

A utilização de “preços hedônicos” na avaliação social de projetos*

Antônio Aguirre**
Diomira M. C. P. de Faria***

Sumário: 1. Introdução; 2. O método dos preços hedônicos; 3. Especificação da função hedônica; 4. Um estudo de caso; 5. Resumo e conclusões.

Palavras-chave: avaliação de projetos; avaliação social de projetos; preços hedônicos; Box e Cox.

O objetivo deste artigo é apresentar uma aplicação empírica do método dos preços hedônicos na avaliação social de projetos, incluindo uma breve revisão bibliográfica dessa técnica, uma discussão do marco conceitual que lhe dá fundamento, a respectiva análise econométrica e a interpretação dos resultados. As regressões hedônicas foram inicialmente introduzidas nos estudos aplicados de economia como uma relação empírica que permitia obter preços implícitos de atributos de alguns bens, atributos esses que não são transacionados separadamente no mercado. O estudo estima e compara várias especificações da regressão entre preço dos imóveis e um conjunto de características. O melhor ajustamento dos dados da amostra foi conseguido com a transformação raiz quadrada. Essa seleção da melhor forma da relação foi efetuada usando-se o método de transformações de Box e Cox.

This paper discusses the so-called “hedonic prices”. A review of the literature is provided together with an application in the area of social project evaluation. The particular case studied refers to the evaluation of the benefits generated by an investment project in the city of São Paulo. The specification and the estimation of the uniequational hedonic regression model are discussed. The Box and Cox transformation is used to select the “best” form of the relation. After estimation, the coefficients are interpreted in the light of the hedonic price theory, and the results are discussed.

1. Introdução

A avaliação social de projetos de investimentos requer, às vezes, que se atribuam valores monetários a “bens” tais como ar puro, cursos d’água, parques (naturais ou não), locais com potencial turístico, patrimônios históricos etc. Esses são exemplos de bens públicos ou “bens de consumo coletivo” (Samuelson, 1954), que têm valor para a sociedade mas *não têm mercados onde tal valor possa ser expresso*. Porém, a sociedade, para decidir fazer qualquer investimento com vistas a utilizar ou proteger um dado recurso dessa natureza, necessita contar com mecanismos adequados para estimar seu valor social, como pré-requisito para a tomada de decisões sociais racionais.

No seu modelo, Samuelson mostra que, se todos os bens são privados, o sistema de preços dos mercados competitivos funciona como um computador analógico que, dadas as condições que garantam o bom comportamento das funções de produção e de preferências dos produtores e consumidores, determina o “melhor estado do mundo” ou ponto ótimo. Porém,

* Artigo recebido em jun. e aprovado em ago. 1996.

** Professor adjunto da Face/UFMG e pesquisador do Cedeplar/UFMG.

*** Economista e pesquisadora da Ampla Visão Consultoria, Assessoria e Serviços (Belo Horizonte, MG).

quando se incorporam os bens públicos ao modelo, nenhum sistema descentralizado de preços pode funcionar para determinar os níveis ótimos de consumo coletivo. Outros sistemas de “votação” ou “sinalização” devem ser usados, porque agora é do interesse de qualquer pessoa egoísta *dar sinais falsos*, e tentar mostrar que tem menos interesse num dado consumo coletivo do que realmente tem.¹ Eis aí a origem dos esforços para elaborar métodos alternativos de avaliação, geralmente denominados *non-market valuation methods*, ou seja, métodos de valoração extramercado.²

Usualmente, em economia o principal foco de estudo são as ações dos indivíduos e das firmas. Assim, por exemplo, ações individuais como o uso recreacional de um ecossistema podem demonstrar o valor que os usuários atribuem a esse recurso natural, e os economistas tentam estimar esse valor usando as técnicas das preferências reveladas, onde estas são inferidas do comportamento dos consumidores. Entretanto, podem-se apontar duas diferenças fundamentais entre os métodos de avaliação extramercado e os estudos tradicionais em economia. Nos trabalhos do primeiro tipo, nunca observamos aquilo que estamos estimando (nunca se observa o excedente do consumidor ou a variação compensadora, por exemplo). Apesar disso, todos os economistas que usam essas técnicas têm expectativas claras sobre os resultados que se deveriam obter em cada caso. O que temos, na realidade, é um processo bayesiano de aprimoramento das estimativas, sem possibilidade de observação. A segunda diferença é que não estamos modelando aquilo que tratamos de estimar. Modelamos o comportamento e, a partir daí, tratamos de inferir valores. Devido a esse fato, surge uma grande dificuldade: às vezes acontece que duas ou três teorias alternativas modelam o comportamento razoavelmente bem, mas produzem estimativas radicalmente diferentes da magnitude que está sendo estimada (valor do excedente do consumidor, por exemplo). Nesses casos, para decidir entre modelos alternativos, o economista deve recorrer a suas “expectativas apriorísticas” sobre quais deveriam ser tais valores.

Entre os vários métodos de avaliação extramercado existentes, os mais conhecidos são os denominados custo de viagem, avaliação contingente e preços hedônicos. O primeiro enfoque é usado para estimar a demanda (e os benefícios daí decorrentes) de vários tipos de recursos naturais, locais recreacionais, praias, reservas naturais e parques nacionais. O modelo do custo de viagem baseia-se no fato de que, para consumir os serviços proporcionados pelo recurso natural de que se trate, os usuários devem deslocar-se até esse local. Consumidores que moram a diferentes distâncias do lugar em questão incorrem em diferentes custos de viagem para atingi-lo. Essa diferença de custos proporciona uma *cross-section* de variações de preços que permitem, em princípio, estimar a chamada “função de demanda de custo de viagem” (Bishop & Heberlein, 1979; Loomis et alii, 1991).

A técnica de avaliação contingente consiste em perguntar aos beneficiários potenciais de um projeto específico quanto estariam dispostos a pagar pelas melhorias ambientais, ou pela instalação de serviços diversos, resultantes da implantação daquele projeto. A partir dessa informação sobre a disposição para pagar dos beneficiários, o método deriva estimativas dos benefícios. Para essa finalidade, uma pesquisa de campo faz-se necessária. O objetivo maior

¹ Esse é o problema de “pegar carona” ou *free riding* (ver Varian, 1993).

² Nos EUA, por exemplo, uma lei de 1980, conhecida como Cercla (Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act) manda que se desenvolvam metodologias especiais para a avaliação de danos ao meio ambiente. Na mesma linha, a Suprema Corte daquele país decidiu que, quando não for possível usar dados de mercado sobre o valor de venda ou uso de um recurso, sejam usados métodos “extramercado suficientemente confiáveis”.

desse método é determinar o preço (valor) que a população-alvo de um projeto estaria disposta a pagar para usufruir os benefícios gerados pela implantação do mesmo. As perguntas feitas aos entrevistados, para tentar estabelecer essa disposição para pagar pelos serviços do projeto, referem-se a situações hipotéticas alternativas (Mitchell & Carson, 1989; Hausman, 1993; Aguirre & Faria, 1996).

Apesar de estar incluído entre os métodos de avaliação extramercado, o modelo dos preços hedônicos³ refere-se a um tipo especial de mercados. Trata-se de mercados onde se transacionam bens com atributos diferentes (bens heterogêneos). O preço que equilibra um desses mercados reflete a quantidade de atributos que o bem em questão possui. Quanto melhores os atributos, maior o preço a eles atribuído. Existem muitos exemplos desse tipo: mercado de vinhos, de carros, de produtos manufaturados, de imóveis etc. Hoje em dia, a utilização mais freqüente desse método no trabalho empírico dos economistas é, sem dúvida, na avaliação de imóveis. As moradias têm muitos atributos. A figura 1 mostra, esquematicamente, como funciona o mercado para uma característica em especial: número de metros quadrados de superfície coberta.

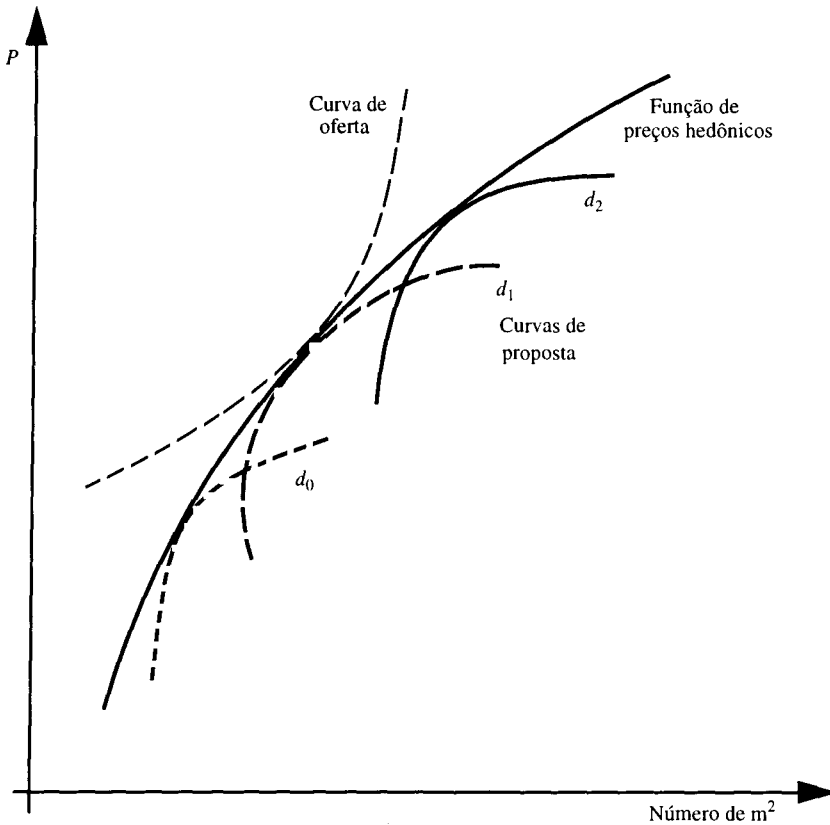
Como todo mercado, nesse também há dois grupos: compradores e vendedores. Os desejos dos compradores são descritos por “funções de proposta”, que são côncavas. Essas curvas mostram que os compradores estão dispostos a pagar mais por uma maior quantidade de metros quadrados, e que a quantia que estão dispostos a pagar por uma unidade adicional diminui à medida que o número de metros quadrados aumenta. A curva d_1 representa as propostas de um indivíduo com uma renda maior — ou uma família maior — que a da pessoa representada por d_0 . Assim, a função de proposta reflete as particularidades do indivíduo que faz a proposta (renda familiar, tamanho da família, gostos etc.). Do outro lado do mercado, estão os vendedores. S_0 é uma curva de oferta (convexa) do atributo metros quadrados de superfície coberta. Se o preço por metro aumenta, os vendedores ofertarão um número maior de metros quadrados.

A “função de preços hedônicos” é o lugar geométrico dos pontos de equilíbrio dessas duas forças, ou seja, a envoltória onde as diferentes curvas de oferta e de proposta são tangentes. No exemplo da figura, a função de preços hedônicos é suave e contínua, mas não é obrigatório que assim aconteça sempre. Tudo que sabemos é que é uma envoltória representando pontos de tangência entre as curvas mencionadas, mas não há pressupostos apriorísticos sobre sua forma. Nunca acontecerão transações envolvendo preços e quantidades que se localizem abaixo da função de preços hedônicos porque, na hipotética ocorrência disso, sempre aparecerá algum comprador que fará uma proposta maior, elevando o preço até a envoltória. Essa função representa o preço máximo que um indivíduo pagará por uma dada quantidade desse atributo e a quantia mínima que um vendedor aceitará pela mesma quantidade.

O método utiliza informações estatísticas concretas, dados correspondentes a um mercado real qualquer, referentes ao preço de um certo número de imóveis juntamente com a lista das características (atributos) dos mesmos. Todas essas informações permitem estimar uma função de preços hedônicos, mediante uma regressão múltipla onde o preço é a variável de-

³ Essa expressão vem do inglês *hedonic prices* e já ficou cunhada dessa forma entre os economistas que a usam. Sua origem está ligada ao hedonismo, uma antiga filosofia grega que afirma que o homem, por natureza, é um ser que busca o prazer. A conotação de hedonista surge do fato de o método basear-se na observação, no mercado, do comportamento do consumidor que, supostamente, age tentando maximizar sua utilidade (seu prazer).

Figura



pendente e todas as características são as variáveis independentes da relação. Os coeficientes de regressão estimados são os preços implícitos dos diferentes atributos.⁴

A significância da função de preços hedônicos para a teoria do bem-estar reside no fato de que os participantes do mercado estão revelando o valor marginal de características específicas dos bens, atributos esses que não são vendidos isoladamente no mercado. Os indivíduos estão maximizando sua utilidade comprando atributos aos (seus) preços hedônicos (valores marginais).

Este artigo apresenta uma aplicação empírica do método dos preços hedônicos na avaliação social de projetos, incluindo uma breve revisão bibliográfica dessa técnica, uma discussão do marco conceitual que lhe dá fundamento, a respectiva análise econométrica e a interpretação dos resultados. Na seção 2, serão apresentadas a revisão da literatura e as bases teóricas do método que nos ocupa. Na seção 3 discutimos os problemas relacionados com a especificação e estimativa das funções de preços hedônicos. Na seção 4, apresentamos os resultados do estudo de caso já mencionado e, finalmente, na última seção fazemos um resumo, assim como alguns comentários e observações.

⁴ Vale notar que o método enfrenta as dificuldades típicas de qualquer estudo econométrico, ou seja, a questão do possível erro na especificação da relação (ver Butler, 1982).

2. O método dos preços hedônicos

Aparentemente, o primeiro uso de regressões hedônicas ocorreu em 1939 (Court, 1939). A técnica passou a ter popularidade a partir de 1961, com os trabalhos de Griliches e Adelman (Griliches, 1961; Adelman & Griliches, 1961). Essas primeiras tentativas foram direcionadas à construção de índices de preços ajustados por mudanças de qualidade.

Uma década depois, Griliches editou um livro reunindo artigos sobre o mesmo assunto (Griliches, 1971b), a maioria dos quais utiliza a técnica dos preços hedônicos. Nessa oportunidade, o autor comenta o grande número de trabalhos empíricos utilizando esse método que havia aparecido nos 10 anos anteriores e lista aplicações em preços de automóveis (Fisher et alii, 1962; Griliches, 1964; Cagan, 1965; Triplett, 1966), tratores (Fettig, 1963), aparelhos elétricos (Dean & DePodwin, 1961), casas (Bailey et alii, 1963; Musgrave, 1969), motores diesel (Kravis & Lipsey, 1969), máquinas de lavar roupa e carpetes (Gavett, 1967), geradores de vapor (Barzel, 1964) e computadores *mainframe* (Chow, 1967). A literatura mais recente em revistas internacionais inclui centenas de artigos, a maioria referente ao mercado imobiliário (preços de casas, apartamentos, lotes, terras agrícolas), embora existam aplicações interessantes no mercado de vinhos (Oczkowski, 1994), computadores pessoais (Nelson et alii, 1994), mercado de trabalho (Cavalluzzo, 1991), locais turísticos (Ashworth & Goodall, 1990) etc.

Com referência às revistas brasileiras, foi publicado um trabalho que utiliza preços hedônicos no estudo de aluguéis residenciais (González & Formoso, 1994), assim como outros dois artigos que usam regressões hedônicas sem mencionar a sua base teórica nem explicar a interpretação econômica dos resultados (Dantas & Cordeiro, 1988; Barbosa & Bidurin, 1991).

Os primeiros usuários da técnica a trataram como se fosse uma hipótese empírica, sem base teórica alguma, diferentemente do enfoque estrutural esboçado na introdução deste artigo. Tal hipótese afirma que o grande número de modelos e variedades de um bem qualquer pode ser descrito em termos de uma quantidade relativamente pequena de características (ou atributos) básicas, tais como tamanho, potência, acessórios etc. Na sua forma paramétrica, a hipótese estabelece a existência de uma relação razoavelmente estreita entre os preços de diferentes modelos e os níveis de suas várias características. Repetindo, a existência de uma função desse tipo foi, no início, uma questão empírica mais do que teórica.

Dessa forma, a análise de regressão que considera os preços como variável de resposta e os atributos como variáveis independentes baseia-se na idéia de que os diferenciais de preço entre os diversos modelos de um produto num mercado qualquer podem ser explicados pelas características desses modelos. Cada uma dessas características é considerada como um elemento de um produto complexo. A variação da combinação dos elementos gera a diferenciação do produto num momento dado do tempo e mudanças na qualidade do produto ao longo do tempo. Essa maneira de focalizar o problema facilita a análise de algumas questões típicas da área da construção de índices de preços, tais como o da “aparição de novos produtos” e o da “mudança de qualidade” dos produtos em geral.⁵ Isso porque, na maioria dos casos, os novos modelos de alguns produtos podem ser vistos como novas combinações de velhas características.

⁵ Esse tema será discutido com maior detalhe na seqüência.

Em resumo, são duas as perguntas básicas que surgem ao considerarmos a metodologia dos preços hedônicos:

- a) quais as principais características do produto em questão?
- b) qual a forma matemática da relação entre preços e atributos?

No caso particular de se querer construir um índice de preços hedônicos,⁶ surge uma terceira pergunta, qual seja: como estimar a variação “pura” de preços (líquida de mudanças de qualidade) a partir de dados sobre preços de diferentes modelos do produto e níveis de características?

As duas primeiras perguntas são, em essência, empíricas. Com relação à primeira, cabe mencionar que o número de características não pode crescer demasiadamente, porque isso gera problemas de multicolinearidade. Já foi demonstrado que um reduzido número de características pode explicar uma proporção relevante da variância dos preços. Assim, por exemplo, no caso dos computadores, foi suficiente considerar o tempo gasto para realizar uma multiplicação, a capacidade de memória e o tempo necessário para recuperar uma informação da memória (Chow, 1967), e, no caso dos automóveis, obtiveram-se bons resultados incluindo potência do motor, peso e comprimento dos carros (Griliches, 1961). Conclusão semelhante é proposta por outro autor (Butler, 1982), que afirma que é possível obter boas aproximações à “especificação correta” com um número significativamente menor de características do que usualmente se pode supor.

Além do mais, uma característica e seu preço são importantes unicamente na medida em que tal característica tenha captado uma fração relevante do mercado. A idéia é que as características de modelos que “não têm saída” não deveriam influenciar substancialmente nossa análise. Por esse motivo, alguns pesquisadores usam “regressões ponderadas”, que implicam inclusão, nas regressões hedônicas, de dados ponderados pela participação de cada característica no respectivo mercado.

Com referência à segunda questão, o mais usual é usar uma especificação semilogarítmica da equação, apesar de também terem sido usados modelos lineares, logarítmicos, semilogarítmicos inversos etc. A escolha da forma matemática da relação é feita, às vezes, sem a ajuda de um marco analítico estatístico adequado. Nesses casos, o pesquisador baseia-se em critérios do tipo *goodness of fit*. Contudo, existem metodologias apropriadas para escolher entre diferentes formas funcionais (Box & Cox, 1964; Spitzer, 1982; Sakia, 1992).

Assim, dependendo da escolha de variáveis e da forma matemática da relação, podem-se ter vários tipos de análise de regressão com um mesmo conjunto de dados.

Índices de preços hedônicos

É conhecido que, na experiência de vários países, uma parte do aumento dos índices de preços ao consumidor é devida à contínua mudança de qualidade de alguns bens de consumo durável. Nessa área observa-se, geralmente, um aumento de preço juntamente com uma modificação do modelo anteriormente existente. Se o novo modelo é de uma qualidade superior, parte ou todo o aumento de preço pode ser justificado pela mudança de qualidade. Portanto,

⁶ Índice de preços hedônicos é aquele que usa informações (preços implícitos) originadas numa função hedônica.

não considerar esse tipo de mudanças dos produtos na construção de índices de preços superestima o aumento dos mesmos.

Nas metodologias de construção de índices, é procedimento-padrão fazer ajustes por aquelas mudanças de qualidade *para as quais se possa atribuir um preço*. Na prática, contudo, isso é muito difícil de se realizar, porquanto essas mudanças, além de serem graduais, geralmente vêm mascaradas por variações de modelos de um dado produto, sendo impossível separar a parte do novo preço que corresponde à melhora técnica.

Em cada momento observa-se, no mercado, uma variedade de modelos de um dado produto com diversas especificações (ou qualidades), sendo vendidos a diferentes preços. Usando regressão múltipla com dados desse tipo para diferentes pontos no tempo, podem-se estimar preços implícitos de cada característica. Tais preços podem ser usados para avaliar um bem representativo com características específicas (qualidade constante), formando uma série temporal, ainda que o mesmo não existisse no mercado em todos os pontos da série.

Esse procedimento é equivalente a responder à seguinte pergunta: qual teria sido o preço, numa data-base qualquer, de uma nova combinação de características (ou qualidades) de um dado produto caso este tivesse existido no mercado? A resposta é dada interpolando convenientemente as características do “produto” na função de preços hedônicos. Na prática, existem várias formas alternativas de implementar essa idéia (Griliches, 1971a).

Há, também, uma forma mais direta de tratar esse problema, utilizando as regressões hedônicas. Usa-se a regressão entre os preços e os atributos, envolvendo dados de *cross-section* de dois anos diferentes, incluindo-se uma variável *dummy* que distinga os dois momentos no tempo. Portanto, aquela parte da variação do preço médio que não é explicada por qualquer das características incluídas na regressão deve aparecer no coeficiente da variável *dummy* tempo. Em consequência, o coeficiente dessa variável *dummy* é interpretado como uma estimativa direta da variação do preço puro (livre de mudanças de qualidade), já que a técnica de regressão leva em conta todos os diferentes atributos, e os mantém constantes. Esse coeficiente representa a melhor estimativa da variação do preço médio não explicada pelos atributos. Se esse coeficiente não é significativamente diferente de 0, a variabilidade dos preços entre modelos é totalmente explicada pelas diferentes características, ou seja, nesse caso pode-se concluir que não há variação do preço puro, para uma dada qualidade constante.

Modelo hedônico do valor dos imóveis

A teoria da renda da terra afirma que, dado um certo nível de conhecimento tecnológico, o preço de equilíbrio desse fator produtivo é igual ao valor presente do fluxo de todas as rendas futuras produzidas pelo mesmo. A teoria econômica também reconhece que a produtividade da terra difere de um lugar para outro. Essas diferenças de produtividade geram diferenças de renda e, portanto, diferentes preços da terra. Assim, os diferenciais de produtividade tenderão a refletir-se nos preços da terra.

Algumas características ambientais, tais como a qualidade do ar ou da água, podem afetar a produtividade da terra, seja considerada como um bem de produção ou como um bem de consumo durável. Em tal caso, *os preços da terra devem refletir esses diferenciais de produtividade* determinados pelas características ambientais.

Essa linha de raciocínio da teoria clássica da renda da terra originou grande interesse entre os economistas sobre a possibilidade de usar dados sobre preços da terra e de propriedades residenciais, para medir os benefícios gerados para os proprietários pela melhora de

algumas características ambientais, como, por exemplo, a qualidade do ar ou da água. Em particular, essas idéias combinaram-se com o método empírico das regressões hedônicas, gerando farto material teórico e empírico na área da economia.

Depois que foram proporcionadas evidências empíricas de que a poluição do ar influencia o valor das propriedades (Ridker & Henning, 1967), nas décadas seguintes houve uma explosão de estudos teóricos e empíricos sobre a avaliação monetária de vantagens e desvantagens ambientais, baseados na teoria dos preços hedônicos. Além do mais, como consequência desse esforço, surgiu uma base teórica sólida para interpretar os modelos hedônicos (Rosen, 1974; Freeman, 1974; Follain & Jimenez, 1985).

O modelo básico

Supõe-se que a utilidade de cada indivíduo é uma função das quantidades consumidas de um conjunto de bens, denominado X , e de um vetor de características, C , que inclui todos os atributos da casa que a pessoa habita. Esses atributos incluem as “vantagens ambientais” e as características estruturais do imóvel, assim como as características da vizinhança na qual a casa está localizada (qualidade das escolas do bairro, taxa de criminalidade, acesso a parques, supermercados e lugar de trabalho).

Qualquer área urbana suficientemente grande contém uma ampla variedade de casas de diferentes tipos e tamanhos, com características ambientais, de localização e de vizinhança específicas. Um pressuposto importante da teoria hedônica é que a área urbana como um todo pode ser considerada como um único mercado de “serviços residenciais”. Supõe-se, também, que os indivíduos têm informações sobre todas as alternativas disponíveis, e que são livres para escolher uma casa qualquer no mercado urbano. É como se a área urbana fosse um imenso supermercado oferecendo uma grande variedade de características de casas. A escolha de uma localização residencial particular fixa para o consumidor o conjunto completo de serviços residenciais. Os indivíduos podem aumentar a quantidade consumida de uma característica qualquer, procurando uma localização alternativa que seja semelhante em todos os outros aspectos, mas que ofereça mais da característica desejada.

Como a teoria trata de estabelecer os valores das características para os compradores de casas, não é necessário modelar formalmente o lado da oferta desse mercado. Contudo, é necessário pressupor que o mercado está em equilíbrio, isto é, que todos os indivíduos têm feito suas escolhas de residências de maneira tal que maximizam suas utilidades (dados os preços das diferentes casas alternativas), e que esses preços equilibrem o mercado (dado o estoque existente de casas com as respectivas características).

Com todos esses pressupostos, o preço da i^{ma} casa pode ser considerado como uma função das características estruturais, ambientais e de vizinhança dessa localização. Ou seja, a função de preços hedônicos é:

$$P_{ci} = P_c(C_i) \quad (1)$$

Para o indivíduo que ocupa a i^{ma} casa, sua utilidade é dada por:

$$u = u(X, C_i) \quad (2)$$

que é maximizada de acordo com a correspondente restrição orçamentária.

A condição de primeira ordem para maximização da utilidade sujeita à restrição orçamentária implica que, no caso da escolha da característica c_j , por exemplo, a seguinte igualdade deva ser satisfeita:

$$\frac{\frac{\delta u}{\delta c_j}}{\frac{\delta u}{\delta X}} = \frac{\delta P_{ci}}{\delta c_j} = p_j \quad (3)$$

O lado esquerdo da igualdade anterior é a taxa marginal de substituição (TMS) entre X e c_j . Em equilíbrio, essa TMS deve igualar-se ao preço (não-observável) da j^{ma} característica (Follain & Jimenez, 1985).

Por sua vez, se a função de preços hedônicos $P_c(.)$ for estimada para uma área urbana qualquer, a derivada parcial daquela função com relação a qualquer um de seus argumentos, c_j , por exemplo, nos fornece o preço marginal implícito (p_j) daquela característica, ou seja, o montante adicional que uma pessoa deverá pagar para obter uma casa com uma unidade a mais dessa característica, permanecendo as quantidades de todos os outros atributos constantes.

3. Especificação da função hedônica

Os problemas econométricos enfrentados na estimação de uma função hedônica são os usuais no trabalho econométrico. Assim, encontrar a especificação correta da relação hedônica requer a escolha da variável dependente (preço do imóvel ou aluguel), a lista correta de variáveis independentes e a verdadeira forma funcional.

Portanto, as primeiras perguntas são: qual é a melhor variável dependente? Quais as características a serem incluídas no conjunto de variáveis explicativas? Qual a devida especificação da forma funcional dos modelos hedônicos que relacionam preços de imóveis (ou aluguéis) com os diferentes atributos dessas moradias?

Com referência à primeira pergunta, o ideal seria poder contar com informações sobre transações reais dos imóveis, mas apenas uma pequena proporção deles é vendida a cada ano. Por outro lado, a suposta superioridade desse tipo de dados — baseada na hipótese de que o mercado de imóveis está em equilíbrio e de que todas as oportunidades potenciais de ganho mediante novas transações, aos preços vigentes nesse momento, foram esgotadas — pode ser colocada em dúvida. Isso porque, nesse tipo de mercado, compradores e vendedores usualmente operam com um alto grau de ignorância sobre a verdadeira “disposição a pagar” dos compradores e “disposição a aceitar ofertas” dos vendedores potenciais. Em conseqüência, na opinião de muitos autores, a fonte mais adequada para obter dados sobre o valor dos imóveis está constituída pelas avaliações efetuadas por corretores profissionais.

A possibilidade de incluir como variável de resposta nas regressões hedônicas o valor do aluguel das moradias apresentava, no caso de nosso estudo, os seguintes pontos desfavoráveis:

a) nas áreas em estudo, a grande maioria dos imóveis estava ocupada pelos proprietários; a procura de casas alugadas para incluí-las na amostra iria requerer muito tempo, atrasando demasiadamente a pesquisa;

b) durante a realização dos trabalhos (1993/94), a inflação no país era relativamente alta e os contratos de aluguel ficavam defasados em pouco tempo, não refletindo o verdadeiro valor de mercado do serviço.

Para contornar esses problemas, foram feitos esforços no sentido de poder contar com as duas variáveis de resposta, mas, como será explicado na apresentação dos resultados, na prática uma delas é redundante.

Dado que o objetivo da análise hedônica é determinar o impacto de uma característica sobre o valor do imóvel, mantendo os outros atributos constantes, um ponto importante é a identificação correta da lista de fatores relevantes a serem incluídos como variáveis independentes. Esse assunto ganha maior relevância — e fica mais difícil de ser tratado — devido à possibilidade da existência de multicolinearidade entre as características estruturais da moradia. Considerações desse tipo nos levam a enfrentar um *trade-off* entre aumentar o viés devido à omissão de variáveis que estão correlacionadas com a variável dependente em estudo, e aumentar a variância ou imprecisão dos coeficientes estimados quando são incluídas na regressão variáveis que são colineares.

De acordo com a teoria, uma função de preços hedônicos é uma relação de equilíbrio deduzida da interação das preferências dos compradores e dos custos (ou funções de lucro) dos vendedores. A única restrição geral sobre a sua forma é, obviamente, que a primeira derivada com relação a uma característica deve ser positiva (negativa) se a característica é um bem (mal). Nada é possível deduzir das propriedades do modelo com referência à segunda derivada.

Na literatura podem-se encontrar as mais diversas formas funcionais para essa função: linear, quadrática, logarítmica, semilogarítmica e muitas outras. É comum uma análise começar estimando as formas linear e a semilogarítmica. Nesta última, apenas a variável de resposta é transformada, permanecendo o conjunto de variáveis explicativas na mesma forma que no caso linear. Mas essas duas formas são apenas dois membros de uma ampla família: as transformações de Box e Cox (Box & Cox, 1964). Na sua forma mais simples, apenas a variável dependente é transformada, mantendo o mesmo conjunto de variáveis independentes. A transformação é definida da seguinte forma:

$$P^{(\lambda)} = \frac{P^\lambda - 1}{\lambda} \quad (4)$$

para $\lambda \neq 0$;

$$P^{(\lambda)} = \log P \quad (5)$$

para $\lambda = 0$.

Nas fórmulas anteriores observa-se que, quando $\lambda = 1$, a transformação de Box e Cox deixa a variável praticamente inalterada (a não ser pela subtração da unidade de cada observação, cuja consequência é o deslocamento de toda a distribuição para esquerda nessa quantidade). Por sua vez, quando $\lambda = 0$, a transformação de Box e Cox é idêntica à transformação logarítmica da variável.⁷

⁷ Usando a regra de l'Hopital, pode-se mostrar que a transformação de P tende para o logaritmo de P quando λ tende para zero.

Existem outras variantes da análise de regressão envolvendo transformações de Box e Cox como, por exemplo, aquelas que transformam não apenas a variável dependente mas, também, alguma (ou todas as) independente(s), seja com o mesmo parâmetro para todas, seja com parâmetros diferentes para cada variável transformada. Uma aplicação desse tipo num problema brasileiro pode ser encontrada em Macedo (1996).

4. Um estudo de caso

A aplicação do método de preços hedônicos na avaliação de imóveis que será relatada neste artigo está relacionada com o estudo de viabilidade econômica do Programa de Canalização de Córregos, Implantação de Vias e Recuperação Ambiental e Social de Fundos de Vales (Procav II), na cidade de São Paulo, elaborado pela prefeitura da cidade no período de 1993 a 1994.

Era intenção da municipalidade obter parte dos recursos para a execução desse programa mediante financiamento externo, especificamente recursos oriundos do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). Como as solicitações de financiamento encaminhadas a esse banco devem ser acompanhadas por estudos de viabilidade econômica dos projetos contemplados, houve necessidade de se estimar os benefícios e custos do projeto, para assim calcular sua rentabilidade.

O objetivo do programa era canalizar cursos d'água e córregos de fundo de vales, de forma a reduzir o problema das enchentes e inundações nas épocas de chuvas, que afetavam a população das regiões Leste e Norte da cidade de São Paulo, além de facilitar o transporte viário, mediante a abertura e pavimentação de avenidas marginais aos canais, reduzindo o tempo de viagem dos motoristas e passageiros, assim como o custo operacional dos veículos.

A situação dos fundos de vale e das áreas à sua volta, na época em que se iniciaram os estudos, apresentava-se bastante deteriorada, precária, com queixas constantes dos moradores quanto a mau cheiro, lixo nas margens, presença de insetos e ocorrência de enchentes e inundações. A situação *com projeto*, ou situação futura, previa obras de retificação e revestimento de canais, com melhora considerável das condições sanitárias e ambientais.

Eram 14 os córregos a serem contemplados pelo Procav II, tendo sido selecionados para estudos apenas seis: Machados, Paciência, Maria Paula, Itaquera, Guaraú e Lageado (o de Tiquatira foi incluído para servir como área de controle).

O critério básico usado na seleção dos córregos da amostra foi a localização, já que as áreas estudadas deviam pertencer às zonas Norte ou Leste, deviam ter problemas relacionados com a falta de drenagem e possuir algum projeto de engenharia já concluído naquela época.

A partir de visitas a esses locais e de entrevistas com engenheiros, projetistas, ambientalistas, corretores de imóveis e com a própria comunidade, constatou-se que os principais benefícios da canalização dos fundos de vale eram:

- a) redução de enchentes e inundações;
- b) melhoria da saúde pública;
- c) redução da erosão do solo;
- d) melhoria das condições sanitárias e ambientais.

A análise dos benefícios do projeto que iria ser implantado começou com a tentativa de identificar e avaliar os mais facilmente quantificáveis. A melhoria da saúde pública foi o primeiro benefício a ser considerado. Entretanto, a dificuldade de se obter dados estatísticos nesta área é notória. Dados sobre gastos dos postos de saúde por tipo de doença e por paciente não estavam disponíveis, dificultando a estimativa da real parcela de redução de custos no setor saúde devido às obras de saneamento básico projetadas.

Os benefícios advindos da redução de enchentes e inundações poderiam ser avaliados mediante dados sobre danos materiais provocados por elas em épocas passadas. O ponto em discussão na utilização deste enfoque centrou-se no fato de que nem sempre as pessoas se lembram dos danos ocorridos e, quando lembram, a quantificação é bastante precária, obtendo-se, assim, dados muito imprecisos.

Entretanto, ao se comparar as situações *com e sem projeto*, notou-se que o impacto das obras na área de influência do projeto seria traduzido na recuperação de áreas degradadas, com melhorias significativas tanto do ponto de vista sanitário quanto do ambiental (redução de enchentes, melhoria da saúde etc.). Assim, essa recuperação podia associar-se à valorização das propriedades na área, o que permitia pressupor que todas as melhorias introduzidas se traduziriam em incrementos de valor dos imóveis da região após a realização do projeto.⁸

Por outro lado, os valores de terrenos e imóveis são relativamente fáceis de se obter, já que existe um mercado imobiliário bem-organizado e muito ativo, sem mencionar que também se pode recorrer a avaliadores profissionais. Por esse motivo, resolveu-se usar a valorização dos imóveis da área de influência dos córregos constantes do projeto como o principal benefício dos projetos de macrodrenagem,⁹ ou seja, da canalização e revestimento de fundos de vale.

A técnica utilizada para estimar essa valorização imobiliária foi a dos preços hedônicos. Ao se utilizar essa técnica para medir a valorização de imóveis devida à implantação do projeto, devem-se obter informações do valor dos imóveis (ou do aluguel dos mesmos), na área contemplada pelo estudo (situação sem projeto) e, também, em outra área com perfil sócio-econômico semelhante àquele da área a ser beneficiada, mas cujo atributo a ser implantado pelo projeto já exista. Essa segunda área é denominada área de controle.

Outra questão importante era a fonte de dados para o valor (preço) dos imóveis. Embora ao preencher o questionário se pedisse ao entrevistado (geralmente o proprietário) uma estimativa do valor do imóvel, uma alta proporção dos mesmos desconhecia essa informação. Observou-se, também, que alguns entrevistados supervalorizavam seu imóvel, ou por temerem uma desapropriação ou pelo fato de não quererem vender.

Tais circunstâncias levaram à necessidade de solicitar a um corretor de imóveis que avaliasse as moradias pesquisadas, quanto ao valor do imóvel e do respectivo aluguel. Quando um imóvel incluído na amostra era alugado, o valor do aluguel que constava no questionário era aquele realmente pago pelo inquilino no momento da pesquisa. Nos casos em que os mo-

⁸ Dessa forma, está-se estimando a valorização privada dos imóveis. Uma hipótese importante desse procedimento é que esse valor é, por sua vez, uma estimativa do limite inferior da valorização social.

⁹ Macrodrenagem pluvial é o sistema composto por rios, córregos e lagos de uma região. Esse sistema está sujeito ciclicamente a enchentes e estiagens e é um corpo dinâmico, hidráulica e biologicamente falando. Com a presença do homem em seu território, podem acontecer: a) ocupação de margens, gerando inundações de moradias; b) assoreamento de rios ou lagos, devido a movimentos de terra mal-projetados; c) poluição, com a alteração completa do seu meio biológico. A microdrenagem pluvial é feita pelo homem e está composta pelo sistema de arruamento, no qual as águas da chuva escoam pelas sarjetas, e pelo sistema de captação de águas pluviais, normalmente em zonas mais baixas, para evitar que o arruamento seja inundado.

radores das casas eram os proprietários, tanto o valor destas quanto o provável aluguel foram estimados por um corretor de imóveis.

Definiu-se, ainda, a área sujeita a inundação para cada córrego ou fundo de vale, delimitada mediante visitas aos locais e consultas a órgãos especializados, como a FCTH, Fundação Centro de Tecnologia e Hidrologia do estado de São Paulo. Definida a área a ser afetada pela execução da obra, foi possível conhecer a população beneficiada, escolher a amostra e preencher os questionários que forneceram o banco de dados usado para a realização da parte empírica desse estudo.

Nessa pesquisa foram levantados, além das informações de identificação da família (número de membros, escolaridade, renda etc.), dados sobre as características estruturais, ambientais e de vizinhança (serviços públicos disponíveis etc.) do imóvel em questão. Após a eliminação dos questionários com informações incompletas e/ou incoerentes, a amostra ficou com 1.514. Entre as numerosas variáveis registradas, apenas sete foram incluídas nas regressões hedônicas como explicativas do valor dos imóveis (e do aluguel):

- uma variável *dummy* que toma o valor 1 quando o imóvel e/ou a rua estão sujeitos a inundações nas épocas de chuvas e 0 quando não ocorrem inundações. No caso que nos ocupa (Procav II), selecionou-se como área de controle aquela em torno do córrego Tiquatira, cujas obras de macrodrenagem foram executadas pouco tempo antes com recursos do Procav I. A área do córrego Tiquatira localiza-se na zona Leste da cidade e possui moradores com perfil sócio-econômico semelhante ao dos da área de interesse, atendendo, assim, aos requisitos para servir como área de controle;¹⁰
- uma *dummy* que toma o valor 1 quando o imóvel está localizado numa área com policiamento e 0 quando não dispõe desse serviço público;
- uma variável com escala arbitrária de 1 a 4, que descreve o tipo de calçamento da rua onde se encontra localizada a moradia (o nível 4 representa o melhor calçamento);
- uma variável com escala arbitrária de 1 a 4, que descreve o tipo de esgoto que serve à moradia;
- número de cômodos;
- área da casa, em m²;
- área do terreno, em m².

As variáveis de resposta foram medidas em dólares da época (início de 1994). Nos resultados apresentados na tabela 4, adiante, a variável *preço* foi expressa em milhares de dólares.

A tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas das variáveis que entraram nas regressões hedônicas. Essas informações são especialmente importantes no caso das variáveis de res-

¹⁰ Assim, os imóveis incluídos na amostra que não estão sujeitos a inundações têm essa qualidade como consequência da realização de obras de canalização. Esse procedimento é o mais próximo ao ideal de comparar uma situação antes da execução do projeto com outra após a execução do projeto na mesma área.

posta, mas não tanto no das *dummies* ou das variáveis com escalas arbitrárias. No caso das variáveis de resposta, *preço* e *aluguel*, é importante notar que as respectivas distribuições apresentam assimetria positiva e altos valores de kurtosis, sugerindo uma distribuição log-normal. Essas considerações são confirmadas pela estatística de Jarque-Bera, que é função da assimetria e da kurtosis, que indica a rejeição da hipótese nula de normalidade na distribuição dessas duas variáveis dependentes com níveis de probabilidade de erro de rejeição praticamente iguais a 0.

Tabela 1
Estatísticas das variáveis incluídas nas regressões

| Variável | Média | Desvio-padrão | Assimetria | Kurtosis | J-Bera |
|-----------------|-----------|---------------|------------|----------|-----------|
| Preço | 16.627,87 | 11.082,55 | 2,3287 | 14,4355 | 9.617,78 |
| Aluguel | 82,92 | 55,43 | 2,3280 | 14,4328 | 9.616,07 |
| Inunda | 0,3263 | 0,4690 | 0,7408 | 1,5481 | 271,45 |
| Esgoto | 3,4617 | 1,0829 | -1,6610 | 3,9511 | 753,27 |
| Área da casa | 99,93 | 65,99 | 1,6265 | 6,2151 | 1.319,62 |
| Área do terreno | 184,99 | 115,15 | 2,9843 | 24,7234 | 32.016,86 |
| Cômodos | 5,2787 | 2,0606 | 0,9244 | 4,4148 | 341,89 |
| Policimento | 0,4617 | 0,4987 | 0,1536 | 1,0229 | 252,53 |
| Tipo de rua | 3,7275 | 0,8194 | -1,9802 | 5,4810 | 1.377,74 |

Deve-se notar, também, a semelhança das estatísticas descritivas das duas variáveis de resposta. Com efeito, a única diferença observada consta nas médias e desvios-padrões, porque ambas as medidas dependem das respectivas escalas. Contudo, quando se calcula a razão entre o desvio-padrão e a média de cada variável — obtendo-se, assim, o coeficiente de variação —, o resultado é novamente o mesmo: 0,67 em ambos casos. Isso coloca a pergunta: não serão os aluguéis simplesmente uma transformação linear do preço (ou vice-versa)? Calculando-se para cada observação na amostra a proporção aluguel/preço, obtêm-se valores com média igual a 0,5% e desvio-padrão de 0,000169. Todas essas observações sugerem que ambas as variáveis estão altamente correlacionadas. De fato, a correlação entre elas é de 0,999. A regressão do aluguel nos preços é proporcional (constante estatisticamente não diferente de zero), com coeficiente de regressão de 0,004997 e coeficiente de determinação igual a 0,9979. Por último, deve-se salientar que a média dos aluguéis representa 0,5% da média dos preços.

Essas informações adicionais mostram que, na prática, é irrelevante qual variável de resposta entra na regressão; ou seja, é a mesma coisa incluir os preços ou os aluguéis como variável dependente nas regressões hedônicas. Por esse motivo, na sequência serão comentados apenas os resultados das regressões envolvendo a variável *preço*. Contudo, os resultados relativos à outra variável também serão mostrados como informação adicional.

A regressão linear dos preços nas características (tabela 2) apresenta um R^2 ajustado de 0,7585 com seis coeficientes de regressão parcial estatisticamente significativos. Nessa especificação o coeficiente da variável *número de cômodos* não é significativamente diferente

de 0. Na especificação alternativa, a variável de resposta é o logaritmo do preço que, em função das mesmas sete variáveis explicativas, apresenta uma regressão com R^2 ajustado de 0,6288.

Tabela 2
Regressões por mínimos quadrados ordinários
(variável dependente: *preço*)

| Variável | Forma linear* | | Forma semilogarítmica** | |
|-----------------|---------------|-----------|-------------------------|-----------|
| | Coefficiente | t-Student | Coefficiente | t-Student |
| Constante | -7.003,28 | -7,8273 | 7,9998 | 120,1175 |
| Inunda | -3.906,66 | -12,5466 | -0,2763 | -11,9207 |
| Esgoto | 431,72 | 3,2186 | 0,0537 | 5,3804 |
| Área da casa | 63,25 | 25,3835 | 0,0039 | 25,0375 |
| Área do terreno | 56,24 | 41,9884 | 0,0025 | 25,0375 |
| Cômodos | 65,55 | 0,8985 | 0,0207 | 3,8127 |
| Policimento | 1.056,57 | 3,7394 | 0,0548 | 2,6072 |
| Tipo de rua | 1.613,38 | 9,3875 | 0,1202 | 9,3979 |

* R^2 ajustado = 0,7585; ** R^2 ajustado = 0,6288.

Segundo a interpretação econômica do método em discussão os coeficientes de regressão são preços hedônicos. No caso de variáveis como *área da casa* ou *área do terreno*, a interpretação é fácil e direta. Os coeficientes de regressão de cada uma dessas variáveis representam o valor do metro quadrado de área coberta e de terreno, respectivamente, *mantendo-se todas as outras características sob controle*. Da mesma forma, o fato de um imóvel estar localizado num bairro que tem policiamento acresce, em média, aproximadamente US\$1.057 a seu valor, permanecendo todas as outras características do mesmo constantes.

Os coeficientes das variáveis *esgoto* e *tipo de rua*, embora estatisticamente significativos, não são de fácil interpretação porque a escala de ambas é totalmente arbitrária, representando apenas quatro categorias diferentes de qualidade da respectiva característica.

A principal variável da regressão hedônica — dado nosso objetivo de avaliar a valorização dos imóveis como consequência do projeto — é *inunda*, a *dummy* que registra se ocorrem inundações ou não. Seu coeficiente é negativo, como esperado, e estatisticamente significativo. O montante de US\$3.900 indica a perda de valor, em média, de um imóvel, devido ao fato de estar sujeito ao fenômeno da inundação (isso depois de se ter levado em conta e mantido constantes todos os outros fatores relevantes na determinação do preço). Conceitualmente, esse valor pode ser obtido como a diferença de dois preços calculados pela regressão hedônica: o primeiro é estimado com os valores médios de todas as variáveis independentes, à exceção da *dummy* de inundação, que entra na equação com o valor 0; o segundo é estimado com as mesmas médias e com a *dummy* com valor 1.

Quando se transforma de alguma maneira a variável de resposta, os coeficientes de regressão parcial não têm uma interpretação direta em termos de preços implícitos. Nesses ca-

so é necessário retransformar os valores para voltar à escala original. No caso do ajuste semilogarítmico da tabela 2, por exemplo, estimam-se dois valores de P usando-se a regressão hedônica: o primeiro com todas as variáveis independentes igualadas a suas respectivas médias, à exceção da variável *inunda*, que toma o valor 0; na segunda estimativa de P muda apenas o valor da *dummy*, que agora é 1. Isso resulta nos valores 9,6085 e 9,3322, respectivamente, que devem ser retransformados usando-se exponenciação. A diferença entre essas exponenciais, no valor de US\$3.506, é o preço implícito que estamos procurando.

Os resultados obtidos quando se usam os aluguéis, em vez dos preços, como variável de resposta, são muito semelhantes (ver tabela 3). Com efeito, no caso da forma linear apenas seis variáveis independentes são significativas, enquanto na forma semilogarítmica as sete variáveis explicativas são estatisticamente diferentes de 0. Mas a semelhança vai além disso. Considerando as duas relações em forma linear, se calcularmos a razão entre os coeficientes parciais da regressão da variável *aluguel* e os correspondentes coeficientes da regressão da variável *preço*, observa-se uma regularidade: seis deles são iguais a 0,5%, aproximadamente, e apenas o correspondente à variável *número de cômodos* é igual a 0,56%. Isso se deve, como já foi mencionado, ao fato de uma variável ser uma transformação linear da outra.

Tabela 3
Regressões por mínimos quadrados ordinários
(variável dependente: *aluguel*)

| Variável | Forma linear* | | Forma semilogarítmica** | |
|-----------------|---------------|-------------------|-------------------------|-------------------|
| | Coefficiente | <i>t</i> -Student | Coefficiente | <i>t</i> -Student |
| Constante | -35,24 | -7,84 | 2,6900 | 39,86 |
| Inunda | -19,51 | -12,47 | -0,2772 | -11,81 |
| Esgoto | 2,14 | 3,17 | 0,0539 | 5,33 |
| Área da casa | 0,32 | 25,28 | 0,0039 | 20,79 |
| Área do terreno | 0,28 | 41,68 | 0,0025 | 24,63 |
| Cômodos | 0,37 | 1,01 | 0,0218 | 3,96 |
| Policiamento | 5,33 | 3,75 | 0,0561 | 2,63 |
| Tipo de rua | 8,05 | 9,32 | 0,1205 | 9,30 |

* R^2 ajustado = 0,7575; ** R^2 ajustado = 0,6257.

A comparação entre as especificações alternativas da função de preços hedônicos, para decidir qual delas ajusta melhor os dados da amostra, não pode ser feita com base no coeficiente de determinação, nem na soma dos desvios quadráticos. Sobre essas bases tal comparação não é válida porque essas medidas referem-se a variâncias totalmente diferentes, já que a variável dependente foi transformada em um dos casos. Para poder efetuar a comparação mediante a soma dos desvios médios quadráticos, é necessário ajustar a escala da variável dependente antes de transformá-la. A mudança de escala apropriada para o fim perseguido consiste em dividir a variável pela sua própria média geométrica. Depois se realiza(m) a(s) transformação(ões) do caso e se estimam as correspondentes regressões usando-se o mesmo conjunto de variáveis independentes. As somas dos desvios quadráticos dessas regressões são comparáveis (Rao & Miller, 1971).

Mas, antes de procurarmos saber qual dessas duas formas alternativas da regressão hedônica ajusta melhor os dados de nossa amostra, devemos salientar que tanto a especificação linear quanto a semilogarítmica são casos particulares de uma família de transformações que as inclui. Trata-se da transformação de Box e Cox mencionada na seção 3. Em consequência, a escolha da melhor forma funcional deve ser feita para um intervalo completo de possíveis valores de λ . Usualmente esse intervalo é, pelo menos, formado pelos limites -2 e 2. Em outras palavras, queremos saber qual o valor de λ , dentro desse intervalo, com sua forma funcional associada, que melhor ajusta os dados.

Para isso, transformamos a variável dependente usando as fórmulas (4) e (5) para um conjunto de valores de λ que varia entre os limites estipulados e observamos qual deles produz o melhor ajustamento. Existem pacotes computacionais que fazem isso automaticamente, estimando não apenas o valor do parâmetro que otimiza o critério de seleção, mas também o erro-padrão amostral que permite testar hipóteses com relação à estimativa de λ .

Se λ é considerado como um parâmetro desconhecido, a regressão transforma-se em não-linear nos parâmetros, não existindo forma de linearizá-la mediante uma transformação. A mesma pode ser estimada por mínimos quadrados não-lineares ou pelo método de máxima verossimilhança (MV). Nesse caso, foi usado o pacote denominado Limdep, que usa MV como método de estimativa e como critério de otimização para escolher o melhor valor de λ . Os resultados estão apresentados na tabela 4 (variável *preço*) e na tabela 5 (variável *aluguel*).¹¹

Tabela 4
Transformações de Box e Cox
Regressões por máxima verossimilhança
(variável dependente: *preço*)

| Variável | Coefficientes de regressão | t-Student |
|-----------------|----------------------------|-----------|
| Constante | -0,1653 | -0,601 |
| Inunda | -1,1576 | -10,901 |
| Esgoto | 0,1616 | 4,454 |
| Área da casa | 0,0177 | 13,992 |
| Área do terreno | 0,0132 | 13,670 |
| Cômodos | 0,0476 | 2,460 |
| Policimento | 0,2662 | 3,467 |
| Tipo de rua | 0,4818 | 9,074 |
| λ | 0,55263 | 25,507 |

Na tabela 4, o valor estimado de λ é estatisticamente diferente de 0 e de 1. De fato, sendo $\lambda = 0,55263$, pode-se concluir que, para todos os fins, o melhor ajuste é dado pela transformação raiz quadrada do preço.

¹¹ Devido a restrições do pacote computacional, nos cálculos cujos resultados aparecem na tabela 4 a variável *preço* foi expressa em US\$ mil.

Para calcular a verdadeira valorização (preço hedônico associado à variável *dummy inunda*, devemos proceder como segue. Estimamos dois valores (transformados) do preço com a regressão hedônica da tabela 4: o primeiro com todas as variáveis independentes iguais a suas respectivas médias e a *dummy* igualada a 0, e o segundo com o valor unitário para a variável *inunda*. Cada um deles é retransformado multiplicando-se por λ , somando-se 1, e elevando-se esse resultado à potência $\frac{1}{\lambda}$. A diferença entre eles dá como resultado US\$3.839, que é a estimativa do preço hedônico da característica *não suscetível a inundação*. Como essa valorização do imóvel médio foi estimada com a forma funcional que melhor ajusta os dados, tal valorização foi considerada como a correta para estimar os benefícios produzidos pelo projeto que eliminará as enchentes. O benefício estimado neste caso é apenas 2% menor que a estimativa do preço hedônico produzida pela regressão linear, e 9,5% maior que o estimado pela forma semilogarítmica.

Tabela 5
Transformações de Box e Cox
Regressões por máxima verossimilhança
(variável dependente: *aluguel*)

| Variável | Coefficientes de regressão | t-Student |
|-----------------|----------------------------|-----------|
| Constante | 2,1301 | 3,244 |
| Inunda | -2,8189 | -8,540 |
| Esgoto | 0,3910 | 4,222 |
| Área da casa | 0,0431 | 9,733 |
| Área do terreno | 0,0320 | 9,398 |
| Cômodos | 0,1238 | 2,575 |
| Policimento | 0,6569 | 3,372 |
| Tipo de rua | 1,1722 | 7,572 |
| λ | 0,55263 | 25,520 |

Nos resultados apresentados na tabela 5, nota-se, novamente, uma grande similaridade entre as estimativas obtidas usando-se *aluguel*, em vez de *preço*, como variável dependente.

5. Resumo e conclusões

Apresentamos uma revisão da literatura sobre a técnica dos “preços hedônicos”, uma breve discussão do marco conceitual no qual se baseia a técnica e uma aplicação empírica desta na avaliação social de projetos. O exemplo apresentado é parte de um trabalho que foi elaborado para a prefeitura da cidade de São Paulo, onde se avaliam alguns projetos de investimento com importantes impactos ambientais.

As regressões hedônicas foram inicialmente introduzidas nos estudos aplicados de economia como uma relação empírica que permitia obter preços implícitos de atributos de alguns

bens, atributos esses que não são transacionados separadamente no mercado. No início, também, seu uso estava ligado principalmente à área dos números índices de preços. Posteriores desenvolvimentos teóricos mostraram as bases conceituais do método, tendo-se ampliado seu uso nas pesquisas empíricas, especialmente na área de avaliação de imóveis.

Esse é, justamente, o uso mostrado no estudo de caso comentado neste artigo, no qual a técnica permite estimar a valorização dos imóveis da área de influência das obras de um projeto de investimento (Procav II), que tem como objetivo eliminar as enchentes ao longo de vários córregos nas zonas Leste e Norte da cidade de São Paulo. Dois pontos devem ser ressaltados. Em primeiro lugar, foi selecionada como área de controle aquela em torno do córrego de Tiquatira, cujas obras de macrodrenagem foram executadas pouco tempo antes com recursos do Procav I; em consequência, os imóveis incluídos na amostra que não estão sujeitos a inundação têm esta qualidade devido à realização de obras de canalização. Em segundo lugar, a valorização privada dos imóveis é utilizada como estimativa de limite inferior do benefício social.

O estudo estima e compara várias especificações da regressão entre preço dos imóveis e um conjunto de características. O melhor ajustamento dos dados da amostra foi conseguido com a transformação raiz quadrada. Essa seleção da melhor forma da relação foi efetuada usando-se o método de transformações de Box e Cox.

A principal variável da regressão hedônica — dado nosso objetivo de avaliar a valorização dos imóveis como consequência do projeto — é *inunda*, a *dummy* que registra se ocorrem inundações ou não. Seu coeficiente é negativo, como esperado, e estatisticamente significativo. Esse valor é a estimativa do preço implícito da característica *não suscetível a inundações* (isso depois de se ter levado em conta e mantido constantes todos os outros fatores relevantes na determinação do preço).

Outros coeficientes fornecem estimativas dos preços implícitos do metro quadrado de superfície coberta, do metro quadrado de terreno e a valorização média (mantendo todos os outros fatores constantes) de um imóvel devido ao fato do mesmo estar localizado numa região que dispõe de policiamento.

Mostrou-se, assim, como o método denominado “preços hedônicos” pode ser usado para avaliar os benefícios associados a um projeto de investimento que visa a eliminar as enchentes em várias áreas da cidade de São Paulo.

Referências bibliográficas

- Adelman, I. & Griliches, Z. On an index of quality change. *Journal of the American Statistical Association*, 56(3):535-48, 1961.
- Aguirre, A. & Faria, D. M. C. P. “Avaliação contingente” de investimentos ambientais: um estudo de caso. *Estudos Econômicos*, 26(1):85-109, 1996.
- Ashworth, G. & Goodall, B. (eds.) *Marketing tourism places*. New York, Routledge, 1990.
- Bailey, M. J.; Murth, R. F., & Nourse, H. O. A regression method for real estate price index construction. *Journal of the American Statistical Association*, 58(4):933-42, 1963.
- Barbosa, E. P. & Bidurin, C. P. Seleção de modelos de regressão para predição via validação cruzada: uma aplicação na avaliação de imóveis. *Revista Brasileira de Estatística*, 52(197/198):105-20, 1991.

- Barzel, Y. The production function and technical change in the steam power industry. *Journal of Political Economy*, 72(1):133-50, 1964.
- Bishop, R. C. & Heberlein, T. A. Measuring values of extramarket goods: are direct measures biased? *Journal of American Agricultural Economics*, 61(6):926-30, 1979.
- Box, G. E. & Cox, D. R. An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society (B)*, 26(2):211-52, 1964.
- Butler, R. V. The specification of hedonic indexes for urban housing. *Land Economics*, 58(1):96-108, 1982.
- Cagan, P. Measuring quality changes and the purchasing power of money: an exploratory study of automobiles. *National Banking Review*, 3(1):217-36, 1965.
- Cavalluzzo, L. C. Nonpecuniary rewards in the workplace: demand estimates using quasi-market data. *Review of Economic and Statistics*, 78(3):508-12, 1991.
- Chow, G. C. Technical change and the demand for computers. *American Economic Review*, 57(5):1.117-30, 1967.
- Court, A. T. Hedonic price indexes with automotive examples. In: GMC (ed.). *The dynamics of automobile demand*. New York, General Motors Corporation, 1939. cap. 1, p. 99-117.
- Dantas, R. A. & Cordeiro, G. M. Uma nova metodologia para avaliação de imóveis utilizando modelos lineares generalizados. *Revista Brasileira de Estatística*, 49(191):27-46, 1988.
- Dean, C. R. & DePodwin, H. J. Product variation and price indexes: a case study of electrical apparatus. *Proceedings of the Business and Economic Statistics Section*. Washington, American Statistical Association, 1961. p. 271-9.
- Fettig, L. P. Adjusting farm tractor prices for quality changes, 1950-1962. *Journal of Farm Economics*, 45(4):599-611, 1963.
- Fisher, F. M.; Griliches, Z. & Kaysen, C. The costs of automobile model changes since 1949. *Journal of Political Economy*, 79(3):433-51, 1962.
- Follain, J. R. & Jimenez, E. The demand for housing characteristics in developing countries. *Urban Studies*, 22:421-32, 1985.
- Freeman, A. M. On estimating air pollution control benefits from land value studies. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1(1):74-83, 1974.
- Gavett, T. W. Quality and a pure price index. *Monthly Labor Review*, 90(1):16-20, 1967.
- González, M. A. S. & Formoso, C. T. Especificação de modelos de preços hedônicos para locação residencial em Porto Alegre. *Cadernos Ippur/UFRJ*, 8(1):59-72, 1994.
- Griliches, Z. Hedonic price indexes for automobiles: an econometric analysis of quality change. In: NBER (ed.). *The price statistics of the federal government*. New York, National Bureau of Economic Research, 1961. cap. 3, p. 137-96. (General Series, 73.)
- . Notes on the measurement of price and quality changes. In: NBER (ed.). *Models of income determination — studies in income and wealth*. Princeton, National Bureau of Economic Research, 1964. v. 28, cap. 7, p. 301-404.
- . Hedonic prices indexes revisited. In: Griliches, Z. (ed.). *Price indexes and quality change — studies in new methods of measurement*. Cambridge, Harvard University Press, 1971a. cap. 1, p. 3-15.
- (ed.). *Price indexes and quality change — studies in new methods of measurement*. Cambridge, Harvard University Press, 1971b.
- Hausman, J. A. (ed.). *Contingent valuation — a critical assessment*. Amsterdam, North-Holland, 1993.
- Kravis, I. B. & Lipsey, R. E. International price comparisons. *Internacional Economic Review*, 10(2):233-46, 1969.

- Loomis, J.; Creel, M. & Park, T. A. Comparing benefits estimates from travel cost and contingent valuation using intervals for Hicksian welfare measures. *Applied Economics*, 23(11):1.725-31, 1991.
- Macedo, P. B. R. Hedonic price models with spatial effects: an application to the housing market of Belo Horizonte, Brazil. Belo Horizonte, Cedeplar/Face/UFMG, 1996. (Texto para Discussão, 101.)
- Mitchell, R. C. & Carson, R. T. (eds.). *Using surveys to value public goods — the contingent valuation method*. Washington, Resources for the Future, 1989.
- Musgrave, J. C. The measurement of price changes in construction. *Journal of the American Statistical Association*, 64(4):771-86, 1969.
- Nelson, R. A.; Tanguay, T. L. & Patterson, C. D. A quality-adjusted price index for personal computers. *Journal of Business and Economic Statistics*, 12(1):23-31, 1994.
- Oczkowski, E. A hedonic price function for Australian premium table wine. *Journal of Australian Agricultural Economics*, 38(1):93-110, 1994.
- Rao, P. & Miller, R. L. *Applied econometrics*. Belmont, Wadsworth, 1971.
- Ridker, R. G. & Henning, J. A. The determinants of residential property values with special reference to air pollution. *Review of Economics and Statistics*, 49(2):246-57, 1967.
- Rosen, S. Hedonic prices and implicit markets: product differentiation in perfect competition. *Journal of Political Economy*, 82(1):34-55, 1974.
- Sakia, R. M. The Box-Cox transformation technique: a review. *The Statistician*, 41:169-78, 1992.
- Samuelson, P. A. The pure theory of public expenditure. *Review of Economics and Statistics*, 36(4):387-9, 1954.
- Spitzer, J. J. A primer on Box-Cox estimation. *Review of Economics and Statistics*, 64:307-13, 1982.
- Triplett, J. E. *The measurement of quality change*. University of California, 1966. (Tese de Doutorado.)
- Varian, H. R. *Intermediate microeconomics — a modern approach*. New York, W. W. Norton & Company, 1993.