



MERCADO IMOBILIÁRIO E IMPOSTO PREDIAL

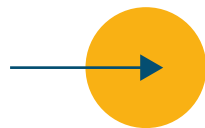


Aplicação de técnicas
de avaliação em massa

Coordenadores e editores:
Huáscar Eguino
Diego Erba



MERCADO IMOBILIÁRIO E IMPOSTO PREDIAL



Aplicação de técnicas
de avaliação em massa

Coordenadores e editores:
Huáscar Eguino
Diego Erba

**Catálogo na fonte fornecida pela
Biblioteca Felipe Herrera do
Banco Interamericano de Desenvolvimento**

Mercado imobiliário e imposto predial: aplicação de técnicas de avaliação em massa / Huáscar Eguino, Diego Erba, editores.

p. cm. - (Monografia do BID ; 1166)

Inclui referências bibliográficas.

1. Real estate development-Latin America. 2. Real estate development-Caribbean Area. 3. Property tax-Latin America. 4. Property tax-Caribbean Area. I. Eguino Lijerón, Huáscar, editor. II. Erba, Diego, editor. III. Banco Interamericano de Desenvolvimento. Divisão de Gestão Fiscal. IV. Series.

IDB-MG-1166

Classificações JEL: C5, C8, R3, R5

Palavras chave: cadastro, imposto predial, tributação municipal, avaliação, observatórios de valor, análise dados, aprendizado de máquina, inteligência artificial

Copyright © 2024 Banco Interamericano de Desenvolvimento. Esta obra está licenciada sob uma licença Creative Commons CC BY 3.0 IGO (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/legalcode>). Os termos e condições indicados no link URL devem ser atendidos e o respectivo reconhecimento deve ser concedido ao BID.

Além da seção 8 da licença acima, qualquer mediação relacionada a disputas decorrentes de tal licença deve ser conduzida de acordo com as Regras de Mediação da OMPI. Qualquer controvérsia relacionada ao uso das obras do BID que não possa ser resolvida amigavelmente deverá ser submetida à arbitragem de acordo com as regras da Comissão das Nações Unidas sobre Direito Comercial Internacional (UNCITRAL). O uso do nome do BID para qualquer finalidade que não seja atribuição e o uso do logotipo do BID estarão sujeitos a um contrato de licença por escrito separado entre o BID e o usuário e não está autorizado como parte desta licença. Observe que o link da URL inclui termos e condições que são parte integrante desta licença.

As opiniões expressas nesta publicação são de responsabilidade dos autores e não refletem necessariamente a posição do Banco Interamericano de Desenvolvimento, de sua Diretoria Executiva, ou dos países que eles representam.



Banco Interamericano de Desenvolvimento
1300 New York Avenue, N.W.
Washington, D.C. 20577
www.iadb.org

O Setor de Instituições para o Desenvolvimento foi o responsável pela produção da publicação.

Provedores externos:

Coordenação da produção editorial: A&S Information Partners, LLC

Tradução: Giovana Boselli e Álvaro Hattnher

Revisão editorial: Giovana Boselli e Álvaro Hattnher

Diagramação: Sara Ochoa Botero



CONTEÚDO

Crédito editorial.....	9
Agradecimentos.....	10
Sobre os autores.....	11
Introdução.....	13



Capítulo 1 Importância e determinantes do imposto predial.....16

1.1 Qual é a importância do imposto predial na América Latina e no Caribe?	17
1.2 Por que o imposto predial é importante para os governos subnacionais?	18
1.3 Que variáveis determinam o desempenho do imposto predial?	20
1.4 Importância das correções do valor patrimonial nas reformas do imposto predial	21



Capítulo 2 Avaliações em massa Quais são as alternativas de avaliação existentes?.....23

2.1 Introdução	24
2.2 Métodos e técnicas de avaliação em massa	26
2.3 Medidas de desempenho	32
2.4 Fontes de dados sobre os valores imobiliários	33
2.5 Observatórios do mercado imobiliário (OMI)	34



Capítulo 3 Avaliação em massa e imposto predial em Fortaleza, Brasil.....36

3.1 Introdução	37
3.2 Aspectos metodológicos	37
3.3 Estimativas dos valores dos terrenos e das construções	41
3.4 Estimativa do potencial do imposto predial	44
3.5 Conclusões e lições aprendidas	45



Capítulo 4 Avaliação em massa e imposto predial em Córdoba, Argentina.....46

4.1 Introdução	47
4.2 Aspectos metodológicos	48
4.3 Estimativas dos valores dos terrenos e das construções	51
4.4 Estimativa do potencial fiscal do imposto predial	55
4.5 Conclusões e lições aprendidas	57



Capítulo 5
Avaliação em massa e imposto predial em Manizales, Colômbia.....58

5.1 Introdução	59
5.2 Aspectos metodológicos	60
5.3 Estimativas dos valores de terrenos e das construções	62
5.4 Estimativa do potencial do imposto predial	66
5.5 Conclusões e lições aprendidas	67



Capítulo 6
Avaliação em massa e imposto predial em Corrientes, Argentina..... 68

6.1 Introdução	69
6.2 Aspectos metodológicos	69
6.3 Estimativas dos valores dos terrenos e das construções	73
6.4 Estimativa do potencial tributário do imposto predial	77
6.5 Conclusões e lições aprendidas	78



Capítulo 7
Avaliação em massa e imposto predial em Itabira, Brasil79

7.1 Introdução	80
7.2 Aspectos metodológicos	80
7.3 Estimativas dos valores dos terrenos e das construções	82
7.4 Estimativa do potencial do imposto predial	87
7.5 Conclusões e lições aprendidas	88



Capítulo 8
Avaliação em massa e imposto predial em Benito Juarez, México..... 89

8.1 Introdução	90
8.2 Aspectos metodológicos	90
8.3 Estimativas dos valores dos terrenos e das construções	92
8.4 Estimativa do potencial do imposto predial	96
8.5 Conclusões e lições aprendidas	97



Capítulo 9
Síntese dos resultados, conclusões e recomendações..... 98

9.1 Síntese dos resultados	99
9.2 Conclusões e recomendações	101

Referências bibliográficas.....103



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Equação da receita do imposto predial	20
Figura 2 – Atores, negociação e valor de mercado	25
Figura 3 – Métodos e técnicas de avaliação de imóveis em massa	26
Figura 4 – Amostra do mercado de terrenos em Fortaleza (US\$/m ²)	38
Figura 5 – Amostra do mercado de imóveis construídos em Fortaleza (US\$/m ²)	40
Figura 6 – Valor estimado do metro quadrado de terreno em US\$ em Fortaleza	42
Figura 7 – Níveis de avaliação por tipologia nos bairros de Fortaleza*	43
Figura 8 – Amostra do mercado de terrenos em Córdoba (US\$/m ²)	48
Figura 9 – Amostra do mercado imobiliário construído em Córdoba (US\$/m ²)	50
Figura 10 – Valor do metro quadrado de terreno estimado em US\$ em Córdoba	52
Figura 11 – Valor do metro quadrado construído estimado em US\$ em Córdoba	54
Figura 12 – Amostra do mercado de terrenos em Manizales (US\$/m ²)	60
Figura 13 – Estimativa do valor do metro quadrado de terreno em US\$ em Manizales	62
Figura 14 – Valor estimado do metro quadrado de terreno em US\$ por zona geoeconômica em Manizales	63
Figura 15 – Valor do metro quadrado de terreno estimado em US\$ usando MARS em Manizales	65
Figura 16 – Amostra do mercado de terrenos em Corrientes (US\$/m ²)	70
Figura 17 – Amostra do mercado imobiliário de Corrientes (US\$/m ²)	72
Figura 18 – Valor do metro quadrado de terreno estimado em US\$ em Corrientes	74
Figura 19 – Valor do metro quadrado construído estimado em US\$ em Corrientes	76
Figura 20 – Amostra do mercado de terrenos em Itabira (US\$/m ²)	81
Figura 21 – Valor do metro quadrado de terreno estimado em US\$ em Itabira	85
Figura 22 – Amostra do mercado de terrenos em Benito Juárez (US\$/m ²)	91
Figura 23 – Valor do metro quadrado de terreno estimado em US\$ em Benito Juárez	93
Figura 24 – Valor do metro quadrado de terreno estimado em US\$ por quarteirão em Benito Juárez	94
Figura 25 – Valor do metro quadrado de terreno estimado em US\$ usando M5P em Benito Juárez	95



LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Nível de geotecnologia das cidades	15
Quadro 2 – Receitas tributárias subnacionais como % do PIB, média 2015-2019	17
Quadro 3 – Receitas tributárias subnacionais, % do total, 2015-2019	18
Quadro 4 – Técnicas de avaliação específicas dos métodos paramétricos	27
Quadro 5 – Técnicas de avaliação específicas dos métodos geoestatísticos	29
Quadro 6 – Técnicas de avaliação específicas dos métodos baseados em inteligência artificial	30
Quadro 7 – Medidas de desempenho das avaliações em massa	33
Quadro 8 – Medidas de desempenho dos modelos de valor de terrenos em Fortaleza	41
Quadro 9 – Valor dos imóveis em Fortaleza*	43
Quadro 10 – Impacto da atualização do imposto predial em Fortaleza	44
Quadro 11 – Medidas de desempenho dos modelos de valor de terrenos em Córdoba	53
Quadro 12 – Valor dos imóveis em Córdoba	55
Quadro 13 – Impacto da atualização do imposto predial em Córdoba	56
Quadro 14 – Custos do metro quadrado de construção por estratos em Manizales	61
Quadro 15 – Medidas de desempenho dos modelos de árvore de decisão em Manizales	64
Quadro 16 – Valor dos imóveis estudados, por estrato, em Manizales	65
Quadro 17 – Impacto da atualização do imposto predial em Manizales*	66
Quadro 18 – Medidas de desempenho dos modelos de valor do terreno em Corrientes	75
Quadro 19 – Valor dos imóveis em Corrientes, por decis de valor	77
Quadro 20 – Impacto da atualização do imposto predial em Corrientes, por decis de valor	78
Quadro 21 – Modelo de regressão múltipla para o terreno em Itabira	84
Quadro 22 – Índices de reajuste por tipo e padrão de construções	86
Quadro 23 – Valor dos imóveis em Itabira	87
Quadro 24 – Impacto da atualização do imposto predial em Itabira	87
Quadro 25 – Custos do metro quadrado de construção por tipo de imóvel residencial em Benito Juárez	92
Quadro 26 – Medidas de desempenho dos modelos de valor do terreno em Benito Juárez	95
Quadro 27 – Valor dos imóveis estudados, por componente, em Benito Juárez	96
Quadro 28 – Impacto da atualização do imposto predial em Benito Juárez*	97
Quadro 29 – Aumento dos valores dos imóveis estudados	99
Quadro 30 – Potencial de arrecadação do imposto predial nas cidades estudadas	100



CRÉDITO EDITORIAL

Esta publicação foi coordenada e editada por Huáscar Eguino e Diego Erba, consultores da Divisão de Gestão Fiscal do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). É também o resultado da contribuição de um grande grupo de especialistas em tributação de imóveis, cadastros multifinalitários, avaliação imobiliária e análise de dados. Os autores de cada capítulo são:

Capítulo 1: Huáscar Eguino

Capítulo 2: Diego Erba, Fabián Reyes Bueno e Huáscar Eguino

Capítulo 3: Antonio Augusto Ferreira de Oliveira

Capítulo 4: Mario Piumetto, Juan Pablo Carranza e Hernán Morales

Capítulo 5: Diego Erba, Marco Aurelio Stumpf González e Fabián Reyes Bueno

Capítulo 6: Mario Piumetto, Juan Pablo Carranza e Hernán Morales

Capítulo 7: Everton da Silva, Liane Ramos da Silva, Carlos A. O. Vieira, Francisco H. de Oliveira

Capítulo 8: Diego Erba, Marco Aurelio Stumpf González e Fabián Reyes Bueno

Capítulo 9: Huáscar Eguino e Diego Erba

A revisão editorial foi feita por Patricia Ciria, e o projeto gráfico por Sara Ochoa.



AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a todos os que contribuíram, direta ou indiretamente, para a elaboração deste documento e a todos os que participaram do projeto “Actualización de valores catastrales y estimación de potencial tributario del impuesto predial” (RG-E1669), liderado pela Divisão de Gestão Fiscal (FMM) do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), a saber:

Os coautores Antonio Augusto Ferreira de Oliveira, Everton da Silva, Mario Piumetto, Fabián Reyes Bueno e Marco Aurelio Stumpf González, por conseguirem reunir seus conhecimentos técnicos e experiência prática em um texto de fácil leitura e destinado a um público composto por profissionais e técnicos interessados no assunto, mesmo que não sejam necessariamente especializados em cadastro, avaliação imobiliária ou tributação.

Em Córdoba, Argentina, o Bel. Heber Farfán, Secretário de Receitas Públicas do Ministério da Fazenda; o Eng. Gustavo García, o Diretor Geral de Cadastro do Governo da Província; o Ms. Pablo Recabarren, Diretor da Faculdade de Ciências Exatas, Físicas e Naturais da Universidade Nacional de Córdoba; o Eng. Daniel Lago, Secretário Geral; e o Eng. Luis Bosch, Secretário de Extensão. Em Corrientes, Argentina, o Dr. Eduardo Tassano, prefeito de Corrientes; o Contador Guillermo Corrales, Secretário de Finanças, e a B.^{ela} Sonia Corrales, gerente de GIS da SG-SA.

Em Fortaleza, Brasil, o ex-Secretário de Finanças de Fortaleza, Jurandir Gurgel Gondim Filho; a Secretária de Finanças de Fortaleza, Flavia Roberto Bruno Teixeira; e o auditor do Tesouro Municipal, Ms. Sandro Vasconcelos Bandeira. Em Itabira, a Superintendente de Geoprocessamento, Gilza Ferreira de Alvarenga; a Superintendente de Tributos, Rosangela Pereira; e a Superintendente de Planejamento Urbano, Patrícia de Castro Ferreira.

Em Manizales, Colômbia, a Eng. Natalia Escobar Santander, ex-secretária de Planejamento de Manizales; o Dr. John Alexander Alzate Quiceno, Secretário de Finanças; os assessores de planejamento Jairo Alonso Ospina Rincón e Oscar Andrés Jiménez, e a ex-chefe do GIS, Diana María Alvarán Cardona.

No México, a B.^{ela} María Elena Hermelinda Lezama Espinosa, ex-presidente constitucional do município de Benito Juárez; o Bel. Marcelo José Guzmán, Tesoureiro Municipal; o Eng. Carlos Ernesto Fierros Pacheco, ex-diretor do Cadastro Municipal, e o consultor Eng. Víctor Manuel Bernal.

Também gostaríamos de agradecer aos membros da Rede da América Latina e do Caribe sobre Descentralização e Gestão Fiscal Subnacional por seu interesse no assunto e por motivar a preparação desta publicação.



SOBRE OS AUTORES

HUÁSCAR EGUINO

Especialista em Gestão Fiscal do BID. Economista especializado em gestão fiscal de governos subnacionais, gestão de investimentos públicos, política fiscal verde e financiamento sustentável. Tem mais de vinte anos de experiência no BID, tendo trabalhado em vinte países da região da América Latina e prestado assessoria direta a mais de 75 governos subnacionais. Foi coordenador da iniciativa de cidades sustentáveis e da agenda de gestão fiscal e mudança climática do BID. Tem mestrado em desenvolvimento local e regional pelo Instituto de Estudos Sociais (Universidade de Roterdã, Holanda) e pós-graduação no Instituto de Tecnologia de Massachusetts, da Universidade de Harvard, e na Universidade da Pensilvânia.

DIEGO ERBA

Consultor internacional em questões cadastrais (Banco Mundial, BID, Sociedade Alemã de Cooperação Internacional-GIZ e Millenium Challenge Corporation). Engenheiro agrimensor pela Universidade Nacional de Rosário. Mestre em sensoriamento remoto, pela Universidade Federal de Santa Maria, e em cadastro multifinalitário, pela Universidade Federal de Santa Catarina, ambas no Brasil. Doutorado em agrimensura pela Universidade Nacional de Catamarca. Pós-doutorado na Universidade Shiga (Japão), Universidade Clark (EUA) e Universidade Andina Simón Bolívar (Equador). Professor associado do Lincoln Institute of Land Policy.

ANTONIO AUGUSTO FERREIRA DE OLIVEIRA

Auditor do Tesouro Municipal da Secretaria de Finanças (SEFIN) do município de Fortaleza, Brasil. Engenheiro civil, formado em Direito, pós-graduado em Ciência da Computação e mestre em Economia do setor público. Participou do desenvolvimento e implantação de diversos projetos da SEFIN relacionados à tributação imobiliária, incluindo: revisão da legislação do imposto de transmissão de bens imóveis, elaboração de instruções normativas, implantação de novas tecnologias para a avaliação de imóveis por meio de modelos econométricos e inteligência artificial, estabelecimento de valores genéricos, sistemas de informações geográficas, cadastro territorial multifinalitário, observatório urbano de valores, entre outros.



EVERTON DA SILVA

Professor da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Brasil, no Departamento de Geociências. Engenheiro agrimensor pela União das Faculdades de Criciúma, Brasil. Mestre em Cadastro Técnico Multifinalitário e Doutor em Engenharia de Produção pela UFSC. Foi professor de Cadastro Técnico Municipal na Universidade do Extremo Sul Catarinense. Coordenou trabalhos de levantamentos cadastrais e avaliação em massa de imóveis em diversas cidades do Brasil. É professor associado do Lincoln Institute of Land Policy. Coordena o Grupo de Observação e Transformação do Território.

MARIO PIUMETTO

Consultor do Ministério da Fazenda da província de Córdoba, Argentina, desde 2017, onde coordena estudos para a reforma e o fortalecimento das avaliações e do imposto imobiliário. Agrimensor pela Universidade Nacional de Córdoba e especialista em cartografia, sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica pela Universidade de Alcalá (Espanha). Entre 2005 e 2011, foi diretor do cadastro da cidade de Córdoba. No âmbito acadêmico, na Universidade Nacional de Córdoba, é professor do curso de Agrimensura, diretor da graduação em Cadastro aplicado ao Desenvolvimento Urbano e diretor do Centro de Estudos Territoriais. Desde 2005, é professor associado do Programa da América Latina e do Caribe do Lincoln Institute of Land Policy.

FABIAN RENÉ REYES BUENO

Professor e pesquisador da Universidade Técnica Particular de Loja (Equador). Tem doutorado em Engenharia de Desenvolvimento Rural pela Universidade de Santiago de Compostela (Espanha). Coordenou vários projetos de pesquisa relacionados à gestão, avaliação e tributação territorial em áreas urbanas e rurais, com base nos quais publicou vários artigos em revistas indexadas. Suas principais áreas de interesse são: gestão territorial, avaliação venal, planejamento territorial e modelagem espacial.

MARCO AURELIO STUMPF GONZALEZ

Engenheiro civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasil. Mestre (1993) e Doutor em Engenharia Civil (2002) pela mesma Universidade. Professor da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, Brasil, desde 1996. Avaliador e perito judicial nas áreas de construção e avaliação comercial de imóveis. Seus interesses de pesquisa incluem economia e gestão da construção civil, avaliação de imóveis por meio da geração de modelos de preços hedônicos para análise de mercado utilizando técnicas de inferência estatística e inteligência artificial e o uso de redes neurais artificiais e lógica difusa.



INTRODUÇÃO

HUÁSCAR EGUINO E DIEGO ERBA

Um dos desafios mais importantes dos governos subnacionais da América Latina e do Caribe (ALC) é melhorar suas receitas tributárias por meio de medidas de fácil implantação, baixo custo e que gerem recursos no curto prazo. Nesse contexto, especialistas e técnicos em tributação costumam fazer, no mínimo, as seguintes perguntas: i) quais são as alternativas técnicas existentes para que os governos subnacionais aumentem suas receitas próprias de forma rápida e prática?; ii) o que pode ser feito para explorar melhor o potencial tributário subnacional e, em especial, o potencial do imposto predial,¹ sem ter que mudar as políticas tributárias, investir pesadamente em sistemas de informação ou realizar projetos dispendiosos de modernização cadastral; e (iii) como as novas tecnologias de informação podem ser aproveitadas para superar as deficiências técnicas das administrações tributárias e dos cadastros subnacionais?

Essas são algumas das questões que nortearam o presente estudo focado no imposto predial. Os benefícios desse imposto são amplamente conhecidos porque não gera distorções na economia; é progressivo em sua aplicação; é baseado no princípio do benefício, já que o valor das propriedades reflete a prestação local de serviços e infraestruturas; e contribui para a governança, a prestação de contas e a equidade tributária.

Especificamente, esta pesquisa teve como objetivo estimar o potencial tributário do imposto predial se os valores de mercado forem usados como referência para a avaliação venal. Para isso, foram aplicadas várias técnicas de avaliação, os valores venais foram ajustados e o potencial tributário foi estimado em seis cidades latino-americanas.

Por sua vez, este estudo estabeleceu que existem várias estratégias para a realização da avaliação em massa, que podem ser adaptadas às diferentes capacidades institucionais dos governos subnacionais. De fato, a pesquisa destacou: i) a grande versatilidade das técnicas de avaliação em massa; ii) as vantagens crescentes de contar com dados georreferenciados abertos e/ou informações on-line; iii) a importância dos observatórios do mercado imobiliário como instrumento para monitorar o mercado e captar informações sobre transações de compra e venda; e iv) a possibilidade de alcançar maior integração entre os sistemas de cadastro e de administração tributária subnacional, com base no uso de valores de mercado dos imóveis.

Por outro lado, o estudo mostra que, para se aproximar do potencial tributário do imposto predial, não é necessário realizar grandes reformas (o que não exclui que não sejam necessárias) ou fazer investimentos caros na coleta de dados cadastrais. Em outras

¹ Também chamado na região de imposto imobiliário, imposto sobre bens imóveis ou imposto predial.



palavras, o uso de técnicas de avaliação em massa resolve, em grande parte, o problema da atualização dos valores venais e, ao mesmo tempo, fornece a base para o ajuste dos valores para a determinação das bases tributárias, sempre levando em conta as restrições do contexto local. Além disso, este relatório mostra que, mesmo sob a política tributária atual, os impostos prediais podem ser aumentados enormemente por meio do ajuste da base tributária, melhorando, assim, as finanças locais e alcançando mais justiça tributária.

O estudo foi realizado em cerca de três anos (2019-2021) e envolveu diretamente doze pesquisadores especializados na área, além de contar com o apoio de autoridades e técnicos de seis municípios da Argentina, do Brasil, da Colômbia e do México, além de vários revisores e comentaristas.

Este capítulo introdutório apresenta as motivações e as perguntas que orientaram este relatório. O capítulo 1 descreve a importância do imposto predial na ALC e a relevância de ajustar os valores imobiliários usando informações de mercado. O capítulo 2 inclui uma visão geral dos principais métodos e técnicas de avaliação em massa e fornece a referência para os estudos de caso. Os capítulos 3 a 8 apresentam seis estudos de caso correspondentes aos municípios de Córdoba e Corrientes, na Argentina, Fortaleza e Itabira, no Brasil, Manizales, na Colômbia, e Benito Juarez no México.

Do ponto de vista metodológico, as cidades que compõem os seis casos foram selecionadas por sua heterogeneidade e pela relevância que podem ter como referência para outras áreas urbanas. As variáveis usadas em sua seleção incluíram: i) o nível de detalhe da cartografia; ii) o nível de detalhe da base de dados cadastrais; iii) o nível de integração dos sistemas de cadastro e administração tributária; iv) a existência e a idade dos observatórios do mercado imobiliário; e v) o nível de geotecnologia do município (veja o Quadro 1). Em outras palavras, o projeto incorporou cidades com características distintas, a fim de demonstrar que os métodos e as técnicas apresentados neste estudo podem ser aplicados com sucesso em uma variedade de contextos.

**Quadro 1** – Nível de geotecnologia das cidades

Cidade	Cadastro municipal		Nível de integração dos sistemas de informação	Nível de desenvolvimento do observatório imobiliário	Nível de geotecnologia
	Nível de detalhamento da cartografia	Nível de detalhamento da base de dados			
Fortaleza	Muito alto	Muito alto	Muito alto	2005	Muito alto
Córdoba	Muito alto	Muito alto	Muito alto	2017	Muito alto
Manizales	Alto	Baixo	Alto	2020	Intermediário
Corrientes	Intermediário	Alto	Intermediário	2019	Intermediário
Itabira	Intermediário	Intermediário	Alto	2020	Intermediário
Benito Juárez	Intermediário	Intermediário	Baixo	2020	Incipiente

Fonte: elaboração própria.

Por fim, o capítulo 9 traz uma síntese das estimativas do potencial tributário do imposto predial e um conjunto de conclusões e reflexões destinadas aos responsáveis pelos sistemas de cadastro, às administrações tributárias locais e aos tomadores de decisão de políticas tributárias subnacionais. O estudo conclui com a certeza de que esta publicação fornecerá novos argumentos para promover o uso de técnicas de avaliação em massa na atualização cadastral, a certeza de que seu uso resultará em maiores receitas tributárias e que sua aplicação terá menos resistência da população devido à transparência e à equidade derivadas do uso de informações de mercado.



CAPÍTULO 1
**IMPORTÂNCIA E DETERMINANTES
DO IMPOSTO PREDIAL**

HUÁSCAR EGUINO

1.1 Qual é a importância do imposto predial na América Latina e no Caribe?

Os impostos prediais² representam 0,7% do PIB globalmente, 1,1% nos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e apenas 0,5%, em média, nos países da América Latina e do Caribe (ALC) (OCDE/CGLU, 2022). Na ALC, a importância desse imposto varia muito entre os países: no Brasil, na Colômbia, no Chile e no Uruguai, ele está acima da média mundial ou no mesmo nível; na Argentina, na Bolívia e no Peru, não passa da metade do que é cobrado nos países da OCDE; e na Costa Rica, no Equador, na Guatemala, em Honduras, no México, na Nicarágua e no Paraguai, não passa de 0,3% do PIB³ (veja o Quadro 2).

Quadro 2 – Receitas tributárias subnacionais como % do PIB, média 2015-2019

País	Total de receitas tributárias	Imposto predial	Impostos sobre a atividade econômica	Outros impostos
Brasil	9,3	0,7	8,5	0,1
Argentina	5,0	0,4	4,2	0,4
Colômbia	3,4	0,8	1,8	0,8
Chile	1,7	0,7	1,0	0,0
Nicarágua	1,5	0,2	1,1	0,2
Uruguai	1,4	0,8	0,0	0,6
Bolívia	1,1	0,5	0,0	0,6
México	1,0	0,2	0,0	0,8
Peru	1,0	0,4	0,0	0,6
Costa Rica	0,7	0,3	0,4	0,0
Equador	0,6	0,2	0,2	0,2
Paraguai	0,5	0,2	0,2	0,0
Honduras	0,4	0,2	0,0	0,2
Guatemala	0,2	0,1	0,0	0,1

Fonte: base de dados subnacional do BID, 2022.

Embora os impostos prediais não tenham uma grande participação no PIB nos países da ALC, eles são importantes em relação a receitas tributárias subnacionais totais (veja o Quadro 3). De fato, em oito países, esse imposto representa mais de 40% das receitas tributárias subnacionais, em quatro outros países está acima de 10% (Colômbia, Equador, México e Nicarágua), e no Brasil e na Argentina ultrapassa 7,5%. Em outras palavras, esse

² Os impostos prediais são divididos em impostos recorrentes e não recorrentes. Os recorrentes, que são o objeto deste estudo, são cobrados regularmente e têm como fato gerador os bens imóveis. Os não recorrentes incluem impostos sobre a transferência de propriedade por herança ou doação.

³ Há um quarto grupo de países onde não há (ou quase não há) imposto predial. Esse grupo inclui El Salvador, Panamá e República Dominicana.

imposto é uma importante fonte de receita para a maioria dos governos subnacionais e é particularmente relevante para as principais áreas urbanas. Por exemplo, em cidades como São Paulo ou Rio de Janeiro, esse imposto representa entre 25% e 35% de suas receitas totais (Kelly R., R. White e A. Anmad, 2020).

Quadro 3 – Receitas tributárias subnacionais, % do total, 2015-2019

País	Total de receitas tributárias	Imposto predial	Impostos sobre a atividade econômica	Outros impostos
Brasil	100,0	7,5	91,4	1,1
Argentina	100,0	8,0	84,5	7,5
Colômbia	100,0	23,5	52,9	23,5
Chile	100,0	41,2	58,8	0,0
Nicarágua	100,0	13,3	73,3	13,3
Uruguai	100,0	57,1	0,0	42,9
Bolívia	100,0	45,5	0,0	54,5
México	100,0	20,0	0,0	80,0
Peru	100,0	44,7	0,0	55,3
Costa Rica	100,0	42,9	57,1	0,0
Equador	100,0	33,3	33,3	33,3
Paraguai	100,0	49,8	48,0	2,2
Honduras	100,0	49,9	0,0	50,1
Guatemala	100,0	73,0	0,0	27,0

Fonte: base de dados subnacionais do BID, 2022.

1.2 Por que o imposto predial é importante para os governos subnacionais?

Tanto a teoria quanto as melhores práticas internacionais concordam que o imposto predial é uma fonte ideal de recursos para financiar serviços subnacionais pelos seguintes motivos:

- i) os impostos prediais têm grande potencial de mobilização de receita, especialmente em áreas urbanas. Junto com a América do Norte, a ALC é a região mais urbanizada do mundo e estima-se que, até 2025, 82,4% de sua população viverá em áreas urbanas (UN-Habitat, 2022). Considerando que a maior parte do imposto predial está concentrada nas cidades, seria de se esperar que, – se bem administrada, essa fonte de receita tributária se tornasse cada vez mais importante nas finanças subnacionais. De acordo com estimativas para países altamente urbanizados, como o Brasil e a Colômbia (com parcelas da população urbana de 87,1% e 81,4%)

(UN-Habitat, 2022), o imposto predial poderia atingir entre 1,2% e 1,4% do PIB, respectivamente (Bonet J., A. Muñoz e C. Pineda, 2014);

- ii)** não é um imposto distorcivo e é progressivo. A base tributária desse imposto é imóvel, portanto, não tem impacto negativo sobre a eficiência econômica. Além disso, quando bem administrado, é progressivo, pois tende a recair mais sobre as pessoas com renda mais alta, já que os imóveis costumam ser um importante depósito primário de riqueza (Kelly R., R. White e A. Anmad, 2020);
- iii)** baseia-se no princípio do benefício.⁴ Devido à sua imobilidade, a base capta o valor dos investimentos feitos em seu entorno e os benefícios dos serviços públicos e da infraestrutura. Isso permite que o imposto sobre a propriedade funcione como uma forma de tributação sobre os benefícios. De fato, as melhorias na infraestrutura e nos serviços públicos se refletem no aumento dos valores dos imóveis, que são a base desse imposto. (Kelly R., R. White e A. Anmad, 2020);
- iv)** contribui para a governança local e a prestação de contas. Esse imposto é pago principalmente pelos residentes, e o valor da propriedade reflete o desenvolvimento urbano e o acesso aos serviços públicos locais, de modo que os impostos prediais podem ser semelhantes àqueles sobre os benefícios. Isso facilita a prestação de contas das autoridades locais (Abdel-Kader K., R. De Mooij, 2020). Essa é uma característica importante, pois esse imposto tem o potencial de tornar a relação entre as receitas e as despesas públicas mais visível e dá mais transparência a essas últimas (Eguino H., S. Schachtele, 2020).

Apesar desses benefícios, uma das principais desvantagens desse imposto é que ele tende a ser politicamente sensível e caro de administrar, especialmente devido à necessidade de cadastros atualizados e aos investimentos necessários para ter bons sistemas de administração tributária em nível subnacional.

⁴ O princípio do benefício das finanças públicas sustenta que o valor do imposto/da taxa deve ser pago por aqueles que se beneficiam dos serviços prestados pelo governo.

1.3 Que variáveis determinam o desempenho do imposto predial?

As receitas do imposto predial dependem de dois tipos de variáveis (Kelly R., 2013) (veja a Figura 1):

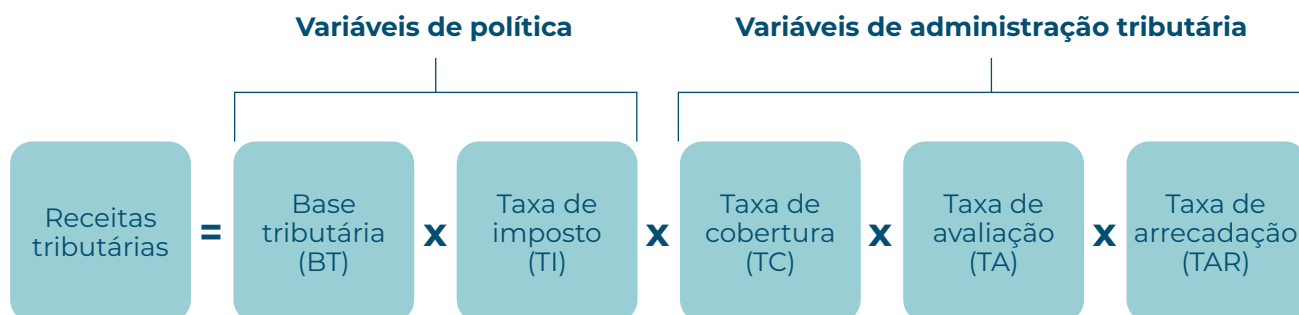
i) Variáveis de política fiscal, incluindo:

- a) a base tributária (BT) pela qual o evento tributável (por exemplo, propriedade de terrenos e/ou terrenos e melhorias) e suas isenções são estabelecidos;
- b) a taxa de imposto (TI), que estabelece o valor (ou a alíquota) do imposto em relação ao valor da propriedade: pode ser o valor por unidade em um sistema de zoneamento, o imposto por área ou o imposto sobre o valor do terreno e das melhorias.

ii) Variáveis administrativas, incluindo:

- a) a taxa de cobertura (TC) mede o número de propriedades registradas no cadastro em relação ao número total de propriedades sujeitas à tributação em uma localidade. Essa taxa reflete a eficiência da administração fiscal (ou cadastral) na coleta de dados das propriedades utilizando pesquisas de campo, informação secundária, registros administrativos e/ou informação fornecida pelos contribuintes. A TC capta a aplicação de isenções, reduções e subsídios legalmente estabelecidos, excluindo-os do total de propriedades tributáveis numa localidade;
- b) taxa de avaliação (TA) corresponde ao valor dos imóveis inscritos no cadastro fiscal, dividido pelo valor real de mercado desses mesmos imóveis. Essa taxa mede a porcentagem do valor de mercado que está sendo captada por meio do processo de avaliação;
- c) a taxa de arrecadação (TAR) estabelece a relação entre a receita fiscal anual cobrada e o total da dívida fiscal faturada. Essa taxa mede a eficácia da administração fiscal na cobrança da dívida corrente e dos seus atrasados.

Figura 1 – Equação da receita do imposto predial



Este estudo mostra como as técnicas de avaliação em massa podem ser utilizadas para diminuir a diferença entre o valor venal e o valor de mercado dos bens imóveis (TA). Além disso, são feitas estimativas do potencial tributário do imposto predial que resultaria da aplicação de valores de mercado aos imóveis.

1.4 Importância das correções do valor patrimonial nas reformas do imposto predial

As tentativas de reforma do imposto predial enfrentam frequentemente múltiplos obstáculos, incluindo o baixo desenvolvimento do mercado formal de terrenos, a urbanização rápida, as grandes desigualdades de receitas, as restrições políticas e as capacidades institucionais das administrações fiscais subnacionais. Apesar dessas dificuldades, as reformas dos impostos prediais ganharam um novo ímpeto, tanto nos países avançados como nos países em desenvolvimento. De acordo com um estudo recente (OCDE/CGLU, 2022), dos dezesseis países que estão reformando o imposto predial desde 2018, nove concentraram os seus esforços na modernização dos métodos de avaliação da propriedade utilizando informações de mercado. Um desses casos é a Alemanha, que alterou o sistema de avaliação imobiliária vigente desde 1964 para um sistema que entrará em vigor em 2025 e que se baseia nos valores de mercado dos imóveis. Reformas semelhantes foram realizadas nas Filipinas, na Itália e na Sérvia, que deram prioridade ao ajustamento das bases tributárias com base nos valores de mercado, em vez de aumentar a taxa de imposto (OCDE/CGLU, 2022). A mesma tendência também é observada na ALC, como mostram as experiências de Córdoba (Argentina) e Fortaleza (Brasil) (Eguino H. e Erba D., 2020).

Apesar da importância da avaliação como uma estratégia de reforma do imposto predial, poucos estudos incluem uma quantificação da diferença entre os valores de mercado e os valores venais dos imóveis. Podem ser mencionadas as seguintes conclusões (De Cesare, 2016): (i) na Argentina, o nível médio das avaliações em relação aos valores de mercado varia fortemente entre as províncias, por exemplo, os valores de 2011 variam de 5,33%, na província de Salta, a 80%, na província de Buenos Aires;⁵ (ii) em uma amostra de vinte municípios no Brasil, verificou-se que o valor venal médio era de apenas 44,46% do valor de mercado; e (iii) na Colômbia, a cidade que reflete o valor mais próximo do valor de mercado é Bogotá, com 72%.


De modo geral, a importância das diferenças observadas entre os valores venais e os valores de mercado não só tem impacto no nível de cumprimento e no rendimento das receitas do imposto sobre bens imóveis (Kelly R., 2013), como também contribui para a percepção da inequidade do imposto predial.

Para concluir, pode-se indicar que os ajustes dos valores dos imóveis utilizando informações de mercado são uma peça central nas reformas e melhorias do imposto predial, pois podem ter importante impacto de arrecadatário, especialmente em governos subnacionais com maior grau de urbanização. Para além disso, o ajuste dos valores venais

⁵ Mais detalhes sobre o caso da Argentina podem ser encontrados no relatório *Modernización de los sistemas de gestión financiera pública a nivel provincial en Argentina*, (IERAL, 2016).



aos valores de mercado oferece vantagens importantes: (i) menor resistência por parte da população, em especial se a redução da diferença entre os valores venais for feita gradualmente; (ii) baixo custo de implementação, devido à existência de novas técnicas de análise de dados, uma vasta gama de métodos de avaliação em massa e a crescente disponibilidade de informação na internet; e (iii) o potencial para resultados significativos em termos de receitas, especialmente se existir o necessário apoio político. Essas são as questões abordadas neste estudo e espera-se que sejam úteis a todos os interessados em melhorar as finanças municipais e, conseqüentemente, a capacidade dos governos subnacionais para responder às exigências da população e da economia local.



CAPÍTULO 2
**AVALIAÇÕES EM MASSA
QUAIS SÃO AS ALTERNATIVAS
DE AVALIAÇÃO EXISTENTES?**

DIEGO ERBA, FABIÁN REYES BUENO E HUÁSCAR EGUINO

2.1 Introdução

A avaliação em massa foi definida pela Associação Internacional de Peritos Avaliadores (*International Association of Assessing Officers*, IAAO, 2011) como o processo de avaliação de um grupo de imóveis utilizando uma amostra representativa de dados, métodos padronizados e análise estatística. Silva e Verdinelli (2000) complementam o conceito, definindo-o como o processo de determinação de valores para todos os imóveis localizados numa jurisdição. De acordo com essas fontes, a avaliação em massa deve ser baseada em um método que evite ao máximo a subjetividade, buscando adequá-la à realidade do mercado imobiliário.

Na ALC, a avaliação venal é majoritariamente dissociativa, ou seja, os valores do terreno e das construções são determinados separadamente e depois somados para formar o valor do imóvel.

O valor venal é, sem dúvida, um componente fundamental da gestão do território. Sua importância é tal que, se fosse corretamente tratado, poderia gerar múltiplos benefícios, tanto em termos de fiscalidade como de desenvolvimento urbano. A modernização dos procedimentos de avaliação em massa dos imóveis é muito importante, uma vez que ajuda a prevenir e a resolver as distorções fiscais, incluindo a inequidade e a redução das receitas locais associadas ao valor dos imóveis.

Em termos gerais, a regulamentação atual estabelece que os valores venais devem basear-se nos valores de mercado. Essa é uma medida conceitualmente acertada, uma vez que a adoção de uma única referência econômica permite aos investidores, promotores, financiadores, especialistas fiscais e planejadores comparar valores de ativos e cargas fiscais antes de tomarem decisões. No entanto, isso raramente acontece na prática, porque os preços são confundidos com valores e custos; as avaliações em massa são efetuadas como se fossem avaliações individuais e é utilizada uma multiplicidade de variáveis, tornando as bases cadastrais mais complexas e dispendiosas de serem mantidas.

As avaliações individuais servem de apoio a operações de compra e venda, investimentos, garantias, saldos patrimoniais, expropriações, hipotecas e seguros, entre outros. Por essa razão, é frequente existirem muitos especialistas nesse tipo de avaliação, como consultores, agentes públicos ou mesmo funcionários bancários que financiam a compra e venda de imóveis. Em contrapartida, embora as avaliações em massa tenham múltiplas aplicações, existe apenas um número muito reduzido de especialistas na utilização das técnicas adequadas para essa finalidade.

Vários métodos podem ser utilizados para determinar o valor de um imóvel: (i) dados comparativos de mercado, (ii) custo de reprodução, (iii) aluguéis presumidos, (iv) involutivo e (v) residual. Os dois primeiros são considerados diretos e os outros indiretos. Os métodos diretos utilizam dados disponíveis no mercado, enquanto os métodos indiretos estimam o valor dos imóveis por meio de diferentes mecanismos, como a utilização de aluguéis presumidos ao longo do tempo.

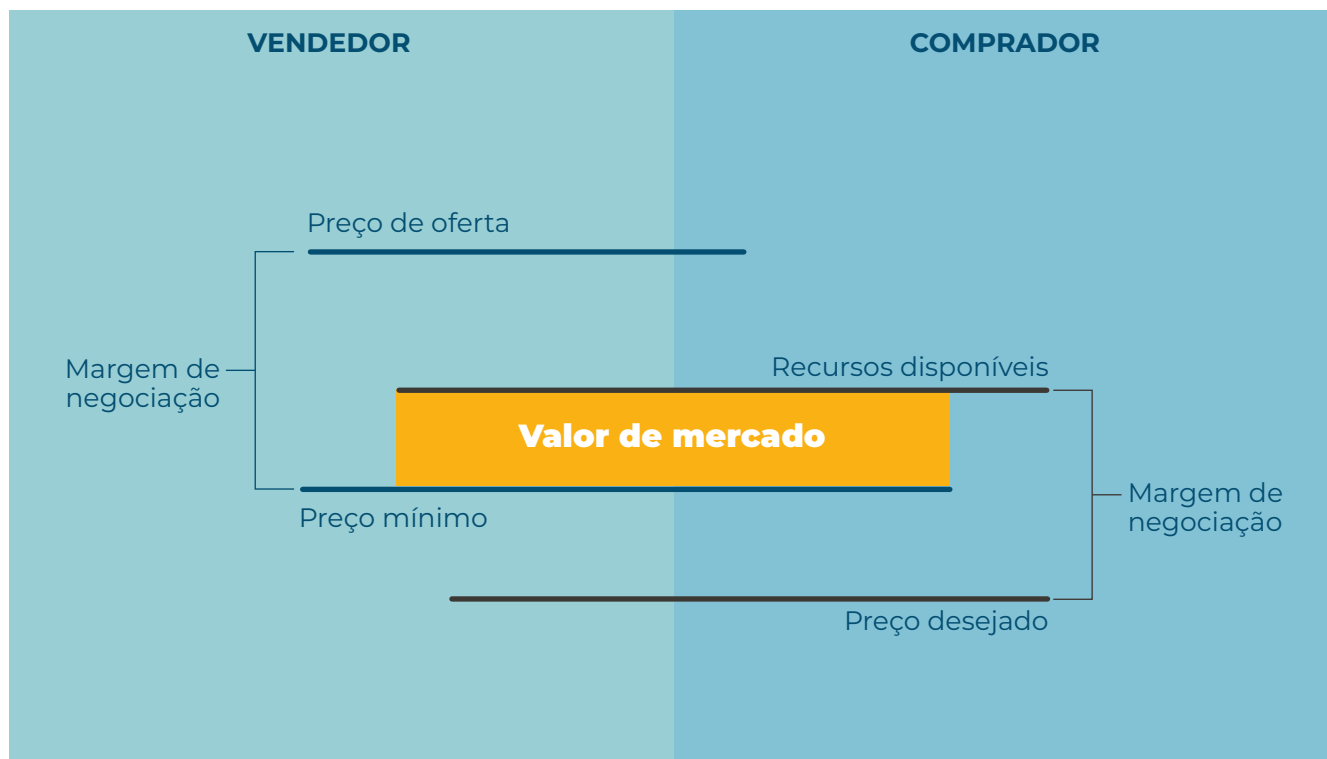
Os objetivos da avaliação imobiliária em massa incluem o apoio à definição da política fiscal, tanto para os impostos prediais como para outras fontes de recursos, como a receita proveniente de fiscalização de mercadorias, as contribuições de melhorias, as taxas de serviços urbanos e o imposto sobre mais-valias, entre outros. A definição em massa de

valores também pode servir de base para apoiar processos de expropriação de imóveis e para gerar indicadores de desenvolvimento urbano úteis para planos de ocupação de terreno, entre outros.

O valor de mercado pode ser definido como “a quantia mais provável pela qual um bem seria negociado em uma data de referência, entre um vendedor prudente e um comprador interessado no negócio, ambos com conhecimento de mercado, mas sem compulsão, dentro das condições de mercado” (IBAPE/SP, 2011). Outra interpretação (Davy, 2012) o define como “o maior preço teórico que um comprador (disposto, mas não obrigado a comprar) pagaria, e o menor preço que um vendedor (disposto, mas não obrigado a vender) aceitaria”.

A Figura 2 mostra esquematicamente a dinâmica do mercado imobiliário. As transações começam normalmente com a publicação dos preços de oferta em um website ou em um meio de comunicação especializado. O proprietário coloca um imóvel à venda com a sua expectativa de preço máximo, mas tem em mente uma margem de negociação, que depende sobretudo da pressa que tem em vender. O comprador procura um imóvel na sua área de interesse e cujo preço seja compatível com os seus recursos disponíveis. No entanto, pretende investir apenas uma parte e reservar dinheiro para construir (se estiver comprando um terreno) ou para reformar o imóvel (se estiver à procura de uma casa ou apartamento). O valor de mercado é então aleatório e situa-se dentro de uma faixa de probabilidade onde normalmente ocorre a negociação.

Figura 2 – Atores, negociação e valor de mercado

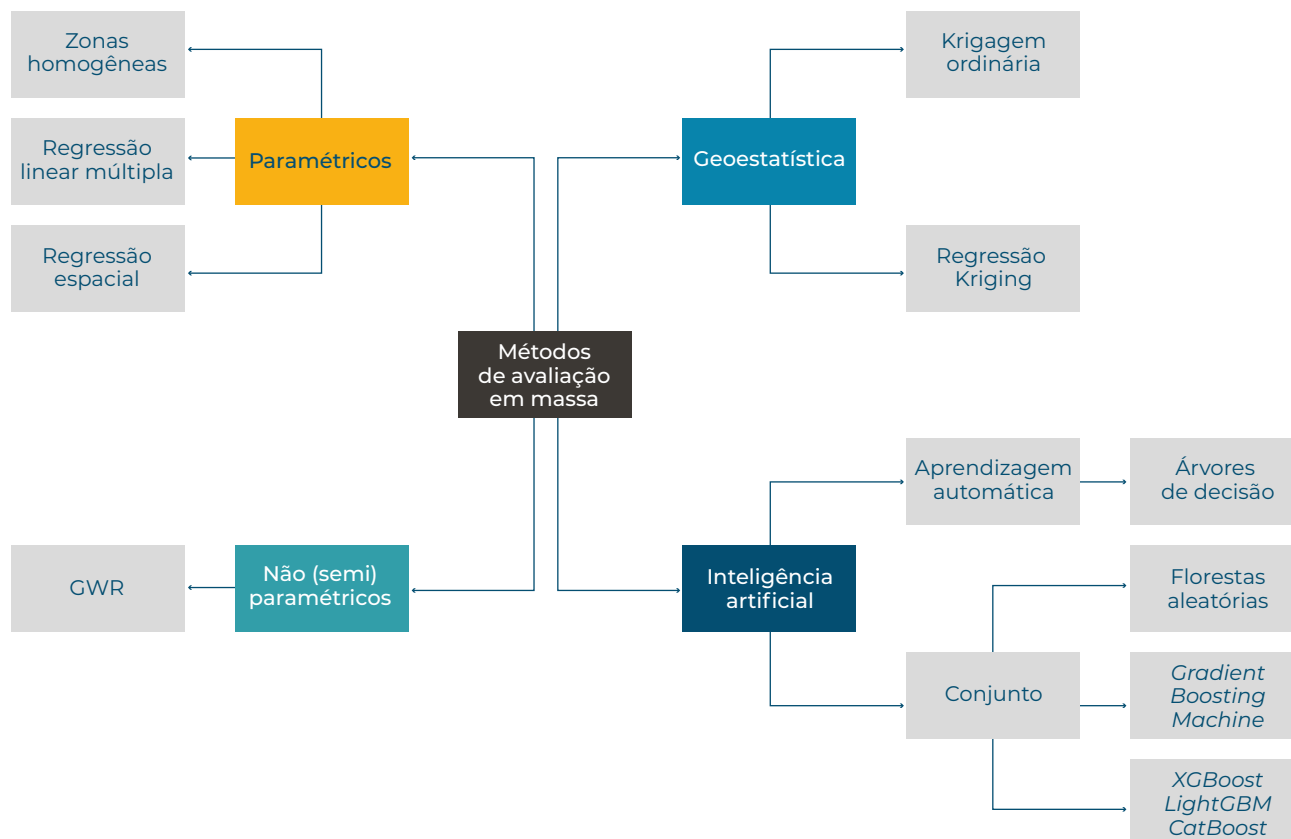


Fonte: elaboração própria.

2.2 Métodos e técnicas de avaliação em massa

Os métodos de avaliação imobiliária em massa existentes podem ser classificados em quatro grupos: (i) paramétricos, (ii) não (semi)paramétricos, (iii) geoestatísticos e (iv) de inteligência artificial. Cada grupo, por sua vez, tem diferentes técnicas (veja a Figura 3).

Figura 3 – Métodos e técnicas de avaliação de imóveis em massa



Fonte: elaboração própria.

Os métodos de avaliação em massa permitem inferir o valor de mercado de cada imóvel, por meio de modelos que utilizam informação sobre os preços observados no mercado e outras variáveis determinadas essencialmente em sistemas de informação geográfica (SIG). Embora a dimensão das amostras de dados afete a qualidade das estimativas, a prática indica que, mesmo com pequenas amostras, é possível gerar mapas de valores fundiários geralmente mais precisos e equitativos do que os valores estimados por meio de técnicas tradicionais, como as zonas homogêneas.

As medidas de desempenho dos métodos e as técnicas utilizadas melhoram significativamente, quanto mais desenvolvido e confiável for o observatório do mercado imobiliário. Por essa razão, quando existe qualidade melhor da informação gerada por esses observatórios, é também possível aplicar técnicas de avaliação em massa mais sofisticadas e precisas. Nesse contexto, a seleção dos métodos e técnicas de avaliação em massa parte

sempre da revisão da informação disponível, sendo claro que, mesmo em cenários com pouca informação, é quase sempre possível aplicar alguns dos métodos ou técnicas a seguir descritos.

Métodos paramétricos

Os métodos paramétricos são ferramentas estatísticas utilizadas com diferentes objetivos, supõem que as amostras estejam associadas a algum tipo de distribuição de probabilidade e fazem inferências sobre os parâmetros da distribuição (veja o Quadro 4).

Quadro 4 – Técnicas de avaliação específicas dos métodos paramétricos

Descrição	Aplicações
Zonas homogêneas	
<p>As zonas homogêneas são frequentemente definidas por decisão administrativa ou com base nos conhecimentos técnicos do avaliador.</p> <p>As delimitações são feitas empiricamente, de acordo com critérios como: distribuição de redes de serviços, densidade de ocupação, atributos de regulamentos urbanísticos e características de uso atual ou de construção, entre outros. Esses critérios podem influenciar negativamente a determinação do valor do imóvel em relação ao que se observa no mercado. No entanto, é possível tornar o método objetivo, identificando submercados por meio da análise de componentes principais e de grupos (Hayles, 2006; Napoli <i>et al.</i>, 2017). Técnicas como a análise de grupos (<i>clusters</i>) e a análise exploratória de dados espaciais, a análise de cointegração, o agrupamento difuso (<i>fuzzy clustering</i>) e as funções de suavização, entre outras (Royuela e Duque, 2013), podem ser aplicadas com vantagens num ambiente SIG.</p>	<p>A grande maioria dos cadastros econômicos na ALC utiliza zonas homogêneas para representar os valores do terreno urbano. Em alguns casos, setores menores são incluídos dentro das zonas, que, embora tendam a reduzir as desigualdades, acabam consolidando-as ao considerá-las homogêneas em valor. As zonas homogêneas tendem a perpetuar-se, e os seus limites não são alterados com frequência suficiente, mesmo quando as mudanças no mercado imobiliário são evidentes.</p> <p>Nessas zonas, a administração acaba por atribuir valores uniformes a imóveis com diferenças significativas. Além disso, as atualizações recorrem, muitas vezes, a poucos dados de mercado e sem o tratamento estatístico adequado, o que, no longo prazo, conduz a mais imprecisões.</p> <p>Em alguns casos, as atualizações baseiam-se na aplicação de índices inflacionários que não se correlacionam com os altos e baixos do mercado imobiliário.</p>
Regressão linear múltipla – (RLM)	
<p>A regressão linear múltipla (RLM) é uma técnica de avaliação em massa muito utilizada e que permite determinar as relações entre uma variável dependente e variáveis independentes. Tem sido utilizada por vários autores como base para comparar seu desempenho com outras técnicas emergentes (Bencure <i>et al.</i>, 2019; Cohen <i>et al.</i>, 2020; Doumpos <i>et al.</i>, 2020; Wang <i>et al.</i>, 2020; Yilmazer e Kocaman, 2020).</p> <p>Na avaliação em massa, a variável dependente é normalmente o preço, enquanto as variáveis independentes podem ser as distâncias dos pontos de valorização e a inclusão em zonas com índices elevados de utilização dos edifícios ou impactos ambientais, entre outros.</p>	<p>A RLM é de fácil compreensão. No entanto, seu uso para gerar modelos de avaliação imobiliária para uma cidade inteira nem sempre é adequado, uma vez que, eventualmente, não tem capacidade de incluir todos os elementos determinantes para a conformação do valor dos imóveis. Nesse contexto, problemas relacionados à autocorrelação espacial dos resíduos e à heterocedasticidade são gerados com frequência (Kauko e d’Amato, 2017).</p> <p>No presente estudo, esse método foi aplicado com bons resultados nos casos de Manizales, Benito Juárez e Itabira.</p>



Descrição	Aplicações
Regressão espacial	
<p>A regressão espacial é uma técnica que incorpora aspectos espaciais diretamente no modelo de regressão clássico, geralmente por meio da criação de matrizes de ponderação espacial relacionadas à contiguidade e/ou distância entre as observações amostrais. Apesar de a dependência e a hetero-geneidade espaciais violarem os pressupostos do modelo de regressão linear clássico (hipótese de Gauss-Markov), a regressão espacial tem a sua aplicabilidade em modelos de avaliação em massa de imóveis, uma vez que os preços observados estão, com frequência, autocorrelacionados espacialmente.</p> <p>Os métodos de regressão espacial multinível tentam separar os efeitos das características individuais dos efeitos daquelas que se referem ao local. A regressão espacial tem sido utilizada para gerar modelos de avaliação imobiliária por meio da quantificação da influência de variáveis de ordem superior (por exemplo, bairros) e de variáveis específicas do imóvel (Arribas <i>et al.</i>, 2016).</p>	<p>Essa técnica, ao se basear numa definição, <i>a priori</i> de um conjunto discreto de unidades espaciais para cada nível da hierarquia, pode gerar problemas de descontinuidade num contexto espacial de um mercado imobiliário que funciona majoritariamente numa base contínua (Fotheringham <i>et al.</i>, 2002).</p> <p>Um estudo (Bandeira e Sandro, 2019) estimou valores de terrenos na cidade de Fortaleza com o objetivo de aplicar conceitos teóricos e solidificar o entendimento desse tipo de regressão, concluindo que a utilização do modelo espacial baseado na contribuição espacial do preço (<i>Spatial Auto Regressive</i>, SAR) produziu os melhores resultados dentre todos os testados.</p> <p>Neste estudo, foram aplicados métodos de regressão espacial nas cidades argentinas de Córdoba e Corrientes.</p>

Fonte: elaboração própria.

Métodos não (semi)paramétricos

Os modelos de avaliação não paramétricos e semiparamétricos foram desenvolvidos para superar as dificuldades dos modelos paramétricos. Esse tipo de avaliação não requer pressupostos sobre a distribuição de probabilidade dos erros ou das formas funcionais dos modelos.

A regressão geograficamente ponderada (*Geographic Weighted Regression*, GWR, da sigla em inglês) é uma técnica baseada na regressão linear que incorpora as relações espaciais locais de forma intuitiva e explícita. Tem sido usada para modelar valores imobiliários em várias cidades (Cohen *et al.*, 2020; Dimopoulos e Moulas, 2016; McCluskey *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2020) e em todos os estudos teve melhor desempenho que os modelos RLM. Os seus resultados são próximos dos obtidos por meio de técnicas como as Redes Neurais Artificiais (RNA).

A GWR não é recomendada quando as bases de dados são pequenas. Devido às suas características, essa técnica também pode introduzir artificialmente variações no padrão dos coeficientes estimados.

Esses métodos não foram aplicados no âmbito do presente estudo.



Métodos geoestatísticos

A geoestatística estuda os fenômenos regionalizados, que são aqueles que se estendem pelo espaço geográfico e apresentam certa continuidade. Uma das suas principais vantagens é o fato de estimar valores quando não existem dados disponíveis. Os métodos geoestatísticos não só constroem estimadores, como também fornecem medidas de precisão da estimativa por meio de ferramentas probabilísticas como variâncias ou intervalos de confiança (Emery, 2009).

O termo geoestatística foi cunhado por Matheron, que formalizou e generalizou matematicamente um conjunto de técnicas que utilizam a correlação espacial, desenvolvidas por D. G. Krige, em 1941, para fazer estimativas na avaliação das reservas de minas de ouro na África do Sul. Matheron (1970) definiu a geoestatística como “a aplicação da teoria das variáveis regionalizadas à estimativa de depósitos minerais (com todas as aproximações que isso implica)”.

Quadro 5 – Técnicas de avaliação específicas dos métodos geoestatísticos

Descrição	Aplicações
Krigagem (Kriging)	
A krigagem pode ser aplicada ao mercado imobiliário, uma vez que se trata de um fenômeno regionalizado. Assim, a geoestatística pode ser utilizada para analisar o mercado imobiliário por meio de um conjunto de técnicas que permitem prever os valores dos imóveis distribuídos no espaço e/ou no tempo. Nesse âmbito, os valores não são considerados independentes, mas estão correlacionados entre si, ou seja, existe dependência espacial. Intuitivamente, isso indica que, quanto mais próximas duas propriedades estiverem localizadas, mais correlacionados serão os seus valores e, quanto mais afastadas, menos relacionadas estarão (Díaz Viera, 2002).	Essa técnica geoestatística foi aplicada à avaliação em massa com resultados muito bons, na cidade argentina de Río Cuarto, província de Córdoba (Montenegro <i>et al.</i> , 2018). Noutro tipo de aplicação (Ferreira de Oliveira <i>et al.</i> , 2018), foram utilizados modelos aditivos generalizados e técnicas geoestatísticas para interpolar os resíduos, obtendo resultados muito promissores para a avaliação em massa. Importa, no entanto, esclarecer que esses métodos devem ser utilizados com parcimônia, pois os erros registrados podem distorcer a estimativa final. Neste estudo, a técnica de krigagem foi aplicada em Manizales e Benito Juárez, para determinar os valores do terreno e, em Itabira, para interpolar os resíduos da regressão.

Fonte: elaboração própria.

Métodos baseados em inteligência artificial

A inteligência é a capacidade de raciocinar para resolver um problema com informações obtidas por meio da análise do contexto, do processamento de ideias complexas e da experiência. Quando essa capacidade é transferida para um computador (máquina) que é alimentado com dados para ter a maior aproximação possível de um resultado e, além disso, são feitos os ajustes necessários a esses processos para que sejam otimizados, estamos falando de inteligência artificial (IA).

Em termos gerais, a IA pode ser classificada como fraca e forte. A fraca é desenvolvida para executar uma tarefa específica, como a dos assistentes on-line dos telefones celulares, enquanto a IA forte demonstra capacidades cognitivas muito semelhantes às humanas e



tem a capacidade de fazer as alterações que considera necessárias para tarefas desconhecidas. Cabe destacar que, à medida que a tecnologia avança, os computadores são capazes de efetuar processos de rotina mais complexos, devido ao aperfeiçoamento automático de algoritmos ou à aprendizagem automática.

A aprendizagem automática (*Machine Learning*) é um ramo da IA que estuda métodos automatizados para gerar modelos matemáticos, ou seja, algoritmos e estatísticas que permitem resolver tarefas de forma que o *software* descubra por si próprio como resolvê-las.

Quando aplicados a avaliações em massa, os modelos de aprendizagem automática são frequentemente criticados por serem difíceis de compreender e por se assemelharem a modelos de “caixa preta”, assim chamados por não se basearem em relações causais entre as variáveis utilizadas. Esse é especialmente o caso quando comparado com os modelos econométricos de regressão linear múltipla, em que o coeficiente de cada estimador é interpretado como a contribuição marginal da variável independente para o valor observado. A crítica é compreensível, dada a necessidade humana inerente de compreender mais profundamente antes de confiar numa nova abordagem. O ceticismo existe mesmo quando esse método fornece estimativas muito mais exatas sobre observações fora da amostra do que os modelos tradicionais.

Como estratégia para amenizar as críticas, os modelos de aprendizado de máquina trazem um conjunto de ferramentas que visam fornecer uma visão mais aprofundada sobre o papel de cada atributo na formação do valor. As mais comuns são: gráficos de importância relativa e gráficos de dependência parcial (ambos introduzidos por Breiman, 2001), que utilizam um conjunto de árvores de decisão para estimar valores contínuos e podem ser aplicados aos mais diversos modelos (veja o Quadro 6).

Quadro 6 – Técnicas de avaliação específicas dos métodos baseados em inteligência artificial

Descrição	Aplicações
Árvores de decisão	
<p>Estas técnicas permitem adaptar um modelo às características locais que o condicionam, dividindo a amostra em vários segmentos (nós) e gerando depois uma resposta que pode ser textual (árvores de decisão), numérica (árvores de regressão) ou uma função (árvores de modelos). Podem ser utilizados vários algoritmos para gerar modelos de avaliação, incluindo a árvore modelo M5P, <i>bagging</i> com o algoritmo M5P, <i>splines</i> de regressão adaptativa multivariada por trechos (<i>Multivariate Adaptive Regression Splines</i>, MARS, da sigla em inglês) e árvores de regressão com reforço de gradiente (<i>Gradient Boosted Regression Trees</i>, GBRT, da sigla em inglês).</p> <p>A técnica da árvore de decisão pode oferecer algumas vantagens na modelação do valor dos terrenos. É fácil de interpretar e útil na análise das relações lineares e não lineares entre as variáveis dependentes e independentes, identificando as mais significativas. Por outro lado, essas técnicas podem gerar dois problemas: superfícies descontínuas ou com sobreajustamento (ou <i>overfitting</i>), que podem ser reduzidos empregando várias alternativas como <i>bagging</i>, <i>boosting</i> e <i>random forest</i> (Alfaro-Navarro <i>et al.</i>, 2020).</p>	<p>O algoritmo M5P foi desenvolvido para prever variáveis contínuas através de três etapas: construção de uma árvore, poda da árvore e geração de uma função para cada ramo.</p> <p>O algoritmo MARS é uma árvore de decisão que, tal como o algoritmo M5P, modela as relações entre um conjunto de variáveis de entrada e a variável dependente. Os dados de entrada são modelados utilizando segmentos lineares por partes em vez de gerar ramos.</p> <p>O algoritmo de aprendizagem denominado máquina de reforço de gradiente (<i>Gradient Boosting Machine</i>, GBM, da sigla em inglês) gera um conjunto de árvores pouco profundas, em sequência, com cada nova árvore aprendendo e melhorando a anterior. Normalmente, começa com um modelo fraco e aumenta sequencialmente o seu desempenho, continuando a construir novas árvores que procuram corrigir os erros cometidos pelo modelo anterior.</p> <p>Reyes-Bueno <i>et al.</i> (2018) definiram segmentos de mercado usando árvores de decisão para a avaliação em massa para fins fiscais no Equador e obtiveram bons resultados.</p>

Descrição	Aplicações
Montagem (<i>Ensamble</i>)	
<p>Em estatística e aprendizagem automática, os métodos de conjunto utilizam múltiplos algoritmos de aprendizagem para obter melhor desempenho nas estimativas realizadas (Polikar, 2006).</p> <p>Parte desses métodos são as técnicas de floresta aleatória (<i>random forest</i>), que se referem a modelos de aprendizagem automática supervisionados, que utilizam um conjunto de árvores de decisão para prever valores que não estão correlacionados entre si e, em seguida, calculam a estimativa final como a média das estimativas. À medida que se reduz a correlação entre as árvores, o sobreajustamento diminui. Esses modelos também fornecem informação sobre a importância relativa de cada característica, o que por sua vez permite retirar do modelo as variáveis menos relevantes, mantendo apenas aquelas que permitem cumprir o princípio da parcimônia para boas estimativas (Yoo e Wagner, 2012).⁶</p> <p>O modelo de floresta aleatória é um tipo de modelo de aprendizagem por conjuntos que combina um grande número de árvores de decisão (estimadores fracos isoladamente) para formar um estimador final e mais forte.</p> <p>O algoritmo da árvore extra (<i>extra tree</i>) é muito semelhante às florestas aleatórias. No entanto, o processo que utiliza para encontrar o valor de um atributo (limiar) é aleatório e não otimizado, o que o torna mais eficiente.</p> <p>A técnica de <i>boosting</i>, assim como as florestas aleatórias, também é um tipo de modelo de aprendizado de máquina por montagem, onde a combinação de estimadores é feita por meio da ponderação dos dados que tiveram maior erro na etapa anterior (<i>adaboost</i>) ou para os resíduos da mesma etapa (aumento de gradiente). As implementações <i>XGBoost</i>, <i>CATBoost</i> e <i>LightGBM</i> são otimizações dessa técnica.⁷</p>	<p>Essas técnicas foram utilizadas em diversas ocasiões e jurisdições. Piumetto <i>et al.</i> (2019) aplicaram técnicas algorítmicas e aprendizagem automática para a avaliação em massa de terrenos na província argentina de Córdoba, enquanto Carranza <i>et al.</i> (2018) aplicaram florestas aleatórias como técnica de avaliação em massa do valor do terreno urbano na cidade de Río Cuarto, na mesma província.</p> <p>Neste estudo, Fortaleza implementou os seguintes algoritmos: florestas aleatórias (<i>random forest</i>), árvores extras (<i>extra trees</i>) e <i>boosting</i> (<i>XGBoost</i>, <i>CATBoost</i> e <i>LightGBM</i>), gerando cinco modelos de aprendizagem automática que resultaram em métricas muito próximas entre si.</p> <p>Em Córdoba, os algoritmos utilizados foram: <i>Gradient Boosting Machine</i> (GBM), <i>Quantile Random Forest</i> (QRF), <i>Support Vector Regression</i> (SVR) e <i>Stacking</i>.</p> <p>Para todas as aplicações, é importante notar que o ajuste dos modelos para estimar o nível de erro deve ser efetuado tantas vezes quanto os grupos (<i>folds</i>) definidos no processo de validação cruzada. Uma prática comum é estimar os hiperparâmetros dos modelos apenas uma vez, utilizando toda a amostra, e depois aplicar esses valores como constantes no processo de validação cruzada. Essa estratégia reduz o tempo de processamento, mas resulta em níveis de erro artificialmente baixos, um problema conhecido na literatura como sobreajustamento ou <i>overfitting</i> (Hastie <i>et al.</i>, 2008). Nesse caso em particular, o problema é observado quando se utiliza o algoritmo <i>Gradient Boosting Machine</i>, onde as árvores geradas não são independentes.</p>

Fonte: elaboração própria.

⁶ O princípio da parcimônia (*lex parsimoniae*) ou a navalha de Ockham (Occam ou Ockam) é um princípio metodológico e filosófico atribuído ao frade franciscano, filósofo e lógico escolástico Guilherme de Ockham (1280-1349), segundo o qual “todas as coisas sendo iguais, a explicação mais simples é geralmente a mais provável”. Isso implica que, quando duas teorias igualmente compatíveis têm as mesmas consequências, a mais simples é mais provável de estar correta do que a complexa (Audi, 1999).

⁷ Mais detalhes sobre essas implementações podem ser encontrados em: *XGBoost*: Chen e Guestrin (2016) e Ferreira de Oliveira (2020); *CATBoost*: Prokhorenkova *et al.* (2018) e *LightGBM*: Ke *et al.* (2017).

2.3 Medidas de desempenho

As medidas de desempenho dos modelos de avaliação em massa são fundamentais, pois medem o nível de dispersão dos valores estimados em relação aos valores de mercado dos imóveis. Essas medidas permitem selecionar os modelos que melhor explicam a dinâmica e os valores do mercado, descartando aqueles que não o fazem. A determinação do desempenho dos modelos de avaliação é feita por meio de diferentes medidas de tendência central e de dispersão da razão entre os valores venais e os observados no mercado. O desempenho também é medido pelas métricas recomendadas pela Associação Internacional de Peritos Avaliadores (IAAO, 2013).

As medidas de tendência central utilizadas para calcular o nível de aproximação das avaliações venais dos valores de mercado são a mediana e a média ponderada da razão entre o valor venal e o valor de mercado. As medidas de dispersão utilizadas para medir a homogeneidade da distribuição da mesma razão são o coeficiente de variação (CV) e o coeficiente de dispersão (CD).

A progressividade ou regressividade das avaliações venais em relação aos valores observados no mercado é calculada por meio do indicador denominado “diferencial relativo ao preço” (*Price-Related Differential*, PRD, da sigla em inglês). Quando este é maior que 1, mostra que a relação é regressiva e, quando é menor que 1, demonstra que a distribuição é considerada progressiva (IAAO, 2013).

O nível de precisão dos modelos é avaliado pelo erro percentual absoluto médio (*Mean Absolute Percentage Error*, MAPE, da sigla em inglês):

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{|\hat{y}_i - y_i|}{y_i} \right)}{n}$$

em que:

\hat{y}_i é o valor estimado pelo modelo para a observação i , quando esta se encontra fora da amostra;

y_i é o valor real da observação i e

n é o número de observações da amostra.

O Quadro 7 apresenta as medidas e os limites aceitáveis utilizados neste estudo, que são coerentes com os valores propostos pela IAAO (2013) e com as diretrizes estabelecidas sobre o tema no Brasil. Estas últimas são menos exigentes e foram incluídas neste Quadro por estarem mais adaptadas à realidade da ALC.

Quadro 7 – Medidas de desempenho das avaliações em massa

Valor venal/valor de mercado		Limites aceitáveis	
Nível	Medidas	IAAO	Diretrizes CTM*
	Média	0,90 - 1,10	0,70 - 1,00
	Mediana		
Média ponderada			
Uniformidade	Coeficiente de variação (CV)	<= 10-15%, residencial	<= 30%
	Coeficiente de dispersão (CD)	<= 15-20%, outros segmentos	
	Diferencial de preços (PRD)	Se < 0,98 => progressividade Se > 1,03 => regressividade	

* Diretrizes para a criação, institucionalização e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário no Brasil.

Fonte: Silva, 2020.

2.4 Fontes de dados sobre os valores imobiliários

Existem diferentes fontes de dados que podem ser utilizadas nas metodologias acima mencionadas. Os valores de transação de propriedades construídas ou baldias são preferidos para a cartografia de valores, uma vez que correspondem aos valores efetivamente observados no mercado imobiliário. São difíceis de obter e, por essa razão, os valores de mercado têm normalmente de ser inferidos com base em preços de oferta obtidos por meio de diferentes estratégias e instrumentos de coleta de informação.

Nesse contexto, os observatórios do mercado imobiliário ganharam maior importância como estruturas cujo objetivo é coletar, sistematizar e armazenar os preços de ofertas provenientes de sites imobiliários, publicações diversas na web, pesquisas de campo, suplementos especializados de revistas e anúncios classificados de jornais, aos quais se juntam habitualmente os dados correspondentes ao imposto sobre a transmissão de bens imóveis (Eguino e Erba, 2020).

É importante notar que os dados coletados pelos observatórios não estão necessariamente correlacionados com os dados utilizados pela maioria dos cadastros para determinar o valor dos imóveis. Isso se deve ao fato de os valores venais serem estabelecidos com base em numerosas variáveis físicas que, nem sempre, são aquelas avaliadas pelos agentes do mercado imobiliário. Os valores de mercado têm uma referência econômica única e são estatisticamente exatos no momento em que são determinados, enquanto os valores venais tendem a ser dissociados do mercado devido ao rigor com que são determinados e ao seu elevado custo de manutenção.

2.5 Observatórios do mercado imobiliário (OMI)

Um observatório é uma estrutura administrativa e tecnológica que monitora a cidade por meio de imagens e censos. Pode ser estruturado pela instituição que administra o cadastro territorial, por instituições privadas ou acadêmicas, ou por alianças interinstitucionais que reúnem várias organizações com um interesse comum em determinados espaços ou questões urbanas. Enquanto os observatórios territoriais se estruturam com o objetivo de coletar e/ou publicar dados úteis para a definição de políticas públicas em geral, os OMI realizam levantamentos de dados para gerar mapas de valores necessários à definição da política fiscal em relação ao imposto predial, contribuições de melhoria e recuperação de mais-valias.⁸

Os OMI reduzem custos e agilizam a atualização dos valores venais, permitindo a geração de informações contínuas e completas ao correlacionar dados de diferentes fontes de forma rápida e confiável. As estratégias de coleta de dados mais comuns nos OMI são: i) levantamento de dados no terreno; ii) coleta de dados na internet; e iii) uma combinação de ambas.

- i) Levantamento de dados no terreno. Essa é uma das primeiras estratégias utilizadas para obter informações sobre o mercado imobiliário. Esse tipo de estratégia ainda é utilizado devido à sua capacidade de identificar imóveis para venda com elevada precisão posicional e captar ofertas de “vende-se” que não são publicadas em jornais ou na internet. Esses levantamentos devem ser complementados com uma descrição do entorno do imóvel à venda, incluindo informação sobre o estado do bairro, em termos de manutenção das vias circundantes, disposição de cabeamento, estado de conservação dos imóveis próximos e serviços disponíveis, entre outros.
- ii) A coleta de dados em websites⁹ é complementar à estratégia anterior e permite extrair amostras do mercado imobiliário a partir dessas informações. Outra alternativa é a aplicação de algoritmos que captam informação muito mais rapidamente do que os humanos, como os chamados *web scrapers*. O *web scraping* consiste em identificar dados não estruturados na rede e organizá-los em bases de dados. O *software* permite construir um agente (*bot* ou *spider*) com a capacidade de identificar, baixar, processar e organizar informação de forma automatizada e organizada.
- iii) Combinação de técnicas de levantamento no terreno e de investigação na internet. Na prática, os observatórios do mercado imobiliário utilizam o levantamento de dados no terreno para complementar as observações dos websites. Isso é particularmente importante, porque na ALC, nem todas as ofertas imobiliárias são publicadas na internet.

⁸ Entre os exemplos mais importantes na região estão o [Observatorio Técnico Catastral de Bogotá](#), o [Observatorio Inmobiliario de Medellín](#) e o [Observatório do Mercado de Fortaleza](#), entre outros.

⁹ Na área dos estudos de mercado imobiliário, a utilização do *web scraping* remonta às pesquisas efetuadas por empresas que procuravam informações sobre imóveis à venda em websites de diferentes fontes. Com os dados coletados, identificavam se um imóvel tinha preço abaixo da média do mercado na sua zona e avaliavam a compra para reforma ou simplesmente para revender em melhores condições, obtendo assim lucro significativo. No setor público, especialmente na geração de bases de dados do mercado imobiliário como contributo para a atualização do cadastro econômico, a sua aplicação é incipiente, mas crescente (Eguino e Erba, 2020).



Em resumo, existe atualmente uma grande variedade de métodos e técnicas de avaliação em massa para determinar o valor dos imóveis com base em informações de mercado. Além disso, existem novas técnicas de coleta de dados que, não só reduzem os custos de ter dados atualizados, como também permitem amostras suficientemente grandes, o que, por sua vez, afeta a qualidade das estimativas.

Isso é importante porque na ALC ainda prevalece a utilização de técnicas de avaliação como as zonas homogêneas, que não são suficientemente precisas porque se baseiam em decisões administrativas e em informação desatualizada sobre os valores de mercado dos imóveis. Nesse contexto, existe uma grande oportunidade para a ALC avançar para modelos de avaliação em massa que permitam atualizar os valores venais de forma mais ágil, menos onerosa e mais precisa e, assim, gerar as condições para melhorar as receitas fiscais provenientes dos impostos prediais.



CAPÍTULO 3 **AVALIAÇÃO EM MASSA E IMPOSTO PREDIAL EM FORTALEZA, BRASIL**

ANTONIO AUGUSTO FERREIRA DE OLIVEIRA

3.1 Introdução

O município de Fortaleza, capital do estado do Ceará, está localizado na região Nordeste do Brasil, tem a quarta maior população do país, estimada em 2.428.000 habitantes, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, e ocupa uma área de 313,43 km². Tem o maior produto interno bruto (PIB) entre as capitais do Nordeste e o nono entre os municípios brasileiros, tendo um índice de desenvolvimento humano municipal de 0,754.

Fortaleza foi incluída neste estudo por contar com bom nível de organização do seu sistema de informação geográfica, cartografia temática bastante diversificada e alto nível de detalhamento da sua base cadastral. Apresenta também um observatório urbano de valores imobiliários (OUV) com mais de quinze anos de existência; na verdade, é um dos primeiros na ALC. Além disso, a equipe responsável pelo processamento de dados estatísticos do município tem elevado nível de formação técnica, o que permite a implementação de todos os métodos de avaliação em massa disponíveis.

A Secretaria de Finanças do município de Fortaleza (SEFIN) é responsável pela administração do cadastro e do imposto predial. O Mapa de Valores Genéricos (MVG) foi instituído pela Lei 8.703/2003 e foi atualizado em 2009 e 2013. Essas modificações estabeleceram aumentos de 25% a 30% nos valores venais de terrenos e construções, em 2009, e de 15% a 35%, em 2013. Esses aumentos foram baseados em tendências e não incluíram nenhuma correção dos valores venais para valores de mercado. Assim, o atual MVG reflete a realidade dos preços de mercado de 2013, uma vez que, nos períodos fiscais seguintes, foi aplicada apenas a correção monetária acumulada anualmente sobre os valores do metro quadrado dos terrenos e construções.

O Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) incide sobre terrenos e construções, sendo calculado com base no valor de mercado do imóvel. A alíquota do IPTU varia entre 0,6% e 2%, de acordo com o tipo e o uso específico do imóvel, seja ele territorial, residencial ou não residencial. Quase metade dos imóveis (49,17%) está sujeita a uma alíquota inferior a 0,6%, e apenas 8,29% (terrenos não residenciais localizados em área com infraestrutura, na última faixa de preço) estão sujeitos a uma alíquota superior a 2%.

A arrecadação do IPTU, em 2022, foi de R\$ 627 milhões, representando 22% da arrecadação total do município e 0,76% do PIB municipal.

3.2 Aspectos metodológicos

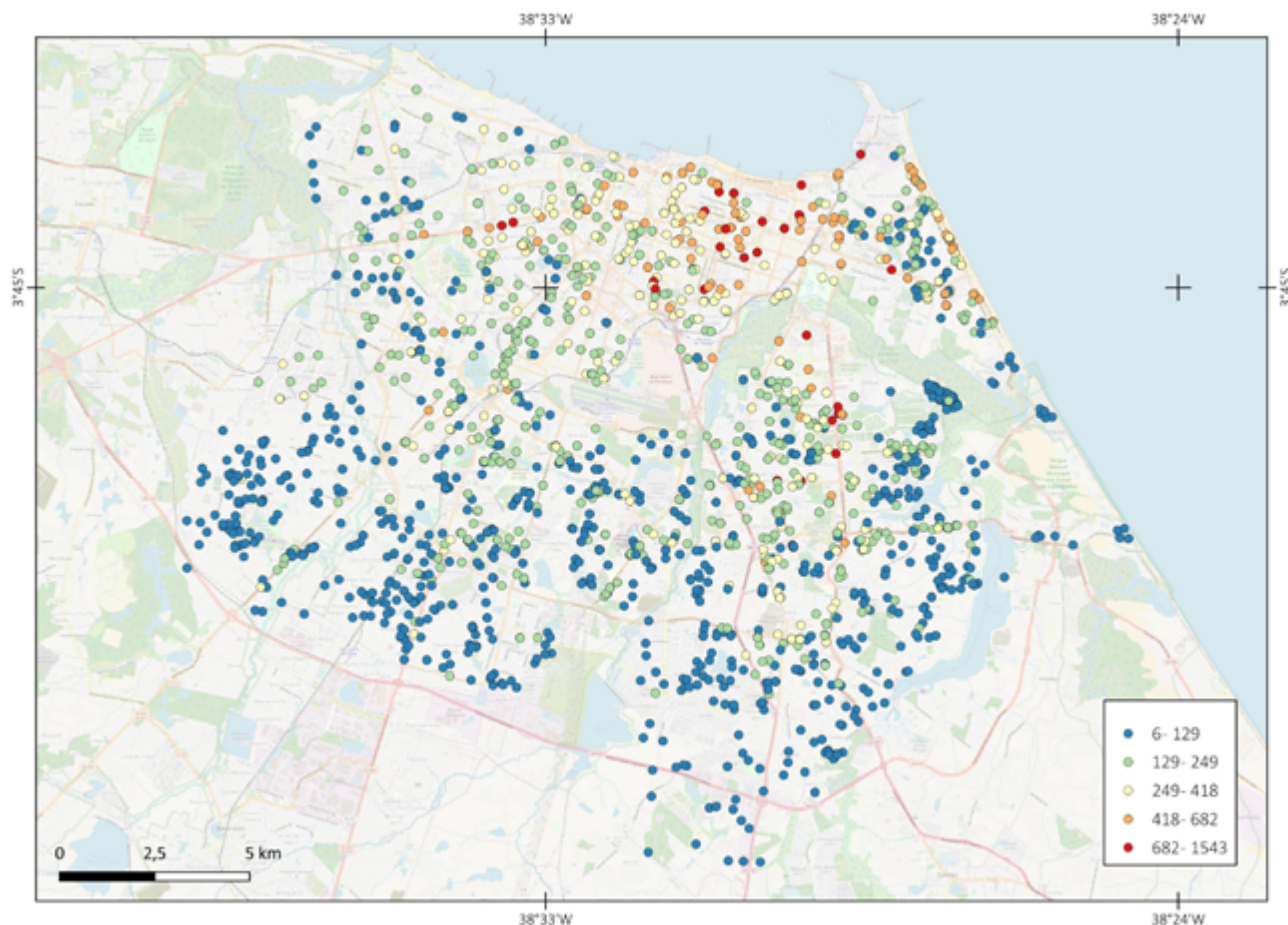
O Observatório Urbano de Valores imobiliários (OUV) foi implantado pela SEFIN, no início de 2005, evoluiu progressivamente e, em 2013, foi integrado ao Sistema de Informações Territoriais de Fortaleza (SITFor). Isso permitiu consolidar a estrutura de dados alfanuméricos com o componente espacial e avançar nos procedimentos de registro e verificação dos imóveis. Nesse contexto, cada oferta de imóvel é comparada com os dados cadastrais de unidades semelhantes, o que permite detectar e corrigir eventuais incoerências antes de sua incorporação definitiva à base de dados do OUV. Esse processo fornece dados

fiáveis que representam os preços observados no mercado imobiliário e apoiam qualquer trabalho de avaliação em massa.

Além dos dados obtidos em portais imobiliários na internet, o OUV conta com informação recolhida no terreno e revista pela equipe do SEFIN, tabelas de preços publicadas pelas empresas de construção, bem como valores correspondentes ao imposto de transmissão de bens imóveis (ITBI). No final de 2020, o OUV atingiu o total de 90 mil dados obtidos no mercado imobiliário e 271.833 correspondentes ao ITBI devidamente saneados.¹⁰

O presente estudo foi realizado com uma amostra de 82.135 observações, durante um período de cinco anos, de janeiro de 2016 a dezembro de 2020. A distribuição das observações, a sua tipologia e as fontes de dados são apresentadas na Figura 4.

Figura 4 – Amostra do mercado de terrenos em Fortaleza (US\$/m²)



Fonte: elaboração própria.

¹⁰ É importante ressaltar que foram consideradas como “operações” as declarações do ITBI em que houve financiamento pelo Sistema Financeiro da Habitação, cujos valores estavam dentro de mais ou menos 15% da avaliação feita pela administração tributária. No entanto, os dados dos formulários do ITBI não foram considerados como dados amostrais para evitar a introdução de vies metodológico neste novo estudo.

A legislação vigente estabelece os valores venais do metro quadrado de terreno por frente de quarteirão, incluindo ajustes de fatores de correção, que são determinados por meio de tabelas que atribuem peso ponderado à localização, ao relevo, tipo de solo e à pavimentação, entre outros critérios. O valor de mercado dos imóveis é homogeneizado para um terreno padrão com frente de 12 m por 33 m de profundidade, e área de 396 m², que corresponde ao valor mediano das dimensões observadas em todos os terrenos registrados no cadastro. A utilização dessas medidas padronizadas permite reduzir os erros de estimativa ao aplicar os valores por frente de quarteirão.

Inicialmente, foi estruturada uma base de dados para gerar as variáveis de localização, que foram calculadas para todos os imóveis registrados na base cadastral. Nos casos em que, por algum motivo, o valor de uma variável de localização estava ausente, ele foi estimado por meio do algoritmo K de vizinhos mais próximos.

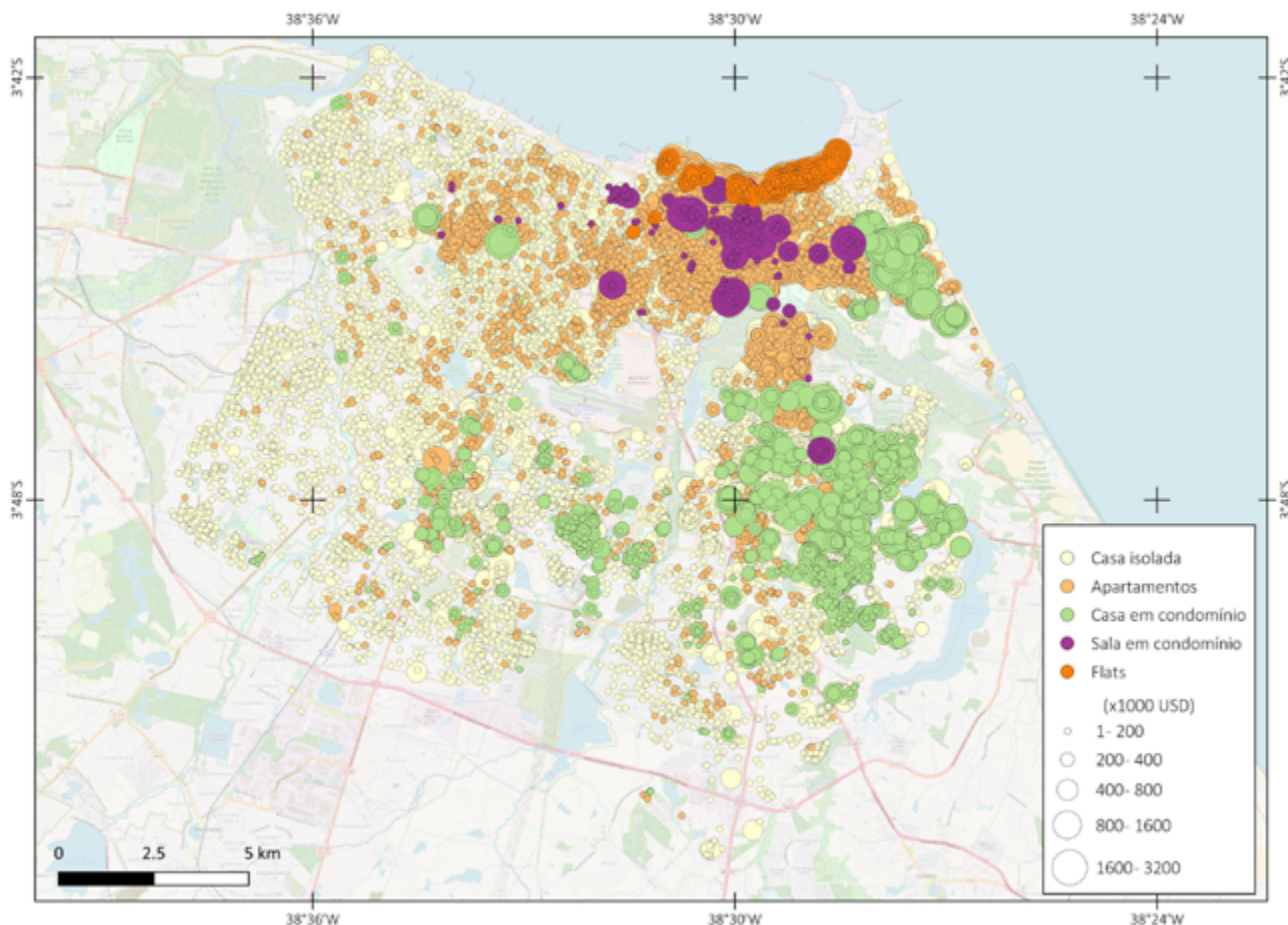
Os tipos de variáveis utilizadas neste estudo foram agrupados em:

- i)** variáveis de localização: densidade de verticalização, índice de aproveitamento máximo, percentual de área de preservação e distâncias de polos de influência (favelas, centros comerciais, escolas, parques e vias principais e secundárias), entre outras;
- ii)** variáveis do mercado imobiliário: áreas de alto e baixo perfil imobiliário, eixos de alto valor imobiliário e áreas desfavorecidas, entre outras;
- iii)** variáveis de estrutura urbana e acessibilidade: tipo de vias (principais e secundárias), rios e córregos, assentamentos informais, conjuntos habitacionais, indústrias e outras variáveis relacionadas;
- iv)** variáveis da base cadastral: intensidade de ocupação do terreno, terrenos baldios, tamanho médio do terreno e valor médio do terreno por metro quadrado, entre outras;
- v)** variáveis provenientes de imagens de satélite: índices de pixels construídos, níveis de consolidação, níveis de terreno urbano construído compacto e disperso, e espaço aberto urbanizado.

Para estimar os valores de mercado das construções, foram escolhidas cinco tipologias que, somadas aos dados de terrenos baldios, representam cerca de 88% do total de imóveis registrados no cadastro. O nível de avaliação das construções foi determinado com base em estimativas individuais, à semelhança do que foi feito para os terrenos. Os valores de mercado foram comparados com os valores venais atuais.

A Figura 5 mostra a distribuição espacial das 57.921 observações por tipologias de construção e preços. Verifica-se a clara presença de casas no setor oeste da cidade. Essa tipologia é a mais bem distribuída no espaço urbano. Os apartamentos e os apart-hotéis estão concentrados na área mais valorizada (litoral norte), enquanto as casas em condomínio estão mais concentradas na região sudeste, onde ainda existem terrenos baldios com boa infraestrutura urbana.

Figura 5 – Amostra do mercado de imóveis construídos em Fortaleza (US\$/m²)



Fonte: elaboração própria.

A criação de um cadastro de todos os condomínios existentes implicou a incorporação de diversas variáveis comuns e relevantes na formação de preços, dentre as quais se destacam: presença de piscina, tipologia de construção, idade aparente, número de pavimentos e variáveis de localização, entre outras. Esse procedimento foi aplicado aos dados coletados por meio de ofertas de imóveis e eliminou inúmeras incoerências cadastrais, criando uma variável padrão de preenchimento que se mostrou extremamente importante na geração de estimativas para toda a base cadastral. A preferência pela utilização de variáveis relacionadas a detalhes de construção e acabamentos externos mais facilmente identificáveis eliminou a necessidade de entrar nos imóveis.

3.3 Estimativas dos valores dos terrenos e das construções

A aplicação do método de substituição está bastante difundida nos municípios brasileiros, embora os valores por ele obtidos estejam muitas vezes distantes dos preços de oferta identificados no mercado imobiliário. Sua aplicação pode até mesmo aumentar a diferença entre as avaliações venais e comerciais.

As administrações locais podem escolher os métodos de avaliação, pois não há impedimento legal. Entre outros, podem adotar modelos de avaliação em massa baseados na aprendizagem automática, que permitem estimar o valor de mercado de um imóvel, incluindo os valores do terreno e das construções.

As técnicas de aprendizagem automática aplicadas nas avaliações em massa de terrenos apresentam um poder de estimativa superior ao das técnicas tradicionais, razão pela qual foram escolhidas para determinar os valores de mercado.

As técnicas de aprendizagem automática foram aplicadas às observações da amostra para inferir o valor de mercado de cada imóvel registrado no cadastro municipal. Com essa abordagem foi também possível determinar os valores do metro quadrado para a construção e os valores do metro quadrado do terreno por frente de quarteirão, por segmento de rua e por zona homogênea, entre outras unidades geográficas.

A estrutura do modelo de estimativa é condizente com os regulamentos públicos, de modo que os contribuintes compreendam a forma como os valores dos imóveis são estabelecidos e os aceitem como base para o imposto predial. Dessa forma, os valores determinados e o montante do imposto correspondente são calculados de forma transparente.

Neste estudo, foram aplicados cinco algoritmos de aprendizagem automática: *Random Forest*, *Extra-Trees*, *XGBoost*, *CATBoost* e *LightGBM* e foi inferido o valor de mercado de cada imóvel registrado no cadastro municipal. A amostra de 8.400 observações foi dividida aleatoriamente, na proporção de 80% para treinamento e 20% para teste.

As medidas de desempenho dos cinco modelos de aprendizado de máquina foram muito próximas, embora o modelo *LightGBM* tenha apresentado desempenho ligeiramente superior, por isso foi utilizado para estimar valores e produzir o novo MVG de terrenos urbanos (veja o Quadro 8).

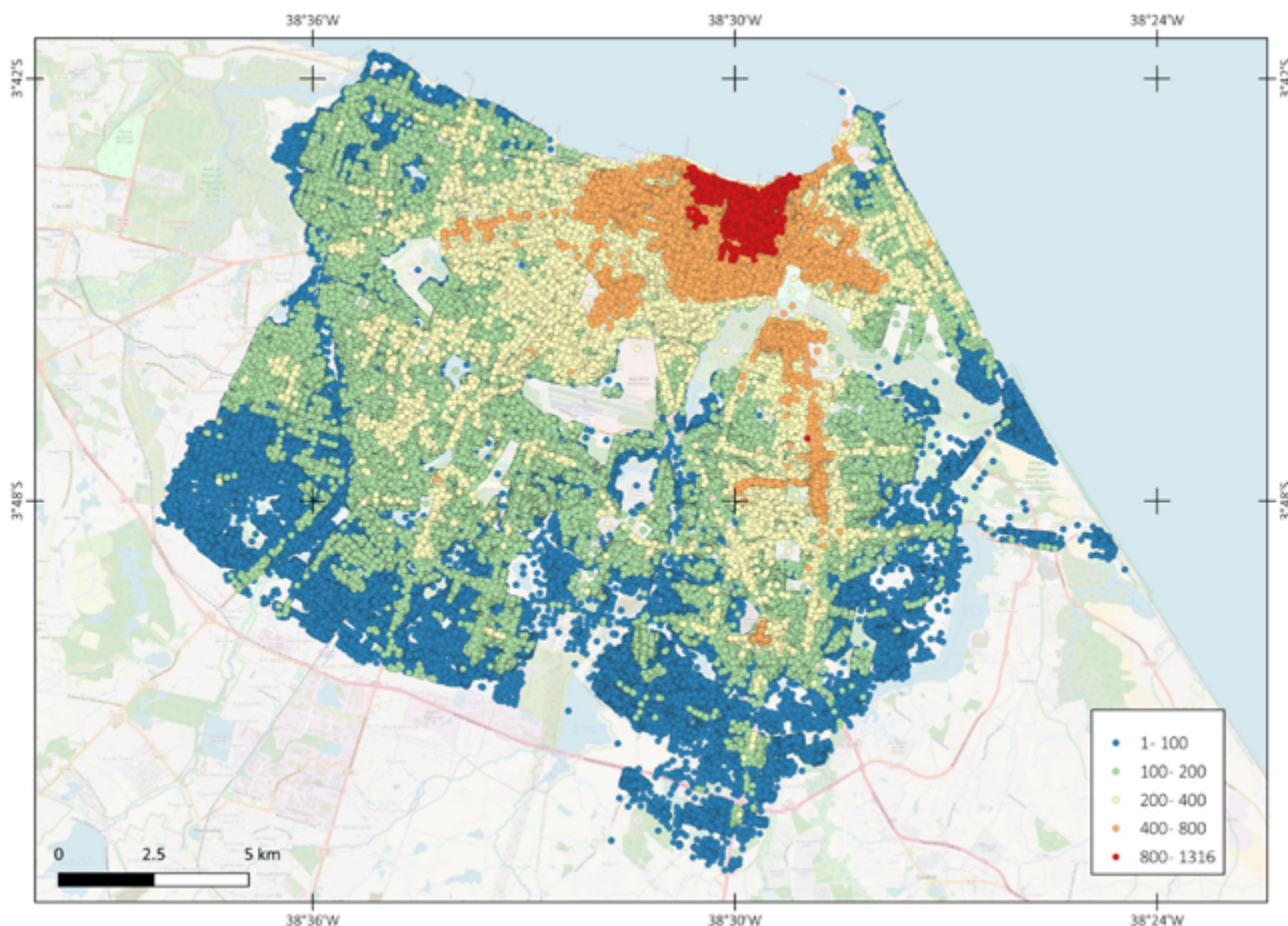
Quadro 8 – Medidas de desempenho dos modelos de valor de terrenos em Fortaleza

Modelo	CD	MAPE (%)	R ²	PRB
<i>Random Forest</i>	24,84	25,65	0,84	- 0,10
<i>Extra-Trees</i>	25,81	26,92	0,83	- 0,12
<i>XGBoost</i>	27,98	28,74	0,83	- 0,10
<i>CatBoost</i>	25,19	25,72	0,84	- 0,07
<i>LightGBM</i>	24,43	24,61	0,84	- 0,06

Fonte: elaboração própria.

A Figura 6 apresenta o novo mapa dos valores dos terrenos urbanos de Fortaleza, em R\$/m², e mostra que os terrenos mais valorizados estão localizados na região litorânea norte da cidade e na zona hoteleira. As grandes avenidas funcionam como atrativos para o mercado imobiliário e, conseqüentemente, impactam no valor dos terrenos. Alguns dos bairros mais valorizados destacam-se pela sua proximidade a centros comerciais e zonas centrais de grande tráfego.

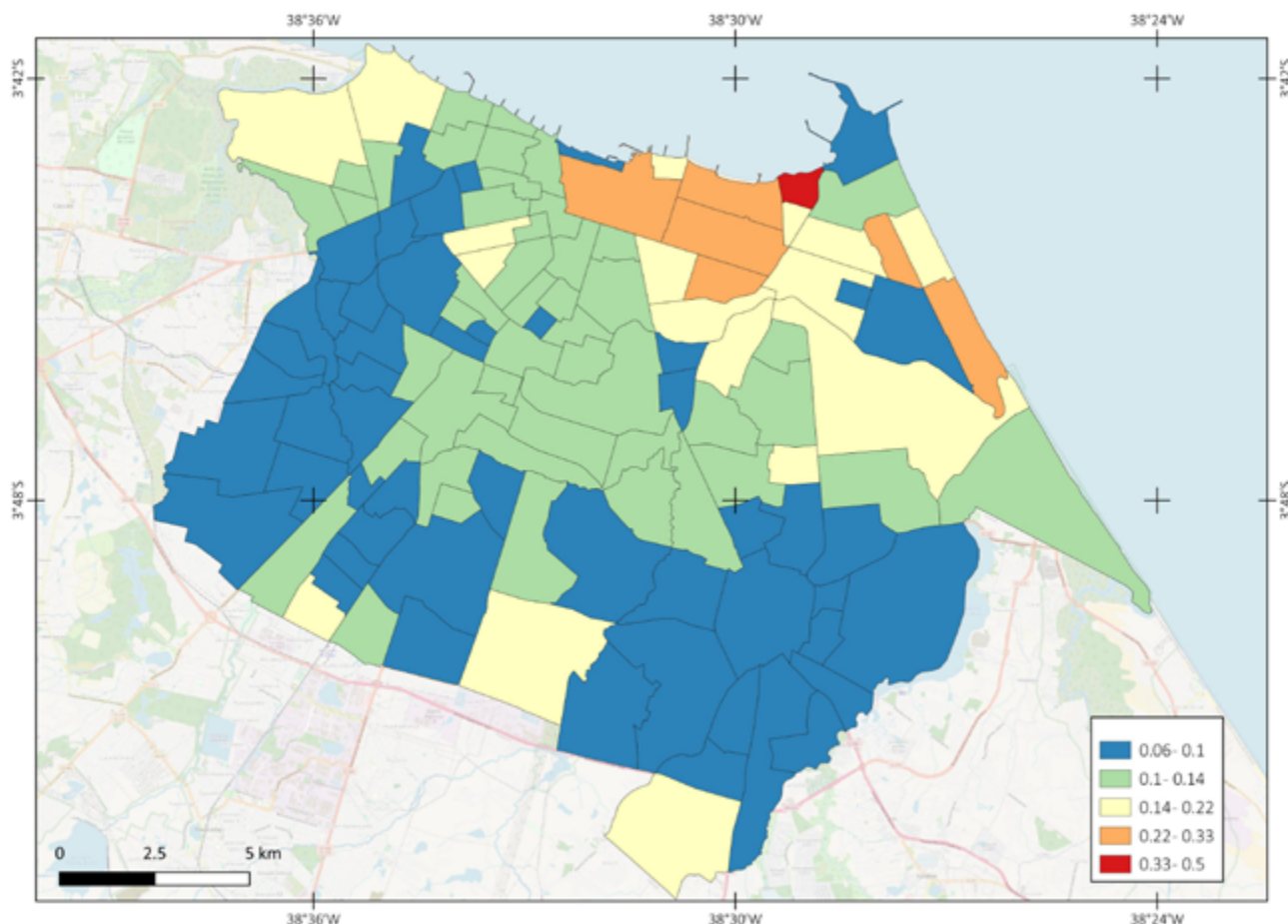
Figura 6 – Valor estimado do metro quadrado de terreno em US\$ em Fortaleza



Fonte: elaboração própria.

No que diz respeito aos imóveis construídos, os resultados mostram que as casas unifamiliares são avaliadas ao máximo de 22% do valor de mercado na maioria dos bairros. A tipologia apartamento, que se concentra em regiões consideradas nobres do município, apresenta níveis de avaliação que chegam a 90% dos valores observados no mercado. Ao mesmo tempo, a tipologia apart-hotel, com localização privilegiada por estar em bairros próximos à orla marítima do litoral norte, apresenta patamares entre 43% e 49% (veja a Figura 7).

Figura 7- Níveis de avaliação por tipologia nos bairros de Fortaleza*



* Nível de avaliação = mediana do valor venal/valor de mercado (estimado pelo modelo).

Fonte: Ferreira de Oliveira (2020).

O Quadro 9 mostra que a maioria dos imóveis de Fortaleza está subavaliada para fins fiscais, com nível de avaliação médio de 30,13%.

Quadro 9 – Valor dos imóveis em Fortaleza*

Imóvel	Avaliação venal		Avaliação de mercado**		Índice de avaliação
	Em R\$	Em US\$	Em R\$	Em US\$	
Apartamento	28.884,92	5.479,55	73.600,91	13.962,31	39,24%
Casa unifamiliar	24.070,50	4.566,24	87.243,73	16.550,39	27,58%
Casa em condomínio	1.415,78	268,58	4.610,44	874,61	30,71%
Sala em condomínio	1.736,45	329,41	6.169,39	1.170,35	28,14%
Apart-hotel	407,72	77,35	922,37	174,98	44,20%
Terreno	9.859,26	1.870,33	47.728,72	9.054,28	20,65%
Total	66.374,64	12.591,46	220.275,56	41.786,92	30,13%

* (em milhões); **Feita a 70%

Fonte: elaboração própria.

Os resultados mostram que os apart-hotéis e os apartamentos estão na categoria com a menor diferença entre os valores de mercado e os valores venais (44,20% e 39,24%, respectivamente). Por outro lado, a taxa de avaliação das casas, sejam elas unifamiliares ou em condomínio, é de cerca de 30%. Finalmente, observa-se que os terrenos têm a maior diferença, com taxa de apenas 20,65%.

3.4 Estimativa do potencial do imposto predial

O Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) incide sobre terrenos e construções e é calculado com base no valor de mercado do imóvel. A taxa do IPTU varia entre 0,6% e 2%, de acordo com o tipo e a utilização específica do imóvel, seja ele territorial, residencial ou não residencial. Quase metade dos imóveis (49,17%) está sujeita a uma alíquota inferior a 0,6%, e apenas 8,29% dos imóveis estão localizados em área com infraestrutura e uso não residencial.

O potencial de cobrança derivado da atualização dos valores venais para os valores de mercado nas seis tipologias escolhidas é apresentado no Quadro 10. As estimativas para 692.737 imóveis foram feitas com as alíquotas atuais, sem aplicação de isenções, utilizando como base de cálculo 70% do valor de mercado e considerando uma taxa de inadimplência de aproximadamente 33%.¹¹ Os resultados mostram que se fossem aplicados os valores de mercado para a cobrança do IPTU, seria obtido o aumento de receita de R\$ 868 milhões, que é a diferença entre o faturamento de 2021, de R\$ 517 milhões, e o potencial estimado de R\$ 1,385 bilhão.

Quadro 10 – Impacto da atualização do imposto predial em Fortaleza

Tipologia	Imóveis	Faturamento de 2021 com base no valor venal	Feito a 70%*	Impacto
Apartamento	229.584	210,39	402,45	91,28%
Casa unifamiliar	348.733	165,53	475,61	187,34%
Casa em condomínio	14.480	8,86	24,59	177,41%
Sala em condomínio	22.254	14,97	46,90	213,38%
Apart-hotel	2.980	3,06	5,07	65,50%
Terreno	74.706	114,19	430,41	276,91%
Total	692.737	517,01	1.385,03	

* Valores em milhões de R\$

Fonte: elaboração própria.

¹¹ 70% é um valor arbitrado, uma espécie de “coeficiente de segurança”, que é estabelecido para evitar sobretaxas sobre imóveis, dado que o modelo pode valorizar acima do preço de mercado observado, assim, com esse percentual de redução, evita-se esse tipo de problema.

3.5 Conclusões e lições aprendidas

As análises apresentadas mostram que os imóveis em Fortaleza estão subvalorizados, o que prejudica a definição das políticas tributária e urbana, derivadas de suas finalidades extrafiscais. Estimativas a partir de modelos de aprendizagem automática mostraram que o nível de avaliação está em torno de 30%, ou seja, os valores venais utilizados como base para o cálculo do IPTU correspondem a pouco menos de um terço dos valores de mercado.

Oficializar as avaliações imobiliárias referenciadas no mercado continua sendo um grande desafio para Fortaleza e para a maioria dos municípios brasileiros. No entanto, novas metodologias de avaliação em massa podem proporcionar respostas substanciais a esse desafio. A tributação direta, seletiva e progressiva do IPTU é conhecida por promover a justiça fiscal e social, e representa uma importante fonte de reforço das receitas municipais.

Os procedimentos de avaliação constituem um trabalho estritamente técnico, de competência cadastral, mas que se relaciona com a arrecadação do próprio imposto. O poder judiciário brasileiro entende que as atualizações do MVG devem ser submetidas ao crivo da Câmara de Vereadores, o que gera alto custo político para o titular do Poder Executivo, dada a visibilidade da tributação direta do IPTU. Esse procedimento burocrático acaba por tornar o MVG obsoleto por décadas, como ocorre em Fortaleza e em vários outros municípios brasileiros, causando graves distorções e inequidades na tributação imobiliária.



CAPÍTULO 4
**AVALIAÇÃO EM MASSA
E IMPOSTO PREDIAL EM
CÓRDOBA, ARGENTINA**

MARIO PIUMETTO, JUAN PABLO CARRANZA E HERNÁN MORALES



4.1 Introdução

A cidade argentina de Córdoba é a capital da província de mesmo nome. É uma aglomeração urbana e, junto a outras treze localidades, forma a área da Grande Córdoba. Tem população de 1,33 milhão de habitantes, de acordo com o censo de 2010. A área municipal é de 576 km², dos quais a área urbana representa 75% (432 km²).

Córdoba foi classificada neste estudo como altamente geotecnificada, porque tem cartografia temática e bases de dados alfanuméricos cadastrais muito detalhados, um excelente sistema de informação geográfica e um observatório do mercado imobiliário com mais de cinco anos. A equipe responsável pelo tratamento dos dados econômicos e geográficos é altamente qualificada, o que permitiu a aplicação das técnicas mais avançadas de avaliação em massa.

A administração do cadastro territorial e do imposto imobiliário na província está subordinada à Direção Geral do Cadastro e à Direção Geral das Receitas, respectivamente. Ambas as instituições, bem como a Infraestrutura de Dados Espaciais de Córdoba (IDECOR), estão subordinadas à Secretaria de Receitas Públicas do Ministério das Finanças. As suas atividades são regulamentadas pela Lei Provincial de Cadastro, pelo Código Provincial Tributário e pela Lei Anual Tributária.

De acordo com os regulamentos cadastrais atuais, as propriedades são classificadas como urbanas e rurais. A avaliação das primeiras segue o método dissociativo, ou seja, os terrenos e as construções são avaliados separadamente e, em seguida, a avaliação total é obtida pela soma desses componentes. A avaliação dos terrenos urbanos é feita com base em mapas de valores do metro quadrado do quarteirão, e o valor final do terreno é calculado multiplicando a sua área pelo correspondente valor do metro quadrado, aplicando ajustes para coeficientes de forma, dimensão e localização.

As benfeitorias dos imóveis, por seu lado, podem ser cobertas (construções) ou descobertas (piscinas ou outras). O cálculo do valor das primeiras baseia-se em quatro elementos: i) o valor do metro quadrado de área construída, que é aplicado de igual forma em todas as localidades; ii) a área da construção ou dos blocos de construção presentes no imóvel; iii) a qualidade da construção; e iv) a idade que serve para a depreciação.

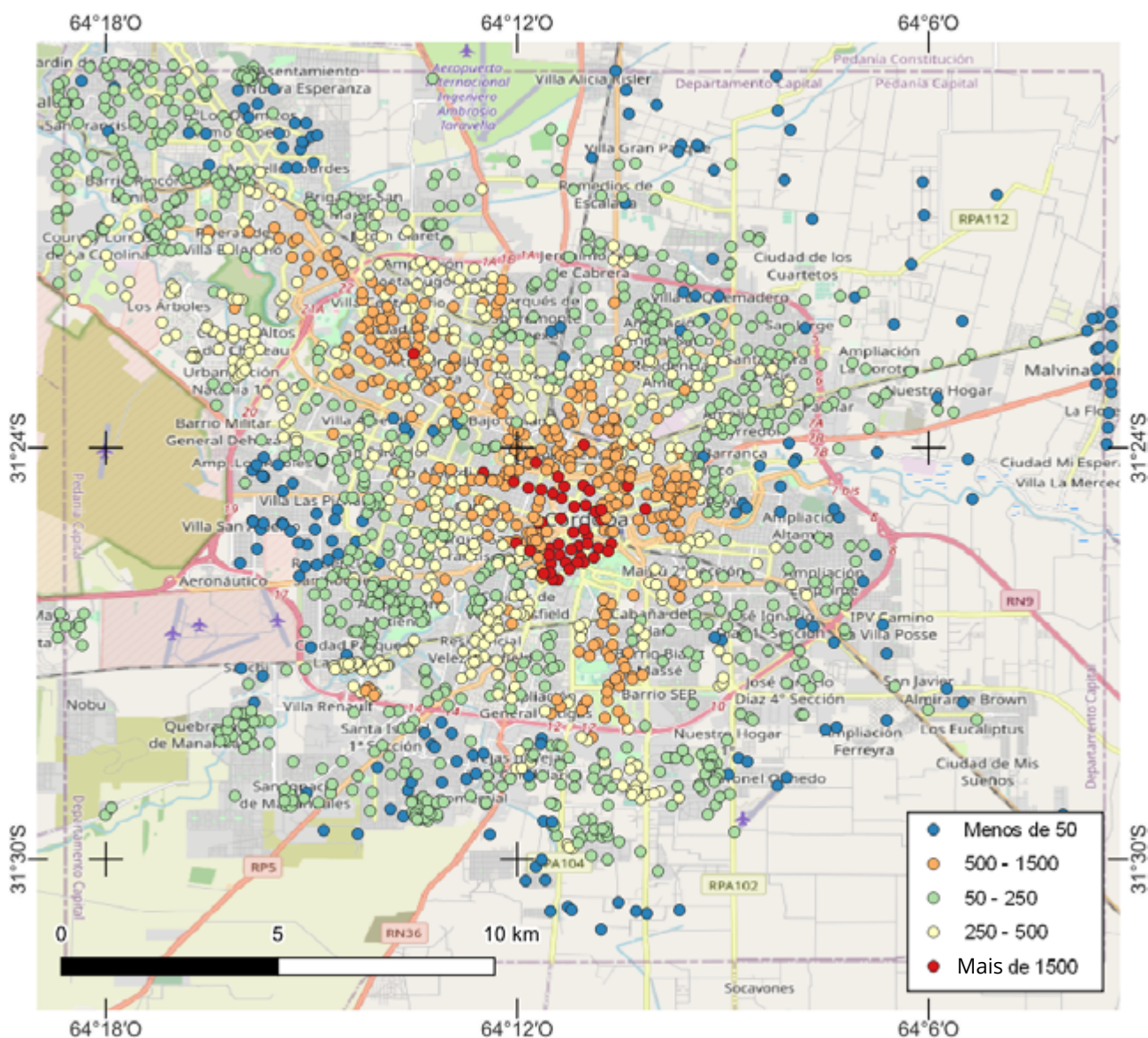
O imposto predial baseia-se nos valores de mercado verificados durante o ano anterior ao do faturamento e nas decisões administrativas do cadastro provincial, correspondendo as avaliações fiscais a 70% dos valores de mercado. A arrecadação do imposto imobiliário na província de Córdoba, em 2020, representou 14% das receitas próprias, de acordo com o Relatório de arrecadação da província de Córdoba.

4.2 Aspectos metodológicos

A avaliação venal na ALC é majoritariamente dissociativa, ou seja, os valores do terreno e das construções são determinados separadamente, sendo depois somados para formar o valor do imóvel. A mesma abordagem é aplicada no caso de Córdoba.

A amostra para os modelos de avaliação em massa de terrenos era composta por 2.371 observações que, após o processo de homogeneização e filtragem, foi reduzida para 1.756, com a distribuição espacial detalhada na Figura 8. A amostra final foi constituída por 687 terrenos baldios, 689 terrenos onde foi descontado o valor das construções e 380 avaliações *ad hoc* realizadas pela equipe técnica do observatório imobiliário.

Figura 8 – Amostra do mercado de terrenos em Córdoba (US\$/m²)



Fonte: elaboração própria.



As observações recolhidas no mercado foram revistas e homogeneizadas utilizando as características dos terrenos em termos de dimensão, morfologia e localização no quarteirão. Por exemplo, dois terrenos vizinhos ou muito próximos nem sempre têm o mesmo valor unitário (metro quadrado), se um for um grande e o outro pequeno. Do mesmo modo, em certas áreas, os terrenos com fachada grande podem ser mais valiosos do que os terrenos irregulares de fachada pequena, ou os terrenos de esquina são mais valiosos do que os intermediais ou internos.

Os dados de mercado incluíram informações obtidas de junho de 2017 a agosto de 2020 e tiveram de ser ajustados para descontar os efeitos da inflação e da variação da taxa de câmbio. Na Argentina, presume-se frequentemente que o mercado imobiliário está totalmente dolarizado, embora, de acordo com o Observatorio del Mercado Inmobiliario (OMI), o nível de dolarização seja mais elevado nos setores mais dinâmicos e atraentes para o desenvolvimento imobiliário do que nos setores mais subdesenvolvidos da cidade. No presente estudo, esses efeitos diferenciais foram descontados para o tratamento correto da amostra do mercado.

De forma a obter um valor de terreno homogêneo e comparável, foi estimado um modelo linear, no qual foram descontados os efeitos da superfície, da frente, da forma e da localização do quarteirão no preço por metro quadrado de terreno. Nesse modelo, o logaritmo natural do valor por metro quadrado de terreno (calculado como o valor total da propriedade sobre a área) é uma função das variáveis que captam os efeitos de localização, mais os desfasamentos da variável dependente e dos resíduos. Foi também adicionado um termo à regressão, de modo a incorporar o efeito da taxa de câmbio (Bullano, 2020; Cerino *et al.*, 2020).

Uma vez homogeneizada a amostra em termos de um prédio típico e no mesmo momento, procedeu-se à depuração do conjunto de dados, considerando a sua vizinhança e distribuição espacial. Nessa fase do processo, as observações cujo valor do metro quadrado se revelaram atípicas em relação ao seu entorno foram identificadas e retiradas da amostra, utilizando o índice de Moran local. Como resultado, 615 observações foram descartadas, deixando a amostra final de 1.756.

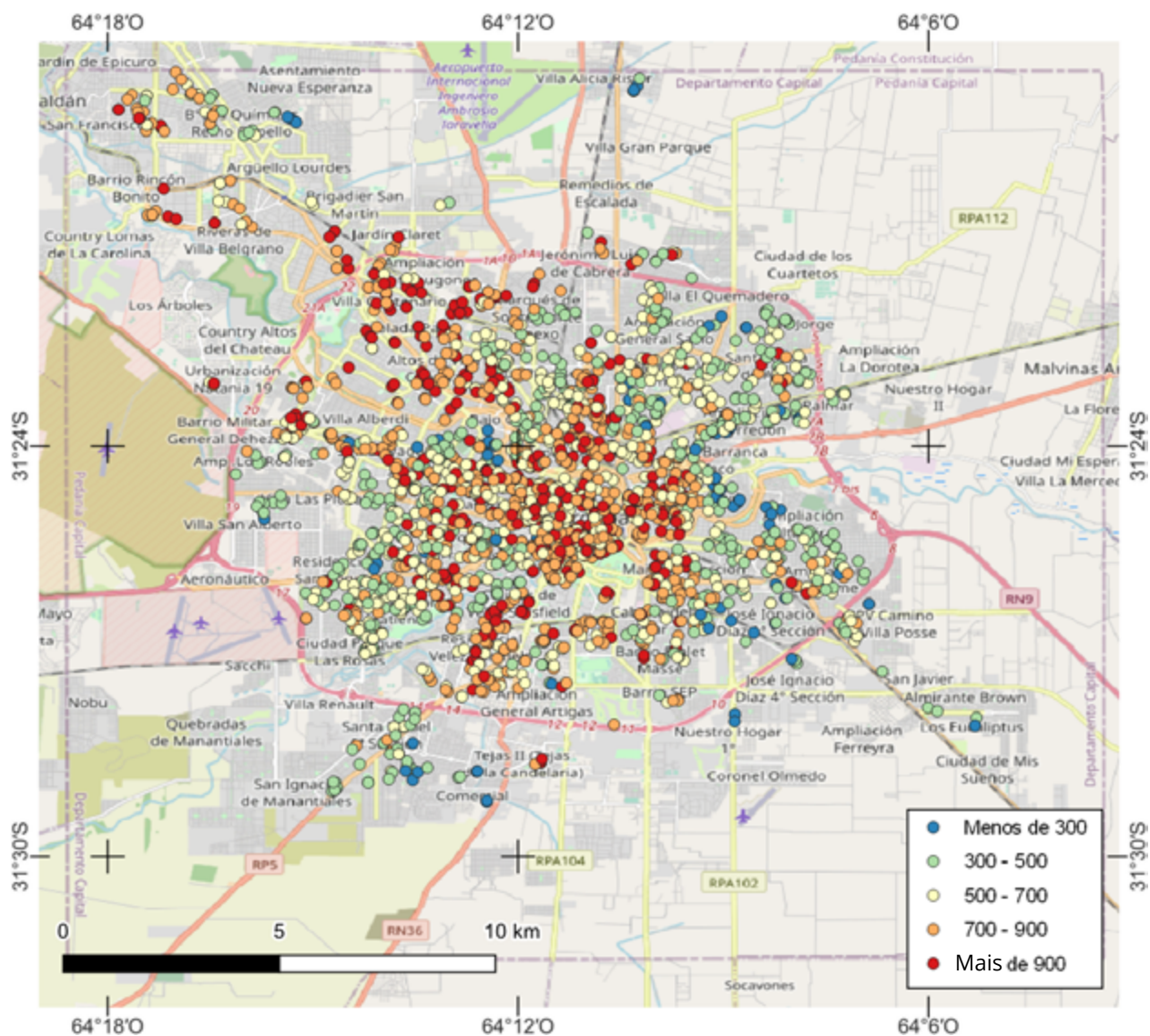
As variáveis independentes utilizadas para modelar os valores unitários dos terrenos e construções implicaram o tratamento de dados provenientes de diversas fontes, em especial as do cadastro e do IDECOR, bem como de alguns dados livres. As variáveis desenvolvidas podem ser sintetizadas nos seguintes grupos temáticos:

- i)** variáveis descritivas do mercado imobiliário: áreas de alto e baixo perfil imobiliário, eixos de alto valor imobiliário e áreas desfavorecidas, valor de incidência do terreno por metro quadrado construído;
- ii)** variáveis descritivas da estrutura urbana e acessibilidade: distâncias euclidianas de rodovias, vias principais, vias secundárias, rios e córregos;
- iii)** variáveis da base cadastral considerando-se dados de área do terreno e das construções e considerando um raio de 500 m: número de imóveis, intensidade de ocupação do terreno, percentual de partes sem construção, quantidade de terrenos baldios, tamanho médio do terreno, tamanho médio da construção, percentual de metro quadrado construído na categoria mais alta e na mais baixa;

- iv) variáveis de imagens de satélite: índices indicativos da ocupação do solo (área impermeável – construída–, densidade de construção, vegetação e estado da vegetação, teor de água, etc.) e espaço urbano construído compacto e disperso, espaço rural construído e espaço aberto urbanizado;
- i) variáveis socioeconômicas do Censo Nacional de 2010: número de agregados familiares, nível de escolaridade do chefe de família, nível de necessidades básicas insatisfeitas e porcentagem de agregados familiares alugados, entre outras.

A amostra de imóveis construídos era inicialmente constituída por 6.556 observações, registradas no OMI até a data do estudo (2021). Uma vez que a amostra foi expressa em termos comparáveis, foi depurada usando o índice de Moran local, deixando 2.430 observações. A distribuição espacial da amostra de imóveis construídos pode ser vista na Figura 9.

Figura 9 – Amostra do mercado imobiliário construído em Córdoba (US\$/m²)



Fonte: elaboração própria.



As observações correspondentes a imóveis construídos foram expressas de forma homogênea, de acordo com a informação disponível, em termos de valor por metro quadrado para um imóvel típico com uma área construída de 130 m² (área mediana da amostra) e idade de zero anos. O valor assim estimado foi ajustado para a depreciação correspondente à sua idade e área construída.

4.3 Estimativas dos valores dos terrenos e das construções

No processo de modelação dos terrenos, considerou-se que a cidade tem zonas com dinâmicas urbanas e imobiliárias diferentes, o que levou à divisão do espaço em zonas de processamento, procurando avaliar localmente o desempenho dos diferentes modelos e, assim, obter melhores resultados.

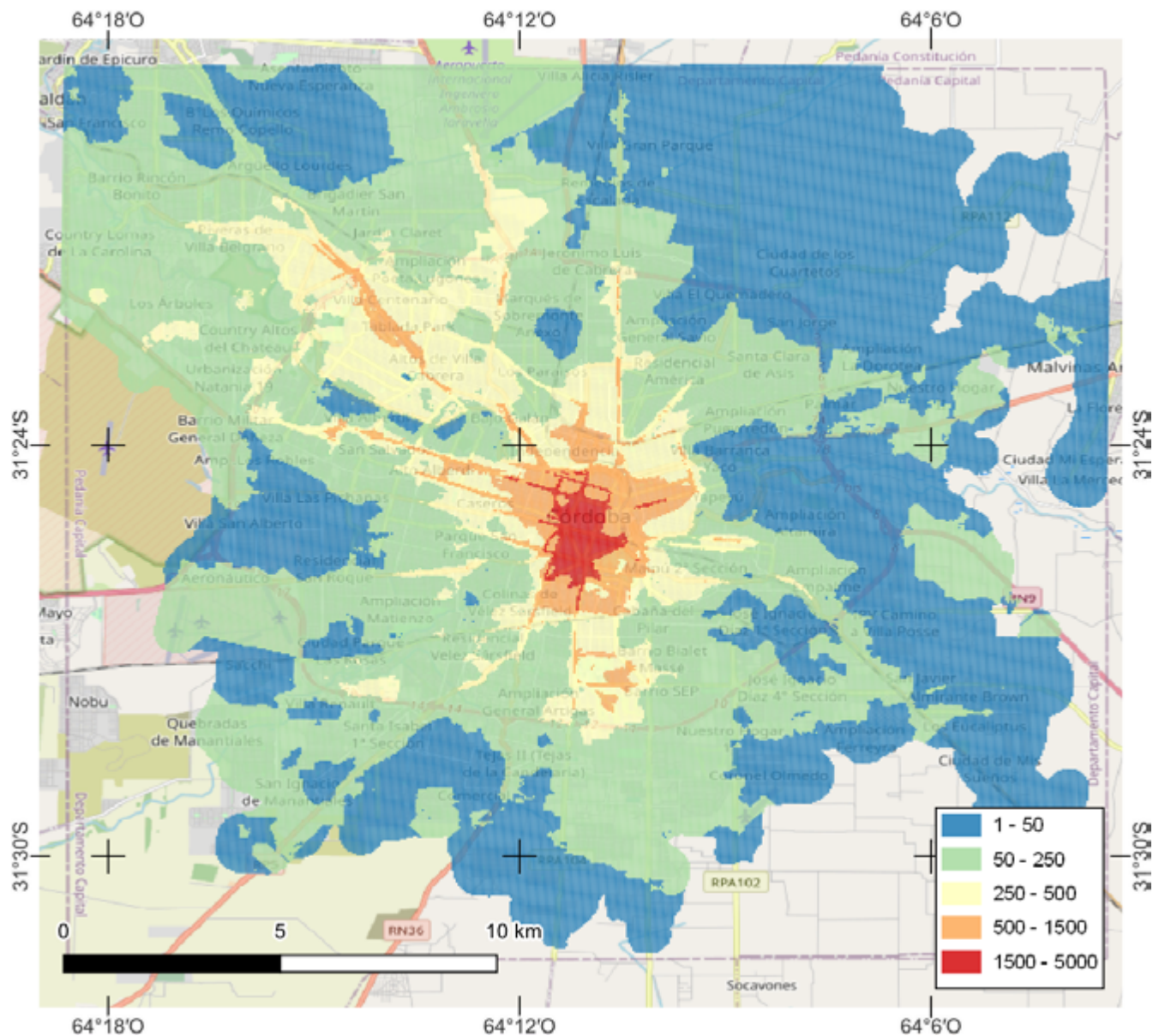
Para determinar as zonas de processamento, foi utilizado o algoritmo *Fuzzy c-Means*, um método de agrupamento suave não hierárquico, em que o número de zonas é definido a priori, e não supervisionado, uma vez que a associação das células às zonas é inicialmente desconhecida. O resultado produziu oito zonas de processamento, que foram divididas em 1.731 células de 50 m de extensão, por meio das quais os valores do terreno foram calculados.

Quatro algoritmos diferentes foram treinados com a amostra do mercado e as variáveis independentes descritas: *Gradient Boosting Machine*, *Quantile Random Forest*, *Support Vector Regression* e *Stacking* (modelo linear generalizado que usa os algoritmos acima referidos como variáveis independentes). Por sua vez, e com o objetivo de incorporar a dependência espacial nos resíduos, para cada algoritmo os erros foram modelados em função das coordenadas por meio do algoritmo K vizinho mais próximo (*K-Nearest Neighbour*), estando disponíveis oito modelos no total.

Em cada zona, o valor do terreno foi estimado aplicando o algoritmo com melhor desempenho. A qualidade de cada modelo foi determinada por meio da MAPE. Os resultados obtidos deram a MAPE (média ponderada de todas as zonas) de 19,3%.

Os resultados e a distribuição espacial do valor do metro quadrado dos terrenos na cidade de Córdoba são apresentados na Figura 10. O mapa é coerente com a estrutura urbana atual, mostrando valores do metro quadrado de terreno mais elevados no centro tradicional da cidade, nas novas centralidades e ao longo das principais vias.

Figura 10 – Valor do metro quadrado de terreno estimado em US\$ em Córdoba



Fonte: elaboração própria.

Os indicadores do Quadro 11 mostram que, em média, os valores venais estavam a 78% do valor de mercado, o que evidenciava a necessidade de ajustá-los. O PRD indica que a estrutura dos valores venais é regressiva, quando comparada aos valores de mercado, o que significa que os imóveis com valores mais elevados são aqueles que, por sua vez, apresentam maior defasagem entre os valores venais e de mercado.

**Quadro 11** – Medidas de desempenho dos modelos de valor de terrenos em Córdoba

Indicador	Antes da reavaliação	Depois da reavaliação
Média	0,7860	1,0525
Mediana	0,7271	10
PRD	1,1625	1,0598
CV	0,2448	0,1897
CD	0,2545	0,1934

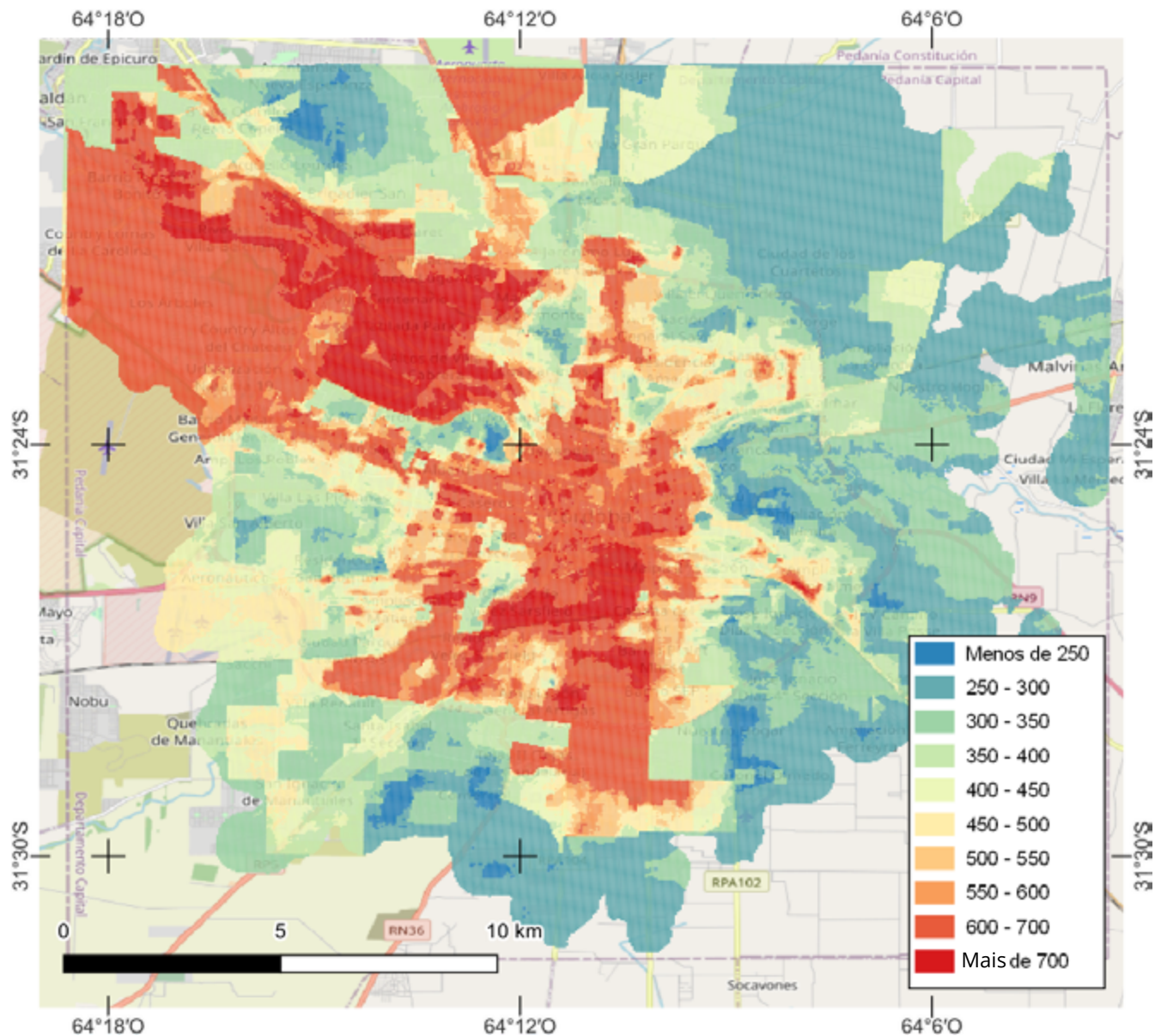
Fonte: elaboração própria.

A abordagem tradicional utilizada na Argentina para a avaliação em massa de construções baseia-se no método de substituição, que adota o custo de construção (AR\$/m²) de uma casa nova típica, aplicado igualmente em toda a cidade; e os coeficientes que são utilizados de acordo com as diferentes qualidades de construção e depreciação devido à idade.

Este estudo partiu do princípio de que o valor de mercado flutua acima ou mesmo abaixo do custo de construção, e que este não é necessariamente o mesmo em todas as zonas de uma cidade. Nesse contexto, descartou-se a utilização de um valor de custo de construção publicado por alguma entidade pública ou privada, e estimaram-se valores com base na mesma informação da amostra, nesse caso, de imóveis construídos. Além disso, foram determinados valores diferenciados por zonas, em vez de um valor único e homogêneo para toda a cidade.

O valor do metro quadrado construído foi estimado, utilizando a amostra final de mercado de 2.430 observações e as variáveis independentes descritas acima. O processo teve duas instâncias. Na primeira fase, foram estimados os valores construídos sobre a grelha regular de 50 m, definida para a cidade utilizando o algoritmo de aprendizagem *Quantile Random Forest*, seguindo um processo idêntico ao detalhado para o valor unitário do terreno. Os resultados da estimativa produziram a MAPE de 18,15% (veja a Figura 11).

Figura 11 – Valor do metro quadrado construído, estimado em US\$, em Córdoba



Fonte: elaboração própria.

Na estimativa dos valores de construção ao nível da grelha, o segundo passo consistiu em adotar valores médios para zonas homogêneas. Essas foram definidas *ad hoc* por meio da análise do mercado da construção e com base nas variáveis independentes disponíveis e no método de agregação espacial, utilizado no zoneamento para a modelação do mercado de terrenos.

Após a atualização dos valores de terreno e do metro quadrado construído para todos os imóveis, foi verificado o aumento da avaliação total de 39,65%, representando uma recomposição de US\$ 15,851 milhões para a base de cálculo do imposto predial da cidade. A avaliação total dos terrenos aumentou em 50,9%, enquanto a avaliação total das construções aumentou em 25,24%.

Antes da aplicação das novas técnicas, o valor dos terrenos representava 56,16%, e o das construções 43,84% da base de incidência total. Com os novos valores, a cota do valor dos terrenos aumentou para 60,68%, e a das construções passaram a representar 39,32% do total.

Analisando os acréscimos de valor em função dos decis do valor de incidência do terreno urbano, verifica-se que o decil mais baixo de valor de incidência registrou acréscimos praticamente nulos, enquanto o acréscimo registrado no decil mais elevado foi de 53,1%. Em outras palavras, o aumento médio de 39,65% na avaliação total da cidade é produzido por uma estrutura progressiva (veja o Quadro 12).

Quadro 12 – Valor dos imóveis em Córdoba

Decil	Avaliação atual (US\$)	Avaliação proposta (US\$)	Taxa de valorização
1	1.736.259.956	1.751.154.220	0,86%
2	2.431.277.540	2.632.674.896	8,28%
3	2.693.005.084	3.289.813.938	22,16%
4	3.160.207.173	4.081.738.657	29,16%
5	3.692.253.915	4.954.519.184	34,19%
6	3.832.635.384	5.477.699.178	42,92%
7	4.208.532.313	6.102.342.576	45,00%
8	5.124.819.173	7.526.110.949	46,86%
9	5.150.966.027	7.841.866.296	52,24%
10	7.955.450.213	12.181.377.179	53,12%

Fonte: elaboração própria.

4.4 Estimativa do potencial fiscal do imposto predial

O cálculo do imposto predial teve por base o quadro legal vigente, que estabelece como principais componentes da base de incidência sobre o valor total do imóvel determinado pela Direção Geral de Cadastro, e uma taxa diferenciada em função do tipo de imóvel (construído ou não construído).

De acordo com a Lei do Imposto Anual de 2020 (art. 6), as taxas para os imóveis construídos seguem um esquema progressivo, de acordo com o seu valor total, desde 0,33% para o grupo de imóveis de valor mais baixo, até 1% no caso de imóveis de valor muito elevado. Os terrenos baldios, por outro lado, têm carga fiscal mais elevada, que é reforçada por um ajuste adicional para os imóveis situados nas zonas de valor fundiário mais alto. Na simulação, foram consideradas as isenções, mas não os limites máximos de aumento de imposto estabelecidos pela referida lei tributária, nem os incentivos fiscais sob a forma de descontos por pagamento antecipado ou cumprimento dos contribuintes.

A simulação do impacto dos novos valores do imposto predial considerou apenas as contas cadastrais existentes na área urbana. A base de incidência foi fixada em 80% da

avaliação de mercado, tendo em conta as margens de erro (MAPE) dos modelos desenvolvidos.

A diferença entre o imposto emitido e o simulado foi de 44,56%. A adoção da estratégia metodológica proposta implica o aumento de US\$ 48.779.227 no faturamento. Como se pode observar na Quadro 13, os dois decis com menor valoração não sofrem alterações muito significativas; no terceiro decil, há aumento de 14% no faturamento e, a partir daí, cresce progressivamente, até atingir cerca de 50% a partir do sexto decil.

Quadro 13 – Impacto da atualização do imposto predial em Córdoba

Decil	Imposto vigente (em US\$)	Imposto proposto (em US\$)	Impacto
1	1.881.854	1.809.365	-3,85%
2	2.100.967	2.290.419	9,02%
3	2.967.466	3.385.929	14,1%
4	3.780.712	4.680.406	23,80%
5	4.682.758	6.314.097	34,84%
6	5.586.330	8.248.512	47,66%
7	6.970.993	10.624.994	52,42%
8	9.238.971	14.130.543	52,94%
9	14.192.141	21.326.119	50,27%
10	58.059.098	85.430.133	47,14%
Total	109.461.290	158.240.517	44,56%

Fonte: elaboração própria.



4.5 Conclusões e lições aprendidas

Embora a província de Córdoba tenha um OMI e uma política permanente de atualização e reforço do imposto predial desde 2018, os resultados indicam o aumento das avaliações de um ano para o outro para terrenos e construções. Enquanto o primeiro componente apresenta aumento médio de pouco mais de 50%, o valor das construções atinge 25%. Esse fato pode ser explicado pela valorização sistemática dos terrenos urbanos em relação às construções, que se depreciam todo ano. A estrutura da base tributável também se altera, passando de 56% e 44% do valor total dos terrenos e construções para 61% e 39%, respectivamente.

A disponibilidade de cadastros atualizados, de um observatório imobiliário, de uma infraestrutura de dados territoriais e de uma política fiscal orientada para a equidade fiscal são componentes essenciais para melhorar as receitas fiscais provenientes do imposto predial. Isso é especialmente importante em economias com elevados níveis de inflação e desvalorização da moeda, e onde o mercado imobiliário se afigura como uma das principais alternativas para salvaguardar o patrimônio das pessoas. De fato, os resultados obtidos na cidade de Córdoba mostram que a diferença entre as avaliações fiscais e as de mercado se deteriora rapidamente, na ausência de protocolos de atualização permanente dos valores, aspecto que é facilitado pela utilização de modelos de avaliação em massa.



CAPÍTULO 5
**AVALIAÇÃO EM MASSA E IMPOSTO
PREDIAL EM MANIZALES,
COLÔMBIA**

DIEGO ERBA, MARCO AURELIO STUMPF GONZÁLEZ E FABIÁN REYES BUENO

5.1 Introdução

Manizales é uma cidade colombiana localizada no departamento de Caldas. Sua população estimada em 2018 era de 405.000 habitantes (DANE), e o município ocupa uma área de 570 km², dos quais 38 km² correspondem à área urbana.

Foi incluída neste estudo porque dispõe de um sistema de informação geográfica bem estruturado, de uma cartografia temática diversificada e de uma equipe humana com capacidade para manejar técnicas de avaliação em massa. No entanto, a base de dados alfanumérica do cadastro tem baixo nível de detalhe sobre os imóveis, e a cidade ainda não tem um observatório do mercado imobiliário, o que afetou as técnicas de avaliação selecionadas para este estudo.

A Secretaria da Fazenda é responsável pela administração dos impostos municipais, pela liquidação oficial, cobrança, inspeção e controle dos impostos, bem como pela cobrança persuasiva e coerciva. Também registra e controla as operações financeiras e os contratos do município, mantém inventários e avaliações de bens imóveis e realiza a gestão financeira.

O Imposto Predial Unificado (IPU) é um imposto real que incide sobre os bens imóveis situados no município de Manizales. Os contribuintes são pessoas físicas, jurídicas ou sociedades de fato que sejam proprietárias de bens imóveis situados na jurisdição. A base tributável para a liquidação do imposto predial unificado é a avaliação venal fixada pelas autoridades correspondentes ou a autoavaliação declarada pelo proprietário, se este assim o decidir. As taxas (alíquotas) para os imóveis residenciais analisados neste estudo variam de acordo com os estratos socioeconômicos¹² da seguinte forma: 5,0 por mil para os estratos 1 e 2; 5,5 por mil para o estrato 3; 6,0 por mil para o estrato 4; 8,0 por mil para o estrato 5 e 8,5 por mil para o estrato 6.

De acordo com a Secretaria de Finanças de Manizales, a arrecadação do imposto predial unificado durante 2020 foi de CO\$ 60.138 milhões, enquanto o imposto sobre a atividade econômica gerou CO\$ 36.736 milhões (Instituto de Estudios Urbanos, Universidad Nacional de Colombia, 2020).

¹² A estratificação social é a forma como os agregados familiares são classificados por meio de diferentes critérios que não dependem dos rendimentos que uma pessoa ou família tem, mas, sim, das condições do imóvel em que esse grupo de pessoas vive e do ambiente ou zona em que está. Os estratos sociais determinam as tarifas dos serviços públicos, alguns impostos e a concessão de algumas subvenções econômicas a determinados imóveis residenciais. São seis os estratos socioeconômicos em que se podem classificar as casas ou edifícios: os estratos 1, 2 e 3 correspondem aos usuários com menos recursos, que se beneficiam de subsídios para os serviços públicos domiciliares; os estratos 5 e 6 correspondem aos estratos mais elevados, com mais recursos econômicos, que devem pagar custos adicionais (contribuição) sobre o valor dos serviços públicos domiciliares. O estrato 4 não é beneficiário de subsídios, nem tem de pagar custos extras; paga exatamente o valor que a empresa define como custo da prestação do serviço (Departamento Nacional de Planeación, 1997).

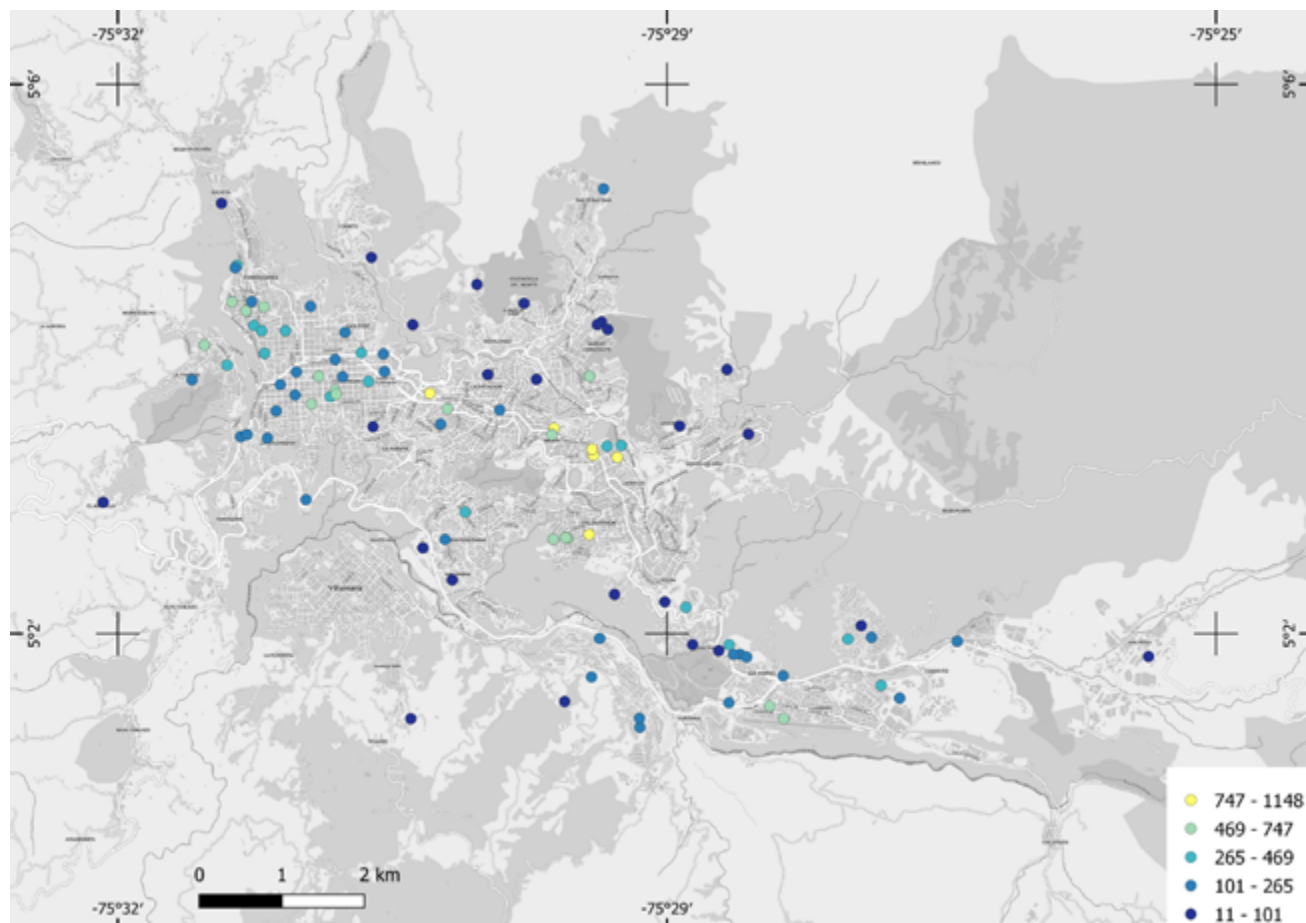
5.2 Aspectos metodológicos

Manizales não dispunha de um observatório do mercado imobiliário e, por isso, foi necessário criar uma estrutura informática e definir uma estratégia de coleta de dados. Por um lado, foram compilados os preços de oferta de terrenos sem construção e, por outro lado, foram identificados os valores do metro quadrado de construção nova para diferentes tipos de imóveis residenciais.

A pesquisa sobre o comportamento do mercado foi feita em um período de dois meses, durante o qual foram coletadas informações disponíveis em websites especializados na comercialização de imóveis. Nem todas as ofertas tinham uma posição geográfica exata e, por isso, para georreferenciá-las, foi necessário recorrer a ferramentas disponíveis na internet, como mapas, serviços de imagens de satélite, fotografias terrestres e vídeos de *Street View*, entre outros.

A Figura 12 representa a distribuição espacial da amostra do mercado de terrenos constituída por 96 observações. Essa amostra, embora estatisticamente pequena, é considerada suficiente para se ter a primeira aproximação da dimensão da diferença entre os valores de mercado e os valores venais e, conseqüentemente, para estimar o potencial fiscal do imposto predial.

Figura 12 – Amostra do mercado de terrenos em Manizales (US\$/m²)



Fonte: elaboração própria.

As variáveis geográficas utilizadas para o desenvolvimento da análise espacial foram identificadas e sistematizadas nos seguintes grupos:

- i) variáveis de localização: distâncias de polos de influência, pontos de valorização máxima, escolas, parques, vias principais e pontos de ônibus, entre outras;
- ii) variáveis descritivas da estrutura urbana e acessibilidade: perímetros, municípios, bairros, uso do terreno, tipos de vias (principais e secundárias), rios e córregos, assentamentos informais, conjuntos habitacionais, indústrias, equipamentos urbanos e plano ambiental, entre outros;
- iii) variáveis da base cadastral: intensidade de ocupação do terreno, zonas geoeconômicas, tamanho médio do terreno e valor médio atual do terreno por metro quadrado.

Os valores atuais do metro quadrado construído basearam-se em índices publicados pela Construdata (<https://www.construdata.com>), fonte de grande aceitação no país.

Devido à dinâmica do mercado e à diversidade imobiliária, optou-se por concentrar os esforços de atualização nos valores do imóvel residencial, descartando outras tipologias para as quais não existe informação suficiente. Além disso, dado que os imóveis residenciais representam a maioria, o cálculo do potencial do imposto predial com base nesse uso torna-se representativo para toda a cidade.

A premissa estipulou que os valores das construções seriam determinados a partir das taxas de construção vigentes por metro quadrado, multiplicadas pelas dimensões das construções registradas na base cadastral.

A base cadastral registra seis estratos socioeconômicos, enquanto a fonte de atualização, Construdata, caracteriza três tipos de imóveis residenciais unifamiliares: interesse prioritário, interesse social e médio padrão. Por essa razão, foi necessário criar uma categoria adicional para os imóveis residenciais de alta qualidade (imóveis residenciais nobres). O valor por metro quadrado desta foi estipulado pelo acréscimo de 10% ao valor dos imóveis residenciais médios, obtido a partir de dados de mercado (veja o Quadro 14).

Quadro 14 – Custos do metro quadrado de construção por estratos em Manizales

Tipo de imóvel residencial	Estratos	CO\$
Imóvel residencial de interesse prioritário	Estratos 1 e 2	1.100.000
Imóvel residencial de interesse social	Estratos 3 e 4	1.400.000
Imóvel residencial médio	Estrato 5	1.900.000
Imóvel residencial nobre	Estrato 6	2.300.000

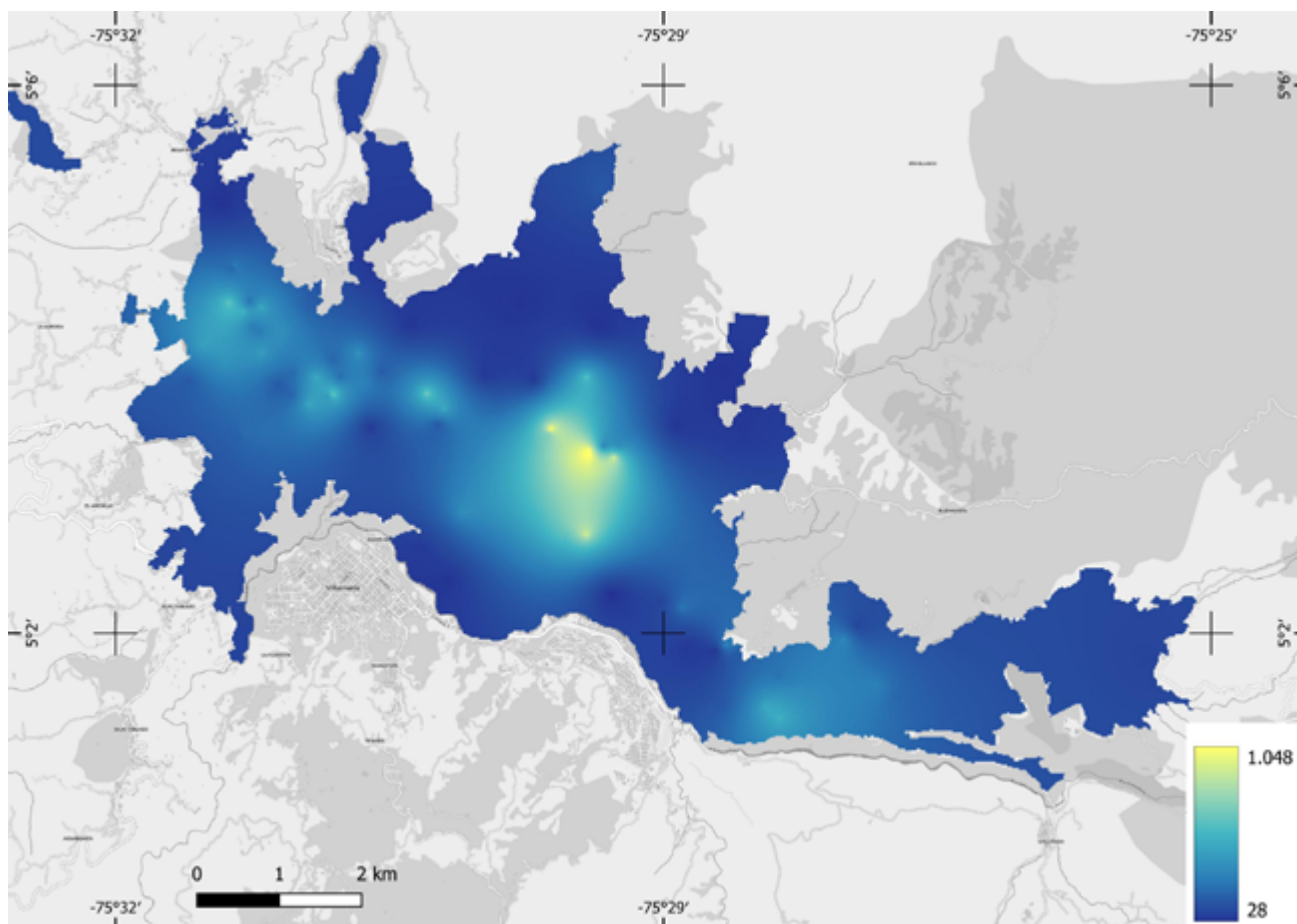
Fonte: elaboração própria, adaptada de valores publicados pela Construdata.

5.3 Estimativas dos valores de terrenos e das construções

A estimativa do valor dos terrenos em Manizales foi realizada por meio da aplicação de três métodos alternativos: geoestatística (KO), paramétrico (RLM) e inteligência artificial (MARS, M5P, GBM).

Inicialmente, o valor do metro quadrado de terreno ao longo do espaço urbano foi estimado por meio de técnicas de krigagem ordinária (KO), cruzando com a técnica *Leave-One-Out Cross Validation* (LOOCV), escolhida devido à quantidade limitada de dados disponíveis. A técnica LOOCV toma uma observação como teste, utiliza todos os dados restantes para treinar o algoritmo, efetua tantas iterações quantas as observações que tem e mantém a melhor estimativa. Esse método permitiu gerar um modelo que permite representar graficamente a variação contínua do valor do metro quadrado do terreno ao longo do espaço urbano (veja a Figura 13).

Figura 13 – Estimativa do valor do metro quadrado de terreno em US\$ em Manizales

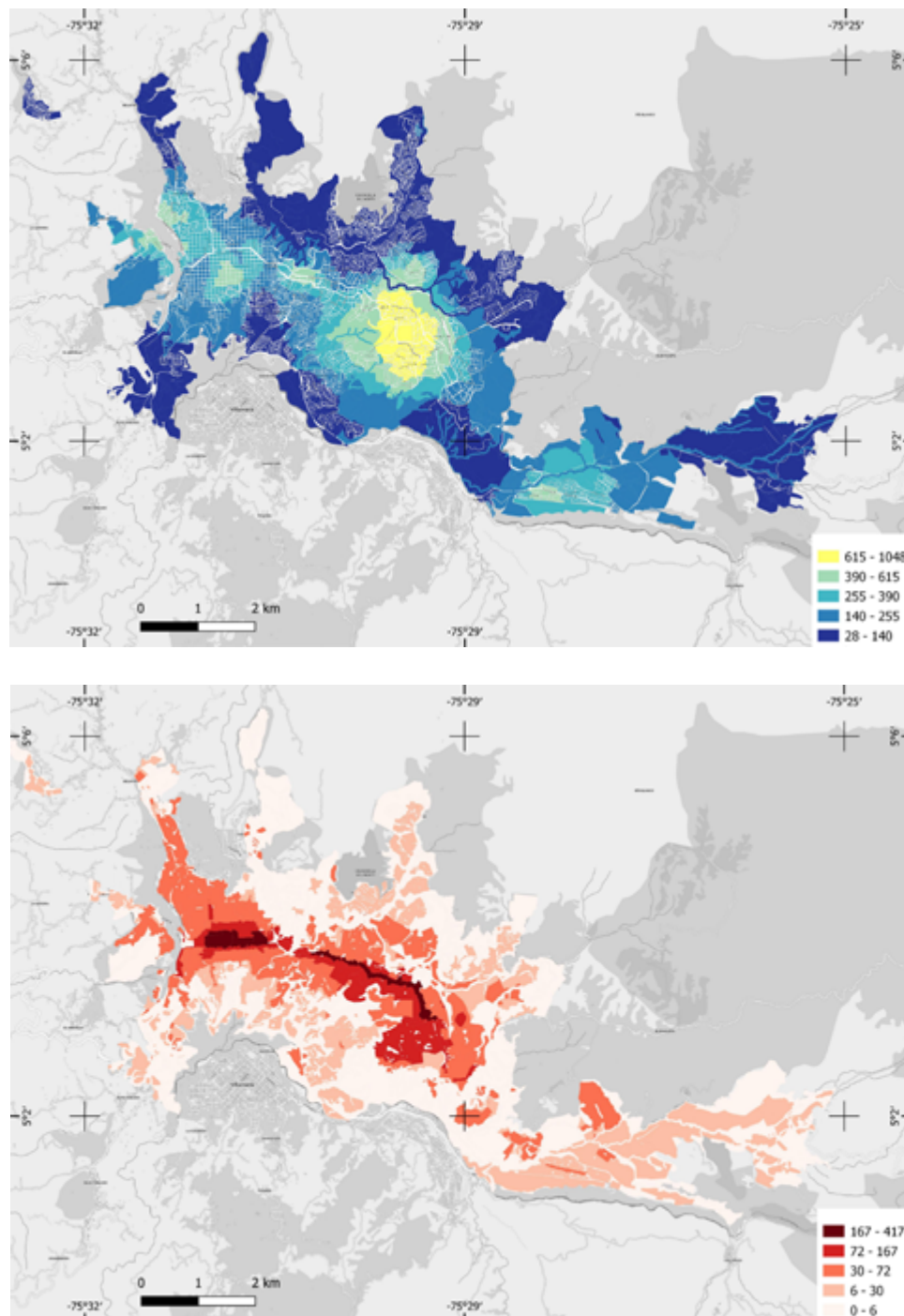


Fonte: elaboração própria.

O valor do metro quadrado do terreno calculado por KO e LOOCV foi posteriormente discretizado por meio de elementos geográficos como eixos de ruas, zonas homogêneas, quarteirões ou parcelas de terreno, de modo a poder transferir os valores estimados para a base de dados cadastral. No caso de Manizales, a discretização permitiu

mostrar as diferenças entre os valores atuais e os valores de mercado estimados e a sua distribuição espacial. O resultado é apresentado na Figura 14, que mostra claramente dois aspectos centrais: i) que há muita divergência entre os valores venais e os valores estimados e ii) que as preferências do mercado imobiliário mudaram no território.

Figura 14 – Valor estimado do metro quadrado de terreno em US\$ por zona geoeconômica em Manizales



Fonte: elaboração própria.

Como segunda opção metodológica (métodos paramétricos) optou-se por aplicar o RLM, tendo como variável dependente o preço do terreno, e como variáveis independentes: i) as distâncias das observações aos pontos de avaliação e as áreas dos terrenos e, de forma complementar, ii) um índice de vizinhança que caracteriza o bairro.

Para a construção do índice de vizinhança, foi utilizada a plataforma *Google Street View*, que permitiu levar em consideração vários elementos associados às observações num raio de 50 m do cruzamento de ruas. Esse processo permitiu classificar o ambiente de cada ponto e atribuir uma pontuação às diferentes características do bairro.¹³

Inicialmente, foi estimado um modelo RLM de preços hedônicos para a amostra total, utilizando como variável dependente o preço de oferta do terreno, e como variáveis independentes as distâncias das observações aos pontos de avaliação e às áreas dos terrenos. Posteriormente, foi incorporado o novo índice de vizinhança e a qualidade do modelo melhorou (o coeficiente de determinação R^2 aumentou de 0,482 para 0,705). Os resultados obtidos com os métodos paramétricos são encorajadores e mostram que a inclusão de índices de vizinhança pode ser uma alternativa para melhorar os modelos de avaliação em massa de terrenos. No entanto, essa opção revelou-se difícil de aplicar a toda a cidade de Manizales devido ao tempo exigido pelo processo de construção desse tipo de índice.

Como terceira alternativa para a estimativa do valor de terreno, foi aplicada a técnica de árvore de decisão, com 52 observações da amostra originalmente coletada pelo observatório e adotando como variáveis independentes a distância de cada ponto observado ao ponto de valor máximo e às áreas dos terrenos. Especificamente, foram aplicados os algoritmos M5P, MARS e GBM, cujas medidas de desempenho indicam que a segunda opção foi a melhor (veja o Quadro 15).

Quadro 15 – Medidas de desempenho dos modelos de árvore de decisão em Manizales

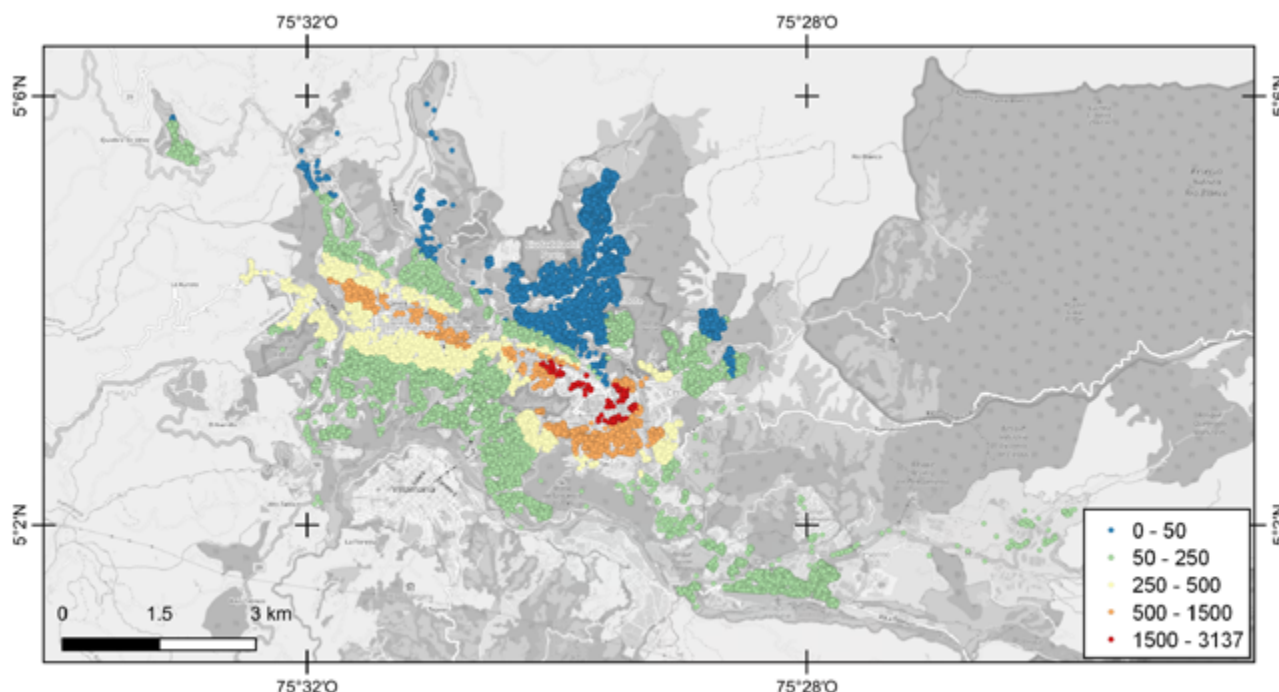
Algoritmo	CD	PRD	MAPE
M5P	102,5	12,76	103,2
MARS	52,69	1,25	51,78
GBM	103,1	1,45	110,4

Fonte: elaboração própria.

Os resultados das estimativas do valor do terreno feitas com o algoritmo MARS são mostrados na Figura 15.

¹³ A ideia subjacente ao modelo de preços hedônicos é que o valor de um imóvel é determinado com base nos seus atributos. Assim, o valor de mercado do imóvel pode ser explicado como um agregado dos preços individuais de cada atributo.

Figura 15 – Valor do metro quadrado de terreno estimado em US\$ usando MARS em Manizales



Fonte: elaboração própria.

Por fim, procedeu-se à comparação dos resultados obtidos por meio da técnica geoes-tatística KO e os resultados da aplicação do algoritmo de inteligência artificial MARS com a distribuição das observações na base cadastral. Essa comparação mostra que as estimati-vas dos valores dos terrenos utilizando a técnica KO são mais ajustadas à distribuição dos valores venais atuais, razão pela qual foi adotada na avaliação em massa.¹⁴

Uma vez estimados os valores dos terrenos, foi incorporado o valor das construções cor-respondentes a imóveis residenciais unifamiliares térreos. O Quadro 16 apresenta os valores venais e de mercado dos imóveis estudados e evidencia as grandes diferenças entre os dois.

Quadro 16 – Valor dos imóveis estudados, por estrato, em Manizales

Estrato	Valor venal		Valor de mercado		Taxa de valorização
	Em CO\$	Em US\$	Em CO\$	Em US\$	
1	21.171.873.000	6.049.107	559.144.530.914	159.755.580	3,79%
2	168.907.283.000	48.259.224	1.022.267.631.560	292.076.466	16,52%
3	572.768.924.000	163.648.264	2.987.825.307.190	853.664.373	19,17%
4	286.467.864.000	81.847.961	834.070.151.571	238.305.758	34,35%
5	85.782.362.000	24.509.246	231.175.939.375	66.050.268	37,11%
6	172.890.197.000	49.397.199	461.002.710.626	131.715.060	37,50%
Total	1.307.988.503.000	373.711.001	6.095.486.271.235	1.741.567.50	21,46%

¹⁴ A comparação das duas alternativas usando a estatística MAPE também confirma que a técnica KO é superior.

Fonte: elaboração própria.

5.4 Estimativa do potencial do imposto predial

Como indicado na primeira seção, o IPU é um imposto real cuja base de incidência é constituída pelo valor integral do imóvel (terreno e construção). A aplicação de métodos de avaliação em massa permitiu estimar o potencial fiscal do IPU, respeitando a política fiscal atual. O Quadro 17 apresenta o potencial do IPU calculado sobre 70% do valor de mercado estimado. Esse percentual é semelhante ao aplicado em outros municípios e foi adotado para evitar que imóveis supervalorizados pelo modelo entrassem na base cadastral. Os resultados finais mostram que o IPU poderia crescer quase cinco vezes.

Quadro 17 – Impacto da atualização do imposto predial em Manizales*

Moeda	Atual	Potencial	Impacto
CO\$	7.950.902.576	39.025.281.430	491%
US\$	2.271.686	11.150.080	

*Avaliado dentro do grupo de imóveis estudados.

Fonte: elaboração própria.

Esses resultados mostram o enorme potencial fiscal do imposto predial quando se utilizam valores venais ajustados com informação de mercado. Embora, no caso de Manizales, a amostra considerada fosse pequena, seria de esperar que, à medida que o município dispusesse de mais informações sobre os valores de mercado, as estimativas do potencial de imposto predial se tornassem mais precisas e úteis para efeitos de tributação.



5.5 Conclusões e lições aprendidas

A inexistência de um observatório consolidado na cidade e a opacidade do mercado imobiliário limitaram a estruturação de uma amostra com numerosas observações. Esse fato não impediu o desenvolvimento dos estudos sob diferentes perspectivas metodológicas, que tiveram desempenhos distintos, como era de esperar. Os métodos paramétricos, de fácil compreensão e aplicação, foram capazes de gerar modelos que representam a variação espacial do valor do metro quadrado do terreno ao longo do espaço urbano com boa precisão, enquanto os métodos não paramétricos mostraram-se frágeis justamente pelo pequeno tamanho da amostra e, por isso, foram descartados.

Mesmo com as limitações acima, pode-se concluir para o caso de Manizales que:

- (i) os mapas de valores gerados por meio de métodos paramétricos evidenciam a divergência entre os valores venais atuais e os estimados pelos modelos, não só em valor, mas também em sua distribuição geográfica, devido a mudanças nas preferências dos atores do mercado;
- ii) embora o potencial de arrecadação seja enorme, o aumento do faturamento implica em mudanças normativas importantes, uma vez que se deve buscar a implementação gradual de ajustes nos valores venais, reduzindo assim possíveis resistências às mudanças por parte da população.



CAPÍTULO 6
**AVALIAÇÃO EM MASSA E IMPOSTO
PREDIAL EM CORRIENTES,
ARGENTINA**

MARIO PIUMETTO, JUAN PABLO CARRANZA E HERNÁN MORALES



6.1 Introdução

A cidade argentina de Corrientes é a capital da província com o mesmo nome. Tem uma população de 354.000 habitantes, de acordo com o censo de 2010. A área do raio municipal é de 557 km², dos quais a área urbana ocupa 21% (118 km²).

Corrientes foi incluída neste estudo porque as suas bases de dados cadastrais apresentam um nível de detalhe razoável para a aplicação de técnicas de avaliação em massa, os valores de mercado estão disponíveis (embora não estruturados como um observatório imobiliário) e o grupo de técnicos que desenvolveu o estudo tem a experiência necessária para aplicar técnicas de análise de dados baseadas em inteligência artificial.

A administração do cadastro provincial é responsabilidade da Direção de Cadastro e Cartografia, que faz parte da Subsecretaria de Finanças do Ministério das Finanças e Tesouro do Governo da Província. A sua atividade é regulada pela Lei do Cadastro Parcelar. Por seu lado, o governo municipal dispõe da Direção Geral do Cadastro, dependente da Secretaria de Desenvolvimento Urbano, que desempenha as funções de manutenção dos dados cartográficos e descritivos dos imóveis.

De acordo com o regulamento provincial de cadastro, os imóveis são classificados em urbanos, suburbanos e rurais. A avaliação dos imóveis urbanos segue o método da separação, ou seja, os terrenos e as construções são avaliados separadamente e depois somados para obter a avaliação total. Esse procedimento utiliza valores de referência e índices gerais que não refletem totalmente os níveis de mercado, e, por isso, as avaliações fiscais apresentam um nível de atraso significativo.

O imposto predial urbano é atribuído aos municípios, de acordo com as disposições da Constituição Provincial. A jurisdição provincial, por outro lado, é responsável pelo imposto imobiliário rural.

A administração do imposto predial na cidade de Corrientes é responsabilidade da Secretaria Municipal de Finanças, mas na prática é exercida pela Agência Correntina de Arrecadação (ACOR), um órgão autárquico sob o governo local. O Código Tributário Municipal e a Ordem de Tarifa Anual (OTA) constituem o regulamento fiscal que estabelece todas as matérias relativas a esse imposto.

6.2 Aspectos metodológicos

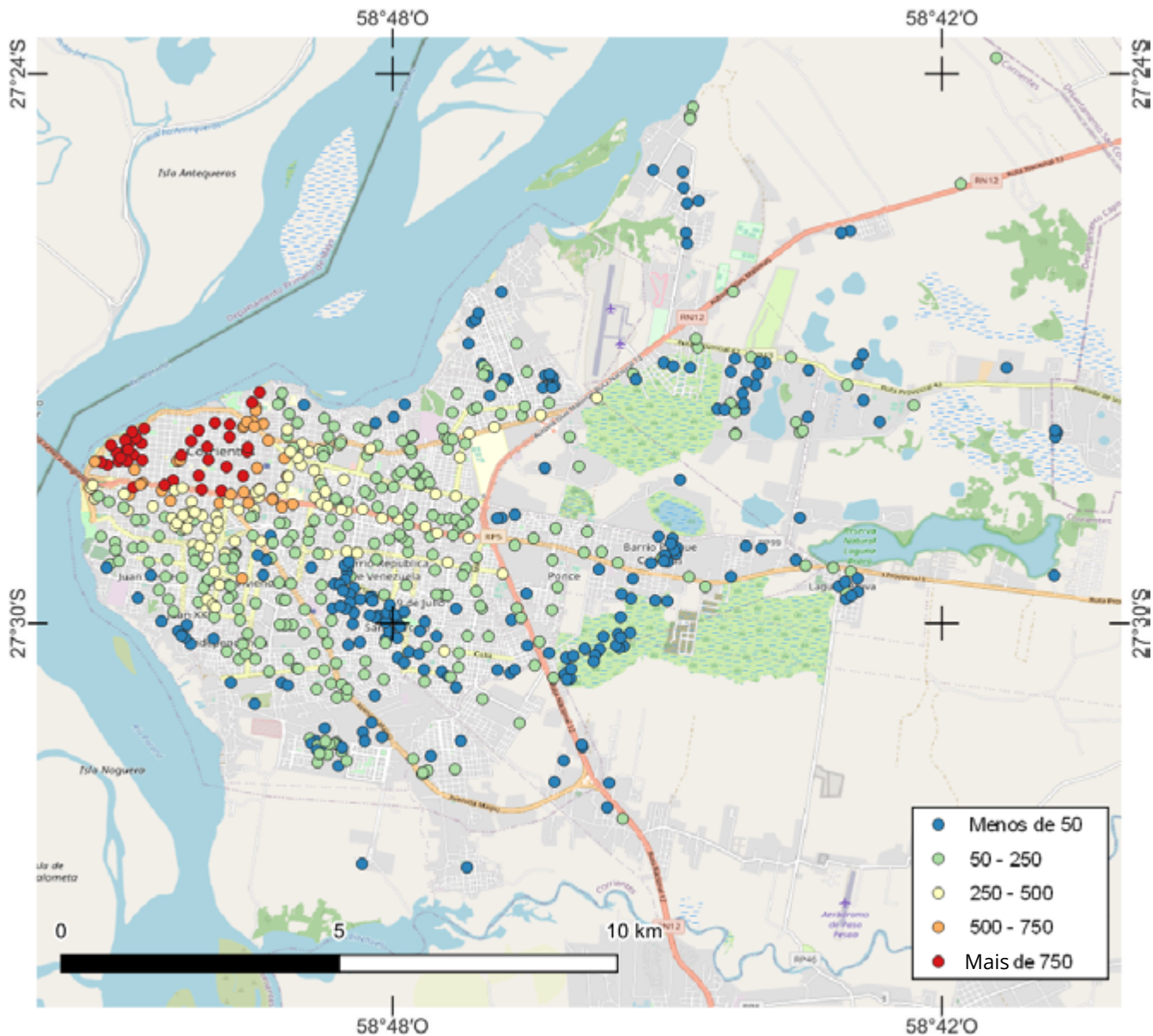
A jurisdição não tem um observatório imobiliário, mas conta com dados de mercado de um projeto de pesquisa executado pelo governo municipal em meados de 2019, que foram fornecidos para o desenvolvimento deste estudo. O município de Corrientes, por meio da Secretaria Municipal de Finanças, também forneceu todos os dados cadastrais e fiscais necessários.

A base de dados de valores de mercado de terrenos era inicialmente composta por 604 observações e, após um processo de homogeneização e filtragem, foi reduzida para 426 (veja a distribuição espacial na Figura 16). Essa amostra é composta por 226 ofertas



de venda de terrenos baldios e 200 avaliações *ad hoc* realizadas no âmbito do projeto de investigação implementado pelo município.

Figura 16 – Amostra do mercado de terrenos em Corrientes (US\$/m²)



Fonte: elaboração própria com base em informações do município de Corrientes.

As observações de mercado foram homogeneizadas para obter valores comparáveis por metro quadrado, utilizando informações sobre o tamanho (área) dos terrenos, uma vez que a base de dados cadastral não tem informações suficientes sobre a morfologia e/ou a localização das propriedades no quarteirão ou quadra.

Em relação à moeda em que os valores foram coletados e considerando que foram obtidos durante um curto período (junho e julho de 2019), foi necessário apenas



transformá-los de US\$ para a moeda local, considerando a taxa de câmbio vigente naquele período (43 AR\$ por US\$).

De forma a obter um valor de terreno homogêneo e comparável, foi estimado um modelo linear, no qual foram descontados os efeitos da superfície, da fachada, da forma e da localização do quarteirão do preço por metro quadrado de terreno. Nesse modelo, o logaritmo natural do valor por metro quadrado de terreno (calculado como o valor total da propriedade sobre a área) é função das variáveis que captam os efeitos da localização, juntamente com desfasamentos da variável dependente e resíduos (Cerino *et al.*, 2020).

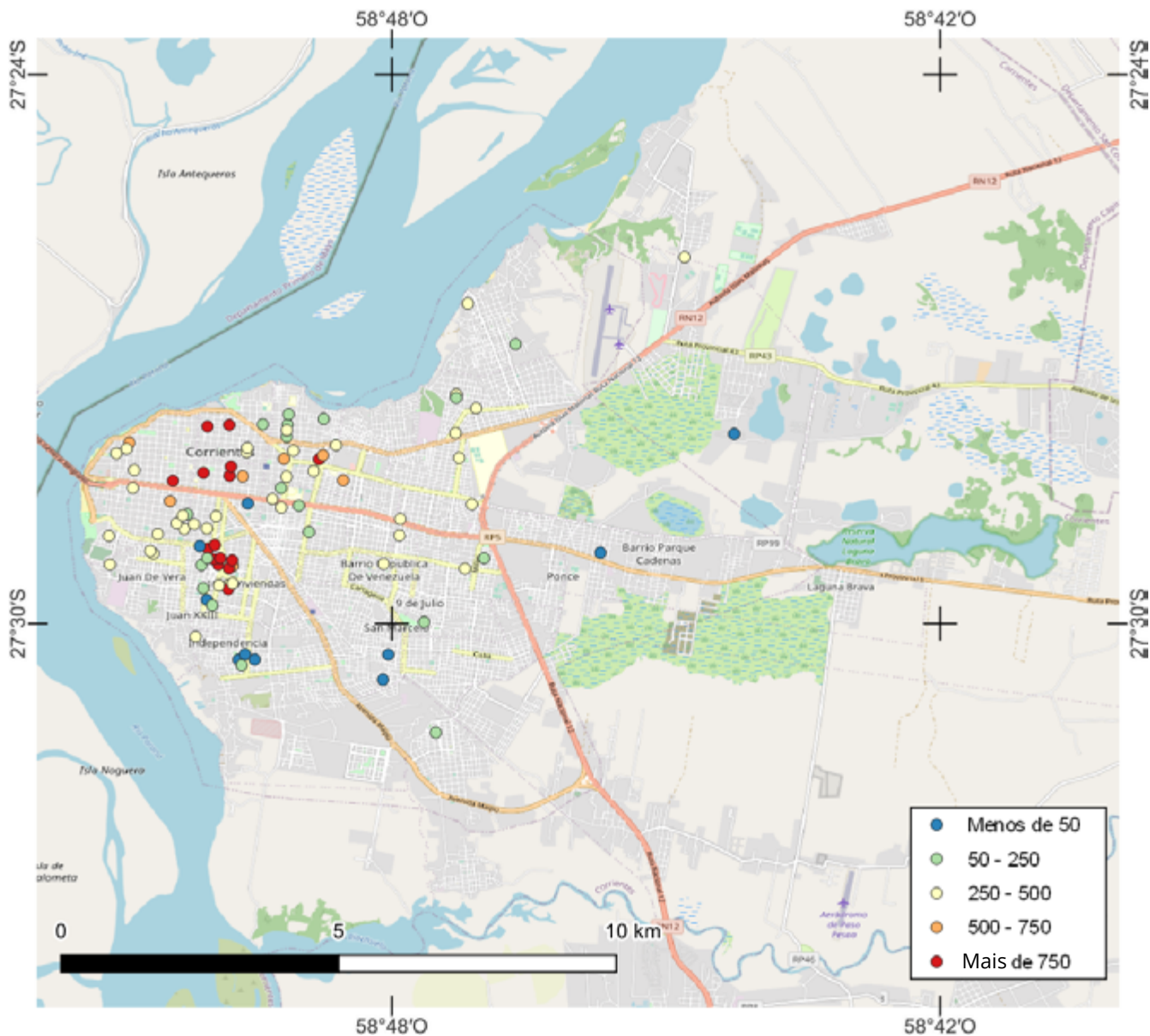
Uma vez homogeneizada a amostra, com base numa propriedade típica de 300 m² e descontando 10% dos valores de oferta, o último passo foi a depuração do conjunto de dados. Nessa etapa, as observações cujo valor do metro quadrado foi considerado atípico em relação a seu entorno foram identificadas e retiradas da amostra utilizando índice de Moran local. Esse procedimento eliminou 178 observações e resultou na amostra final de 426.

Foi feito um procedimento semelhante para homogeneizar o valor das construções em que se captou o efeito da área na quantidade de metros quadrados construídos e se incluiu o efeito da idade média ponderada das construções medida em anos. As observações correspondentes a imóveis construídos foram expressas de forma homogênea, de acordo com a informação disponível, em termos do valor por metro quadrado correspondente a um imóvel novo de 242 m² de área construída (mediana da amostra).

O levantamento dos imóveis construídos atingiu inicialmente 167 observações. Foi realizado um processo de depuração de casos atípicos utilizando o índice de Moran local, resultando na amostra final de 90, cuja distribuição espacial pode ser observada na Figura 17.



Figura 17 – Amostra do mercado imobiliário de Corrientes (US\$/m²)



Fonte: elaboração própria com base em informações do município de Corrientes.

As variáveis independentes utilizadas para modelar os valores unitários de terrenos e das construções provêm de diversas fontes, incluindo o cadastro e o sistema de informação geográfica municipais, bem como dados livres incorporados pela equipe de pesquisa.

As variáveis independentes abrangem os seguintes grupos temáticos:

- i) variáveis descritivas do mercado imobiliário: áreas de alto e baixo perfil imobiliário, eixos de alto valor imobiliário e áreas desfavorecidas, valor de incidência do terreno por metro quadrado construído;
- ii) variáveis descritivas da estrutura urbana e acessibilidade: distâncias euclidianas de rodovias, vias principais, vias secundárias, rios e córregos e localização de indústrias;



- iii) variáveis da base cadastral: número de imóveis, intensidade de ocupação do terreno, percentual de partes sem construção, quantidade de terrenos baldios, tamanho médio do terreno e tamanho médio da construção;
- iv) variáveis de imagens de satélite: foram utilizadas imagens livres *Sentinel-2* e gerados mosaicos com resolução de dez metros para o período de estudo, com índices indicativos de ocupação do terreno e outras variáveis derivadas de estudos de fragmentação urbana, como espaço urbano construído compacto e disperso;
- v) variáveis socioeconômicas do Censo Nacional de 2010 (último disponível): gênero e nível de escolaridade do chefe de família, percentagem de agregados familiares em situação de sobrelotação e em imóveis residenciais de qualidade construtiva insuficiente e percentagem de agregados familiares alugados, entre outras.

6.3 Estimativas dos valores dos terrenos e das construções

Considerando que a localidade tem diferentes estruturas urbanas e dinâmicas imobiliárias, optou-se por dividir o espaço em zonas de processamento, a fim de avaliar o desempenho de diferentes modelos em cada uma delas e, assim, obter melhores resultados. Para determinar as zonas, foi utilizado o algoritmo *Fuzzy c-Means* e, para agrupar (*clustering*) as células, foram consideradas as variáveis descritas anteriormente.

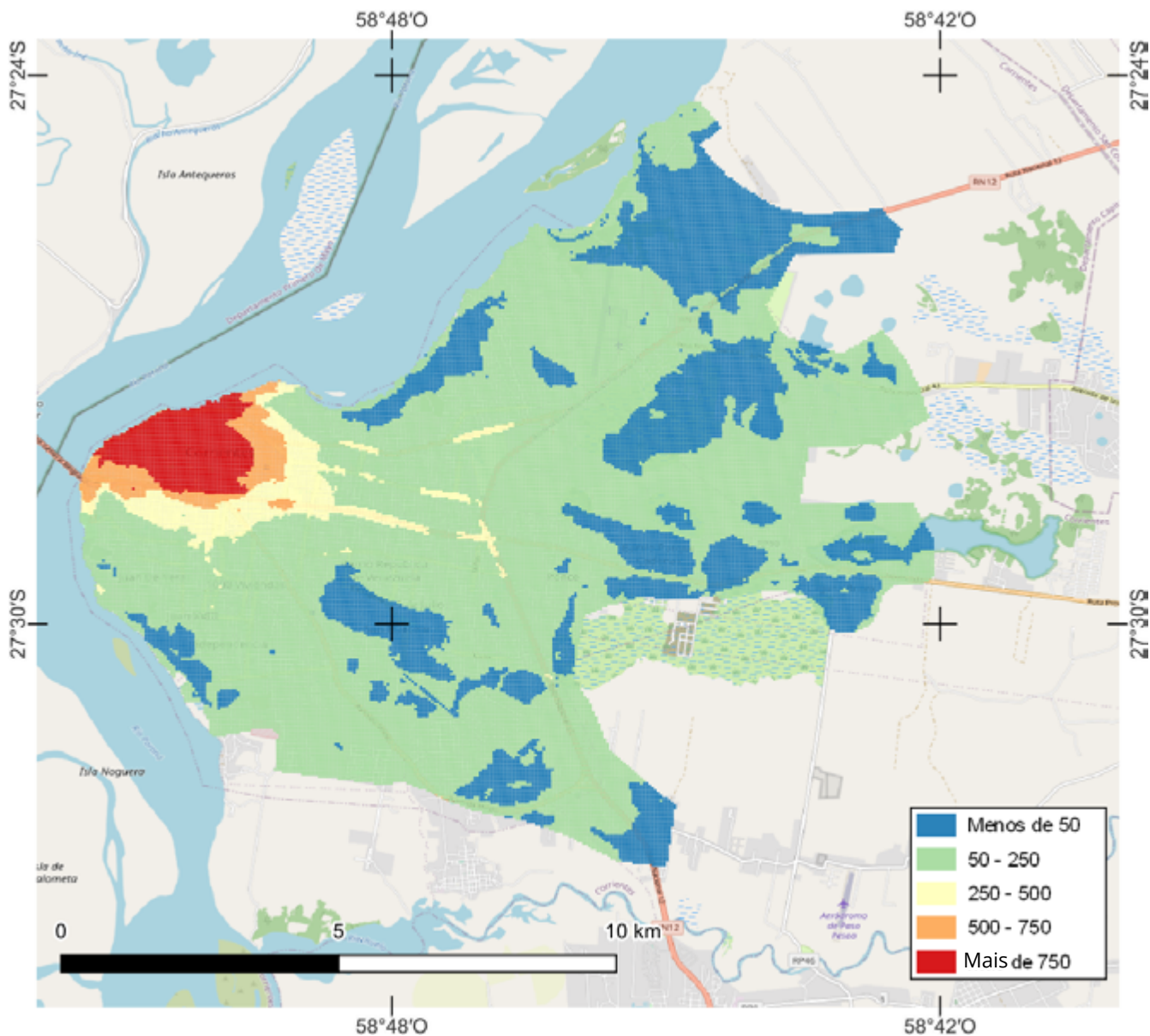
Foram treinados quatro algoritmos sobre a amostra de valores de mercado e as variáveis independentes indicadas: *Gradient Boosting Machine*, *Quantile Random Forest*, *Support Vector Regression* e *Stacking*. Com o objetivo de incorporar a dependência espacial nos resíduos, para cada algoritmo os erros foram também modelados em função das coordenadas, utilizando o algoritmo K vizinhos mais próximos (*K-Nearest Neighbor*), considerando um total de oito modelos.

Em cada zona, o valor do terreno foi estimado aplicando o algoritmo com melhor desempenho. Para medir a qualidade de cada modelo, foi utilizado o erro percentual absoluto médio (MAPE, *mean absolute percentage error*). Os resultados produziram um MAPE global de 20,2%.

A distribuição espacial do valor do metro quadrado de terreno é apresentada na Figura 18. O mapa obtido é coerente com a estrutura urbana da cidade e mostra os valores de terreno mais elevados na zona tradicional do centro e ao longo de alguns trechos das principais vias.



Figura 18 – Valor do metro quadrado de terreno estimado em US\$ em Corrientes



Fonte: elaboração própria.

Os indicadores apresentados no Quadro 18 avaliam a estrutura dos valores dos terrenos antes e depois da atualização e mostram que, em média, os valores venais estavam a 1% dos níveis de mercado. Por outro lado, os indicadores de homogeneidade (CD e CV) melhoram em mais de 50%, e o indicador PRD mostra forte regressividade na estrutura atual, caindo significativamente de 94,81 para 1,07 após a atualização.

**Quadro 18** – Medidas de desempenho dos modelos de valor do terreno em Corrientes

Indicador	Antes da reavaliação	Depois da reavaliação
Média	0,0108	1,0096
Mediana	0,0086	1,000
PRD	94,8170	1,0700
CV	0,4769	0,1986
CD	0,5620	0,1993

Fonte: elaboração própria.

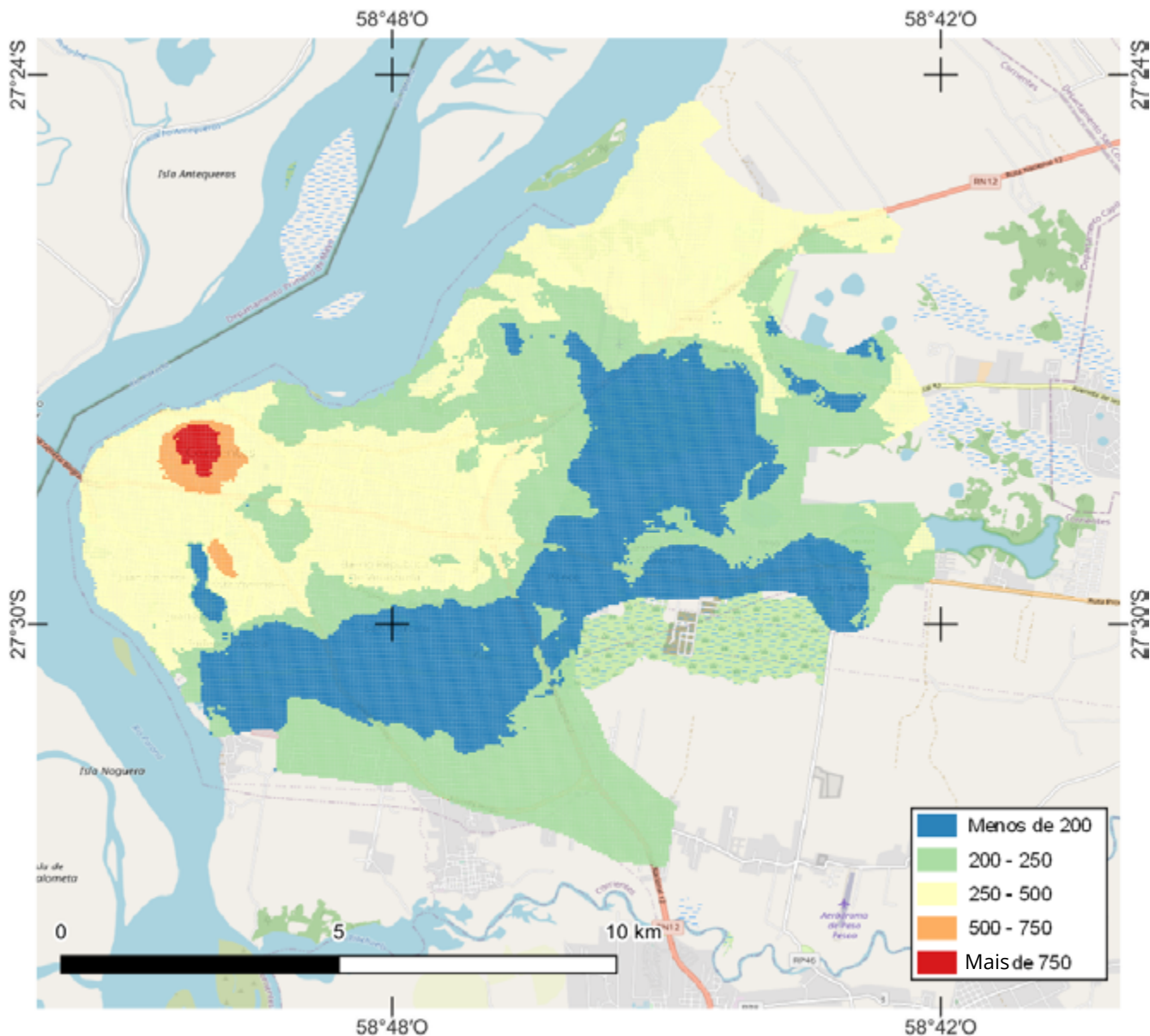
Para a avaliação em massa das construções, os cadastros argentinos aplicam o método de substituição. Esse método utiliza o custo de construção (AR\$/m²) de uma casa nova em toda a cidade. Além disso, são aplicados coeficientes de correção para diferentes qualidades de construção e depreciação devido à idade. Neste estudo, presumiu-se que o valor de mercado poderia flutuar acima ou mesmo abaixo do custo de construção e que este, por sua vez, não era necessariamente o mesmo em todas as zonas da cidade.

Nesse contexto, foi descartada a utilização de um valor de custo de construção publicado por qualquer entidade pública ou privada e foram considerados os valores baseados em informações da mesma amostra de mercado. Além disso, foram estimados valores diferenciados por zonas, em vez de um valor único e homogêneo para toda a cidade.

Os novos valores do metro quadrado construído foram estimados utilizando a amostra final de mercado e as variáveis independentes descritas acima. O processo teve duas instâncias. Primeiro, os valores das construções foram estimados em células de 50 m, utilizando o algoritmo de aprendizagem automática *Quantile Random Forest* e seguindo um processo idêntico ao detalhado para o valor unitário do terreno. Os resultados podem ser observados na Figura 19. O segundo passo consistiu na adoção de valores médios por zonas homogêneas, as quais foram definidas usando o algoritmo de *clustering Fuzzy c-Means* desenvolvido com base nas variáveis independentes disponíveis.



Figura 19 – Valor do metro quadrado construído estimado em US\$ em Corrientes



Fonte: elaboração própria.

O nível de desatualização dos valores venais dos imóveis mostra que a média da relação antes/depois em relação ao valor de mercado melhora de 0,41 para 1,05. Por sua vez, o indicador PRD também melhora, passando de 1,36 para 1,15.

A composição da avaliação total, definida como a soma do valor do terreno e do valor das construções também se alterou. Antes da aplicação dos novos valores propostos, o valor dos terrenos representava apenas 4,74%, e o das construções, 95,26% da avaliação total. Após a atualização, a parte do valor dos terrenos aumentou para 62,77%, e as construções representam agora 37,23% do total.

Analisando a distribuição dos aumentos de avaliação por decis de incidência do valor do terreno urbano (indicador aproximado dos setores socioeconômicos), verifica-se que



o decil mais baixo de valor de incidência é de 16%, enquanto o decil mais caro é inferior a 13% (veja o Quadro 19).

Quadro 19 – Valor dos imóveis em Corrientes, por decis de valor

Decil	Valor venal (U\$)	Valor de mercado (U\$)	Taxa de valorização
1	54.979.841	342.285.587	16,06%
2	65.187.987	453.011.457	14,39%
3	76.988.165	555.211.329	13,87 %
4	105.241.021	642.042.431	16,39%
5	94.107.804	633.835.684	14,85%
6	125.715.771	751.263.509	16,73%
7	170.626.539	947.667.974	18,00%
8	247.460.772	1.501.434.937	16,48%
9	271.391.837,00	1.963.823.204,00	13,82%
10	256.438.552,00	2.030.189.244,00	12,63%

Fonte: elaboração própria.

6.4 Estimativa do potencial tributário do imposto predial

Para o cálculo do imposto predial na cidade de Corrientes, foram aplicadas as disposições estabelecidas no Código Fiscal e na Portaria de Tarifas Anuais para 2020. Essas disposições estabelecem uma taxa única para imóveis construídos de 0,55%, enquanto as taxas para terrenos baldios variam de acordo com as zonas fiscais, variando de 1,5% a 2%.

Apenas as contas urbanas foram consideradas na simulação. Para a formação da base de cálculo, os valores estimados foram tomados a 80%, considerando as margens de erro (MAPE) fornecidas pelos modelos desenvolvidos.

Após a aplicação das atualizações dos valores de terrenos e do metro quadrado construído detalhadas nas seções anteriores, verificou-se o aumento na avaliação total dos imóveis de 617,74%, representando uma recomposição de US\$ 9,1 bilhões para a base de cálculo do imposto predial do município.

Para a efetiva comparação entre o faturamento realizado pela jurisdição e o faturamento simulado no âmbito deste estudo, o primeiro foi transformado em dólares (US\$), utilizando-se a taxa de câmbio de AR\$ 60,89 por US\$, correspondente à média entre os pontos de compra e venda em 30 de dezembro de 2019.¹⁵ O aumento entre o imposto emitido pela jurisdição e o simulado resultou em 450,53%, que está distribuído entre os decis (veja o Quadro 22). A adoção da estratégia metodológica proposta implicaria o aumento na emissão de US\$ 33.398.421.

¹⁵ Esta é uma definição particularmente importante na Argentina, onde as avaliações fiscais de ativos sujeitos a impostos patrimoniais são estabelecidas alguns meses antes da emissão de impostos, em um contexto de alta inflação e volatilidade da taxa de câmbio, o que gera uma perda na emissão de impostos.

**Quadro 20** – Impacto da atualização do imposto predial em Corrientes, por decis de valor

Decil	Imposto atual (US\$)	Imposto proposto (em US\$)	Impacto
1	285.786,00	1.097.305,00	283,96 %
2	293.737,00	1.615.609,00	450,02 %
3	291.479,00	1.787.257,00	513,17 %
4	336.240,00	2.129.644,00	533,37 %
5	396.771,00	2.523.571,00	536,03 %
6	493.056,00	3.031.444,00	514,83 %
7	626.282,00	3.621.722,00	478,29 %
8	824.062,00	4.455.947,00	440,73 %
9	1.222.425,00	6.472.810,00	429,51 %
10	2.643.229,00	14.076.179,00	432,54 %
Total	7.413.067,00	40.811.488,00	450,53 %

Fonte: elaboração própria.

6.5 Conclusões e lições aprendidas

O caso de Corrientes mostra que avaliações venais desatualizadas durante longo período de tempo conduzem a grandes diferenças entre os valores de mercado e os valores utilizados na emissão do imposto. Neste estudo, estimou-se o aumento total da base tributária de 618% e o aumento de 450% do imposto predial. Foram igualmente observadas melhorias na equidade da aplicação do imposto.

De acordo com os resultados estimados, o valor dos terrenos representa 63% da base tributável, contra apenas 5% da base atual. Os valores atuais dos terrenos correspondem a 1% dos valores de mercado e apresentam estrutura fortemente regressiva, que é melhorada com a utilização de informações de mercado. Os valores de construção também aumentam e melhoram, mas em menor grau, porque a administração local manteve mais coerência na sua atualização com valores baseados em publicações especializadas. Essas constatações afirmam que os processos de atualização de valores dos terrenos não só conduzem a aumentos no montante do faturamento do imposto predial, como também a uma estrutura mais equitativa do imposto.

Tal como noutras cidades estudadas, a disponibilidade de um cadastro detalhado é importante porque permite avaliar e aplicar modelos automatizados de avaliação em massa. Isso justifica a necessidade de melhorar os dados e as ferramentas cadastrais, uma vez que estas permitem a implementação de políticas cadastrais e fiscais mais robustas, equitativas e dinâmicas, o que afeta mudanças permanentes nas estruturas físicas, econômicas e sociais das cidades.



CAPÍTULO 7
**AVALIAÇÃO EM MASSA E IMPOSTO
PREDIAL EM ITABIRA, BRASIL**

EVERTON DA SILVA, LIANE RAMOS DA SILVA,
CARLOS A. O. VIEIRA E FRANCISCO H. DE OLIVEIRA

7.1 Introdução

Itabira está localizada no estado brasileiro de Minas Gerais, a cerca de 110 km a leste da capital do estado, Belo Horizonte. O município ocupa a área de 1.253 km², dos quais 70 km² estão na zona urbana. Sua população, em 2022, era de 113.000 habitantes, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Itabira foi incluída neste estudo porque tem um bom sistema de informação geográfica (cartografia temática e bases de dados cadastrais detalhadas) e tem uma equipe profissional com as competências necessárias para aplicar métodos de avaliação em massa. O município ainda não dispõe de um observatório do mercado imobiliário, o que limita a disponibilidade do tipo de informação sobre as transações imobiliárias necessárias para este estudo.

O setor do cadastro está ligado à Secretaria de Finanças do município e é responsável pela atualização e manutenção dos dados alfanuméricos do cadastro imobiliário, incluindo os valores venais. A atualização dos dados geométricos (espaciais) é atribuição do setor de geoprocessamento. As responsabilidades pela administração territorial estavam em processo de reestruturação no momento deste estudo, porque o município contratou a implementação de um novo sistema de cadastro multifinalitário.

O Código Tributário Municipal (Lei n.º 3404/1997) estabelece as responsabilidades e os procedimentos da administração fiscal responsável pela coleta do imposto predial. Por sua vez, a Lei n.º 3753/2002 estabelece a fórmula de cálculo da base tributável desse imposto. Os valores do metro quadrado de terreno que constam no Mapa de Valores Genéricos (MVG) foram revistos e atualizados pela última vez em 2009.

Os valores venais são calculados com base no método evolutivo, enquanto o valor do terreno corresponde ao metro quadrado registrado no MVG, ponderado por fatores de ajustamento em função das características do terreno. Por outro lado, o valor da construção é definido com base numa tabela de valores do metro quadrado por tipo de construção (casa, apartamento, galpão, etc.). O valor total do imóvel corresponde à soma do valor da construção e do terreno. A base tributável do imposto predial é a soma dos seus dois componentes, à qual é aplicada uma taxa em função da utilização do imóvel: 0,8% para os terrenos baldios, 0,6% para os imóveis construídos para uso não residencial e 0,4% para os imóveis construídos para uso residencial.

O imposto predial em Itabira representou apenas 2,6% da receita municipal em 2018, o que equivaleu a 0,2% do Produto Interno Bruto (PIB). A comparação desse valor com a média nacional (0,49% do PIB) mostra que existe alto potencial para melhorar a arrecadação do imposto predial em Itabira.

7.2 Aspectos metodológicos

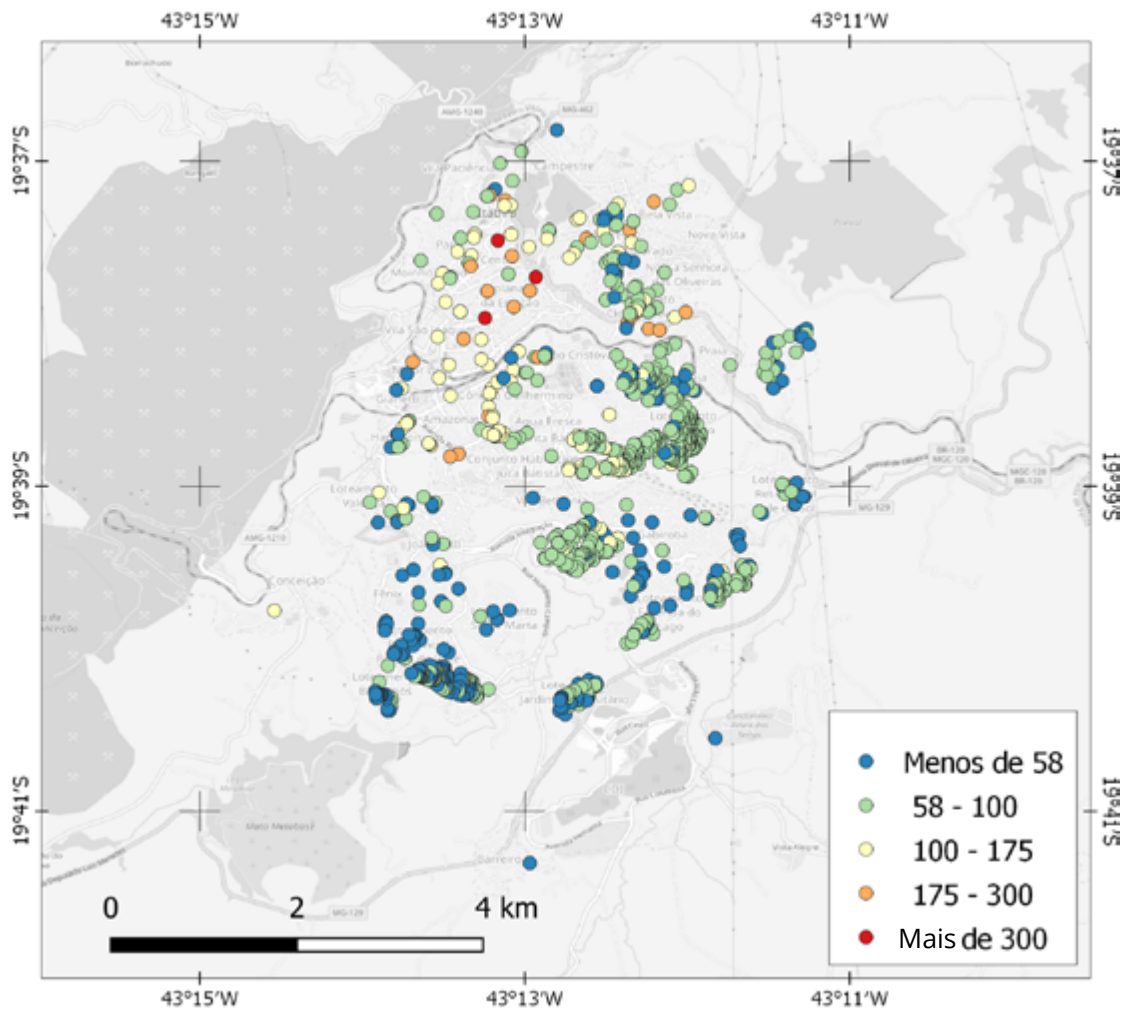
O município não dispunha de um observatório do mercado imobiliário, pelo que foi necessário construir uma base de dados por meio da coleta de informações sobre ofertas imobiliárias publicadas em websites especializados e noutras fontes disponíveis. A pesquisa de

dados centrou-se nos tipos de imóveis mais comuns e mais dinâmicos no mercado: terrenos baldios, casas e apartamentos.

As ofertas disponíveis nos websites foram classificadas de acordo com a exatidão da sua localização: i) com endereço completo; ii) com identificação do bairro e iii) sem nenhuma localização. A localização do imóvel é fundamental para este estudo, pois foi desenvolvido um aplicativo para celulares que georreferenciava cada observação durante as visitas de campo. Dessa forma, foram obtidos dados complementares para imóveis que não estavam publicados na internet.

Como resultado, foram obtidas e validadas informações sobre 480 terrenos baldios. A estes foram adicionados outros 690 casos correspondentes a vendas declaradas ao município para o pagamento do imposto de transmissão de bens imóveis (ITBI) durante os anos de 2017, 2018, 2019 e 2020. No total, foram 1.170 casos. Os dados de mercado para terrenos baldios foram comparados com os dados cadastrais e foram avaliados, em cada caso, se a área oferecida e a área registrada eram as mesmas. As variações de até 10% foram reduzidas. A distribuição espacial da amostra é apresentada na Figura 20.

Figura 20 – Amostra do mercado de terrenos em Itabira (US\$/m²)



Fonte: elaboração própria.

Com relação às construções, foram identificados 308 casas e 266 apartamentos, que são as duas tipologias mais representativas do mercado.

As variáveis independentes consideradas neste estudo incluíram:

- i)** variáveis de localização: distância do centro, posição do terreno no quarteirão, distância de zonas especiais de interesse social (ZEIS), distância de vias principais, distância de vias secundárias e distância da linha férrea, entre outras;
- ii)** variáveis descritivas do mercado imobiliário: valor do imóvel;
- iii)** variáveis descritivas da estrutura urbana e acessibilidade: pavimentação, altitude mínima e máxima do terreno e declividade média do terreno, entre outras;
- iv)** variáveis da base cadastral: frente do terreno para a rua principal, área do terreno, número de frentes, intensidade de ocupação do terreno, terrenos baldios e valor médio do metro quadrado de terreno em vigor, entre outras;
- v)** variáveis de imagens de satélite: grau de consolidação da cidade e densidades.

A maioria das variáveis relacionadas à localização dos imóveis, principalmente as distâncias entre as observações e os pontos de avaliação, foi obtida a partir de análise espacial em ambiente QGIS, utilizando o material cartográfico disponível estruturado para processamento.

As seções seguintes detalham as estimativas efetuadas para o valor dos terrenos e das construções. A estimativa do valor das construções foi baseada nos custos do metro quadrado publicados pelo SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices) para o mês de dezembro de 2020. Paralelamente, a estimativa do valor de construção dos apartamentos se baseou num modelo de regressão múltipla.

7.3 Estimativas dos valores dos terrenos e das construções

As estimativas dos valores de mercado dos terrenos foram baseadas em modelos de avaliação em massa que permitiram a elaboração de um Mapa de Valores Genéricos (MVG) para a área urbana do município. Essas estimativas utilizaram dados cadastrais sobre os imóveis e as suas principais características, e dados de cadastros temáticos que forneceram informações úteis como o zoneamento imposto pelo plano de ordenamento territorial e informações sobre variáveis ambientais.

Os dados alfanuméricos e espaciais da base cadastral incluíam informações sobre áreas, frentes do terreno, área construída, situação do terreno no quarteirão, entre outras. Além disso, com base nas informações cadastrais, foi construído um conjunto de variáveis de localização e valor de área, aplicando técnicas geoespaciais como a KO.

Neste estudo, os dados cadastrais e espaciais foram migrados para um banco de dados *PostgreSQL* implementado em um serviço *Google Cloud*. Os arquivos alfanuméricos e geométricos foram armazenados em bases de dados relacionais para acelerar a análise. A informação do mercado imobiliário foi integrada com as outras bases de dados para facilitar a construção dos modelos de valor de mercado de terrenos e das construções.

Os métodos aplicados para determinar os valores de mercado dos terrenos e das construções incluíram estatísticas descritivas, regressão linear múltipla e técnicas geoestatísticas. A aplicação dessas técnicas demonstrou que é possível fazer avaliações em massa com agilidade e eficácia, mesmo com um número reduzido de variáveis e observações.

Na primeira fase, os valores venais foram comparados com os preços de mercado observados. Isso mostrou que os valores venais dos terrenos estão desatualizados e representam aproximadamente 35% dos preços de oferta de mercado, com dispersão de 33,58%. O PRD foi de 1,0351, ou seja, existe uma tendência regressiva no atual modelo de avaliação venal. Em resumo, existe forte dispersão dos valores de mercado e dos valores venais, especialmente nos decis superiores, o que tem impacto na equidade fiscal e nos montantes cobrados a título do imposto predial.

Antes de proceder à estimativa dos valores de mercado dos terrenos, foram feitas várias análises exploratórias para compreender o comportamento das variáveis independentes e as suas relações. Foram desenvolvidas estatísticas descritivas e análises gráficas, identificando a eventual necessidade de alterações na escala das variáveis e a existência de relações capazes de contribuir para a explicação do comportamento do mercado imobiliário. A análise exploratória da amostra de 1.170 casos possibilitou a identificação de pontos anômalos (*outliers*), restando 960 observações, das quais 397 correspondem a ofertas de mediação imobiliária, e 563 a casos de vendas declaradas para pagamento de imposto de transmissão de bens imóveis (ITBI).

O primeiro modelo foi estimado por meio de uma regressão linear múltipla com dez variáveis independentes. Esse modelo apresentou bom ajuste (R^2 de 0,816), mostrando que é uma boa opção para explicar variações nos valores de mercado dos terrenos. As variáveis independentes apresentaram os sinais esperados, de acordo com a literatura e uma boa qualidade de ajuste medida pela métrica MAPE de 19,39%.

Esse primeiro modelo apresentou uma estrutura de correlação espacial dos resíduos, mostrando que nem todos os efeitos de localização foram captados pelas variáveis independentes. Por esse motivo, a estrutura de dependência espacial dos resíduos foi modelada utilizando métodos geoestatísticos. Concretamente, a técnica de krigagem ordinária (KO) foi aplicada para estimar a superfície de variação dos resíduos constituídos por valores aleatórios e de localização. De fato, os valores estimados podem ser utilizados como variáveis de localização em um novo modelo de regressão ou adicionados aos valores estimados pelo primeiro modelo de regressão.

Um novo modelo de regressão foi então processado, utilizando doze variáveis independentes (veja o Quadro 21). Esse fato permitiu melhorar a qualidade dos modelos, como se pode verificar pelo coeficiente de determinação R^2 , que passou de 0,81 para 0,92. As variáveis independentes apresentam os sinais esperados e são compatíveis com os resultados encontrados na literatura. O MAPE desse modelo foi de 13,41% e mostrou clara melhoria em relação ao modelo anterior.

Quadro 21 – Modelo de regressão múltipla para o terreno em Itabira

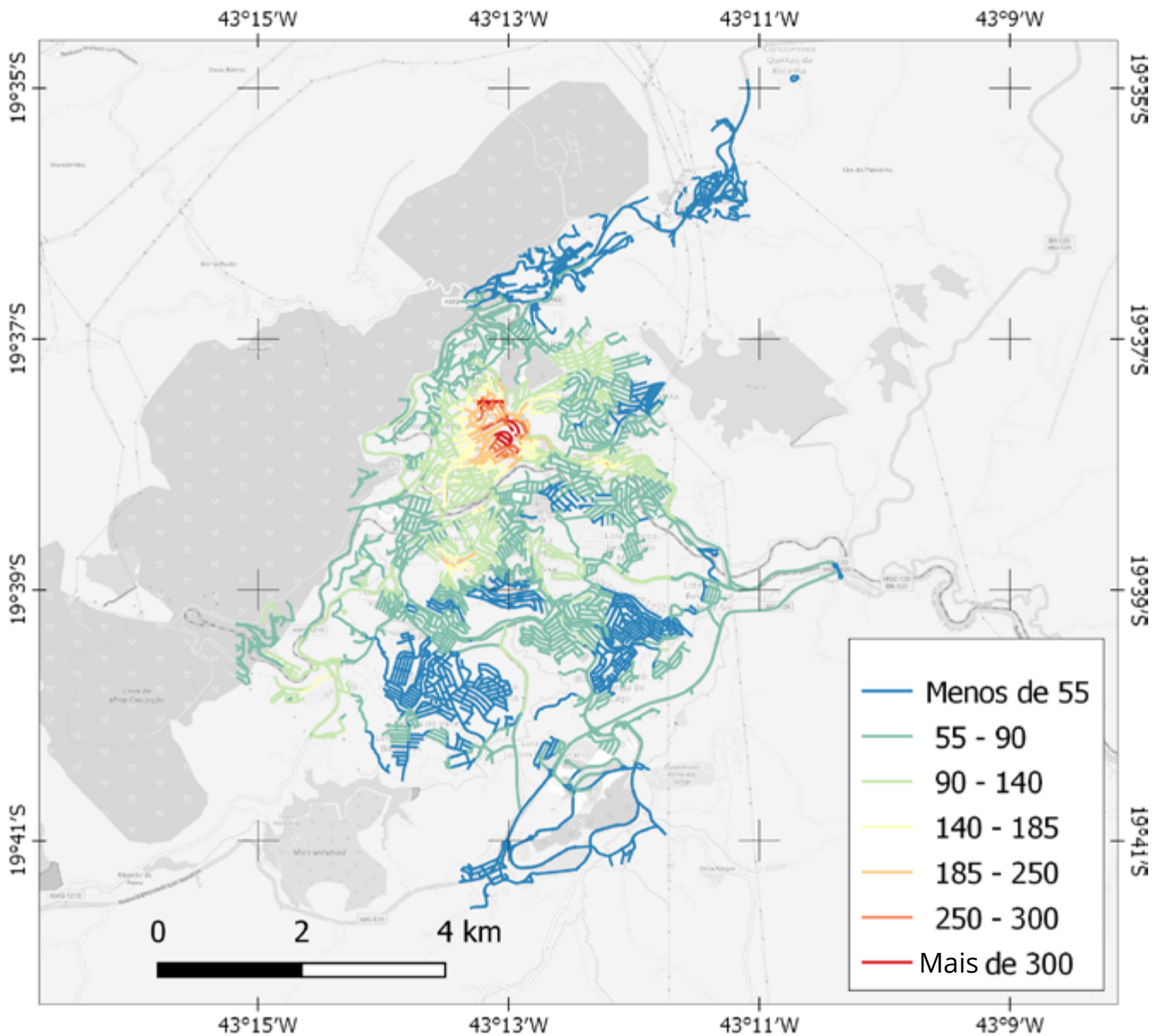
Variáveis	Descrição das variáveis	Coeficientes	t Student	Sig.	VIF
(Constante)		2,733	14,737	0,000	
LNArea	Logaritmo da superfície do terreno	0,922	51,514	0,000	1,835
RESKri_26	Área de superfície dos resíduos	1,255	36,486	0,000	1,016
renda	Rendimento médio do agregado familiar	0,398	16,744	0,000	1,239
ddce2	Distância do centro	-0,001	-14,223	0,000	1,379
TV1	Vias principais	0,274	12,199	0,000	1,176
ddlf	Distância até a linha férrea	-0,001	-9,709	0,000	1,292
frag	Área urbana compacta	0,345	8,223	0,000	1,187
elastic	Elasticidade (de compra ou venda)	0,143	8,033	0,000	2,411
decmed	Declive médio	-0,006	-5,609	0,000	1,131
ano	Ano do evento de mercado	-0,063	-3,691	0,000	2,274
zeis	Zona especial de interesse social	0,164	3,282	0,001	1,046
LNTestada	Dimensão da frente do terreno	0,044	2,161	0,031	1,679

Fonte: elaboração própria.

Os resíduos foram analisados verificando se os pressupostos da regressão foram respeitados. Avaliou-se também se o modelo pode ser aplicado a todo o conjunto de dados cadastrais, concluindo-se que isso é possível. Posteriormente, foram calculados os valores do metro quadrado do terreno para um terreno típico de 360 m² e 12 m de frente. Com base nessa informação, foi produzido o Mapa de Valores Genéricos (MVG).

A Figura 21 mostra a representação cartográfica do MVG, indicando que o setor centro-norte da cidade apresenta a maior valorização imobiliária, devido à elevada concentração de serviços e à elevada densidade de ocupação. Dentro do tecido urbano, os condomínios horizontais fechados tendem a apresentar valores de terreno mais elevados, mesmo em localizações mais afastadas da zona de maior valor da cidade.

Figura 21 – Valor do metro quadrado de terreno estimado em US\$ em Itabira



Fonte: elaboração própria.

A estimativa dos valores de construção (exceto para unidades localizadas em edifícios) foi feita por meio de uma equação que considera o custo de referência fornecido pelo SINAPI e um ajuste por tipo e padrão de construção. O custo geral de referência divulgado pelo SINAPI, no mês de dezembro de 2020, foi de R\$ 1.218,52 por metro quadrado em média. O Quadro 22 apresenta os índices de reajuste definidos por tipo e padrão de construções.

Quadro 22 – Índices de reajuste por tipo e padrão de construções

Tipo	Índices por tipo e padrão				
	Alto	Médio-alto	Médio	Médio-baixo	Baixo
Casas	1,5173	1,3596	0,8969	0,6766	0,5854
Apartamentos	1,5173	1,3596	0,8969	0,6766	0,5854
Barracão	0,4580	0,4090	0,3135	0,1910	0,0840
Lojas	1,5173	1,3596	0,8969	0,6766	0,5854
Escritórios	1,5173	1,3596	0,8969	0,6766	0,5854
Galpões	0,9160	0,8179	0,6270	0,3817	0,0840
Garagens	0,9160	0,8179	0,6270	0,3817	0,0840
Terraços	0,9160	0,8179	0,6270	0,3817	0,0840
Depósitos	0,9160	0,8179	0,6270	0,3817	0,0840
Igrejas	0,9160	0,8179	0,6270	0,3817	0,0840
Academias	0,9160	0,8179	0,6270	0,3817	0,0840
Estádios	1,0993	0,9815	0,7524	0,4580	0,0840
Praças de esportes cobertas	0,9160	0,8179	0,6270	0,3817	0,0840
Praças de esportes descobertas	0,4580	0,4090	0,3135	0,1910	0,0840
Piscinas	0,9160	0,8179	0,6270	0,3817	0,0840

Fonte: elaboração própria.

Os valores dos apartamentos foram estimados por meio de uma equação de regressão múltipla construída especificamente para o efeito. O modelo utilizou como variáveis independentes a área construída, as normas de construção e o estado de conservação e teve um bom desempenho com R^2 de 0,916 e MAPE de 12,94%.

Com base nas estimativas do valor das construções e dos terrenos, foi feita uma comparação entre os resultados da avaliação em massa e os valores venais. O Quadro 23 apresenta os principais resultados, indicando que a taxa de avaliação total é de 44,25%, o que significa que os valores venais são inferiores ao valor de mercado em mais da metade. Isso leva a uma perda considerável de receita para o governo municipal de Itabira.

Quadro 23 – Valor dos imóveis em Itabira

Modelo	Uso	Avaliação venal		Valor de mercado		Taxa de valorização
		Em R\$	Em US\$	Em R\$	Em US\$	
Evolutivo	Baldio	790.081.642,38	152.313.703,42	1.410.626.439,75	271.943.715,25	56,01%
	Construído	3.186.789.359,93	614.356.369,51	6.886.232.775,56	1.327.543.332,73	46,28%
Comparação	Construído	444.309.958,13	85.655.065,96	1.694.519.227,60	326.673.200,88	26,22%
Total		4.421.180.960,44	852.325.138,89	9.991.378.442,91	1.926.160.248,86	44,25%

Fonte: elaboração própria.

7.4 Estimativa do potencial do imposto predial

O potencial do imposto predial em Itabira foi determinado por meio de uma simulação baseada no atual regulamento tributário do município, segundo o qual as alíquotas eram de 0,4% para imóveis residenciais, 0,6% para imóveis não residenciais e 0,8% para terrenos baldios.

Ao analisar a base cadastral no ambiente SIG, verificou-se que um certo número de imóveis não estava geograficamente conectado aos trechos (eixos) aos quais foram aplicados os valores MVG. Isso impossibilitava a atualização dos valores venais. Nesse contexto, a base cadastral útil para a análise do impacto da utilização dos valores de mercado na atualização do imposto predial foi reduzida a 48.168 unidades (88,72% do total).

O Quadro 24 apresenta os valores faturados do imposto predial no ano de 2020 e projetados a partir dos valores venais atualizados com base em informações de mercado. Os dados indicam que, se os valores de mercado fossem utilizados como base para a cobrança do imposto predial, este poderia aumentar até 175%. O aumento percentual da quota-parte dos terrenos (terrenos baldios) seria de 123%, enquanto a quota-parte do valor da propriedade atribuível às construções poderia aumentar 195%.

Quadro 24 – Impacto da atualização do imposto predial em Itabira

Situação	Unidades	Atual R\$	Atual US\$	Potencial R\$	Potencial US\$	Impacto
Baldios	9.221	5.063.141	976.083	11.285.011	2.175.549	123%
Construídos	38.947	13.088.645	2.523.258	38.694.979	7.459.704	195%
Total	48.168	18.151.787	3.499.342	49.979.991	9.635.254	175%

Fonte: elaboração própria.

7.5 Conclusões e lições aprendidas

Os resultados alcançados em Itabira demonstram o potencial dos métodos de avaliação em massa para atualizar os valores venais e melhorar a cobrança do imposto predial. Além disso, é evidente a importância de dispor de observatórios do mercado imobiliário para assegurar a atualização contínua dos valores venais. Por último, pode-se afirmar que os procedimentos de atualização dos valores dos imóveis com base em informações de mercado não só contribuem para aumentar a arrecadação municipal, como também contribuem para haver mais equidade fiscal.




CAPÍTULO 8
**AVALIAÇÃO EM MASSA E IMPOSTO
PREDIAL EM BENITO JUAREZ,
MÉXICO**

DIEGO ERBA, MARCO AURELIO STUMPF GONZÁLEZ E FABIÁN REYES BUENO



8.1 Introdução

 O município de Benito Juárez está localizado no estado de Quintana Roo, México. Tem população de cerca de 900.000 habitantes, de acordo com o censo de 2020 do Instituto Nacional de Estatística e Geografia. É um centro turístico de classe mundial mais conhecido como Cancún.

O município de Benito Juárez foi incluído neste estudo devido à sua relevância econômica no México. Ainda não dispõe de um sistema de informação geográfica dedicado a atividades cadastrais, nem de um observatório do mercado imobiliário, fatores que limitaram a utilização de algumas técnicas de avaliação em massa.

A Diretoria de Cadastro Municipal, dependente da Tesouraria Municipal, executa todas as tarefas cadastrais, incluindo o registro das características físicas dos bens imóveis nos seus departamentos de Topografia, Avaliação e Cartografia.

A Lei de Finanças do município, na seção III, regula tudo o que se relaciona com o imposto predial (reforma publicada no Diário Oficial do Estado em 27 de dezembro de 2019). O regulamento estipula que o objeto do imposto é a propriedade ou posse das construções permanentes e que a base tributável deve ser escolhida entre o valor venal, o valor do financiamento, o valor declarado pelo contribuinte ou o correspondente à renda presumida, o que for maior. O imposto predial tem fórmulas de determinação muito simples: para os imóveis urbanos e suburbanos baldios, a taxa é de 6,2 por mil, enquanto para os terrenos com construções ou em construção, independentemente de serem ou não habitacionais, a taxa é de 2,45 por mil. A Lei de Receita para o Exercício Fiscal de 2020 estipulou uma arrecadação do imposto predial de MX\$ 681.770.895, ou seja, pouco mais de 45% da receita total do município.

8.2 Aspectos metodológicos

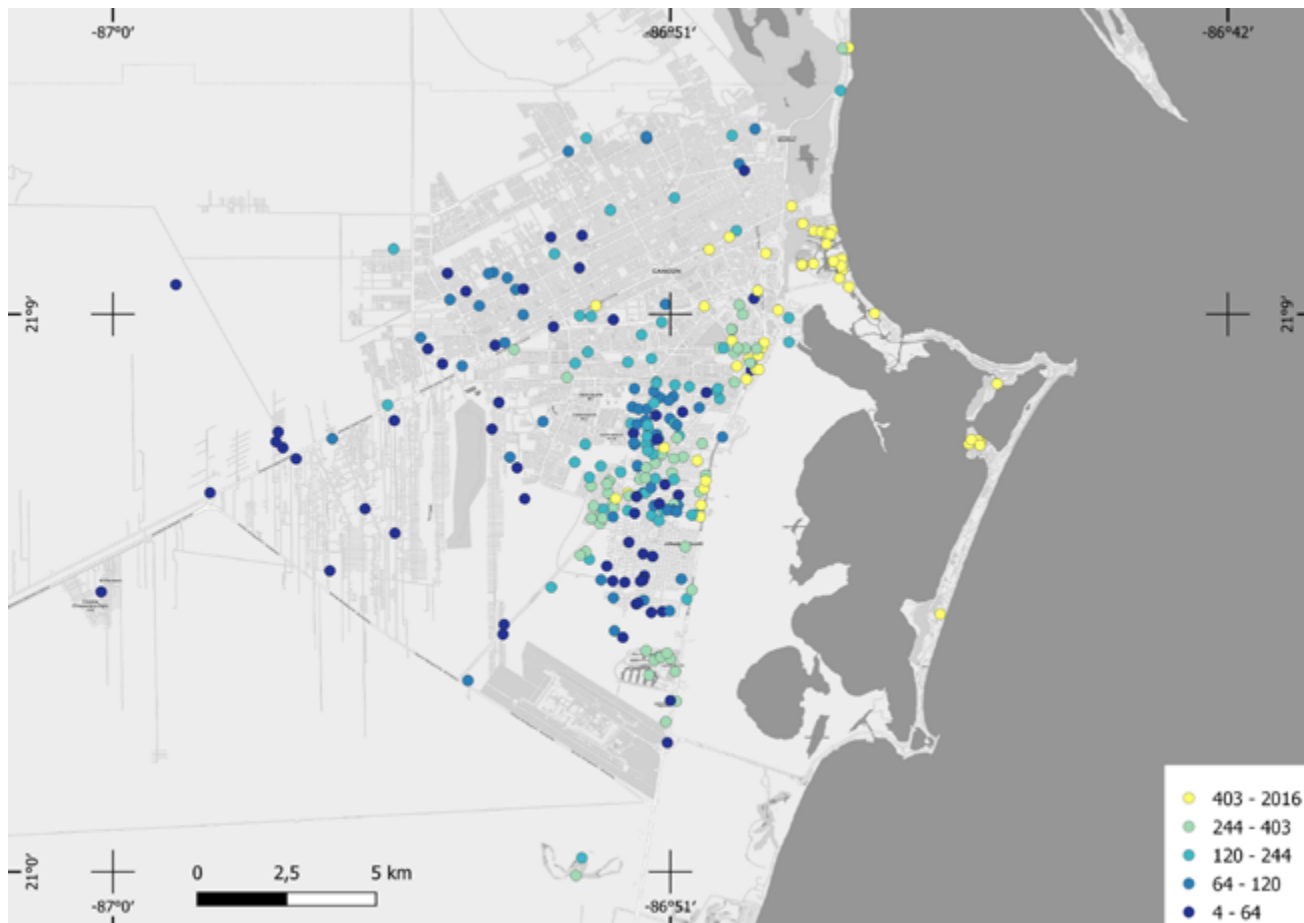
Uma vez que Benito Juárez não dispunha de um observatório do mercado imobiliário, foi necessário criar a estrutura informática e definir uma estratégia de coleta de dados. Por um lado, foram recolhidos os preços de oferta de terrenos baldios e, por outro, foram identificados os valores do metro quadrado de construção nova para diferentes tipos de imóveis residenciais.

A pesquisa sobre o comportamento do mercado foi realizada durante um período de dois meses (julho e agosto de 2020), durante o qual foram coletadas informações disponíveis em websites especializados na comercialização de imóveis. Nem todas as ofertas tinham uma posição geográfica precisa, e, para georreferenciá-las, foi necessário recorrer a ferramentas disponíveis na internet, como mapas da web, serviços de imagens de satélite, fotografias terrestres e vídeos da *Street View*, entre outros.

A Figura 22 representa a distribuição espacial da amostra do mercado de terrenos constituída por 269 observações. Essa amostra, apesar de estatisticamente pequena, foi considerada suficiente para se ter a primeira aproximação da dimensão do desfaseamento entre os valores de mercado e os valores venais e, conseqüentemente, para estimar o potencial fiscal do imposto predial no município.



Figura 22 – Amostra do mercado de terrenos em Benito Juárez (US\$/m²)



Fonte: elaboração própria.

As variáveis geográficas utilizadas para o desenvolvimento da análise espacial foram identificadas e sistematizadas nos seguintes grupos:

- i)** variáveis de localização: distâncias de polos de influência, pontos de valorização máxima, escolas, parques, vias principais e pontos de ônibus, entre outras;
- ii)** variáveis descritivas da estrutura urbana e acessibilidade: perímetros, colônias, municípios, bairros, usos do terreno, tipo de vias (principais e secundárias), rios e córregos, assentamentos informais, conjuntos habitacionais, indústrias, equipamentos urbanos e plano ambiental, entre outros;
- iii)** variáveis da base cadastral: intensidade de ocupação do terreno, zonas geoeconômicas, dimensão média do terreno e valor médio atual do metro quadrado do terreno, entre outras.

Dada a grande heterogeneidade imobiliária existente na cidade, optou-se por concentrar os esforços da atualização nos valores dos imóveis residenciais, considerando as seguintes tipologias presentes no mercado: i) imóvel residencial unifamiliar, ii) imóvel residencial multifamiliar, iii) imóvel residencial multifamiliar de até cinco andares e iv) imóvel



residencial multifamiliar de até quinze andares. Paralelamente, foram considerados os seis tipos de construção estabelecidos no cadastro municipal: precária, de interesse social, econômica, média, residencial e residencial de luxo. Outras categorias de construções foram descartadas, devido à dificuldade de se obter informações sobre elas. Tendo em vista que a grande maioria dos imóveis é de uso residencial, o cálculo do potencial do imposto predial com base nessa amostra torna-se representativo para a cidade.

Os valores atuais do metro quadrado construído para os diferentes tipos de imóveis residenciais foram determinados a partir de índices de construção vigentes no mercado, que levam em conta as características estruturais da construção e o custo da mão de obra. Concretamente, os dados obtidos em publicações especializadas permitiram gerar uma planilha de custos para os diferentes tipos de construção existentes na base cadastral, cujos valores do metro quadrado no mercado são apresentados no Quadro 25.

Quadro 25 – Custos do metro quadrado de construção por tipo de imóvel residencial em Benito Juárez

Tipo de imóvel residencial	Unifamiliar (MX\$)	Multifamiliar (MX\$)
Precária	1.909,10	ND
Interesse social	3.773,46	4.400,20
Econômica	4.279,01	5.004,33
Média	6.247,18	5.301,45
Residencial	7.408,88	8.380,77
Residencial luxo	8.848,40	12.524,26

Fonte: elaboração própria.

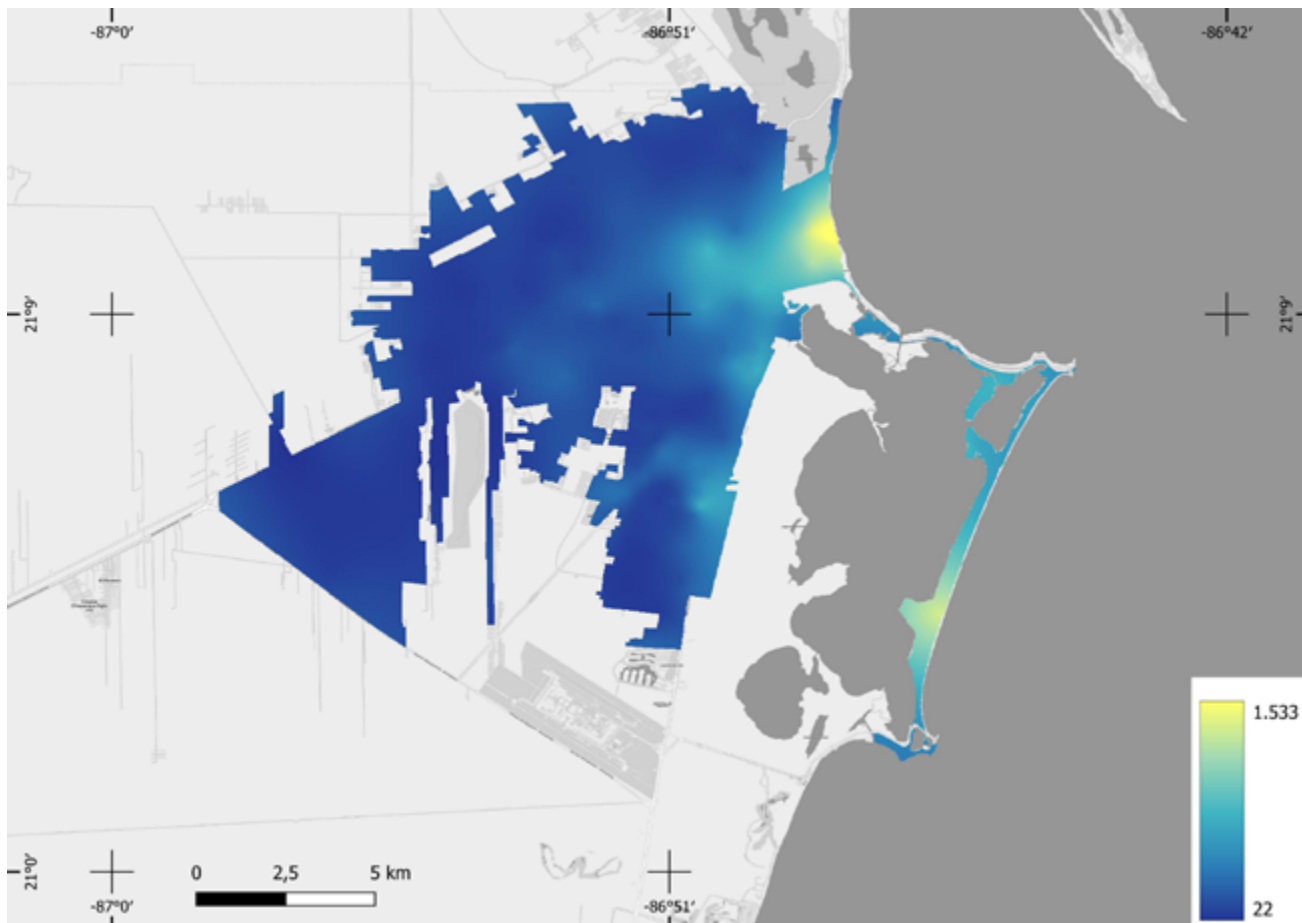
8.3 Estimativas dos valores dos terrenos e das construções

A estimativa dos valores dos terrenos em Benito Juárez foi feita por meio da aplicação de três métodos: i) geoestatístico; ii) paramétrico; e iii) inteligência artificial. Além disso, foi desenvolvido um método que permite inferir valores de mercado com base em indicadores de qualidade do bairro, avaliados sob as variáveis mais relevantes para os atores do mercado imobiliário.

Inicialmente, o valor do metro quadrado do terreno foi estimado por meio da técnica geoestatística de krigagem ordinária (KO). Os algoritmos necessários para executar a KO foram programados em ambiente R, no qual também foi implementada a técnica de verificação cruzada *Leave-One-Out Cross Validation* (LOOCV), escolhida devido à quantidade limitada de dados disponíveis. A LOOCV toma uma observação como teste e utiliza todos os dados restantes para treinar o algoritmo, efetuando assim tantas iterações quantas forem as observações e analisando o erro para cada dado de teste. Esse método permitiu gerar um Modelo Digital de Valores (MDV) que representa a variação contínua do valor do metro quadrado do terreno ao longo do espaço urbano (veja a Figura 23).



Figura 23 – Valor do metro quadrado de terreno estimado em US\$ em Benito Juarez

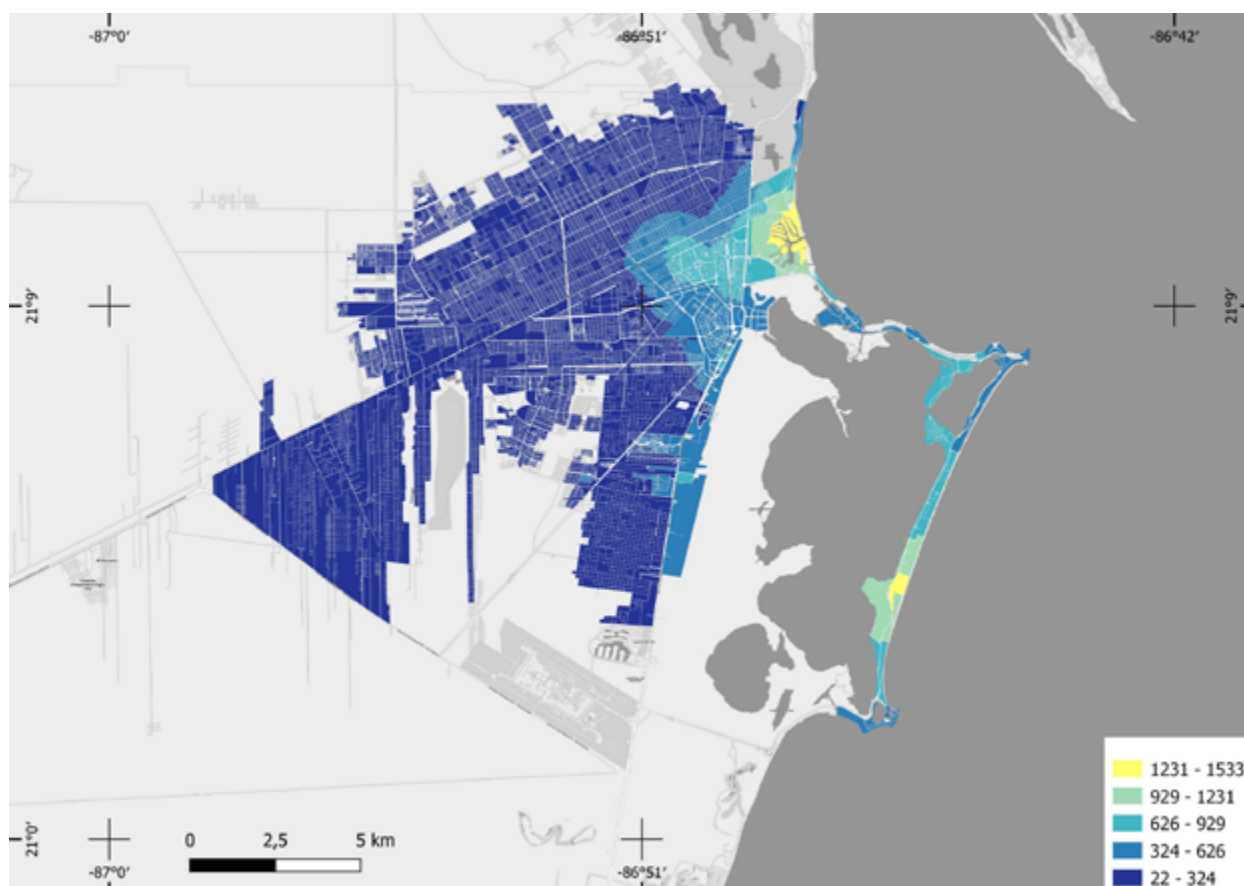


Fonte: elaboração própria.

A continuidade do valor do metro quadrado de terreno foi discretizada no nível do quarteirão para que os novos valores pudessem ser transferidos para a base de dados cadastral. A Figura 24 mostra a forte influência da proximidade do mar nos valores dos terrenos.



Figura 24 – Valor do metro quadrado de terreno estimado em US\$ por quarteirão em Benito Juárez



Fonte: elaboração própria.

Como segunda alternativa, aplicou-se a técnica paramétrica de regressão linear múltipla. Dada a natureza experimental deste estudo, decidiu-se desenvolver um índice de qualidade de vizinhança para incorporá-lo como uma variável independente no modelo RLM.

A elaboração desse índice foi feita no nível da rua usando a plataforma *Google Street View*, que permitiu avaliar diversos elementos visuais localizados num raio de 50 m das observações da amostra. Os elementos observados incluíram a qualidade das construções, seu estado geral, os materiais de pavimentação das ruas e o seu estado de conservação, a largura das ruas, os equipamentos existentes, os elementos de poluição visual e o aspecto de segurança.

Para a estimativa do valor do terreno, foi desenvolvido um modelo RLM de preços hedônicos, utilizando o preço de oferta do terreno como variável dependente, e as distâncias das observações aos pontos de valorização, as áreas dos terrenos e o índice de vizinhança como variáveis independentes. A incorporação desta última variável melhorou a qualidade do modelo (o coeficiente de determinação R^2 aumentou de 0,584 para 0,837), mostrando que considerar a qualidade da vizinhança é uma estratégia válida para melhorar os modelos de avaliação em massa de terrenos. No entanto, no caso de Benito Juárez, essa opção revelou-se difícil de aplicar a toda a cidade, o que tornou necessário explorar um terceiro tipo de modelos baseados na inteligência artificial.



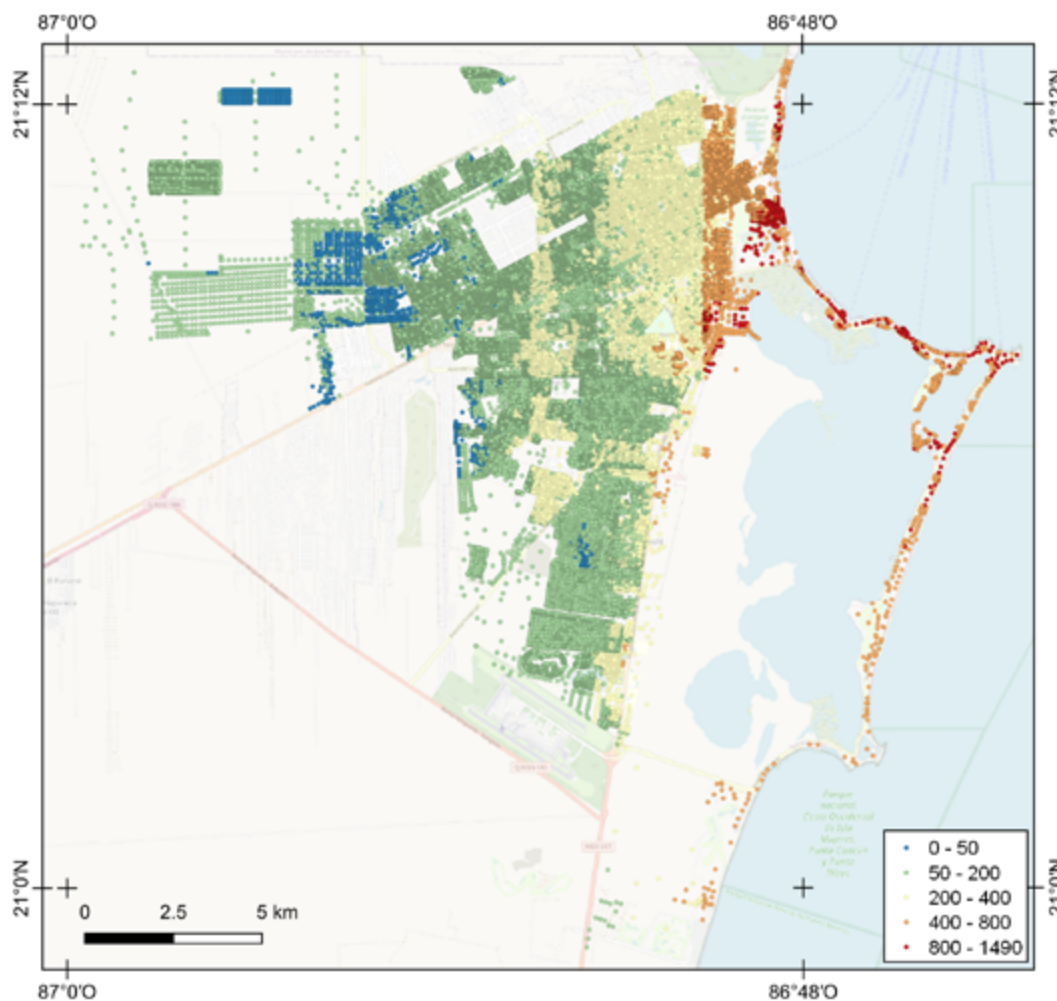
Para a estimativa do valor dos terrenos por métodos de inteligência artificial, foi utilizada a técnica da árvore de decisão para as 269 observações da amostra. Especificamente, foram aplicados os algoritmos M5P, MARS e GBM, cujas medidas de desempenho indicam que a melhor opção foi o algoritmo M5P (veja o Quadro 26). A Figura 25, mostra a representação do valor do terreno de acordo com o modelo M5P.

Quadro 26 – Medidas de desempenho dos modelos de valor do terreno em Benito Juárez

Algoritmo	CD	PRD	MAPE
M5P	79,8	1,72	78,7
MARS	93,1	1,2666	88,9
GBM	86,3	1,63	85,1

Fonte: elaboração própria.

Figura 25 – Valor do metro quadrado de terreno estimado em US\$ usando M5P em Benito Juárez



Fonte: elaboração própria.



O valor total de terreno estimado utilizando a técnica KO e o algoritmo M5P apresenta diferenças que, para o tamanho da amostra utilizada neste estudo, eram previsíveis. Além disso, ao comparar os valores estimados por KO com os valores venais, é evidente que ambos refletem as mesmas variações de valor em todos os estratos. Esse fato, aliado à simplicidade de entendimento e ao potencial de replicabilidade da técnica de KO, levou à sua adoção na determinação de valores dos terrenos dos imóveis.

A perspectiva dissociativa suscitada pela legislação foi utilizada para atualizar o valor das construções. O valor total das construções em terrenos destinados a imóveis residenciais foi calculado multiplicando a área registrada no cadastro pelos custos de construção por metro quadrado no mercado apresentados no Quadro 27.

O valor total dos imóveis analisados no caso de Benito Juárez foi determinado pela soma do valor do terreno mais o valor das construções destinadas a imóveis residenciais. O Quadro 29 apresenta as avaliações dos imóveis e mostra que os terrenos estão mais desatualizados do que as construções.

Quadro 27 – Valor dos imóveis estudados, por componente, em Benito Juárez

Componente	Avaliação venal		Valor de mercado		Taxa de avaliação %
	MX\$	US\$	MX\$	US\$	
Terreno	7.274.754.205	382.881.800	79.221.534.362	4.169.554.440	9,18%
Construção	12.969.114.349	682.584.966	31.309.472.984	1.647.866.999	41,42%
Imóvel	20.243.868.554	1.065.466.766	110.531.006.752	5.817.421.439	18,31%

Fonte: elaboração própria.

8.4 Estimativa do potencial do imposto predial

O imposto predial é determinado com base nas seguintes alíquotas: 6,2 por mil, para os terrenos baldios, e 2,45 por mil, para os terrenos com construções ou em construção, independentemente de serem habitacionais ou não.

A estimativa do faturamento potencial do imposto predial decorrente da aplicação da atual regulamentação aos novos valores de mercado apresenta valores significativamente superiores aos atuais. O Quadro 28 mostra que o imposto predial total determinado pelos valores de mercado poderia atingir MX\$ 221.470.888 (US\$ 11.656.363), ou seja, quase quatro vezes mais do que o que é cobrado atualmente.

**Quadro 28** – Impacto da atualização do imposto predial em Benito Juárez*

Moeda	Atual	Potencial	Impacto
MX\$	57.363.271	221.470.888	386%
US\$	3.019.120	11.656.363	

* Referente ao grupo de imóveis estudados.

Fonte: elaboração própria.

8.5 Conclusões e lições aprendidas

A inexistência de um observatório e a falta de um sistema de informação geográfica capaz de gerir toda a base cadastral para efeitos de reavaliação limitaram inicialmente o estudo, mas não impediram o seu desenvolvimento. Foi demonstrado que é possível estruturar as duas ferramentas e criar as condições para aplicar diferentes métodos de avaliação, fazer análises e obter resultados concretos sob diferentes perspectivas.

A aplicação bem-sucedida dos métodos paramétricos de avaliação em massa, no município de Benito Juárez, mostra que essas técnicas permitem a atualização rápida e eficaz dos valores imobiliários. Embora as medidas de desempenho não tenham atingido padrões internacionais, o mapa de valores gerado constitui o primeiro passo adiante que será aperfeiçoado, à medida que o observatório evoluir em qualidade e quantidade de observações, e a partir da consolidação de um SIG que permita a administração da base multifinalitária do cadastro da cidade.

Mesmo com essas condições, foram estimados valores de mercado, cuja aplicação resultaria no aumento substancial da receita tributária imobiliária. De fato, as estimativas indicam que, se os valores venais fossem ajustados com base em informações de mercado, o impacto na tributação seria considerável. Por conseguinte, é do interesse do município de Benito Juárez modernizar os seus métodos de avaliação utilizando as técnicas propostas.



CAPÍTULO 9

SÍNTESE DOS RESULTADOS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

HUÁSCAR EGUINO E DIEGO ERBA

9.1 Síntese dos resultados

As pesquisas feitas no âmbito deste estudo foram desenvolvidas em diferentes contextos urbanos. Os resultados obtidos indicam que as técnicas de avaliação em massa são suficientemente potentes e flexíveis para serem úteis em cidades muito diferentes, quer devido ao nível de desenvolvimento dos seus observatórios imobiliários, quer porque têm diferentes níveis de capacidade técnica e de desenvolvimento geotecnológico. Da mesma forma, os estudos de caso mostram que o acesso à informação on-line (dados abertos ou mineração de dados) facilita a construção desse tipo de modelos, gerando resultados que se caracterizam pela elevada qualidade das estimativas e tornando a atualização dos valores venais cada vez mais precisa, confiável e rápida.

Por sua vez, os estudos de caso permitiram concluir que os métodos de avaliação em massa podem ser utilizados com sucesso na atualização dos valores venais e na estimativa do potencial fiscal do imposto predial. Outra vantagem notável desses métodos é o fato de constituírem uma opção para os governos subnacionais interessados em melhorar as suas próprias receitas sem incorrerem em grandes custos de atualização cadastral ou realizarem reformas difíceis da legislação fiscal local.

O Quadro 29 mostra os aumentos do valor dos imóveis nas cidades estudadas. Em todos os casos, verifica-se que os valores estimados pelos métodos de avaliação em massa são substancialmente mais elevados do que os registrados nos sistemas de cadastro. Essa diferença é ainda mais evidente nas cidades que não têm observatórios do mercado imobiliário, o que confirma a importância da existência desse instrumento.

Quadro 29 – Aumento dos valores dos imóveis estudados

Cidade	Valores (US\$)		Aumento	
	Atuais	Estimados	em US\$	%
Fortaleza	17.320.269.329	42.510.326.129	25.190.029.801	145
Córdoba	39.985.000.000	55.839.000.000	15.854.000.000	40
Manizales	373.711.001	1.741.567.506	1.367.856.505	366
Corrientes	1.485.000.000	10.663.000.000	9.178.000.000	618
Itabira	2.382.329	5.002.150	2.619.820	110
Benito Juárez	1.065.466.766	5.817.421.439	3.525.405.298	331

Fonte: Eguino e Erba, 2020.

Os resultados mostram – mais uma vez – a importância dos observatórios do mercado imobiliário, visto que geram os dados necessários para estimar e atualizar os valores dos imóveis. Por exemplo, a cidade de Córdoba tem uma diferença menor em relação ao potencial tributário, porque tem um observatório de valores consolidado e de ampla cobertura das transações imobiliárias e porque os valores têm sido atualizados com frequência

nos últimos anos. Por sua vez, Fortaleza, que tem o observatório mais desenvolvido de todos, tem uma diferença intermediária, porque os valores não puderam ser ajustados aos valores de mercado por razões políticas. As outras cidades não tinham observatórios, resultando em grandes diferenças entre os impostos prediais emitidos e os potenciais.

O Quadro 30 mostra o elevado potencial tributário do imposto predial em todos os casos. Essas estimativas não incluem alterações ou modificações na atual política tributária ou no número de imóveis registrados nas bases cadastrais, o que levaria a um potencial de arrecadação ainda maior. A adoção de valores de mercado na determinação do imposto predial poderá causar resistências por parte dos contribuintes e dos políticos locais, razão pela qual recomenda-se que a sua aplicação seja feita de forma gradual até que a diferença entre os valores venais e de mercado seja eliminada.

Quadro 30 – Potencial de arrecadação do imposto predial nas cidades estudadas

Cidade	Faturamento atual (US\$)	Emissão potencial (US\$)	Incrementos	
			(US\$)	%
Fortaleza	147.520.240*	199.240.987 Δ	101.988.615	105
		229.032.258 $\Delta\Delta$	131.779.886	133
Córdoba	109.461.290	158.240.517	48.779.227	45
Manizales**	2.271.686	11.150.080	8.878.394	391
Corrientes	7.413.067	40.811.487	33.398.420	450
Itabira	4.856.903*	10.197.984	5.341.081	110
Benito Juárez***	3.019.120	11.656.363	8.637.243	386

* Valor para o ano fiscal de 2018.

** Estimado para 16.910 imóveis (de 131.642 imóveis urbanos) destinados a residências unifamiliares de um andar. Valor do imóvel para determinar o potencial do imposto predial em 70% da estimativa.

*** Estimados para 86.471 imóveis (de 572.973) destinados a residências unifamiliares. Valor patrimonial para determinar o potencial de imposto predial a 70% da estimativa.

Δ Aumento da relação IPTU/PIB de 0,76% para 1,11% (marcação comparativa do imposto em relação a outras capitais do Nordeste brasileiro com PIB inferior ao de Fortaleza, aplicada a 88% da base cadastral).

$\Delta\Delta$ Aumento estimado com aplicação de 70% do valor de mercado estimado como base de cálculo do imposto, aplicado a 88% da base cadastral.

Fonte: elaboração própria.

9.2 Conclusões e recomendações

Este estudo permite tirar algumas conclusões e recomendações sobre a utilização de métodos de avaliação em massa para melhorar as receitas fiscais subnacionais, abrangendo três áreas: i) condições institucionais para a sua aplicação; ii) benefícios e vantagens; e iii) riscos e oportunidades.

i) Condições institucionais para a utilização de métodos de avaliação em massa

A existência e o nível de desenvolvimento de observatórios do mercado imobiliário é a principal condição para a aplicação de métodos de avaliação em massa. De fato, nas cidades com observatórios mais antigos e mais desenvolvidos, as diferenças entre os valores de mercado dos imóveis e os valores venais são menores. O estudo indica também que, nas cidades sem observatórios, é sempre possível recorrer a técnicas *ad hoc* de coleta de dados imobiliários, o que permite estimar valores de mercado, embora os resultados obtidos possam ter níveis de precisão inferiores.

A existência de uma equipe técnica com capacidade para a aplicação dos métodos utilizados é outra condição importante, dado que essas capacidades são difíceis de adquirir. Nesse sentido, uma alternativa para os governos subnacionais é recorrer a acordos de colaboração com centros acadêmicos e/ou de pesquisas locais, para gerar as capacidades técnicas essenciais para a aplicação dos métodos de avaliação em massa.

No entanto, nenhuma das condições acima mencionadas (dispor de observatórios ou de equipes técnicas capacitadas) é suficiente sem o apoio institucional e político das autoridades locais para adotar novos modelos de avaliação imobiliária. Nesse sentido, as estimativas do potencial de tributação do imposto predial são essenciais para que as autoridades responsáveis avaliem corretamente os benefícios e os custos do ajustamento dos valores venais por meio da informação de mercado e tomem as melhores decisões para o desenvolvimento dos respectivos governos.

ii) Vantagens e benefícios esperados da avaliação em massa

Do ponto de vista dos governos subnacionais, os principais benefícios da aplicação de métodos de avaliação em massa são a atualização ágil, transparente e equitativa dos valores venais, o que, por sua vez, se traduz em menor resistência dos cidadãos à sua aplicação no imposto predial.

Outro benefício importante é o fato de a avaliação em massa fornecer informações sobre o capital imobiliário da cidade e o potencial fiscal associado. Essa informação é crucial para que os governos subnacionais melhorem as suas políticas de desenvolvimento urbano (aproveitando melhor as áreas com maior potencial de valorização), modernizem as suas políticas fiscais e tirem partido do potencial fiscal para melhorar o seu desempenho financeiro, tendo acesso a novas formas de financiamento, como contribuições para melhorias ou outras formas de captação de mais-valias.

Do ponto de vista das administrações fiscais, se compararmos os métodos de avaliação em massa com as técnicas tradicionais, geralmente baseadas na coleta de dados sobre as características dos imóveis, verificou-se que os primeiros oferecem vantagens consideráveis em termos de custos e eficácia. Com efeito, os métodos de avaliação em massa são mais ágeis, menos onerosos e geram informações mais transparentes e confiáveis. Além disso, a utilização dos valores de mercado dos bens imóveis permite melhor articulação entre os sistemas de cadastro e de administração do imposto predial (Eguino e Erba, 2020).

Outra vantagem para as administrações fiscais é o fato de a aplicação dos métodos de avaliação em massa não exigir modificações ou aprovações de novos instrumentos regulamentares e legais, que constituem sempre um obstáculo para as autarquias locais. Em nenhum dos casos estudados foram observados impedimentos legais à sua aplicação, porque esses métodos já eram implicitamente aceitos pelos instrumentos legais que regem o imposto predial.

Do ponto de vista do contribuinte, as principais vantagens são a transparência na determinação do valor do seu patrimônio e mais equidade fiscal. Em todos os casos, é evidente que a aplicação de métodos de avaliação em massa aumenta a progressividade desse imposto, uma vez que os imóveis com maior diferença entre os valores de mercado e os valores venais são, por sua vez, os situados nos decis mais elevados da distribuição.

iii) Riscos e oportunidades da aplicação

O principal risco da aplicação de métodos de avaliação, incluindo os métodos de avaliação em massa, é que os seus resultados sejam utilizados para ajustar os impostos prediais, sem que haja tempo suficiente para que os contribuintes tomem conhecimento das alterações, compreendam que estas resultarão em mais equidade fiscal e possam programar os pagamentos correspondentes de acordo com o seu orçamento. Em outras palavras, existe o risco de que o ajuste dos valores venais seja feito sem suficiente gradualismo e sem fornecer a informação necessária para garantir que os contribuintes não se oponham aos ajustes do valor de seus imóveis.

Por último, a utilização de valores de mercado na determinação do imposto predial cria grandes oportunidades para os governos subnacionais: a) fornece os instrumentos para gerar um fluxo muito importante de receitas fiscais para a localidade; b) elimina a discricionariedade das técnicas tradicionais de avaliação venal que nem sempre utilizam informações de mercado; e c) cria as condições para o desenvolvimento de novas modalidades de financiamento urbano, como instrumentos de captura de mais-valias, financiamento baseado em incrementos fiscais ou obrigações municipais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Kader, K. e R. De Mooij. 2020. Tax policy and inclusive growth, IMF Working Paper, Washington DC.
- Alfaro-Navarro, J. L., E. L. Cano, E. Alfaro-Cortés, N. García, M. Gámez e B. Larraz. 2020. A fully automated adjustment of ensemble methods in machine learning for modeling complex real estate systems. *Complexity*, 2020, vol. 12. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2020/5287263>.
- Arribas, I., F. García, F. Guijarro, J. Oliver e R. Tamošiūnienė. 2016. Mass appraisal of residential real estate using multilevel modelling. *International Journal of Strategic Property Management*, vol. 20(1): 77–87. Disponível em: <https://doi.org/10.3846/1648715X.2015.1134702>.
- Audi, R. 1999. *The Cambridge Dictionary of Philosophy*, Cambridge University Press.
- Bencure, J. C., N. K. Tripathi, H. Miyazaki, S. Ninsawat e S. M. Kim. 2019. Development of an innovative land valuation model (iLVM) for mass appraisal application in suburban areas using AHP: an integration of theoretical and practical approaches. *Sustainability*, vol. 11(13). Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11133731>.
- Bonet, J., A. Muñoz e C. Pineda. 2014. El potencial oculto: factores determinantes y oportunidades del impuesto a la propiedad inmobiliaria en América Latina, Banco Interamericano de Desarrollo, Washington D.C.
- Breiman, L. 2001. Random Forests. *Machine Learning*, vol. 45: 5–32. Kluwer Academic Publishers.
- Bullano, M. E. 2020. El impacto de las variaciones del tipo de cambio sobre el valor de la tierra urbana. ¿El mercado inmobiliario está totalmente dolarizado? Asociación Argentina de Economía Política.
- Carranza, J. P. *et al.* 2018. Random Forest como técnica de valuación masiva del valor del suelo urbano: una aplicación para la ciudad de Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Congreso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial. Anais[...] Florianópolis: UFSC.
- Cerino, R. *et al.* 2020. Homogeneización del valor de la tierra urbana mediante técnicas de econometría espacial en valuaciones masivas automatizadas. Repositorio digital UNC.
- Chen, T., C. Guestrin. 2016. XGBoost: a scalable tree boosting system. Conference on knowledge discovery and data mining, San Francisco.
- Cohen, J. P., C. C. Coughlin e J. Zabel. 2020. Time-geographically weighted regressions and residential property value assessment. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, vol. 60(1): 134–154. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11146-019-09718-8>.
- D'Amato, M. e T. J. Kauko. 2017. Advances in automated valuation modeling: AVM after the non-agency mortgage crisis. Springer. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-49746-4>.
- Davy, B. 2012. Land Policy: Planning and the spatial consequences of property. Ashgate.
- De Cesare, C. 2016. Sistemas de impuesto predial en América Latina y el Caribe, Lincoln Institute of Land Policy. Cambridge, Massachussetts.
- Díaz Viera, M. A. 2002. Geoestadística aplicada. Instituto de Geofísica, UNAM e Instituto de Geofísica y Astronomía, CITMA, Cuba.

- Dimopoulos, T. e A. Moulas. 2016. A proposal of a mass appraisal system in Greece with cama system: evaluating GWR and MRA techniques in Thessaloniki municipality. *Open Geosciences*, vol. 8: 675. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/geo-2016-0064>.
- Doumpos, M., D. Papastamos, D. Andritsos e C. Zopounidis. 2020. Developing automated valuation models for estimating property values: a comparison of global and locally weighted approaches. *Annals of Operations Research*. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03556-1>.
- Eguino, H., D. Erba. 2020. Catastro, valoración inmobiliaria y tributación municipal: experiencias para mejorar su articulación y efectividad. Banco Interamericano de Desarrollo. Disponível em: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18235/0002437>.
- Eguino, H., S. Schachtele. 2020. A playground for tax compliance? Testing fiscal exchange in an RCT in Argentina, IDB Working paper series, Washington DC.
- Emery, X. 2009. The kriging update equations and their application to the selection of neighboring data. *Computational Geosciences*, vol. 13(3): 269-280.
- Ferreira de Oliveira, A. A., V. Bandeira, R. Sandro, V. A. Silva Carlyson. 2018. Estimativa de desempenho de métodos de aprendizado de máquina baseados em árvores de decisão frente à regressão múltipla na valoração do terreno no município de Fortaleza, Ceará. Simpósio Brasileiro da Sociedade Brasileira de Engenharia de Avaliações, 8., 2018, João Pessoa. João Pessoa: Sobrea, 2018.
- Ferreira de Oliveira, A. A. 2020. Avaliação em massa com modelos de aprendizado de máquina aplicado aos terrenos urbanos do município de Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Fotheringham, A. S., C. Brunsdon e M. Charlton. 2002. Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships. Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company.
- Hastie, Trevor; R. Tibshirani e J. Friedman. 2008. The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction. 2nd ed. Stanford: Springer. 764 p.
- Hayles, K. 2006. A property valuation model for rural Victoria, school of mathematical and geospatial science. RMIT University. Disponível em: <http://researchbank.rmit.edu.au/eserv/rmit:6265/Hayles.pdf>.
- IBAPE/SP. 2011. Norma para avaliação de imóveis urbanos.
- International Association of Assessing Officers (IAAO). 2017. Standard on mass appraisal of real property.
- International Association of Assessing Officers (IAAO). 2013. Standard on Ratio Studies. International Association of Assessing Officers, Kansas City, United States, 2013. ISBN 978-0-88329-208-2.
- Kelly, R. 2013. Making property tax work, International Center for Public Policy Working Paper, Georgia State University, Atlanta, Georgia.
- Kelly, R., R. White Roland e A. Anand. 2020. Property tax diagnostic manual.
- Matheron, G. 1970. La teoría de las variables regionalizadas y sus aplicaciones. Los cuadernos del Centro de Morfología Matemática de Fontainebleau, fascículo 5.
- McCluskey, W. J., M. McCord, P. T. Davis, M. Haran e D. McIlhatton. 2013. Prediction accuracy in mass appraisal: a comparison of modern approaches. *Journal of Property Research*, vol. 30(4): 239–265. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09599916.2013.781204>.

- Montenegro, M., F. Monzani e M. Piumetto, 2018. Técnicas geoestadísticas aplicadas a la valuación masiva: el caso de la Ciudad de Río Cuarto, provincia de Córdoba, presentado en el 13 Congreso Brasileiro de Catastro Técnico Multifinalitario y Gestión Territorial, COBRAC. 21 al 24 de octubre de 2018, Florianópolis, Brasil.
- Napoli, G., S. Giuffrida, M. R. Trovato e A. Valenti. 2017. Cap Rate as the interpretative variable of the urban real estate capital asset: A comparison of different sub-market definitions in Palermo, Italy. *Buildings*, vol. 7(3).
- OCDE/CGLU. 2022. Informe de síntesis de 2022 del Observatorio Mundial sobre las Finanzas y la Inversión de los Gobiernos Subnacionales, conclusiones principales.
- Piumetto, M., G. García *et al.* 2019. Técnicas algorítmicas y Machine Learning para la Valuación Masiva de la Tierra de la provincia de Córdoba. *Revista de la Facultad de Cs. Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba*.
- Polikar, R. 2006. Ensemble based systems in decision making. *IEEE Circuit Syst. Mag.* Vol. 6: 21-45.
- Prokhorenkova, L., G. Gusev, A. Vorobev, A. V. Dorogush e A. Gulin. CatBoost: unbaised boosting with categorical features, 32 Conference on Neural Information Processing Systems, Montreal, Canadá.
- Reyes-Bueno, F., J. M. García-Samaniego e A. Sánchez-Rodríguez. 2018. Large-scale simultaneous market segment definition and mass appraisal using decision tree learning for fiscal purposes. *Land Use Policy*, Vol. 79: 116-122. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.08.012>.
- Royuela, V. e J. C. Duque. 2013. HouSI: Heuristic for delimitation of housing submarkets and price homogeneous areas. *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 37(1): 59-69.
- Silva, E. e M. Verdinelli. 2000. Proposta de avaliação coletiva de imóveis do tipo apartamento da cidade de Blumenau, SC. In: 4º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 2000, Florianópolis. 4º COBRAC, 2000.
- UN-Habitat. 2022. World Cities Report 2022, Envisaging the future of cities, Nairobi, Kenia.
- Vasconcelos Bandeira, Sandro R. 2019. Regressão espacial e avaliação de terrenos: um estudo de caso para a cidade de Fortaleza-CE. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia, Mestrado Profissional em Economia do Setor Público, da Universidade Federal do Ceará.
- Wang, D., V. J. Li e H. Yu. 2020. Mass appraisal modeling of real estate in urban centers by geographically and temporally weighted regression: A Case Study of Beijing's Core Area. *Land*, Vol. 9(5): 143. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/land9050143>.
- Yilmazer, S. e S. Kocaman. 2020. A mass appraisal assessment study using machine learning based on multiple regression and random forest. *Land Use Policy*, Vol. 99, 104889. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104889>.
- Yoo, S., J. Im. e J. E. Wagner. 2012. Variable selection for hedonic model using machine learning approaches: A case study in Onondaga County, NY. *Landscape and Urban Planning*, Vol. 107(3): 293-306. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.06.009>.

