ajuste do modelo o desempenho foi considerado satisfatório, tendo em vista os baixos erros percentuais encontrados nas estimativas e pelo fato de todos os pressupostos necessários para a execução da regressão linear múltipla não terem sido violados. O modelo final mostrou ser uma ferramenta útil tanto para investidores como para pessoas físicas comuns. Enquanto os investidores podem facilmente observar qual são as variáveis explicativas que provocam o maior efeito sobre o preço do aluguel e, assim, buscar um imóvel que maximize sua renda futura via aluguel, as pessoas físicas comuns têm no modelo uma forma de parametrizar o aluguel a ser cobrado sem a necessidade de buscar um serviço de corretagem.

Palavras-chave: Apartamentos; Aluguel; Regressão linear múltipla; Modelos.

Abstract

The present study aims to formulate a model to evaluate the rental prices of the apartments of the municipality of Petrópolis-RJ. Characteristics of 263 apartments available for rent in the city's real estate agencies were collected. The technique used to construct the model was the multiple linear regression. The results showed that 77.5% of the variability in the prices of apartment rentals are explained by the variables location, number of rooms, footage and number of parking spaces. Regarding the validity and fit of the model, the performance was considered satisfactory, considering the low percentage of errors found in the estimates and the fact that all the necessary assumptions for the execution of multiple linear regression were not violated. The final model proved to be a useful tool for both investors and ordinary people. While investors can easily see which are the explanatory variables that have the greatest effect on the price of rent, and thus seek a property that maximizes their future rent income, ordinary individuals have in the model a way to parameterize rent to be charged without the need to seek a brokerage service.

Keywords: Apartments; Rent; Multiple linear regression; Models.

Introdução

O município de Petrópolis, também conhecido como a cidade imperial, é uma das principais rotas turísticas do estado do Rio de Janeiro. Localizado na região serrana, seus pontos turísticos, sua história relacionada com a família real portuguesa e suas belezas naturais atraem visitantes de todas as partes. Ao longo do tempo, a cidade de Petrópolis foi crescendo e se tornando a principal economia da região serrana, possuindo indústrias, grande comércio varejista de roupas e destacado setor de hotelaria.

Junto com seu crescimento, a cidade viu a chegada de diversas pessoas buscando novas oportunidades de emprego e estudos. Surge então uma maior demanda pelo consumo de habitação na cidade, fazendo com que o setor imobiliário se tornasse tão aquecido quanto o de grandes capitais.

Estudar o comportamento de preços dos aluguéis ou de venda dos imóveis residenciais é de grande importância para a economia, pois é através destes estudos que são feitas estimações quanto a demanda do setor. Tais estudos devem ser o mais próximo da realidade possível e várias metodologias podem ser empregadas, destacando-se os modelos de regressão linear múltipla, preços hedônicos e redes neurais artificiais (FERNDANDES, MOREIRA e SILVA, 2010).

O comportamento dos preços dos aluguéis de apartamentos depende de características físicas do imóvel, ambiente econômico da região e situação financeira dos consumidores (ARRAES e FILHO, 2008). Todavia, as variáveis de maior influência podem modificar muito de um local para outro ou até mesmo na mesma região, causando insegurança em investidores que desejam adquirir algum imóvel para auferir rendas futuras (ou seja, receber aluguéis).

Para exemplificar tais variações cita-se o trabalho de Rocha e Dantas (2001) que apontam que a localização dos imóveis e o número de vagas na garagem são as principais variáveis que influenciam o preço de venda/aluguel. Por outro lado, Dantas, Magalhães e Vergolino (2007) identificaram uma grande correlação espacial entre os preços dos imóveis, indicando que se um apartamento vizinho valoriza/desvaloriza os demais da região também seguirão o mesmo sentido. Vale destacar que em tais estudos, apesar de as metodologias usadas serem distintas, ambos os trabalhos foram desenvolvidos em Recife-PE.

Diante disso, o presente trabalho busca formular um modelo de regressão linear múltipla que seja capaz de explicar as variações dos preços dos aluguéis na cidade de

Petrópolis-RJ. Além disso, tem-se como objetivo encontrar quais são as variáveis que mais contribuem para as oscilações nos aluguéis.

Por ser um tema pouco explorado (para o caso de Petrópolis-RJ) do ponto de vista científico, o presente artigo visa contribuir para uma redução na assimetria de informação para que os agentes econômicos (investidores) conheçam melhor quais características um apartamento deve possuir para que este lhe proporcione uma maior renda com alugueis futuros, além de explicitar para os consumidores, em geral, como que cada característica afeta especificamente o preço dos alugueis na cidade.

Segundo Thaler (1999) e Missias (2011), os investidores quando buscam algum imóvel com o objetivo de receber aluguel sobre este acabam cometendo alguns erros passíveis de previsão quanto ao valor que esta renda poderia lhe proporcionar. Assim, a estimação de um modelo de preços dos alugueis pode contribuir para que a tomada de decisão do investidor seja mais eficiente no que diz respeito a maximização de seus ganhos futuros.

O mercado imobiliário dos apartamentos

Alves *et al* (2011) comenta que ao se analisar o setor imobiliário é necessário considerar duas características importantes. A primeira reside no fato do grande comprometimento da renda gerado pela locação do imóvel e, a segunda, relaciona-se com a complexidade do mercado onde esses bens são negociados.

O mercado habitacional, seja para locação ou para investimento (aquisição), sofre, assim como os demais mercados, com as oscilações de oferta e demanda de mercado. Para descobrir em qual ponto encontra-se o equilíbrio, é necessário analisar como que os preços se comportam nesses mercados, que são repletos de assimetria de informação e falhas diagnosticáveis (ARRAES e FILHO, 2008).

Uma das formas de analisar os preços neste mercado é através da técnica de Regressão Linear Múltipla que, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004) é o método mais frequente quando se busca estudar o comportamento de uma variável dependente (preço) em relação a outras, consideradas independentes.

Araujo *et al* (2012) fazem uso da regressão linear múltipla para elaborar uma metodologia de avaliação dos preços de vendas dos imóveis na cidade de Bonito-MS. Os autores consideram que o preço é um vetor que trás consigo características físicas do imóvel como a área construída, número de quartos e vagas de garagem. Em seus resultados essas três

variáveis conseguiram explicar e prever de maneira satisfatória os preços de vendas dos imóveis residenciais da cidade mencionada, estimando erros de previsão entre 2,9% a 3,9%.

Paixão (2009) também faz uso da regressão linear múltipla, todavia de uma maneira um pouco distinta ao trabalho de Araujo *et al* (2012). Em seu artigo, Paixão (2009) usa um método de regressão que leva em consideração não somente as características físicas do imóvel, mas também fatores externos e implícitos que podem afetar os preços no setor imobiliário. Estes modelos são chamados de Regressão Hedônica ou modelo de preços hedônicos¹ e tem sua origem em trabalhos seminais desenvolvidos por Lancaster (1966) e Rosen (1974). Em seus resultados, Paixão (2009) conseguiu demonstrar como que o fator externo violência afetava negativamente os preços dos imóveis comerciais de Belo Horizonte-MG.

Stertz *et al* (2016) buscou avaliar o mercado imobiliário de Porto Alegre-RS somente com variáveis relacionadas ao ambiente econômico. Índice Nacional de Custo da Construção Civil (INCC), Índice de Velocidade de Vendas, Produto Interno Bruto (PIB), renda média, taxa básica de juros da economia (SELIC) e população economicamente ativa foram as variáveis levantadas para se verificar como elas alteravam os preços dos aluguéis residenciais. Apesar de algumas variáveis não apresentarem significância estatística o modelo elaborado a partir de uma regressão linear múltipla apresentou resultados satisfatórios, sendo possível destacar a importância do INCC como fator de grande impacto no preço do aluguel.

Além disso, Stertz *et al* (2016) destacam ainda que mesmo que o PIB e a taxa de juros analisadas em seu estudo não tenham sido estatisticamente relevantes tais variáveis podem ser determinantes na interação entre oferta e demanda do setor, tendo em vista que o mercado imobiliário acompanha crescimento ou queda desses indicadores de atividade econômica.

O estudo do valor dos aluguéis ao longo do tempo pode ser importante para se definir como que este afeta o preço de venda de um imóvel. Quando o mercado imobiliário é estudado de forma temporal algumas variáveis econômicas tornam-se mais decisivas, se comparadas com os atributos físicos. A inflação atrelada aos imóveis, geralmente medida pelo Índice Geral de Preços de Mercado (IGP-M) e o Índice de Atividade Industrial são alguns exemplos de variáveis explicativas relevantes para estudos temporais relacionados ao mercado imobiliário (MACHADO e HEINECK, 1998).

¹ Nestes modelos, o objetivo é extrair a importância marginal dos atributos do imóvel para a formação do preço. Os preços hedônicos podem ser definidos como os preços implícitos dos atributos e são revelados através dos preços observados dos produtos e das características relacionadas a eles (DANTAS, MAGALHÃES e VERGOLINO, 2007).

Ao desenvolver um modelo de regressão múltipla para avaliar o impacto do aluguel e de outras variáveis ao longo do tempo no preço final de venda dos apartamentos de Florianópolis-SC, Machado e Heineck (1998) constataram que o preço dos imóveis estava em crescimento no período de análise, mesmo com variáveis como o Índice Atividade Industrial apresentando ordem de grandeza inversa ao modelo proposto. Tal resultado é explicado pelos autores pelo fato do custo unitário básico da construção para a cidade apresentar elevações contínuas no período analisado, enquanto que o referido índice apresentou oscilações.

Além do método de regressão linear múltipla, outros métodos como o uso de redes neurais artificiais (FERNANDES, MOREIRA e SILVA, 2010), modelos aditivos generalizados (SILVA *et al.*, 2012) e modelos logísticos probabilísticos (ROCHA e DANTAS, 2001) são frequentemente usados nas avaliações do mercado imobiliário, complementando os modelos de regressão múltipla e em alguns casos encontrando resultados mais precisos e condizentes com o padrão do mercado. Assim, todas essas técnicas devem ser levadas em consideração para se analisar oscilações nos preços de imóveis.

O mercado imobiliário de Petrópolis: panorama recente

O cenário do mercado imobiliário petropolitano, especificamente o de apartamentos, vem acompanhando o movimento que é observado em todo o estado do Rio de Janeiro e no Brasil, em geral. Os preços dos alugueis vieram registrando valorização até meados de 2014, chegando a registrar reajustes de cerca de 10% em Petrópolis (FIPEZAP, 2016; DIÁRIO DE PETRÓPOLIS, 2014). Entretanto, com a crise política e a atividade econômica no país “patinando”, ocorreram fortes quedas nas vendas de imóveis residenciais novos e grandes incertezas quanto à possibilidade de locação pairaram sobre o mercado.

Como reflexo, foi observado uma retração na quantidade de locações residenciais realizadas. Após alguns meses, o mercado começou a apresentar alguma recuperação, principalmente com a abertura de novas turmas de estudantes universitários nas faculdades da cidade. Nesse sentido, apesar de 2016 ter sido um ano difícil para a economia o mercado reagiu a partir do segundo semestre e as buscas por apartamentos cresceu, fazendo com que o índice que reajusta o contrato de aluguel chegasse a 12,21% no acumulado de 12 meses (DIÁRIO DE PETRÓPOLIS, 2016).

Ainda existem muitas incertezas para o mercado imobiliário petropolitano neste ano. Todavia, o otimismo no setor é crescente tendo em vista o aumento das negociações nos

contratos dos alugueis que, inclusive, resultaram numa queda de preços o que mostra que alguns proprietários começaram a perceber a crise econômica e a inflação estavam, de fato, dificultando a manutenção de preços mais elevados (DIÁRIO DE PETRÓPOLIS, 2017).

Com relação aos preços, Petrópolis atualmente possui o maior valor médio de metro quadrado (m^2) da região serrana. De acordo com uma pesquisa feita pelo Diário de Petrópolis (2016), a média do valor do m^2 para os apartamentos da cidade é de R\$ 5.789. Um dos fatores que contribui para essa média elevada são os reajustes anuais de taxas e impostos. Como exemplo pode citar-se o IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano) que para o ano de 2017 será reajustado em 6,14% (PREFEITURA DE PETRÓPOLIS, 2016). Ainda de acordo com a pesquisa, em Teresópolis, cidade vizinha, o valor do m^2 é de R\$ 4.665, quase 24% inferior e em Nova Friburgo o m^2 médio de apartamentos fica em R\$ 3.856, um valor 33% inferior à cidade imperial.

Ainda segundo a pesquisa realizada pelo Diário de Petrópolis (2016) o Centro é a região com maior valor médio de m^2 para a venda de apartamentos (R\$ 6.363), seguido pela região de Itaipava (R\$ 6.140) e por alguns bairros considerados periféricos ao centro como Correias (R\$ 5.397) e Quitandinha (R\$ 4.924).

Por outro lado, o valor dos alugueis podem variar muito até mesmo dentro de uma mesma região. No Centro é possível encontrar apartamentos alugáveis com valores entre R\$ 550 e R\$ 900. Isso devido as taxas cobradas em cada local. O valor de condomínio, as formas que são determinadas cobranças de água e outros serviços, como o de internet, afetam os valores do alugueis. Já nas regiões fora do centro (com exceção de Itaipava) o aluguel médio pago aos proprietários se aproxima de R\$ 600 (DIÁRIO DE PETRÓPOLIS, 2016).

Aspectos metodológicos do modelo proposto

Métodos

Uma pesquisa quantitativa baseada em modelo busca encontrar uma relação de causa e efeito entre variáveis previamente selecionadas. Além disso, para que um modelo seja capaz de explicar realisticamente as relações de causa e efeito uma série de pressupostos devem ser satisfeitos (WOOLDRIDGE, 2010). Assim, com o objetivo de identificar as principais características que expliquem o preço dos alugueis de apartamentos e encontrar um modelo que estime satisfatoriamente tais preços, foi usada a técnica de regressão linear múltipla.

Um modelo de regressão linear múltipla é aquele que possui mais de uma variável explicativa (independente) relacionada a uma variável a ser explicada (dependente).

Algebricamente, um modelo de regressão linear múltipla pode ser expresso conforme a equação 1:

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j X_j + \varepsilon \quad (1)$$

Em que, Y é a variável a ser explicada, $X_j, j = 0, 1, \dots, k$ são as variáveis explicativas ou regressores, $\beta_j, j = 0, 1, \dots, k$ são os coeficientes estimados que representam a variação esperada em Y dada a variação unitária em X_j quando todas as outras variáveis explicativas permanecem constantes e ε representa um termo aleatório de erro (ou resíduos) que contém toda a variabilidade de Y que não pode ser explicadas pelas variáveis independentes.

Estimação dos coeficientes

Um das maneiras de estimar os parâmetros na regressão linear múltipla é através do método dos mínimos quadrados. De acordo com Wooldridge (2010), neste método os coeficientes “betas” são estimados de tal forma que os erros ou resíduos do modelo sejam mínimos, isto é, a diferença entre o valor previsto e o real devem ser o menor possível. Reescrevendo a equação 1 sob a forma matricial, temos:

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1k} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nk} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

Que será representada, de forma análoga, na equação 2:

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (2)$$

Onde Y é vetor das observações da variável a ser explicada, X é a matriz com $(n \times (k+1))$ de valores que representam as variáveis explicativas, β é o vetor de coeficientes da regressão e ε é vetor dos erros aleatórios.

Para encontrar o estimador dos mínimos quadrados para o vetor β deve-se minimizar a soma dos quadrados dos erros. Então, primeiramente, verifica-se a soma dos quadrados dos erros da seguinte forma:

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = [\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n] \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} = \varepsilon' \varepsilon$$

Para encontrar o valor de ε' , deve-se observar que:

$$Y = X\beta + \varepsilon \Rightarrow \varepsilon = Y - X\beta \Rightarrow \varepsilon' = (Y - X\beta)'$$

Portanto, tem-se que a soma dos quadrados dos erros (SQE) será dada por:

$$SQE = \varepsilon' \varepsilon = (Y - X\beta)'(Y - X\beta)$$

Logo, para que SQE seja mínimo deve-se encontrar $\frac{\partial SQE}{\partial \beta} = 0$, ou seja,

$X'X\beta = X'Y$. Utilizando um pouco de álgebra e reorganizando as variáveis, obtém-se o estimador dos mínimos quadrados para β (MAROCCO, 2007).

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1} X'Y$$

Seleção das variáveis

As variáveis que foram incluídas no estudo estão ancoradas nos estudos pesquisados. A literatura identifica diversas variáveis que são influenciadoras, em alguma medida, dos preços dos alugueis de apartamentos. Porém, a fim de investigar aquelas mais relevantes, foram consideradas como variáveis significantes aquelas que sobressaíram em estudos anteriores, destacando-se em um ou mais estudos e, principalmente, pela disponibilidade destas em fontes públicas de consulta. Nesse sentido, foram incluídas no estudo variáveis relacionadas aos aspectos físicos dos apartamentos e também a localização destes. O quadro 1 apresenta a síntese das variáveis utilizadas para a construção do modelo.

Quadro 1 - Variáveis utilizadas para a construção do modelo.

Variáveis	Definição	Tipo
Preço	Valor do aluguel, em reais, pago pelos consumidores de habitação.	Variável dependente quantitativa.
Número de quartos	Quantidade de dormitórios em cada apartamento pesquisado.	Variável independente quantitativa.
Vagas de garagem	Número de vagas de garagem disponível para o apartamento.	Variável independente quantitativa.

Metro quadrado	Tamanho total do apartamento (área disponível habitável).	Variável independente quantitativa
Número de banheiros	Somatório de banheiros sociais e suítes existentes nos apartamentos.	Variável independente quantitativa.
Valor de condomínio	<i>Proxy</i> para as taxas pagas pelos locatários.	Variável independente quantitativa.
Região 1	Variável auxiliar (<i>dummy</i>) que indica se o imóvel está localizado no centro.	Variável independente qualitativa dicotômica.
Região 2	Variável auxiliar (<i>dummy</i>) que indica se o imóvel está localizado em uma região de luxo (Itaipava e/ou Valparaíso).	Variável independente qualitativa dicotômica.

Fonte: Elaboração própria.

Assim o modelo proposto inicialmente pode ser representado pela equação 3:

$$P = \beta_0 + \beta_1 NQ + \beta_2 VG + \beta_3 MQ + \beta_4 NB + \beta_5 VC + \beta_6 RG1 + \beta_7 RG2 + \varepsilon \quad (3)$$

Em que P é o valor do aluguel, NQ é o número de quartos, VG são as vagas de garagem, MQ é o tamanho do imóvel medido em metros quadrados, NB somatório de banheiros sociais e suítes, VC valor de condomínio, RG1 se o imóvel está localizado no centro e RG2 se o imóvel pertence a regiões de luxo.

Resultados para o modelo aplicado

Foi realizado um levantamento dos apartamentos que estavam para aluguel em Janeiro de 2017 nas principais imobiliárias da cidade. Retirando-se os imóveis repetidos, que estavam para alugar em mais de uma imobiliária, foram encontrados 263 apartamentos. É importante ressaltar que o valor de condomínio possuía muitos dados faltantes no momento da coleta², impossibilitando sua inclusão para a construção do modelo. Todavia, a fim de explorar os valores encontrados, tal variável foi incluída nas estatísticas descritivas. A tabela 1 apresenta algumas das medidas descritivas dos apartamentos pesquisados.

² A questão de dados incompletos coletados para uma variável torna-se um problema quando o percentual de faltas supera os 20%. Trabalhar com uma amostra reduzida que contenha todos os dados completos ou excluir a variável da análise são algumas soluções para este problema. Para maiores informações sobre os procedimentos adotáveis para o caso de dados *missing* vide Marocco (2007) e Hair *et al.* (2009).

Tabela 1. Estatística descritiva de algumas variáveis do estudo.

Variáveis	Observações válidas	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão
P	263	450,00	5.000,00	1.641,90	1.400,00	888,10
NQ	263	1,00	5,00	2,16	2,00	0,88
VG	246	0,00	3,00	1,05	1,00	0,69
MQ	263	20,00	400,00	88,01	72,00	53,46
NB	263	1,00	5,00	1,71	2,00	0,81
VC	75	75,00	1.600,00	557,79	534,00	366,85

Fonte: Dados da pesquisa.

A partir dos resultados encontrados na tabela 1 pode-se afirmar que os apartamentos para alugar possuem, em média, dois quartos (NQ), uma vaga de garagem (VG), oitenta e oito metros quadrados (MQ), um banheiro social (NB), aluguel (P) de R\$ 1.641,90 e valor a pagar de condomínio (VC) de R\$ 557,79. Além disso, as vagas de garagem e o número de quartos possuem distribuição quase que simétricas, pois suas médias estão muito próximas das suas respectivas medianas. O elevado desvio padrão observado nos valores dos alugueis é explicado pela grande diferença de preços encontrada entre o apartamento mais barato (R\$ 450,00 situado no centro) e o mais caro (R\$ 5.000,00 situado em uma região luxuosa de condomínios).

Do ponto de vista da localização, foi encontrada uma maior quantidade de apartamentos localizados em regiões luxuosa da cidade para alugar (41,1% da amostra). Por outro lado, a região periférica ao centro foi a que obteve a menor quantidade de imóveis vagos (23,6% da amostra) e a região central permaneceu entre as outras duas localizações (35,4% da amostra). A tabela 2 sumariza algumas estatísticas descritivas por região pesquisada.

Tabela 2. Estatísticas descritivas segundo a localização pesquisada.

Localização	Imóveis vagos	Média de alugueis	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Região central	93	1.682,25	858,35	700,00	4.200,00
Região periférica	61	1.339,83	891,71	450,00	4.500,00
Região luxuosa	109	1.776,51	879,10	570,00	5.000,00

Fonte: Dados da pesquisa.

Verificou-se pela tabela 2 que em todas as regiões pesquisadas houve grande variabilidade no valor dos alugueis, o que resultou em elevados desvios padrões para cada região. Contudo, a região considera luxuosa, que engloba imóveis localizados em Itaipava e Nogueira, foi a que apresentou maior média nos preços dos alugueis (R\$ 1.776,51). A região central, que engloba os imóveis localizados no Centro, Retiro e Coronel Veiga, foi a segunda

região com o maior valor médio de aluguel (R\$ 1.682,25). Já a região periférica (onde se situam imóveis nos bairros Correias, Alto da Serra, Samambaia, Quitandinha, Cascatinha e Castelanea) foi o local de menor valor médio de aluguel, atingindo R\$ 1.339,83.

Além disso, os resultados da tabela 2 confirmam a existência de grande variabilidade nos preços dos alugueis dentro de cada região, pois os valores mínimos e máximos ficaram muito distantes. Essa tendência já havia sido destacada pela pesquisa realizada pelo Diário de Petrópolis (2016). Porém, o valor médio dos alugueis encontrados na presente pesquisa foi superior pelo fato de levar somente em consideração apartamentos.

Ajuste do modelo

Com o intuito de ajustar um modelo de regressão linear múltipla que fosse capaz de produzir estimativas de alta confiabilidade sobre o valor dos alugueis de apartamentos da cidade de Petrópolis-RJ, os imóveis que não possuíam todas as informações relacionadas as variáveis do estudo foram excluídos da construção do modelo. Nesse sentido, após a filtragem dos 263 apartamentos disponíveis para a locação, foram considerados 220 para o ajuste do modelo.

A técnica escolhida para ajustar o modelo foi a *stepwise*. Nesta técnica, o modelo inicialmente proposto possui uma única variável independente. Aos poucos outras variáveis explicativas vão sendo incluídas no modelo e a cada inclusão estas variáveis são testadas quanto a sua significância, ou seja, se a entrada de mais uma variável no modelo contribui para o poder de explicação deste. Além disso, uma vantagem desta técnica é que toda variável incluída, além de testada quanto a sua significância para o modelo, é avaliada quanto a sua interferência nas demais, isto é, se uma nova variável causar problemas nas outras variáveis explicativas ela não é considerada para o modelo e então o método a exclui automaticamente (MAROCCO, 2007; HAIR *et al.*, 2009). A tabela 3 apresenta a análise de variância para o modelo ajustado pela técnica *stepwise*.

Tabela 3 - Análise de variância do modelo estimado pela técnica *stepwise*.

	Soma de quadrado	Grau de liberdade	Quadrado médio	Estatística F	P-valor
Regressão	1,384E8	4	3,459E7		
Resíduo	4,146E7	215	192816,939	179,418	0,001
Total	1,798E8	219			

Fonte: Dados da pesquisa.

A partir dos resultados observados na tabela 3 ficou identificado que o modelo ajustado aos dados é significativo ao nível de 5%, ou seja, pelo menos uma das variáveis independentes possui efeito significativo sobre as variações da variável a ser explicada. Além disso, o coeficiente de determinação ajustado encontrado para o modelo foi 0,775. Ou seja, 77,5% da variabilidade dos preços dos alugueis de apartamentos na cidade de Petrópolis são explicados pelas variáveis que foram incluídas no modelo.

Porém, somente com a análise de variância não é suficiente para saber qual o efeito de cada variável independente em Y (variável dependente). Assim, foi realizada uma análise dos coeficientes de regressão visando observar a significância destes bem como o efeito que cada variável independente pode exercer sobre a dependente. Os resultados são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Resultados dos coeficientes encontrados pelo modelo de regressão.

	Coeficiente	Erro padrão	Estatística <i>t</i>	P-valor	VIF
Constante	66,757	83,371	0,801	0,424	
MQ	12,039	0,744	16,171	0,001	1,930
RG2	460,014	76,649	6,002	0,001	1,676
NQ	160,894	80,687	1,994	0,048	1,871
RG1	296,009	79,690	3,714	0,001	1,756
NB	95,489	103,548	0,922	0,357	
VG	180,091	56,880	3,166	0,002	1,950

Fonte: Dados da pesquisa.

Pelos resultados encontrados na tabela 4 ficou constatado que somente a variável explicativa número de banheiro (NB) não foi significativa ao nível de 5%. Isso significa que esta variável foi excluída no momento da construção do modelo pelo método *stepwise*.

A coluna VIF (*Variance Inflator Factor*) da tabela 4 apresenta o grau de correlação existente entre as variáveis explicativas do modelo. Segundo a literatura especializada (HAIR *et al*, 2009; MAROCCO, 2007), para valores inferiores a 5 não há problemas de multicolinearidade no modelo. Assim, ao se observar os valores VIF das variáveis do modelo, ficou constatado a ausência de multicolinearidade para o modelo ajustado.

Além disso, é importante destacar que a variável número de quartos (NQ) está representada no modelo estimado por uma *dummy*, pois a sua forma original não era significativa ao nível de 5%. Dessa forma, a *dummy* foi criada baseada na mediana encontrada na estatística descritiva dos dados e se atribuiu o valor 1 para os apartamentos que tinham mais de dois quartos e o valor 0 caso contrário (dois ou menos quartos). Com este

procedimento, o impacto da quantidade de quartos não foi perdido totalmente, contribuindo para aumentar o poder explicativo do modelo. Assim, o modelo gerado foi:

$$P = 66,757 + 12,039MQ + 460,014RG2 + 160,894NQ + 296,009RG1 + 180,091VG + \varepsilon \quad (4)$$

Para cada metro quadrado (MQ) adicional no apartamento, em média, o aluguel sobe em 12,039 reais. Do mesmo modo pode ser interpretada a vaga na garagem (VG), ou seja, a cada vaga adicional o impacto, em média, no aluguel é 180,091 reais. Para as *dummies* do modelo, a interpretação é um pouco distinta. Caso o apartamento esteja localizado em uma região luxuosa (RG2) o aluguel aumenta, em média, 460,014 reais. Se o apartamento estiver em uma região central (RG1) o preço do aluguel sobe, em média, 296,009 reais. Por fim, quando o apartamento possuir mais de dois quartos (NQ) o aluguel deste imóvel tende a ser, em média, 160,894 reais maior que outro que tenha dois ou menos dormitórios. A constante encontrada pelo modelo (66,757) não possui interpretação prática uma vez que não existe imóvel com zero metros quadrados e nenhum quarto, embora possa existir apartamentos sem vaga de garagem.

Análise de resíduo

A análise dos resíduos do modelo é de grande relevância, pois é desse modo que pode ser feita a verificação dos pressupostos da regressão, como, por exemplo, a normalidade dos resíduos, a homocedasticidade da variância dos erros e também a independência dos resíduos. A tabela 5 apresenta os resultados para a normalidade dos resíduos (teste Shapiro-Wilk) e independência dos erros (teste Durbin-Watson).

Tabela 5 - Análise da normalidade e independência dos erros da regressão.

Teste Shapiro-Wilk		Teste Durbin-Watson
Estatística W	P-valor	Estatística <i>dw</i>
0,993	0,513	1,645

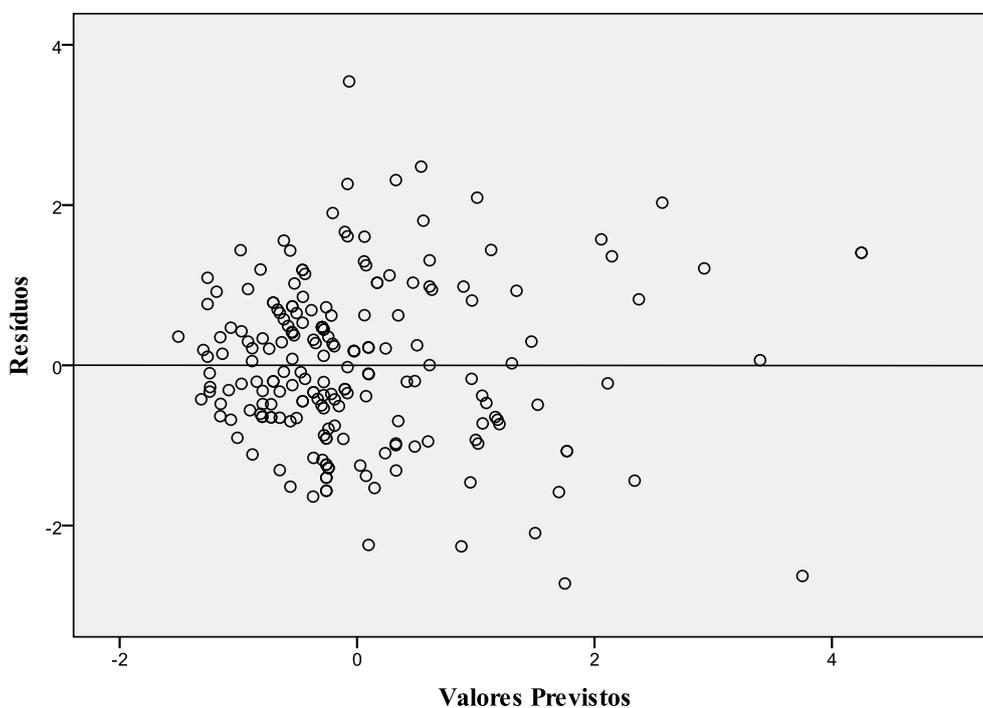
Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo o teste de Shapiro-Wilk, a hipótese de nulidade não pode ser rejeitada ao nível de 5%. Isso significa que os resíduos do modelo proposto seguem uma distribuição normal. Para a independência dos erros, testa via estatística Durbin-Watson, se adota uma regra prática como critério de decisão. Para valores próximos a 2 diz-se que não existe autocorrelação dos erros, enquanto valores próximo a 0 tem-se uma correlação positiva e

próxima a 4 uma correlação negativa. Como verificado na tabela 5, a estatística dw se aproxima do valor 2, indicando a inexistência de autocorrelação dos erros. Portanto, os pressupostos de normalidade na distribuição dos resíduos e independência dos erros não foram rejeitadas.

Para que a análise dos resíduos seja completa, ainda falta verificar o comportamento da variância dos resíduos. A importância dessa análise está ligada a precisão dos estimadores do modelo. Se for detectada a presença de heterocedasticidade o estimador dos coeficientes torna-se ineficiente, ou seja, deixará de ter a menor variância possível. A figura 1 ilustra a distribuição dos erros em função e dos valores previstos pelo modelo.

Figura 1 - Comportamento da variância dos resíduos.



Verificou-se observando a dispersão dos erros na figura 1 que não houve nenhum comportamento sistemático dos resíduos, isto é, eles distribuíram de forma aleatória o que indica que sua variância foi constante. Caso fosse detectado algum tipo de padrão visual no conjunto de pontos da figura 1 o mesmo poderia ter, por exemplo, a forma de um triângulo ou até mesmo um funil.

Perante o que foi exposto, tanto no que diz respeito ao ajuste do modelo quanto na análise de diagnóstico dos resíduos, pode-se afirmar que o modelo é adequado para realizar previsões de preços dos aluguéis de apartamentos do município de Petrópolis-RJ.

Previsibilidade do modelo

Com o intuito de avaliar a precisão do modelo ajustado, foram escolhidas quatro observações do conjunto de dados aleatoriamente e feitas simulações para o aluguel que seria cobrado, dada as características dos imóveis. A tabela 6 apresenta os valores estimados para os alugueis, bem como o percentual de erro alcançado pelo modelo.

Tabela 6 - Avaliação da previsibilidade do modelo.

Preço estimado (R\$)	Preço real (R\$)	Erro (%)
3.958,75	4.000,00	1,03
2.781,29	2.700,00	3,01
2.448,91	2.200,00	11,31
2.131,35	2.000,00	6,56

Fonte: Dados da pesquisa.

Pelos resultados encontrados na tabela 6 verificou-se que a previsibilidade do modelo ajustado foi satisfatória tendo em vista que o desempenho nas previsões foram bons, apresentando baixos erros percentuais. Em trabalhos como o de Araujo *et al.* (2012) as estimativas foram mais precisas, com erros percentuais variando entre 2,4 a 3,9%. Por outro lado, o trabalho desenvolvido por Dutra (2009) chegou a apresentar erros de até 18% nas estimativas. Assim, pode-se afirmar que o modelo encontrado neste trabalho para avaliar os preços de alugueis é confiável, tornando-se uma ferramenta de simples entendimento e com boa previsibilidade.

Conclusão

O presente trabalho propôs encontrar um modelo de regressão linear múltipla para estimar os preços de alugueis dos apartamentos da cidade de Petrópolis-RJ. Os resultados demonstraram que cerca de 77% das oscilações nos alugueis dos apartamentos são explicados pelas variáveis: metro quadrado, localização (RG1 ou RG2), quantidade de quartos e vaga de garagem. Além disso, o modelo foi julgado adequado uma vez que apresentou baixos erros percentuais nas estimativas e atendeu aos pressupostos de homocedasticidade de variância dos erros, normalidade na distribuição dos resíduos, independência dos erros e ausência de multicolinearidade.

A partir da técnica de inclusão de variáveis passo a passo (*stepwise*) verificou-se que a quantidade de banheiros em nada contribui para explicar as variações dos alugueis. Com

relação ao efeito das variáveis do modelo sobre o preço dos alugueis, notou-se que a vaga de garagem é a que possui maior impacto dentre as variáveis quantitativas do modelo. No tocante às variáveis *dummies*, a localização foi a que obteve maior efeito sobre os preços dos alugueis dos apartamentos, isto é, a *dummy* associada a região luxuosa do município (RG2).

Face ao que foi exposto, o modelo encontrado pode não só contribuir para a redução da assimetria de informação dos investidores que desejam adquirir um imóvel deste tipo para receber rendas futuras, mas ainda servir de parâmetro para aquelas pessoas físicas que desejam alugar seus imóveis por conta própria, sem a necessidade de recorrer a imobiliárias para descobrir qual seria o melhor preço para o aluguel cobrado. Nesse sentido, o modelo ajustado torna-se uma ferramenta importante para avaliação de alugueis de apartamentos e de fácil acesso a todas as pessoas.

Entretanto, deve-se salientar que o modelo encontrado necessita ser ajustado com periodicidade devido a dinâmica do mercado imobiliário o que abre caminho para outros trabalhos correlatos. Assim, estudos futuros que contemplem a inclusão de novas variáveis podem, além de atualizá-lo, enriquecer o poder de explicação do modelo. Adicionar outras variáveis como a idade do imóvel, a distância deste para algum local de grande importância para a cidade e até mesmo as condições para o fechamento do contrato nas imobiliárias podem complementar o modelo e torná-lo mais realístico.

Bibliografia

ALVES, D. C. O.; YOSHINO, J. A.; PEREDA, P. C.; AMREIN, C. J. Modelagem dos preços de imóveis residenciais paulistanos. *Revista Brasileira de Finanças*, v. 9, n. 2, p. 167-187, 2011.

ARAUJO, E. G.; PEREIRA, J. C.; XIMENES, F.; SPANHOL, C. P.; GARSON, S. Proposta de uma metodologia para a avaliação do preço de venda de imóveis residenciais em Bonito/MS baseado em modelos de Regressão Linear Múltipla. *P & D em engenharia de produção*, v. 10, n. 2, p. 195-207, 2012.

ARRAES, R. A.; FILHO, E. S. Externalidades e formação de preços no mercado imobiliário urbano brasileiro: um estudo de caso. *Economia Aplicada*, v. 12, n. 2, 289-319, abril-junho, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14653-2: Avaliação de bens parte 2: imóveis urbanos. Rio de Janeiro, 2004.

DANTAS, R. A.; MAGALHÃES, A. M.; VERGOLINO, J. R. O. Avaliação de imóveis: a importância dos vizinhos no caso de Recife-PE. *Economia Aplicada*, v. 11, n. 2; 231-251, abril-junho, 2007.

DIÁRIO DE PETRÓPOLIS. Reajuste de alugueis pode chegar a 10%. Disponível em: <<http://diariodepetropolis.com.br/integra/reajuste-de-alugueis-pode-chegar-a-10-59738>> [versão em cache]. Acesso em: 26 jan. 2017.

_____. Mercado imobiliário da região serrana dá sinais de recuperação. Disponível em: <<http://diariodepetropolis.com.br/integra/mercado-imobiliario-da-regiao-serrana-da-sinais-de-recuperacao-105385>> [versão em cache]. Acesso em 07 fev. 2017.

_____. Mercado imobiliário começa o ano com otimismo. Disponível em: <<http://diariodepetropolis.com.br/integra/mercadoimobiliariocomecaanocomotimismo108957>> [versão em cache]. Acesso em: 08 fev. 2017.

DUTRA, R. F. M. Análise e determinação dos factores formadores de valor de mercado fracções habitacionais: desenvolvimento de modelos de estimação. 2009. 78p. Dissertação (mestrado em engenharia civil). Universidade Técnica de Lisboa, 2009.

FERNANDES, A. M. R.; MOREIRA, D. S.; SILVA, R. S. Utilização de um Rede Neural Artificial e Análise Multicritério para determinação do valor de aluguel de apartamentos. IN: VII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Resende, Rio de Janeiro, 2010.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS. Índice FipeZap. Disponível em: <<http://fipezap.zapimoveis.com.br/>>. Acesso em: 01 fev. 2017.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J. ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. Análise Multivariada de Dados. 6ª edição, Porto Alegre: Bookman, 2009.

LANCASTER, K. J. A new approach to consumer theory. *Journal of Political Economy*, v. 74, n. 2, p. 132-157, 1966.

MACHADO, R. L.; HEINECK, L. F. M. Modelagem econométrica de preços de apartamentos residenciais de três dormitórios em Florianópolis-SC. IN: XVIII ENEGEP, Niterói, Rio de Janeiro, 1998.

MAROCCO, J. Análise Estatística com Utilização do SPSS. 3ª edição, Lisboa: Sílabo, 2007.

MISSIAS, J. C. Análise de evidências de bolhas de preços no mercado imobiliário residencial de Brasília-DF no período de março de 2010 a agosto de 2011. 2011, 56p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Administração). Brasília, Distrito Federal, UnB, 2011.

PAIXÃO, L. A. R. O impacto da violência nos preços dos imóveis comerciais de Belo Horizonte: Uma abordagem hedônica. *Economia Aplicada*, v. 13, n. 1, p. 125-152, 2009.

PREFEITURA DE PETRÓPOLIS. Prefeitura fixa em 6,14% o percentual de reajuste do IPTU. Disponível em: <<http://www.petropolis.rj.gov.br/pmp/index.php/imprensa/noticias-2/item/4756-prefeitura-fixa-em-614-o-percentual-de-reajuste-do-iptu.html>>. Acesso em: 07 fev. 2017.

ROCHA, F. J. S.; DANTAS, R. A. Avaliação de vendas de imóveis usando modelo PROBIT. IN: XXII ENEGEP, Salvador, Bahia, 2001.

ROSEN, S. Hedonic prices and implicit markets: Product differentiation in pure competition. *Journal of Political Economy*, v. 82, n.1, p. 34-55, 1974.

SILVA, A. O.; DOS SANTOS, C. S. A.; SILVA, L. C. M.; FREITAS, W. L. Modelo de precificação de apartamentos da cidade João Pessoa. IN: I Simpósio de Matemática e Estatística, Teresina, Piauí, 2012.

STERTZ, E. S.; AMORIN, A. L. W.; FLORES, S. A.; WEISE, A. D. Mercado Imobiliário: Uma análise sobre o comportamento dos preços dos imóveis na cidade de Porto Alegre-RS. *Revista Gestão.org*, v. 14, n. 1, p. 158-166, 2016.

THALER, R. H. The end of Behavioral Finance. *Association for investment*, p. 13-23, 1999.

WOOLDRIDGE, J. M. *Introducción a la econometría: un enfoque moderno*. 4ª edición, México: CENGAGE Learning, 2010.

Sobre os autores:

Rodrigo de Vasconcellos Viana Medeiros

Graduado em Ciências Econômicas pela Universidade Católica de Petrópolis (UCP). Mestre em Economia Doméstica pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Sunamita Theobald Carvalho

Graduanda em Ciências Contábeis pela Universidade Católica de Petrópolis (UCP).

Artigo recebido em 27/03/2017

Aprovado em 26/06/2017

Como citar esse artigo:

MEDEIROS, Rodrigo de Vasconcellos; CARVALHO, Sunamita Theobald. Modelagem econométrica do preço de aluguéis de apartamentos na cidade de Petrópolis-RJ: utilizando regressão linear múltipla. **Revista de Economia da UEG**. Vol. 13, N.º 1, jan/jun. 2017.