

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**RAQUEL SANT' ANA**

**MODELAGEM ESTATÍSTICA PARA DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTES DE  
DEPRECIAÇÃO PARA EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS**

**JOINVILLE**  
**2023**

**RAQUEL SANT' ANA**

**MODELAGEM ESTATÍSTICA PARA DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTES DE  
DEPRECIAÇÃO PARA EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS**

Dissertação Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Civil da Universidade do  
Estado de Santa Catarina – UDESC, como  
requisito para obtenção do título de Mestre  
em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dra. Elisa Henning  
Coorientador: Prof. Dr. Norberto Hochheim

**JOINVILLE**

**2023**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da  
Biblioteca Universitária Udesc,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Sant' Ana, Raquel  
MODELAGEM ESTATÍSTICA PARA DETERMINAÇÃO  
DE COEFICIENTES DE DEPRECIAÇÃO PARA  
EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS / Raquel Sant' Ana. -- 2023.  
123 p.

Orientadora: Elisa Henning  
Coorientador: Norberto Hochheim  
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de  
Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa  
de Pós-Graduação , Joinville, 2023.

1. Depreciação de edificações. 2. Avaliação de imóveis. 3.  
Modelagem estatística. 4. Manutenção de edificações. I.  
Henning, Elisa . II. Hochheim, Norberto . III. Universidade do  
Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas,  
Programa de Pós-Graduação . IV. Título.

**RAQUEL SANT' ANA**

**MODELAGEM ESTATÍSTICA PARA DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTES DE  
DEPRECIAÇÃO PARA EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS.**

Dissertação Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Civil da Universidade do  
Estado de Santa Catarina – UDESC, como  
requisito para obtenção do título de Mestre  
em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dra. Elisa Henning  
Coorientador: Prof. Dr. Norberto Hochheim

**BANCA EXAMINADORA**

Membros:

Profa. Dra. Elisa Henning  
CCT/UDESC

Prof. Dr. Romualdo Theophanes de França Júnior  
CCT/UDESC

Prof. Dr. Dani Prestini  
FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI

Joinville, 31 de julho de 2023.

## RESUMO

A depreciação de uma casa é um fator que não pode ser negligenciável nos procedimentos de análise valorativa de um imóvel, uma vez que ela pode enviesar a estimativa do preço ao consumidor, índices de preços imobiliários, avaliações fiscais e afetar a sustentabilidade do ambiente construído. O objetivo desta pesquisa é propor um modelo para a obtenção de coeficientes de depreciação, para a utilização em avaliações de imóveis residenciais. Nesta pesquisa foram coletados dados de mercado, de 98 imóveis com terreno e casa e de 53 terrenos vagos à venda. Foi realizada a análise exploratória dos dados e a regressão linear múltipla, para cada conjunto de dados. A equação obtida para o cálculo do valor do terreno foi utilizada para determinar o valor de cada terreno da amostra, referente aos imóveis com terreno e casa. O valor do terreno foi subtraído do valor do imóvel, restando apenas o valor da casa. A equação obtida para a valoração das casas foi utilizada para determinar o valor da casa para cada idade combinada com cada estado de conservação. Foi identificado um modelo representativo único para as edificações e a partir deste estimados os valores dos coeficientes de depreciação para cada idade e estado de conservação. Os coeficientes de Ross-Heidecke, foram comparados com os coeficientes da pesquisa, constatando-se que a depreciação no método da pesquisa ocorre de forma linear diferente do método de Ross-Heidecke. De modo geral no método de Ross-Heidecke a depreciação ocorre de forma mais acentuada e a casa tende a ficar sem valor no final da vida útil considerada de 50 anos. Já com os coeficientes da pesquisa observa-se que no final da vida útil de 50 anos, a edificação tende a ter um valor maior, quanto melhor for seu estado de conservação. Para a validação do método, cada elemento amostral coletado no mercado teve seu valor calculado pelo método Evolutivo, utilizando os coeficientes encontrados na pesquisa e os coeficientes de Ross-Heidecke. Comparando os valores obtidos pelo método Evolutivo com os valores de mercado, obteve-se um percentual de erro médio de aproximadamente 17 % tanto para os coeficientes de Ross-Heidecke como para os coeficientes propostos na pesquisa.

**Palavras-chave:** Depreciação de edificações. Avaliação de imóveis. Manutenção de edificações. Modelagem estatística.

## **ABSTRACT**

The depreciation of a house is a factor that cannot be neglected in the valuation analysis procedures of a property, since it can bias the estimate of the consumer price, real estate price indices, tax assessments and affect the sustainability of the built environment. The objective of this research is to propose a model for obtaining depreciation coefficients, for use in residential property valuations. In this research, market data were collected from 98 properties with land and a house and from 53 vacant lots for sale. Exploratory data analysis and multiple linear regression were performed for each data set. The equation obtained for calculating the value of the land was used to determine the value of each plot of land in the sample, referring to properties with land and a house. The value of the land was subtracted from the value of the property, leaving only the value of the house. The equation obtained for the valuation of the houses was used to determine the value of the house for each age combined with each state of conservation. To obtain the depreciation coefficients, the value of the house for each age and condition was divided by the value of the house with age one (1) and new condition, generating a double-entry table. The Ross-Heidecke coefficients were compared with the research coefficients, showing that the depreciation in the research method occurs in a linear way, different from the Ross-Heidecke method. In general, in the Ross-Heidecke method, depreciation occurs more sharply and the house tends to be worthless at the end of its 50-year useful life. With the research coefficients, it is observed that at the end of the useful life of 50 years, the building tends to have a higher value, the better its state of conservation. For method validation, each sample element collected in the market had its value calculated by the Evolutionary method, using the coefficients found in the research and the Ross-Heidecke coefficients. Comparing the values obtained by the Evolutionary method for each set of coefficients with the market values, an average error percentage of 17% was obtained.

Keyword: Depreciation of buildings. Real estate appraisal. Building maintenance.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tipos de depreciação.....	23
Figura 2 – Desempenho x Tempo.....	29
Figura 3 – Curvas de depreciação linear, exponencial e de Ross.....	33
Figura 4 – Curvas de depreciação para cada estado de conservação .....	37
Figura 5 – Esquema dos procedimentos metodológicos .....	43
Figura 6 – Características principais dos projetos-padrão de acordo com a Tabela 1 da NBR 127121(ABNT,2006).....	45
Figura 7 – Localização geográfica do Estado de Santa Catarina e Joinville .....	46
Figura 8 – Mapa das regiões de abrangência das subprefeituras de Joinville .....	47
Figura 9 – Identificação dos bairros estudados .....	48
Figura 10 – Tamanho da amostra x número de variáveis independente .....	53
Figura 11 – Localização dos elementos amostrais .....	55
Figura 12 – Esquema dos procedimentos metodológicos para obtenção do coeficiente de depreciação .....	61
Figura 13 – Gráfico de dispersão dos valores dos terrenos x área dos terrenos .....	64
Figura 14 – Histograma dos valores dos terrenos em R\$ .....	65
Figura 15 A e B – Histogramas das áreas dos terrenos e da renda média por domicílio em R\$.....	66
Figura 16 - Diagrama dos coeficientes de correlação das variáveis para a análise dos terrenos .....	67
Figura 17 A e B - Gráfico boxplot das variáveis Topografia e Cota.....	68
Figura 18 A e B - Gráfico boxplot das variáveis Forma do terreno e Situação na quadra .....	69
Figura 19 - Gráfico boxplot da variável Mancha de inundação.....	70
Figura 20 - Resíduos versus valores preditos da regressão linear múltipla dos terrenos .....	72
Figura 21 - Histograma de resíduos padronizados .....	73
Figura 22 – Distância de Cook .....	74
Figura 23 – Valores e mercado x valores preditos dos terrenos .....	75
Figura 24 – Gráfico de dispersão dos valores das casas x área construída .....	81
Figura 25 – Histograma dos valores dos terrenos em R\$ .....	82
Figura 26 - Diagrama dos coeficientes de correlação das variáveis para análise do valor das casas .....	84
Figura 27 A e B - Gráfico boxplot das variáveis zoneamento e número de pavimentos .....	85
Figura 28 A e B - Gráfico boxplot das variáveis número de dormitórios e número de banheiros .....	86
Figura 29 A e B - Gráfico boxplot da variável nº de garagens e casa mobiliada.....	87
Figura 30 A e B - Gráfico boxplot da variável piscina e casa geminada.....	87
Figura 31 A e B- Gráfico boxplot da variável estado de conservação e mancha de inundação .....	88
Figura 32 - Resíduos versus valores preditos da regressão linear múltipla das casas.....	91
Figura 33 - Probabilidade normal dos resíduos da regressão linear múltipla.....	92
Figura 34 - Histograma de resíduos padronizados das casas.....	93
Figura 35 – Distância de Cook .....	94
Figura 36 – Valores e mercado x valores preditos das casas .....	95

Figura 37 – Fator de depreciação x Idade (estado de conservação ótimo) .....	100
Figura 38 – Fator de depreciação x Idade (estado de conservação regular) .....	101
Figura 39 – Fator de depreciação x Idade (estado de conservação ruim) .....	102
Figura 40 – Fator de depreciação x Idade (comparativo todos os estados de conservação) .....	103



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Coeficientes depreciação Heidecke .....	33
Quadro 2– Características das condições físicas dos imóveis, segundo método de Heidecke .....	36
Quadro 3 – Características das variáveis independentes testadas para imóveis .....	49
Quadro 4 – Características das variáveis independentes testadas para terrenos vagos.....	51
Quadro 5 – Grau de fundamentação no caso de utilização de modelos de regressão de acordo com a NBR 14653-2 (ABNT, 2011) .....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Razão de depreciação do método valor decrescente.....	31
Tabela 2 – Coeficientes de Ross-Heidecke .....	34
Tabela 3 – Características dos bairros utilizados no estudo .....	47
Tabela 4 – Medidas descritivas da variável dependente dos terrenos .....	65
Tabela 5 – Medidas descritivas das variáveis numéricas .....	66
Tabela 6 – Quantidades de elementos para cada variável qualitativa .....	67
Tabela 7 –Matriz de correlações das variáveis dos terrenos.....	68
Tabela 8 – Estatísticas e coeficientes do modelo de regressão linear múltipla .....	71
Tabela 9 – Validações globais .....	75
Tabela 10 – Valores das casas.....	76
Tabela 11 – Medidas descritivas da variável dependente para as casas.....	81
Tabela 12 – Medidas descritivas das variáveis numéricas das casas.....	83
Tabela 13 – Quantidades de elementos para cada variável qualitativa das casas .....	83
Tabela 14 – Matriz de correlações das variáveis das casas .....	84
Tabela 15 – Estatísticas e coeficientes do modelo de regressão linear múltipla da casa.....	90
Tabela 16 – Valores de VIF - <i>Variance Inflation Factor</i> .....	90
Tabela 17 – Validações globais .....	94
Tabela 18 – Características da casa típica .....	96
Tabela 19 – Valores das casas típicas para cada estado de conservação .....	97
Tabela 20 – Coeficientes de depreciação da pesquisa .....	99
Tabela 21 – Valor dos imóveis calculados pelo método Evolutivo .....	104

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IPPUJ	Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Joinville
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Normas Técnicas Brasileiras
SEPUD	Secretaria de Planejamento Urbano e Desenvolvimento Sustentável
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	13
1.2	OBJETIVOS DA PESQUISA .....	14
<b>1.2.1</b>	<b>Geral .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Específicos .....</b>	<b>14</b>
1.3	ESTRUTURA DA PESQUISA .....	14
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>16</b>
2.1	AVALIAÇÃO DE BENS .....	16
<b>2.1.1</b>	<b>Conceito e Histórico.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Importância da avaliação de imóveis .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Métodos utilizados .....</b>	<b>19</b>
2.2	DEPRECIAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES.....	21
<b>2.2.1</b>	<b>Conceitos .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Tipos de depreciação.....</b>	<b>23</b>
2.2.2.1	<i>Depreciação física .....</i>	23
2.2.2.2	<i>Depreciação funcional .....</i>	24
2.2.2.3	<i>Outros tipos de depreciação.....</i>	25
<b>2.2.3</b>	<b>Vida útil de um bem.....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Métodos para a estimativa da depreciação de edificações .....</b>	<b>30</b>
2.3	ESTUDOS CORRELATOS .....	38
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>43</b>
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	44
3.2	SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	44
3.3	DESCRIÇÃO DO OBJETO E ÁREA DE ESTUDO.....	44
3.4	COMPOSIÇÃO DA AMOSTRA DE DADOS DE MERCADO .....	48
<b>3.4.1</b>	<b>Variáveis dependentes e independentes .....</b>	<b>48</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Caracterização e tamanho da amostra .....</b>	<b>51</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Coleta dos elementos amostrais.....</b>	<b>54</b>
3.5	ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS .....	55
3.6	MODELAGEM ESTATÍSTICA .....	56
<b>3.6.1</b>	<b>Modelagem da regressão linear múltipla .....</b>	<b>56</b>
3.7	SEPARAÇÃO DO VALOR DO TERRENO .....	58

3.8	DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE DEPRECIAÇÃO.....	59
3.8.1	<b>Definição da edificação típica .....</b>	<b>60</b>
3.8.2	<b>Determinação dos coeficientes de depreciação.....</b>	<b>60</b>
3.9	VALIDAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO.....	61
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>64</b>
4.1	DETERMINAÇÃO DO VALOR DO TERRENO .....	64
4.1.1	<b>Análise exploratória dos dados dos terrenos.....</b>	<b>64</b>
4.1.2	<b>Modelo de Regressão linear múltipla para o valor do terreno .....</b>	<b>70</b>
4.2	DETERMINAÇÃO DO VALOR DAS CASAS.....	76
4.2.1	<b>Análise exploratória dos dados das casas .....</b>	<b>81</b>
4.2.2	<b>Modelo Regressão linear múltipla para o valor das casas .....</b>	<b>88</b>
4.3	DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE DEPRECIAÇÃO .....	96
4.4	VALIDAÇÃO DO MODELO .....	103
5	<b>CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>110</b>
5.1	LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	111
5.2	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	112
6	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>113</b>
	<b>APÊNDICE A- DADOS DOS TERRENOS.....</b>	<b>118</b>
	<b>APÊNDICE B- DADOS DOS IMÓVEIS.....</b>	<b>120</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As edificações são constituídas por sistemas prediais, os quais são compostos por materiais que sofrem deterioração ao longo do tempo. Esta deterioração será em maior ou menor grau dependendo das condições à que o imóvel estará exposto e ao tipo e periodicidade das manutenções (WOO; JOH; YU, 2021). Ocorrendo a deterioração, acontece consequentemente a depreciação da edificação. De acordo com a NBR 14653-1 (ABNT, 2011), a depreciação é a perda de valor de um bem, devido à modificação em seu estado ou qualidade, ocasionada por: decrepitude, deterioração, mutilação e obsolescimento. A depreciação constitui assim, um fator que não pode ser negligenciável nos procedimentos de análise valorativa de qualquer bem móvel ou imóvel (PIMENTA, 2011). Conforme Pimenta (2011), tendo ciência da importância da depreciação na formação do valor de um imóvel, o seu cálculo deve ser efetuado de modo a reduzir ou anular desvios, buscando o valor mais rigoroso do imóvel, sendo este o objetivo principal deste estudo.

A determinação do grau de depreciação de uma edificação é um dos ramos de estudo da engenharia de avaliações (NETO, DANIEL, FIGUEIREDO, 2014). Segundo Braga (2010), no Brasil as primeiras publicações sobre o tema foram realizadas em revistas técnicas nos anos 1918 e 1919. Em 1941 o Engenheiro Luiz Carlos Berrini lançou o primeiro livro sobre avaliações de terrenos e de imóveis (BERRINI, 1949), o livro já fazia menção a necessidade do estudo da depreciação da benfeitoria. Conforme Braga (2010) nas décadas de 1970 e 1980, técnicas expeditas começaram a ser substituídas pela utilização de fatores de homogeneização determinísticos e fórmulas empíricas. Na década de 1990 a utilização da metodologia na pesquisa científica aplicada na engenharia de avaliações foi consolidada com a publicação de norma pela ABNT – Associação Brasileiras de Normas Técnicas. O método mais utilizado atualmente para realizar a depreciação de uma edificação, é baseado na idade e conservação do imóvel, desenvolvido na década de 90, através da junção dos métodos de Ross e Heidecke (SILVA, 2016).

No Brasil as avaliações de imóveis são regidas pela NBR 14653 (ABNT, 2019), dividida em sete partes, sendo que a parte 2, traz os procedimentos e diretrizes a serem adotados na avaliação de imóveis urbanos, do qual este estudo se ocupará. Os métodos para identificar o valor de um bem, de seus frutos e direitos, recomendados pela NBR14653 (ABNT, 2019), são o Método Comparativo Direto dos

Dados de Mercado, Método Evolutivo, Método Involutivo e Método da Capitalização da Renda. No Método Comparativo Direto identifica-se o valor do bem por meio de tratamento técnico dos atributos dos elementos comparáveis, constituintes de uma amostra. No Método Involutivo o valor do bem é identificado com base no seu aproveitamento eficiente, baseado em modelo de estudo de viabilidade técnico econômica. No Método Evolutivo identifica-se o valor do bem pelo somatório das parcelas componentes dele (edificação + terreno). Neste caso o valor do terreno é determinado através do método comparativo direto, ou no caso de impossibilidade pelo método involutivo, e o valor da edificação através da quantificação do custo, utilizando coeficiente de depreciação para a edificação. No método da capitalização de renda identifica-se o valor do bem com base na capitalização presente da sua renda líquida prevista, considerando-se cenários viáveis (NBR 14653:1, 2019).

A NBR 14.653:1(ABNT, 2019) recomenda que se utilize, sempre que possível, o método comparativo de dados de mercado, entretanto, existem situações em que há pouca quantidade de dados assemelhados à disposição no mercado. Neste caso, com dificuldade para aplicação do Método Comparativo Direto de Dados de Mercado, o avaliador pode recorrer aos outros métodos indicados na NBR 14.653:1(ABNT, 2019). Conforme Silva (2016), a prática demonstra que devido à ausência de elementos amostrais compatíveis, o Método Evolutivo é o mais utilizado. Ainda segundo o autor, o método possui maior grau de subjetividade pois as benfeitorias são calculadas de forma isolada através da aplicação de coeficientes, obtidos de forma generalista, na maioria das vezes não condizentes com a situação local. Os coeficientes de depreciação elaborados por pesquisadores da literatura podem ser utilizados, porém, com ressalvas e sempre que possível estes devem ser adaptados e pesquisados em macro e microrregiões, periodicamente (NBR 14653:2, 2011).

Conforme demonstrado nos estudos realizados por Yoshida (2020); Wilhelmsson (2008); Francke e Van de Minne (2017) , a depreciação econômica de uma edificação não pode ser generalizada, e aplicada através de índices globais para qualquer região em qualquer tempo. Os índices de depreciação não variam somente com a idade, manutenção e características construtivas. As características culturais e econômicas de um país são imprescindíveis para a sua determinação. Segundo Yoshida (2020) verifica-se que no Japão tecnologias de construção resistentes a terremotos tornam as estruturas antigas obsoletas. Em países europeus casas antigas são valorizadas devido ao efeito *vintage*, o qual acrescenta valor ao imóvel

dependendo de suas características arquitetônicas históricas (WILHELMSSON, 2008).

A depreciação econômica de imóveis é importante em uma ampla gama de análises econômicas e tomadas de decisão. Os rendimentos para investimentos imobiliários variam conforme a consideração das taxas de depreciação em um determinado país, cidade, localização urbana, idade da construção, tamanho da construção e tipo de propriedade (YOSHIDA, 2020).

A depreciação das edificações afeta também a escolha de moradias dos consumidores e a sustentabilidade ambiental. Uma grande depreciação faz com que as famílias gastem uma parcela maior da renda em habitação, além de aumentar os resíduos e as emissões de CO<sub>2</sub> por meio de reconstruções frequentes (YOSHIDA, 2020).

Esta pesquisa visou propor um método para a obtenção de coeficientes de depreciação, para a utilização em avaliações de imóveis residenciais. Segundo Cai *et al.* (2021), um modelo estatístico utilizado para avaliar um imóvel, deverá ser capaz de determinar a influência do estado de conservação dos sistemas prediais e da idade do imóvel na depreciação da edificação. Ao final da pesquisa foi realizada uma comparação dos coeficientes de depreciação propostos com os utilizados na literatura. Com o presente estudo pretende-se auxiliar a reduzir a subjetividade dos métodos atuais, tendo em vista que o método proposto levará em consideração as características intrínsecas do imóvel como um todo e não apenas as físicas.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Segundo Silva (2016), existe um número reduzido de estudos sobre a influência da depreciação de uma edificação no valor final de um imóvel e das metodologias a serem aplicadas. Os métodos existentes não demonstram exatidão na determinação do valor da depreciação, pois ainda têm características questionáveis, não levando em conta as características intrínsecas ao bem e pertinentes à região na qual o imóvel está construído (SILVA, 2016). Dessa forma o interesse em estudar esta questão reside na sua utilidade metodológica. A pesquisa visa o desenvolvimento de um método que possa medir a depreciação de uma edificação com maior acurácia, sendo útil para instituições financeiras, avaliadores e



pesquisadores da área. A proposição deste método tem intuito de contribuir para o desenvolvimento das pesquisas relacionadas ao estudo da depreciação de imóveis.

As edificações constituem uma parcela importante do capital econômico de um país. Portanto os esforços para se obter uma correta vida útil das construções, são determinantes no desenvolvimento de sociedades mais sustentáveis. Para que a vida útil seja atingida de forma satisfatória é necessário conhecer os padrões de depreciação delas (HOVDE, 2002). Deste modo o estudo deste tema também pode auxiliar no desenvolvimento de um programa de manutenção predial mais eficiente. O desempenho, a depreciação física e a obsolescência de um imóvel têm uma relação direta com o processo de conservação e manutenção dele, e conseqüentemente com a sua valoração.

## 1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

### 1.2.1 Geral

Propor um método para a obtenção de coeficientes de depreciação física, para a utilização em avaliações de imóveis residenciais.

### 1.2.2 Específicos

- Delinear o estado da arte;
- determinar um modelo estatístico para obtenção do valor de mercado de imóveis residenciais;
- comparar os coeficientes de depreciação propostos com os de Ross-Heidecke;
- comparar os valores dos imóveis estimados a partir do método comparativo direto de mercado, com os valores obtidos a partir do método evolutivo.

## 1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

O estudo foi estruturado em cinco capítulos. O Capítulo 1 apresenta a introdução e justificativa do tema abordado evidenciando sua importância, define os objetivos e descreve a estrutura do trabalho. O Capítulo 2 realiza a fundamentação

teórica referente a avaliação de bens e a depreciação de imóveis, seu histórico, enfatiza a importância da avaliação de imóveis e os métodos mais utilizados para realizá-la. O Capítulo 3 é constituído dos dados e métodos empregados na dissertação, onde é descrito o procedimento para a coleta de amostras, modelagem estatística utilizada e os procedimentos para a determinação de uma equação para a determinação dos coeficientes de depreciação. No Capítulo 4 os resultados obtidos estão expressos e discutidos, sendo os coeficientes de depreciação obtidos na pesquisa comparados com coeficientes da literatura, comumente utilizados. No Capítulo 5 estão as conclusões da pesquisa, limitações e sugestões para futuros trabalhos na área.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem o propósito de fazer a fundação teórica do tema da pesquisa. Nele estão conceituadas a avaliação de imóveis e a sua depreciação, indicando os métodos atualmente utilizados. Faz também uma síntese de estudos correlatos à avaliação de imóveis, com ênfase na sua depreciação devido ao estado de conservação e idade.

### 2.1 AVALIAÇÃO DE BENS

#### 2.1.1 Conceito e Histórico

Um dos conceitos frequentemente citados na bibliografia nacional é o elaborado por Dantas (2012):

A Engenharia de Avaliações é uma especialidade da engenharia que reúne um conjunto amplo de conhecimentos da área de engenharia e arquitetura, bem como de outras áreas das ciências sociais, exatas e da natureza, com o objetivo de determinar tecnicamente o valor de um bem, de seus direitos, frutos e custos de produção (DANTAS, 2012, p.23).

A avaliação é uma aferição de um ou mais fatores econômicos, especificamente definidos, em relação a propriedades descritas com data determinada, tendo como suporte a análise de dados relevantes (ABUNAHMAN, 2008). Para Pinto e Santos (2005) a Engenharia de Avaliações é a arte da estimação dos valores justos, no caso em que conhecimento e julgamento profissional são aplicados. Ainda segundo o Autor a Engenharia de Avaliações surgiu por volta de 1890, em função das novas necessidades do mundo industrializado.

No Brasil as avaliações de imóveis são regidas pela NBR 14653-1 (ABNT, 2019), dividida em sete partes, sendo que a parte um faz referência aos procedimentos gerais e a parte dois, traz os procedimentos e diretrizes a serem adotados na avaliação de imóveis urbanos. A parte três versa sobre imóveis rurais, a parte quatro sobre empreendimentos, a parte cinco sobre máquinas, equipamentos, instalações e bens industriais em geral, parte seis sobre recursos naturais e ambientais, e a parte sete sobre patrimônios históricos.

Segundo a NBR 14653-1 (ABNT, 2019), a avaliação de bens, de seus frutos e direitos é uma análise técnica para identificar valores, custos ou indicadores de viabilidade econômica, para um determinado objetivo, finalidade e data, consideradas determinadas premissas, ressalva e condições limitantes claramente explicitadas. Ainda de acordo com a NBR 14653-1 (ABNT, 2019), os conceitos de valor, preço e custo são distintos. O valor de um bem decorre de várias características, entre as quais se destacam sua raridade e sua utilidade para satisfazer necessidades e interesses humanos e sofre influências por suas características singulares e condições de oferta e procura. Trata-se de um conceito econômico abstrato não de um fato. O preço é uma expressão monetária que define uma transação de um bem, de seu fruto, de um direito ou da expectativa de sua transação. O preço é um fato, relacionado às capacidades financeiras, às motivações ou aos interesses específicos do comprador ou do vendedor. O custo tem relação com o total dos gastos diretos e indiretos necessários à produção ou aquisição de um bem, fruto ou direito (NBR 14653:1, 2019).

Conforme a NBR 14653-1 (ABNT, 2019), os primeiros trabalhos técnicos na área de avaliação de bens no Brasil de que se tem registro, são da década de 1910. Trata-se de publicações de escolas de engenharia. Nas próximas décadas foram publicados diversos trabalhos que orientaram e subsidiaram a comunidade técnica que estava se formando na área.

A partir da década de 1950, foram elaboradas as primeiras Normas técnicas, tendo como ponto de partida o Projeto de Norma P- NB-74, elaborado em 1957, o qual visava padronizar critérios em ações expropriatórias e constitui a base para a primeira norma de avaliação, a NB 502 (Avaliação de imóveis urbanos), elaborada em 1977, revisada na década de 1980 e registrada no Inmetro, em 1989, como NBR 5676 (ABNT, 1989).

Em 1953 foi criado o Instituto de Engenharia Legal (IEL) no Rio de Janeiro. No ano de 1957 foi fundado em São Paulo o Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias (IBAPE), movidos pela necessidade de desenvolver normas e tecnologias próprias para fazer face às avaliações nas grandes desapropriações em massa, que se iniciavam então na capital paulista em auxílio ao Poder Judiciário (IBAPE, 2018).

Em 1995 o IBAPE foi reestruturado pela fusão com a Associação Brasileira de Entidades de Engenharia de Avaliações e Perícias, sendo uma associação de âmbito Federativo Nacional e de duração indeterminada. O IBAPE é composto por entidades

estaduais associadas, ou seja, tem como missão representar em nível nacional e internacional os Institutos de Avaliações e Perícias de Engenharia do Brasil (IBAPE, 2018).

Em 1998, iniciou-se o projeto que desencadeou nas atuais Normas de avaliação de bens. A NBR 14653-1 está em vigor desde 2004 e passou por atualização em 2019. Esta norma possui conceitos globais e específicos, especificando critérios distintos para cada uma das sete partes de que a Norma atualmente é composta (ABNT, 2019).

Segundo Braga (2010), o estabelecimento de critérios específicos e padronizados para a avaliação de imóveis é de fundamental importância, pois permitem responder de forma segura, questões que envolvam quaisquer tipos de bens ou decisões sobre investimentos, com comprovação científica, fugindo de suposições, opiniões subjetivas e empíricas.

### **2.1.2 Importância da avaliação de imóveis**

A engenharia de avaliações serve para subsidiar tomadas de decisões a respeito de valores, custos e alternativas de investimentos, envolvendo bens de qualquer natureza (DANTAS, 2012), como imóveis, sejam eles urbanos ou rurais.

Conforme Abunahman (2008), uma considerável parcela de bens públicos e particulares consiste em bens imóveis. A própria amplitude desse recurso primordial em nossa sociedade cria uma necessidade de informes avaliatórios como suporte e consistência para decisões relativas ao uso e disposição desses bens.

A partir de 2011, o capital habitacional representa 35% do estoque total de capital nos Estados Unidos e quase 60% da riqueza das famílias na Holanda (FRANCK E VAN DE MINE, 2016).

Segundo Campos e de Almeida (2018), a avaliação de Imóveis está intimamente ligada ao cotidiano das pessoas, e instituições financeiras. A residência das pessoas na maioria dos casos o ativo de maior valor em seus patrimônios, e relaciona-se com a dignidade humana. A moradia configura o acesso aos bens públicos ofertados na cidade, deste modo, estes dois fatos configuram o cunho social das residências. Ainda segundo Campos e de Almeida (2018), para os agentes financeiros, entidades que alocam recursos no Sistema de Financiamento da Habitação (SFH), a avaliação de imóveis está diretamente associada ao risco do

portfólio de investimentos da instituição. Logo a precisão na avaliação do bem é um dos itens a serem considerados na análise de risco inerente ao sistema financeiro brasileiro.

No Brasil os projetos imobiliários geralmente possuem períodos de construção longo, com consequente prazo longo de retorno, exigindo grande fluxo de capital. Existem também inúmeras incertezas a que os projetos e construções estão sujeitos como: restrições, mudanças políticas e de legislação. Neste sentido a avaliação de imóveis necessita de robustez e precisão, de forma a apoiar a tomada de decisão e garantir o equilíbrio financeiro do investidor (MOREIRA, 2020).

### **2.1.3 Métodos utilizados**

Conforme NBR 14653-1 (ABNT, 2019), a metodologia a ser utilizada em uma avaliação dependerá fundamentalmente da natureza do bem que se avaliará, da finalidade da avaliação, da qualidade, disponibilidade e quantidade de informações que o mercado terá disponível na data da avaliação. Sendo assim a escolha do método deverá ser justificada e seguir as premissas estabelecidas em todas as partes da Norma, com objetivo de demonstrar de forma mais fidedigna possível, o comportamento do mercado, através de modelos estatísticos bem fundamentados.

Os métodos a serem aplicados na avaliação de bens encontram-se na primeira parte da NBR 14653-1 (ABNT, 2019), sendo eles:

- a) método comparativo direto de dados de mercado: que estima o valor do imóvel alvo com base na comparação dos seus atributos com os dos imóveis da amostra;
- b) método involutivo: que estima o valor com base numa análise de viabilidade técnico-econômica de uma situação hipotética em que um imóvel compatível com as características do imóvel-alvo e com as condições postas pelo mercado, assumindo seu uso eficiente e formulando cenários viáveis para execução e comercialização do produto;
- c) método evolutivo: quando a estimativa é feita a partir da soma de estimativas de cada componente do imóvel alvo;
- d) método de capitalização de renda: quando a estimativa se utiliza de estimativas da capitalização da renda líquida futura oriunda do uso do imóvel.

É importante destacar alguns pontos da Norma, os quais interferem na escolha dos métodos:

- o avaliador deve, sempre que possível, dar preferência ao método comparativo;
- o estabelecimento da quantidade mínima de amostras para cada método utilizado e para cada grau de fundamentação pretendido, recomendando, porém, a obtenção do “máximo possível” de dados;
- quando da utilização de modelos de regressão, o nível de significância máximo para teste de hipótese de regressores é de 10% (teste bicaudal) para se obter maior grau de fundamentação. O nível de significância para teste de hipótese nula do modelo é de 1% para se obter o maior grau de fundamentação;
- a norma apresenta um anexo informativo sobre o uso de redes neurais artificiais, tratamento de dados por regressão espacial e análise de envoltória de dados;
- a norma apresenta um anexo normativo para o uso de tratamento de dados por fatores e modelos de regressão linear.

A NBR 14.653:1 (ABNT, 2019) recomenda que se utilize, sempre que possível, o método comparativo de dados de mercado, entretanto, em situação de ausência ou pouca quantidade de dados assemelhados à disposição no mercado, neste caso, com dificuldade para aplicação do Método Comparativo Direto de Dados de Mercado, o avaliador pode recorrer ao Método Evolutivo.

Conforme NBR 14653-2 (ABNT, 2011), o Método Evolutivo consiste na composição do valor total do imóvel avaliando através da conjugação de métodos. Sendo que o terreno é avaliado pelo Método comparativo direto de dados, ou na impossibilidade deste pelo método involutivo, e o valor das benfeitorias através do custo de reprodução das benfeitorias devidamente depreciado e o fator de comercialização, conforme representado na Equação (1).

$$VI = (VT + CB)FC \quad (1)$$

Onde

$VI$  = valor do imóvel;

$VT$  = valor do terreno;

$CB$  = custo de reedição da benfeitoria;

$FC$  = fator de comercialização.

Conforme NBR 14653-2 (ABNT, 2011) o fator de comercialização poderá ser maior ou menor do que a unidade, em função da conjuntura do mercado na época da avaliação, e deverá ser devidamente justificado. O custo das benfeitorias deverá ser determinado por meio do método comparativo direto de custo ou pelo método da quantificação de custo. No método da quantificação do custo, o custo de reprodução das benfeitorias pode ser apropriado pelo custo básico unitário de construção ou por orçamento, com citação das fontes consultadas. O custo de reedição das benfeitorias é o resultado da subtração do custo de reprodução da parcela relativa à depreciação.

Conforme NBR 14653-2 (ABNT, 2011) o cálculo da depreciação física pode ser realizado de forma analítica, por meio de orçamento necessário a recomposição do imóvel na condição de novo, ou por meio da aplicação de coeficiente de depreciação, que leve em conta a idade e o estado de conservação, sendo que este coeficiente deve ser aplicado sobre o valor depreciável. O valor depreciável é o custo da edificação, determinado por orçamentos sintéticos ou analíticos, ou ainda através do CUB – Custo Unitário Básico de Construção, subtraído o valor residual.

Segundo Oliveira (2018), embora a NBR 14653-1 (ABNT, 2019) contemple o Método Comparativo Direto de Custos, para a determinação do valor da benfeitoria, este possui limitações práticas de utilização, tendo em vista que se trata de um método análogo ao comparativo de dados de mercado, o qual exige elementos amostrais que geralmente não estão disponíveis, devido à grande variabilidade das características dos imóveis disponíveis no mercado. Ainda segundo o autor, a metodologia do Custo Unitário Básico (CUB), e a de Orçamento Detalhado, também chamado de Orçamento Analítico, são as mais utilizadas no Brasil para a definição do valor das benfeitorias, embora falhas possam ser encontradas em sua aplicação. Em ambas as metodologias se faz necessária a determinação da depreciação da edificação para imóveis que não são novos.

## 2.2 DEPRECIAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES

### 2.2.1 Conceitos

O conceito de depreciação de um imóvel está essencialmente relacionado com a sua perda de valor econômico, ocasionada pela degradação que sofre um edifício



em decorrência de fatores como: utilização, idade, constituição, meio envolvente, entre outros (GALENDE, 2018).

De acordo com a norma NBR 14653-1(ABNT, 2019) a depreciação é a perda de valor de um bem, devido à modificação em seu estado ou qualidade, ocasionada por: decrepitude (desgaste de suas partes constitutivas, em consequência de seu envelhecimento natural, em condições normais de utilização e manutenção), deterioração (desgaste de seus componentes em razão de uso ou manutenção inadequados), mutilação (retirada de sistemas ou componentes originais existentes) e obsolescência (superação tecnológica ou funcional).

Para Dantas (1998) depreciação é a perda de aptidão de uma benfeitoria para atender ao fim que foi destinada. Para Montenegro (2013), o cálculo da depreciação é necessário e importante quando se quer estimar o valor patrimonial, para tanto devem ser utilizadas metodologias adequadas, conforme a situação e objetivo, tendo em vista que o valor do imóvel terá sua grandeza impactada pelo resultado do cálculo da depreciação.

Conforme Wilhelmsson (2008) a análise das taxas de depreciação e do nível de manutenção é importante, entre outras coisas, porque a depreciação da habitação pode enviesar a estimativa do índice de preços ao consumidor, índices de preços imobiliários, avaliações e autuações fiscais. O amplo conhecimento da depreciação econômica também é importante para avaliar as políticas públicas (WILHELMSSON, 2008).

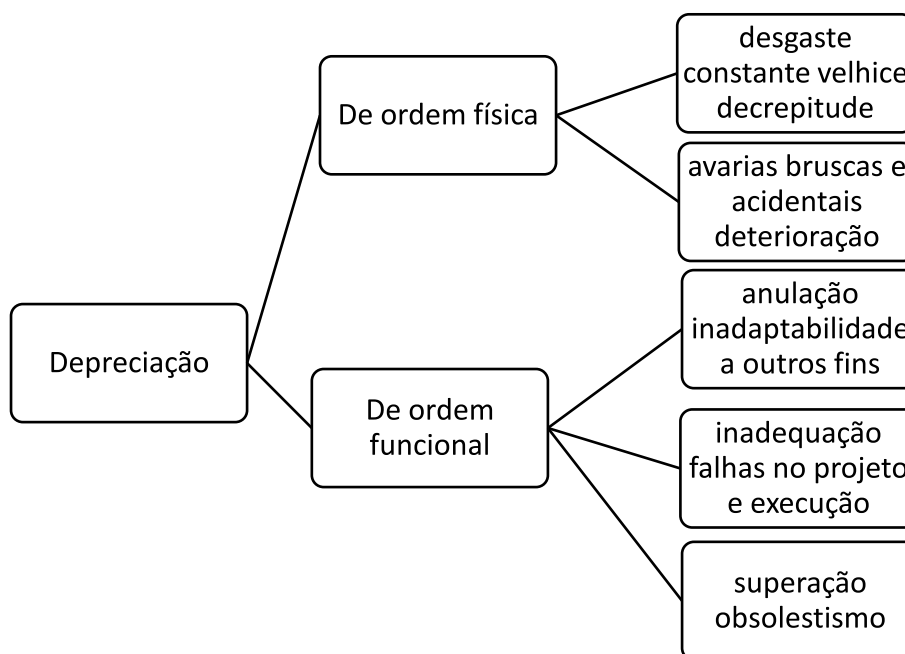
A quantificação do custo de manutenção e sua relação com as tendências do preço de uma casa com a idade, levaram Harding, Rosenthal e Sirmans (2007) a afirmarem que o impacto do investimento imobiliário na renda do proprietário é equilibrado ou praticamente nulo.

Segundo Harding; Rosenthal e Sirmans (2007) a determinação da taxa de depreciação é fundamental para o investimento na economia. O capital habitacional representa um terço do estoque total de capital, porém, a taxa de depreciação dos imóveis raramente foi estimada, tendo em vista a falta de controle do aspecto da manutenção. Sendo assim, as formas de valoração do preço das casas, as quais são largamente divulgadas, superestimam o ganho de capital com a compra da casa própria. Portanto, conhecer o padrão de depreciação e o efeito da manutenção torna-se importante para as políticas fiscais e para a renda nacional e a contabilidade da riqueza (HARDING; ROSENTHAL e SIRMANS, 2007).

### 2.2.2 Tipos de depreciação

Conforme Nether (2002), a depreciação em edificações pode ser classificada conforme a Figura 1.

Figura 1 – Tipos de depreciação



Fonte: Adaptado de Nether (2002)

#### 2.2.2.1 Depreciação física

Segundo a NBR 14653:2 (ABNT, 2011) depreciação física é a perda de valor em função do desgaste das partes constitutivas, resultante de decrepitude, deterioração ou mutilação.

A depreciação de ordem física é decorrente do desgaste das várias partes que constituem a edificação e que pode ser devido ao uso normal, falta de manutenção ou emprego de materiais de baixa qualidade (NETHER, 2002).

Em muitos casos a depreciação física é resultado da ausência de manutenção e conservação do bem, tendo em vista que os elementos construtivos vão se degradando ao longo de sua vida útil, diminuindo a qualidade e desempenho da edificação e consequentemente diminuindo o seu valor (PIMENTA, 2011).

A depreciação física depende da idade da edificação e de que maneira ela foi utilizada ao longo deste tempo. Como e quais tipos de manutenção recebeu e da ocorrência ou não de sinistros e acidentes. A depreciação física se divide em recuperável e não recuperável. Sendo recuperável quando a deterioração dos elementos é passível de reposição a um custo-benefício aceitável, ou seja, se o custo de reparação for igual ou inferior ao aumento de valor do imóvel resultante. As não recuperáveis são aquelas em que a deterioração dos elementos não é técnica ou economicamente viáveis, ou seja, custo de recuperação não repercute de maneira satisfatória no valor do imóvel, geralmente devido ao vencimento da vida útil do imóvel, ou a grandes impossibilidades técnicas devido a magnitude da deterioração, como por exemplo em elementos estruturais (BRAGA, 2015).

Conforme Wilhelmsson (2008), a depreciação do valor de uma propriedade é esperada à medida que a propriedade fica mais velha, mas uma boa manutenção pode diminuir a taxa de depreciação. No entanto, não é possível reduzir a taxa de depreciação a zero, pois a obsolescência funcional e externa está sempre presente.

#### *2.2.2.2 Depreciação funcional*

Conforme Nether (2002), a depreciação funcional no caso de imóveis, pode ser provocada por inadequação, superação ou anulação. Na depreciação por inadequação o imóvel não atende as necessidades para o qual foi projetado, podendo ser originária de falhas ou deficiências em projetos ou devido à má execução. Como por exemplo um imóvel projetado para atendimento ao público, porém sem acessibilidade para portadores de necessidades especiais. Na depreciação por superação o imóvel está desatualizado devido o desenvolvimento de novas técnicas ou novos materiais, causando dificuldades e desconfortos aos usuários. Como por exemplos imóveis projetados para abrigar condicionadores de ar de janela. Na depreciação por anulação o imóvel não pode mais ser usado para nenhuma finalidade, devido a mudanças nas restrições ambientais ou da legislação vigente (NETHER, 2002).

A depreciação funcional segundo Pereira (2013), é perda de valor de um imóvel devido as suas particularidades, como limitações devido a problemas arquitetônicos, como área de circulação e cômodos extremamente reduzidos ou demasiadamente compartimentadas, existência de materiais ou elementos construtivos não

compatíveis com a sua utilização. A depreciação funcional, assim como a física também se divide em recuperável e não recuperável.

Para Pimenta (2011), a funcionalidade é um conceito que evolui com o decorrer do tempo e a única forma de poder depreciar ou apreciar aspectos relacionados com a funcionalidade é determinar elementos referenciais. A determinação destes elementos deverá ser criteriosa, porém, será subjetiva, tendo em vista que será determinada pelo avaliador, podendo variar de acordo com o tempo, tipo de imóvel e percepção pessoal.

Conforme Yoshida (2020) a obsolescência é causada não apenas pela deterioração dos materiais físicos, mas também pelo avanço das tecnologias de construção. Por exemplo, estruturas mais novas podem inserir tecnologias para eficiência energética ou resistência a terremotos. Deste modo a melhora na qualidade dos edifícios novos leva à depreciação econômica dos edifícios mais antigos. Mudanças nos gostos dos consumidores também causam depreciação econômica. No entanto, a eficácia das estruturas antigas pode aumentar com a idade por meio de renovações ou aumento dos valores históricos. Assim, renovações e outros investimentos financeiros diminuem a taxa de depreciação.

#### *2.2.2.3 Outros tipos de depreciação*

Segundo Braga (2015), existem outros tipos de depreciação, não menos relevantes a formação do valor de um imóvel. Estão relacionadas a fatores externos, ou seja, causada pela influência negativa de efeitos não relacionados diretamente com o edifício em si. Podendo ser de ordem econômica, ambiental, social, política. Na área social ou ambiental pode-se citar a proximidade a polos atrativos e ou repulsivos, de um centro comercial ou de um depósito de lixo municipal. Outro tipo de depreciação a ser considerado é a econômica a qual está relacionada a fatores também exteriores ao imóvel, como a alteração da conjuntura econômica nacional e internacional. Ainda segundo Braga (2015), a determinação deste tipo de depreciação também pode ser considerada subjetiva, devendo ser determinada conforme critérios fundamentados do avaliador e modelos estatísticos que expressem a realidade do mercado imobiliário.

Para Pimenta (2011) o entorno de um imóvel em alguns casos é determinante para a formação de seu valor. A proximidade de estações de tratamento de águas,

lixeiros, estações de reciclagem, habitações clandestinas, aterros sanitários, entre outros, faz com que seja tida em conta a sua Depreciação Ambiental, desvalorizando o imóvel. Há também a desvalorização ocasionada pelo aumento de taxas e impostos, alterações nas legislações, desmobilização de meios de transporte e empresas geradoras de emprego, escolas, entre outros. O excesso de oferta de certos tipos de imóveis também pode levar a depreciação do seu valor, por existir uma relação desequilibrada entre oferta e procura (PIMENTA, 2011).

Em seu estudo Papenfus (2019), realizado no condado de Kitsap, estado de Washington, demonstrou que deficiências na qualidade dos corpos hídricos causam depreciação dos imóveis no seu entorno. Verificou que a quantidade de coliformes fecais, estando acima dos limites aceitáveis, causa um declínio de até 14% no valor dos imóveis localizados próximo ao corpo d'água. No local as temperaturas mais altas das águas não são desejáveis, pois não são propícias para a criação de salmão e outros peixes. Nos casos de aumento de temperatura da água verificou um declínio de até 21% no valor dos imóveis vizinhos (PAPENFUS, 2019).

Em outro estudo Woo *et. al* (2021), realizado em Seul, Coreia do Sul, demonstrou que a construção de habitações populares resulta em percepção negativa dos habitantes, sob a justificativa de que podem atrair criminalidade e sobrecarga da infraestrutura existente. Segundo Woo *et. al* (2021), os habitantes acreditam que os imóveis que se localizam próximos a habitações com padrão popular, causam depreciação no valor dos imóveis do entorno. Sendo assim as autoridades públicas encontram resistência dos moradores antigos para a implantação destes tipos de moradia. O estudo visou investigar por que estas pessoas tinham esta crença e quais estratégias poderiam ser utilizadas para mudar esta percepção.

### **2.2.3 Vida útil de um bem**

Segundo Pereira (2013) a determinação da depreciação de uma edificação só fará sentido se a vida útil desta edificação for previamente determinada, tendo em vista que os componentes da edificação se deteriorarão até o ponto em que não servirão mais ao fim a que se destinam, ou seja, neste momento encerrarão sua vida útil.

Conforme Possan e Demoliner (2013) a determinação da vida útil de uma estrutura está relacionada a aspectos técnicos, funcionais ou econômicos. Sendo que

os técnicos dizem respeito ao uso da estrutura. Os funcionais referem-se à capacidade da estrutura resistir às ações solicitadas de acordo com as considerações dos projetos. Já os econômicos relacionam-se aos custos dispendidos com a manutenção (POSSAN, DEMOLINER, 2013).

A vida útil de uma edificação dependerá fundamentalmente das previsões inseridas nos projetos. De acordo com D'Olimpio (2019) muitas vezes os projetos executivos fazem todas as considerações e previsões para a implantação de uma edificação, porém, não levam em consideração os aspectos que influenciam na durabilidade e no nível de desempenho. Esta deficiência irá refletir diretamente na manutenção e na vida útil das edificações. Portanto é fundamental a identificação das correlações entre os agentes de degradação e as opções técnicas construtivas (D'OLIMPIO, 2019).

No âmbito Internacional, organizações como o ACI (*American Concrete Institute*), a FIB (*Fédération Internationale Du Béton*), a RILEM (*Reunion Internationale de Laboratoires D'essais et Materiaux*), a ISO (*International Standards Organization*), entre outras, vem ao longo dos anos implementando conceitos para a melhoria do desempenho e prolongamento da vida útil das edificações. As soluções propostas vêm sendo relevantes tanto do ponto de vista de durabilidade quanto econômico.

No Brasil a NBR 15575-1 (ABNT, 2013) é o principal documento que rege o desempenho das edificações. Esta NBR conceitua Vida Útil (VU) como sendo o período em que uma edificação ou seus sistemas se prestam para a função que foram projetados ou construídos, considerando o desempenho previsto em norma e a adequada manutenção. Para Souza e Ripper (2009) o conhecimento da vida útil e da curva de depreciação de um material ou sistema é fundamental para a execução de orçamentos realistas e programas de manutenção adequados.

É possível observar que nos conceitos descritos, os três aspectos que caracterizam a vida útil são: tempo, desempenho e custos. Logo a vida útil está intimamente ligada à depreciação de ordem física e funcional, neste aspecto é necessário conceituar durabilidade. A NBR 15575-1 (ABNT, 2013), conceitua durabilidade como sendo a capacidade da edificação ou de seus sistemas, desempenharem a função para qual foram projetadas, ao longo do tempo e de acordo com as manutenções especificadas no manual de uso, operação e manutenção.

De acordo com Gomes e Ferreira (2009) uma construção é durável enquanto for capaz de desempenhar as funções para qual foi projetada, sem que seja

necessário despende custos de manutenções imprevistos. Sendo assim a durabilidade desempenha uma função importante para a obtenção de uma construção sustentável.

Conforme a NBR 15175-1 (ABNT, 2013), a vida útil pode ser estimada, através da durabilidade prevista para um dado produto, com base em dados históricos de desempenho do produto ou através de ensaios tecnológicos que façam a simulação acelerada do envelhecimento. A NBR 15175-1 (ABNT, 2013), difundiu e normatizou que vida útil pode e deve ser estabelecida em projeto, se tratando da vida útil de projeto (VUP), a qual é basicamente uma expressão de caráter econômico de um requisito do usuário. O tempo de vida útil de uma edificação será definido pelo incorporador e/ou proprietário e projetista. Esta definição e seu consequente estabelecimento traz segurança e previsibilidade as construtoras e engenheiros e para os clientes/compradores. Tendo em vista que as construtoras e engenheiros sabem por quanto tempo devem arcar com suas responsabilidades sobre a mesma e o cliente/comprador do imóvel estará ciente de que está comprando um imóvel com uma determinada vida útil e que para que esta seja atingida fazem-se necessárias realizações de manutenções periódicas que deverão estar especificadas no projeto (ABNT, 2013).

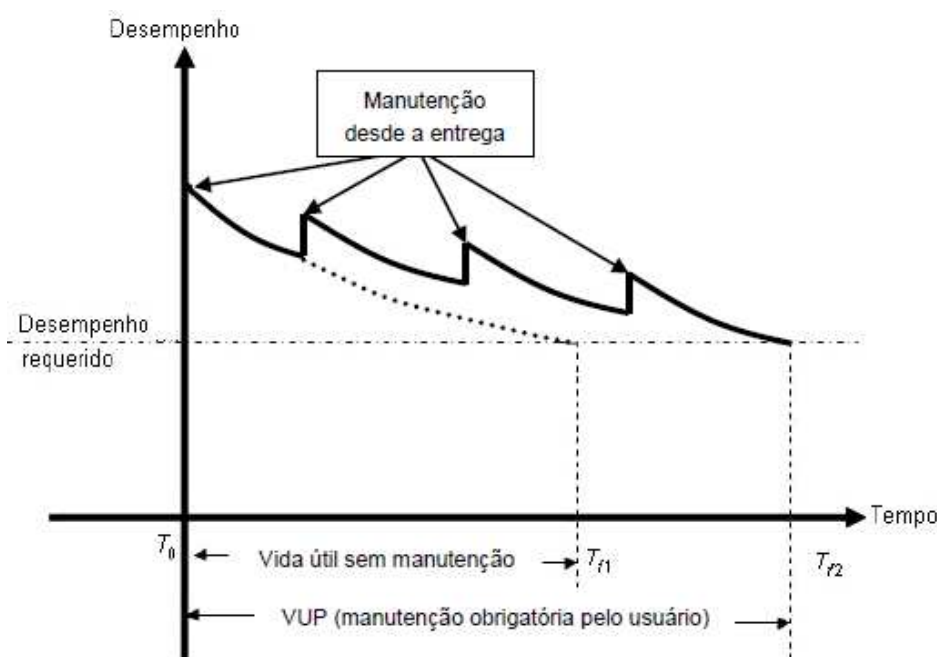
O Anexo C da NBR 15175-1 (ABNT, 2013) indica a melhor forma de determinar a VUP para as partes constituinte da edificação é através de pesquisas entre a comunidade técnica, e todos os envolvidos no processo construtivo, desde os projetistas até os usuários. Este processo foi realizado entre as décadas de 60 e 70 em países europeus para a regulamentação dos valores da VUP mínima requerida. Desta forma a VUP pode ser entendida como uma definição prévia da qual o usuário terá acesso, e poderá medir a relação de custo-benefício entre custo do bem e o seu tempo de uso.

Segundo Possan e Demoliner (2013) a VUP pode ser normalmente prolongada através de ações de manutenção, que deverão ser preestabelecidas de forma clara em um documento que será entregue aos usuários/responsáveis pela edificação. Este documento trata-se do Manual do usuário no qual devem estar descritas as atividades e a frequência das ações de manutenção necessárias para a garantia da VUP da edificação. Pode-se comparar com o já bem difundido e aceito pelos usuários na indústria automobilística, onde ao se comprar um veículo o proprietário recebe um manual que indica o tempo ou a quilometragem necessária para cada ação de

manutenção. Caso o usuário descumpra esses limites ele perde a garantia do produto, pois a indústria automobilística entende que sem as manutenções indicadas não é possível garantir a “vida útil” do automóvel (POSSAN, DEMOLINER, 2013).

A manutenção da edificação visa no mínimo, que o sistema construtivo ou edificação atinja a VUP preestabelecida (ABNT, 2013). O esquema da Figura 2 demonstra o desempenho em função do tempo.

Figura 2 – Desempenho x Tempo



Fonte: NBR 15175-1 (ABNT, 2013) pag.15

No momento da avaliação de uma edificação, faz-se necessário a determinação de sua idade real, ou seja, o tempo decorrido desde o início da utilização até a data da análise. Consequentemente obter-se-á a vida residual, a qual trata-se da diferença entre a vida útil do edifício e a sua idade efetiva ou atual. Porém, nem sempre é possível obter a idade efetiva da edificação, tendo em vista a ausência de documentação, ou documentação com dados irreais. Neste caso a idade poderá ser estimada, ou seja, determina-se a idade aproximada, levando em consideração as suas características construtivas, arquitetônicas e funcionais (NBR 14653-2:2011).



## 2.2.4 Métodos para a estimativa da depreciação de edificações

Malpezzi, Ozanne e Thibodeau (1987), apresentam uma extensa revisão da literatura de habitação sobre depreciação e preços de habitação, com o objetivo de estudar como as taxas de depreciação variam entre os mercados imobiliários. Neste estudo encontraram grande variabilidade nas estimativas das taxas de depreciação, variando de 0,5% a 2,5% ao ano. Esta variação demonstrou ser consequência da utilização de diferentes métodos de depreciação, mercados imobiliários e períodos. Apesar da ampla variação, observaram que em geral os valores diminuem com a idade a uma taxa decrescente (MALPEZZI; OZANNE; THIBODEAU, 1987).

Segundo Armengot *et al.* (2019), na prática avaliativa, a quantificação da depreciação do imóvel é baseada na relação entre a idade de uma edificação e sua vida útil. Conforme Armengot *et al.* (2019), existem três procedimentos tradicionais para calcular a depreciação: 1) por idade, baseado em tabelas ou algoritmos; 2) por meio de comparação de mercado, o qual depende da disponibilidade de uma amostra representativa; 3) analítico, quantificação da perda de valor para cada caso de forma independente, baseando-se no custo estimado para a reforma necessária.

O estado de conservação de um imóvel se configura como uma das variáveis mais significativas para a depreciação, porém, poucos métodos levam em consideração esta variável (GALENDE, 2018).

Os métodos mais utilizados no Brasil devido a sua praticidade, são os baseado em tabelas ou algoritmos. Conforme Abunahman (2008), Silva (2013), Pereira (2013) e Benvenho (2013), Lopes e Alonso (2014), os métodos mais importantes são: Linha Reta ou Depreciação Linear, Valor Decrescente, Método de Kuentzle (parábola), Ross, Heidecke, Ross-Heidecke.

No Método da Linha Reta ou Depreciação Linear, representado pela Equação (2), obtém-se o valor total depreciado na data da avaliação, relativo à idade real da benfeitoria também na época da avaliação. A depreciação do bem calculada é constante ao longo do tempo. No fim da vida útil o valor atribuído ao bem é o seu valor residual, ou seja, desmonte para reutilização peças (PIMENTA, 2011).

$$Kd = \frac{(n-x)}{n}Pd + Pr \quad (2)$$

Onde:

$Kd$  = coeficiente de depreciação;

$Pd$  = parcela depreciável, na forma decimal;

$Pr$  = parcela residual, na forma decimal;

$n$  = vida útil em anos;

$x$  = idade real em anos.

Este método não leva em consideração as condições de manutenção do imóvel. Segundo Pimenta (2011) este método pode ser utilizado em caso mais genéricos, porém, para o mercado imobiliário se mostra ineficaz. No caso da valoração da depreciação física de um imóvel que se encontra em 20% da sua vida útil, o seu fator de depreciação é de 0,2. O mesmo imóvel, percorridos 40% de vida útil atinge 0,4 de depreciação física, ou seja, a depreciação é linear. Porém o autor defende que a degradação e perda de características dos vários elementos construtivos de um imóvel não é linear.

O Método do Valor Decrescente considera o desgaste, uso e manutenção normais. Segundo Lopes e Alonso (2014) é um método correntemente utilizado, porém não é o mais acertado. Este método fornece o coeficiente de depreciação por meio da Equação (4).

$$K_d = (1 - R)^x \quad (4)$$

Onde:

$Kd$  = coeficiente de depreciação;

$R$  = razão de depreciação (recíproca da vida útil);

$x$  = idade em anos.

As razões a considerar são as contidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Razão de depreciação do método valor decrescente

Tipo	%	Vida útil (anos)
Barracos	4,0	25
Residências proletário rústico a médio comercial	1,5	67
Residências médio superior a luxo	2,0	50
Apartamentos e Escritórios	2,5	40
Armazéns e Indústrias	1,5	67
Construções de madeira	4,0	25

Fonte: Adaptado de Lopes e Alonso (2014)

No método de Kuentzle, a depreciação é função da idade do imóvel e a relação entre o fator tempo. A depreciação do imóvel tem um traçado parabólico. Apresenta menores depreciações na fase inicial e maiores na fase final, o que é compatível com o desgaste progressivo das peças de uma edificação. É mais utilizado por órgão de controle do Estado, como o Tribunal de Contas da União (GALENDE, 2018). Neste método o coeficiente de depreciação é dado pela Equação (5).

$$k_d = \frac{n^2 - x^2}{n^2} \quad (5)$$

Onde:

$K_d$  = coeficiente de depreciação;

$n$  = vida útil em anos.

$x$  = idade em anos.

O método de Ross se baseia numa lógica de associação entre o modelo de depreciação linear e o modelo de depreciação exponencial. Segundo Pimenta (2011) esta associação diminui o erro e o desvio da realidade, aproximando o resultado obtido com a realidade. Neste método o coeficiente de depreciação é dado pela Equação (6).

$$K_d = 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{x}{n} + \frac{x^2}{n^2} \right) \quad (6)$$

Onde:

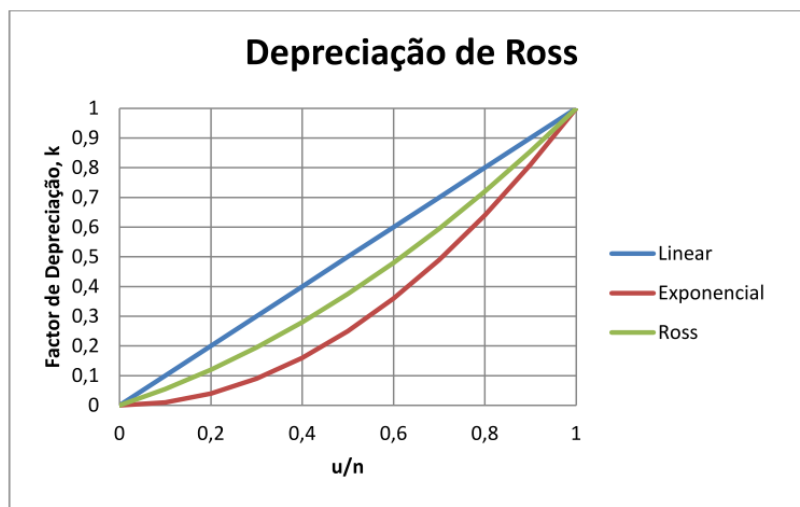
$K_d$  = coeficiente de depreciação;

$n$  = vida útil.

$x$  = idade.

Pimenta (2011) comparou graficamente os comportamentos dos resultados dos métodos da Linha Reta, Exponencial e Ross, obtendo o comportamento demonstrado na Figura 3.

Figura 3 – Curvas de depreciação linear, exponencial e de Ross



Fonte: Pimenta (2011) pag. 26

O método de Heidecke, segundo Lopes e Alonso (2014), é baseado em três princípios, sendo 1) a perda de valor gerada pela depreciação não pode ser recuperada com gastos de manutenção; 2) as manutenções aumentam a durabilidade; 3) uma edificação regularmente conservada deprecia-se de modo regular, enquanto outra mal conservada deprecia-se mais rapidamente.

Heidecke estabeleceu nove categorias de estado de conservação, atribuindo a cada uma delas coeficientes próprios, conforme Quadro 1.

Quadro 1– Coeficientes depreciação Heidecke

Nº	C	Estado de Conservação
1	0,00%	Novo
2	0,32%	Entre Novo e Regular
3	2,52%	Regular
4	8,09%	Entre Regular e Reparos Simples
5	18,10%	Reparos Simples
6	33,20%	Entre Reparos Simples e importantes
7	52,60%	Reparos Importantes
8	72,20%	Entre reparos importantes e sem valor
9	100,00%	Sem valor

Fonte: Adaptado de Pimenta (2011) pag. 27

O método de Ross-Heidecke, originou-se na junção de dois métodos. Enquanto Ross considera somente a idade, Heidecke complementa atribuindo depreciações pelo estado da edificação. Não foram localizadas publicações que

indiquem como Ross e Heidecke chegaram aos coeficientes estabelecidos e equações para a elaboração de suas tabelas, porém, segundo Montenegro *et al.* (2013) este método é o mais utilizado por pesquisadores quando estes utilizam o método de custo de reprodução na avaliação de benfeitorias.

Matematicamente o modelo de Ross-Heidecke é obtido pela Equação (7).

$$K = \frac{1}{2} \left[ \frac{u}{n} + \left( \frac{u}{n} \right)^2 \right] + \left[ 1 - \frac{1}{2} \left[ \frac{u}{n} + \left( \frac{u}{n} \right)^2 \right] \right] C \quad (7)$$

Onde

$K_d$  = coeficiente de depreciação;

$n$  = vida útil em anos;

$u$  = idade atual do imóvel;

$C$  = estado de conservação.

A combinação dos dois métodos resulta na Tabela 2, com entrada dupla, para obtenção do coeficiente de depreciação.

Tabela 2 – Coeficientes de Ross-Heidecke

(continua)

IDADE (%)	ESTADO DE CONSERVAÇÃO							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2	1,02	1,05	3,51	9,03	18,90	33,90	53,10	75,40
4	2,08	2,11	4,55	10,00	19,80	34,60	53,60	75,70
6	3,18	3,21	5,62	11,10	20,70	35,30	54,10	76,00
8	4,32	4,35	6,73	12,10	21,60	36,10	54,60	76,30
10	5,50	5,53	7,88	13,20	22,60	36,90	55,20	76,60
12	6,72	6,75	9,07	14,30	23,60	37,70	55,80	76,90
14	7,98	8,01	10,30	15,40	24,60	38,50	56,40	77,20
16	9,28	9,31	11,60	16,60	25,70	39,40	57,00	77,50
18	10,60	10,60	12,90	17,80	26,80	40,30	57,60	77,80
20	12,00	12,00	14,20	19,10	27,90	41,20	58,30	78,20
22	13,40	13,40	15,60	20,40	29,10	42,20	59,00	78,50
24	14,90	14,90	17,00	21,80	30,30	43,10	59,60	78,90
26	16,40	16,40	18,50	23,10	31,50	44,10	60,40	79,30
28	17,90	17,90	20,00	24,60	32,80	45,20	61,10	79,60
30	19,50	19,50	21,50	26,00	34,10	46,20	61,80	80,00

Tabela 2 – Coeficientes de Ross-Heidecke

(continuação)

IDADE (%)	ESTADO DE CONSERVAÇÃO							
	1	2	3	4	5	6	7	8
32	21,10	21,10	23,10	27,50	35,40	47,30	62,50	80,40
34	22,80	22,80	24,70	29,00	36,80	48,40	63,40	80,80
36	24,50	24,50	26,40	30,60	38,10	49,50	64,20	81,30
38	26,20	26,20	28,10	32,20	39,60	50,70	65,00	81,70
40	28,00	28,00	29,90	33,80	41,00	51,90	65,90	82,10
42	29,90	29,80	31,60	35,50	42,50	53,10	66,70	82,60
44	31,70	31,70	33,40	37,20	44,00	54,40	67,50	83,10
46	33,60	33,60	35,20	38,90	45,60	55,60	68,50	83,50
48	35,50	35,50	37,10	40,70	47,20	56,90	69,40	84,00
50	37,50	37,50	39,10	42,60	48,80	58,20	70,40	84,50
52	39,50	39,50	41,00	44,40	50,50	59,60	71,30	85,00
54	41,60	41,60	43,00	46,30	52,10	61,00	72,30	85,50
56	43,70	43,70	45,10	48,20	53,90	62,40	73,30	86,00
58	45,80	45,80	47,20	50,20	55,60	63,80	74,30	86,60
60	48,00	48,00	49,30	52,20	57,40	65,30	75,30	87,10
62	50,20	50,20	51,50	54,20	59,20	66,70	76,40	87,70
64	52,50	52,50	53,70	56,30	61,10	68,30	77,60	88,20
66	54,80	54,80	55,90	58,40	63,00	69,80	78,60	88,80
68	57,10	57,10	58,20	60,50	64,90	71,40	79,70	89,60
70	59,50	59,50	60,50	62,80	66,80	72,60	80,80	90,00
72	61,20	61,20	62,90	65,00	68,80	74,60	81,90	90,60
74	64,40	64,40	65,30	67,30	70,80	76,20	83,10	91,20
76	66,90	66,90	67,70	69,60	72,90	77,90	84,30	91,80
78	69,40	69,40	70,20	71,90	74,90	79,60	85,50	92,40
80	72,00	72,00	72,70	74,30	77,10	81,30	86,70	93,10
82	74,60	74,60	75,30	76,70	79,20	83,00	88,00	93,70
84	77,30	77,30	77,80	79,10	81,40	84,80	89,20	94,40
86	80,00	80,00	80,50	81,60	83,60	86,60	90,50	95,00
88	82,70	82,70	83,30	84,10	85,80	88,50	91,80	95,70
90	85,50	85,50	85,90	86,70	88,10	90,30	93,50	96,40
92	88,30	88,30	88,60	89,30	90,40	92,20	94,50	97,10
94	91,20	91,20	91,40	91,90	92,80	94,10	95,80	97,80
96	94,10	94,10	94,20	94,60	95,10	96,00	97,20	98,50
98	97,00	97,00	97,10	97,30	97,60	98,00	98,60	99,30
100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Adaptado de Pimenta (2011) pag. 28

As características de conservação, que variam entre um e oito possuem os parâmetros indicados na Quadro 2.

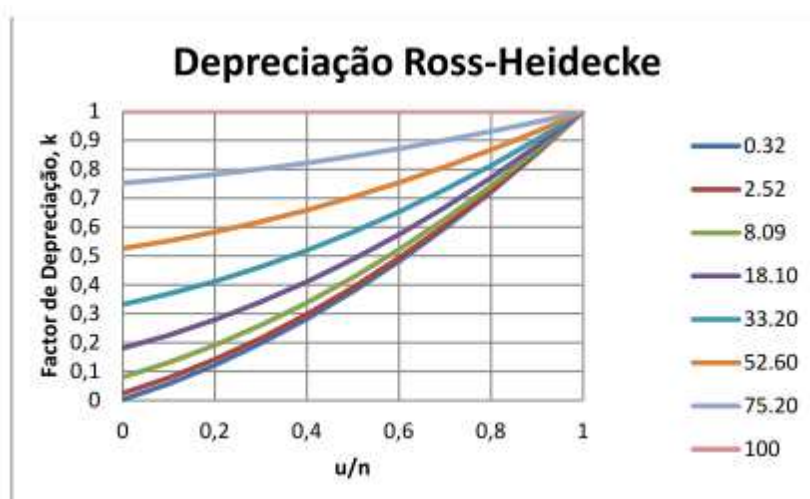
Quadro 2– Características das condições físicas dos imóveis, segundo método de Heidecke

<b>Condições Físicas</b>	<b>Coefficiente C</b>	<b>Características</b>
Novo (1)	0,00%	Edificação nova ou com reforma geral e substancial, com menos de dois anos, que apresente apenas sinais de desgaste natural da pintura externa.
Entre novo e regular (2)	0,32%	Edificação nova ou com reforma geral e substancial, com menos de dois anos, que necessite apenas de uma demão leve de pintura para recompor sua aparência.
Regular (3)	2,52%	Edificação seminova ou com reforma geral e substancial, entre 2 e 5 anos, cujo estado geral possa ser recuperado apenas com reparos de eventuais fissuras superficiais e ou pintura externa e interna.
Entre regular e reparos simples (4)	8,09%	Edificação seminova ou com reforma geral e substancial entre 02 e 05 anos, cujo estado geral possa ser recuperado com reparo de fissuras localizadas e superficiais e pintura externa e interna.
Reparos simples (5)	18,10%	Edificação cujo estado geral possa ser recuperado com pintura interna e externa, após reparos de fissuras superficiais generalizadas, sem recuperação do sistema estrutural. Eventualmente, revisão do sistema hidráulico e elétrico.
Entre reparos simples e importantes (6)	33,20%	Edificação cujo estado geral possa ser recuperado com pintura interna e externa, após reparos de fissuras, e com estabilização e/ou recuperação localizada do sistema estrutural. As instalações hidráulicas e elétricas possam ser restauradas mediante a revisão e com substituição eventual de algumas peças desgastadas naturalmente. Eventualmente possa ser necessária a substituição dos revestimentos de pisos e paredes, de um, ou de outro compartimento. Revisão da impermeabilização ou substituição de telhas da cobertura.
Entre reparos importantes e sem valor (7)	75,20%	Edificação cujo estado geral possa ser recuperado com estabilização e/ou recuperação do sistema estrutural, substituição da regularização da alvenaria, reparos de fissuras. Substituição das instalações hidráulicas e elétricas. Substituição dos revestimentos de pisos e paredes. Substituição da impermeabilização ou do telhado.
Sem valor (8)	100%	Edificação em estado de ruína

Segundo Pimenta (2013) as curvas de depreciação passam a ser definidas para cada estado de conservação, conforme a Figura 4.

No método de Ross-Heidecke, quando a idade do imóvel em percentual for maior ou igual a 100%, ou seja, quando a vida útil já tiver sido ultrapassada, o fator de depreciação será de 100% qualquer que seja o estado de conservação. Segundo a análise de Pimenta (2013), esta consideração não condiz com a realidade, uma vez que edificações que tenham passado por manutenções e ou restaurações podem possuir valor mesmo pós findada a vida útil. Ainda segundo o autor há circunstâncias em que os fatores depreciativos tenham sido menos severos do que os esperados, neste caso também há a possibilidade de uma edificação com a vida útil vencida possuir valor, contrariando as premissas do modelo.

Figura 4 – Curvas de depreciação para cada estado de conservação



Fonte: Pimenta (2011) pag. 29

Nos países europeus a depreciação é um fator de avaliação para fins tributários e é utilizada em práticas contábeis e na decisão de investimentos. Cada país ou até mesmo região adota seus parâmetros para a determinação da depreciação dos imóveis. Nos Estados Unidos o método linear é comumente utilizado para fins contábeis, onde a depreciação é permitida sob os códigos de impostos federais durante um período de vida média de uma propriedade de 27,5 a 39 anos, dependendo do tipo de propriedade (ARMENGOT, J.; WILLIAMS, B.; PADIAL, J. F, 2019).



Os métodos utilizados são generalistas, pois não levam em consideração que os sistemas construtivos que compõe uma edificação possui suas próprias características de durabilidade e desempenho. Esta metodologia subjetiva e simplista pode gerar resultados imprecisos e não compatíveis com a realidade, na tentativa de simplificar algo complexo. Desta forma conclui-se que a depreciação deva ser calculada de forma mais detalhada, levando em consideração as especificidades das questões construtivas, já que uma edificação é composta por diversos elementos (MONTENEGRO *et al.*, 2013).

Segundo Armengot; Williams e Padial, (2019), os cálculos da depreciação por meio de métodos padronizados não tem a capacidade de explicar as variações que ocorrem devido a inserção de um imóvel em um determinado contexto espacial. Assim, a utilização de modelos hedônicos para o cálculo da depreciação é uma evolução, tendo em vista que incluem não só as características básicas intrínsecas a estrutura, mas fatores externos como a localização.

Para Pimenta (2013) os modelos padrão para cálculo da depreciação física não se mostram adequados para serem utilizados em questões habitacionais, carecendo de desenvolvimento e evolução na área técnica de engenharia.

## 2.3 ESTUDOS CORRELATOS

No intuito de demonstrar o estado atual das pesquisas na área de depreciação, relacionadas ao estado de manutenção e a idade das edificações, foi realizada uma revisão narrativa de estudos correlatos, realizados nos últimos 15 anos.

Harding, Rosenthal e Sirmans (2007) realizaram estudo nos Estados Unidos, com os dados da *Americam Housing Survey* (AHS), onde foram selecionadas 6841 unidades habitacionais que obrigatoriamente tivessem vendas repetidas entre os anos de 1985 e 2001. Utilizaram o modelo padrão de vendas repetidas e um modelo proposto modificado, o qual leva em consideração a depreciação e a manutenção relacionadas a idade. Demonstraram que o modelo padrão de vendas repetidas não é apropriado se o objetivo é avaliar a valorização, depreciação ou ganho de capital com a casa própria. Verificaram que a manutenção adiciona cerca de meio a um por cento de valorização anual real à casa típica nos EUA, enquanto a depreciação relacionada à idade subtrai aproximadamente 2,5 a 3,0 por cento por ano. Portanto, a

casa típica de uma única família se deprecia em aproximadamente uma taxa de 1,9% ao ano.

Wilhelmsson (2008) realizou um estudo em Estocolmo, Suécia com dados de 640 transações imobiliárias de venda, entre os anos de 2000 e 2003. Relaciona as taxas de depreciação com o nível de manutenção. Utiliza regressão espacial para tratamento dos dados. Conclui que o nível de manutenção tem um impacto claro no valor da propriedade e na taxa de depreciação. Estimou a taxa de depreciação em 0,77% ao ano para uma propriedade bem mantida e 1,10% para uma propriedade com manutenções deficientes.

Coulson e Mcmillen (2008) realizaram um estudo em Chicago com dados de 262142 transações imobiliárias de venda, entre os anos de 1890 e 2003. O estudo fez uma abordagem utilizando regressão hedônica e outra não paramétrica com o objetivo de demonstrar que é possível melhorar a tarefa de separar os efeitos da idade da construção, e da sua safra, sendo que safra corresponde a década que a casa foi construída. Verificou que os coeficientes da regressão hedônica não fornecem medidas precisas destes efeitos. Já a abordagem não paramétrica permite uma melhor estimativa simultânea destes efeitos. Tanto as estimativas baseadas na regressão hedônica como na abordagem não paramétrica demonstraram que os preços das casas diminuem mais acentuadamente nos seus primeiros anos de construção. Ao mesmo tempo tendem a ser mais altos para safras mais recentes. Os resultados não paramétricos sugerem que as casas construídas durante a década de 1940 incorrem em um desconto em relação às casas de safras próximas. Os resultados não paramétricos demonstraram que a taxa de depreciação pode depender da safra do imóvel.

Syed e Haan (2016) realizaram um estudo em Assen, Holanda, com 6348 casas, entre os anos de 1998 e 2008. As edificações estudadas foram construídas entre os anos de 1960 e 2008. O método utilizado foi o da imputação hedônica, o qual consiste em utilizar uma regressão hedônica *cross-section* para cada período, para se imputar o valor de um conjunto de bens observados no período  $s$  e no período  $t$ , sendo  $s \neq t$ . Buscou medir a depreciação em função da idade. Considerou que o tempo de venda, idade e efeito *vintage*, são imprescindíveis na determinação da depreciação da edificação ao longo do tempo. O efeito do tempo mede a mudança nas condições gerais de mercado. O efeito da idade, mede a depreciação econômica causada pelo desgaste natural. O efeito de coorte ou *vintage* relativo a determinado

período de construção mede a preferência sobre características particulares de habitação, como arquitetura distinta. Concluíram que as casas se depreciam em cerca de 20,7% ao longo da vida de 40 anos, com 16,1% de depreciação nos primeiros 20 anos e 4,6% nos próximos 20 anos (0,52% ao ano).

Bokhari e e Geltner (2016) realizaram estudo nos Estados Unidos com dados de 107805 transações, disponíveis no banco de dados de propriedades comerciais da RCA, incluindo imóveis residenciais, comerciais, industriais e de serviço. A depreciação foi medida em relação ao valor total da propriedade e não apenas ao valor da estrutura, e com base no fluxo de caixa e no valor de mercado atual, em vez de uma base contábil de competência de custo histórico. Concluem que a depreciação inclui as três fontes relacionadas à idade de declínio no valor real a longo prazo: obsolescência física, funcional e econômica da estrutura do edifício. Encontraram uma taxa média global de depreciação de 1,5% por ano, variando de 1,82% por ano para imóveis com prédios novos a 1,12% por ano para imóveis com prédios de 50 anos. Concluíram que a depreciação tende a ser maior em imóveis mais novos e que mantendo a idade do edifício constante a depreciação tende a ser ligeiramente maior em edifícios de apartamento residenciais do que em imóveis comerciais. Locais com restrições físicas de terreno tendem a ter taxas de depreciação mais baixas, já locais com muita terra e menos restrições tem maior depreciação, mantida a idade da construção constante.

Francke e Van de Minne (2017), realizaram estudo em Hertogenbosch na Holanda, com dados de 9.331 transações imobiliárias, entre os anos de 2.000 e 2.010. Individualizou o preço do terreno e da edificação, sendo que os efeitos da idade e do ano de construção foram atribuídos especificamente ao valor da edificação. Fizeram uma estimativa simultânea dos efeitos separados de deterioração física e obsolescência funcional, com base nos preços de venda e custos de construção, em um modelo de preços hedônico não linear. Os resultados mostraram que a manutenção tem um impacto substancial na taxa de deterioração física. Verificaram que após 50 anos sem ou quase sem manutenção, uma estrutura típica perdeu cerca de 43% do seu valor.

Gröbel (2018) realizou estudo no Estado Federal da Baixa Saxônia, Alemanha, com dados de 7.000 transações imobiliárias 2007 a 2015. Utilizou regressão quantílica e espacial para tratamento dos dados. Examinou a variação regional nas taxas de depreciação de moradias relacionadas à idade com base nos

preços de moradias unifamiliares alemãs. Os resultados revelaram que uma grande parte da variação regional na depreciação relacionada à idade pode estar ligada a variáveis associadas ao excesso de oferta. Demonstrou que as casas de má qualidade têm, de fato, menor demanda no caso de excesso de oferta. Em mercados de habitação com elevadas taxas de desocupação, as habitações unifamiliares que se encontram no fim do seu ciclo de vida correm, um risco particularmente elevado de sofrer uma queda acentuada no valor ou mesmo de permanecer vagas a longo prazo.

Armengot; Williams e Padial (2019) realizaram estudo em Madri com a utilização de 243 transações imobiliárias realizadas nos anos 2011 e 2012. Utilizaram regressão linear múltipla para o tratamento dos dados. Exploraram a relação entre as edificações novas e as existentes, em termos de uma hierarquia de valor de mercado urbano, considerando a importância do conceito de depreciação, influenciada por três fatores: a idade, localização e qualidade do edifício. Concluíram que os métodos tradicionais de determinação da depreciação de edificações por idade podem ser melhorados, tendo em vista que a perda de valor ao longo do tempo é influenciada por diversos fatores espaço temporais. A dinâmica do mercado imobiliários e da distribuição sociodemográfica deve ser examinada para verificação do desempenho dos valores imobiliários e da sua evolução ao longo do tempo. A data da construção é uma variável significativa, pois intrinsecamente traz dados sobre a idade, localização e qualidade da construção. Na zonal central de Madri as edificações construídas entre 1870 e 1915 possuem uma taxa de depreciação menor do que as edificações mais recentes, pois localizam-se em locais mais valorizados e foram construídos com maior qualidade. As edificações construídas entre 1940 e 1960 possuem propensão a uma taxa de depreciação maior devido ao baixo padrão de construção.

Yoshida (2020) em seu estudo utilizou três conjuntos de dados e fez uso de um modelo hedônico transversal. O primeiro conjunto de dados foi composto de transações de propriedades residenciais e comerciais japonesas entre 2005 e 2007. O número de transações residenciais é 12.624 e 53.938 para Tóquio e outros lugares, respectivamente. O número de transações comerciais é 2.184 e 7.413, respectivamente. O segundo conjunto de dados incluiu transações de habitação para a Pensilvânia, nos EUA, de 1994 a 2019, com 660.464 dados de transações. O terceiro conjunto de dados foi obtido no Japão, nas estatísticas de demolição realizadas a partir de duas fontes de dados. A primeira fonte foi constituída de dados entre 2005 e 2014, com 1351 residências, 15782 industriais, 8531 escritórios, 383

hotéis e 6141 propriedades de varejo. A segunda fonte de dados foi a construção do edifício iniciada, baseada nas informações de registro de construção obrigatórias e remonta a 1951. O volume de construção no passado é usado para corrigir vieses de estimativa. Não abordou o efeito de manutenção e o efeito *vintage*. O estudo demonstrou a variação transversal na depreciação de imóveis e estruturas para residências e propriedades comerciais no Japão e nos Estados Unidos. Yoshida (2020) verificou que taxa de depreciação dos imóveis tende a diminuir com a idade e é menor que a taxa de depreciação das estruturas devido ao componente não depreciativo do terreno. A depreciação dos imóveis foi maior para propriedades mais novas, e para imóveis localizados longe das regiões centrais. A taxa de depreciação das estruturas foi maior no Japão do que nos EUA e maior para propriedades comerciais do que residenciais.

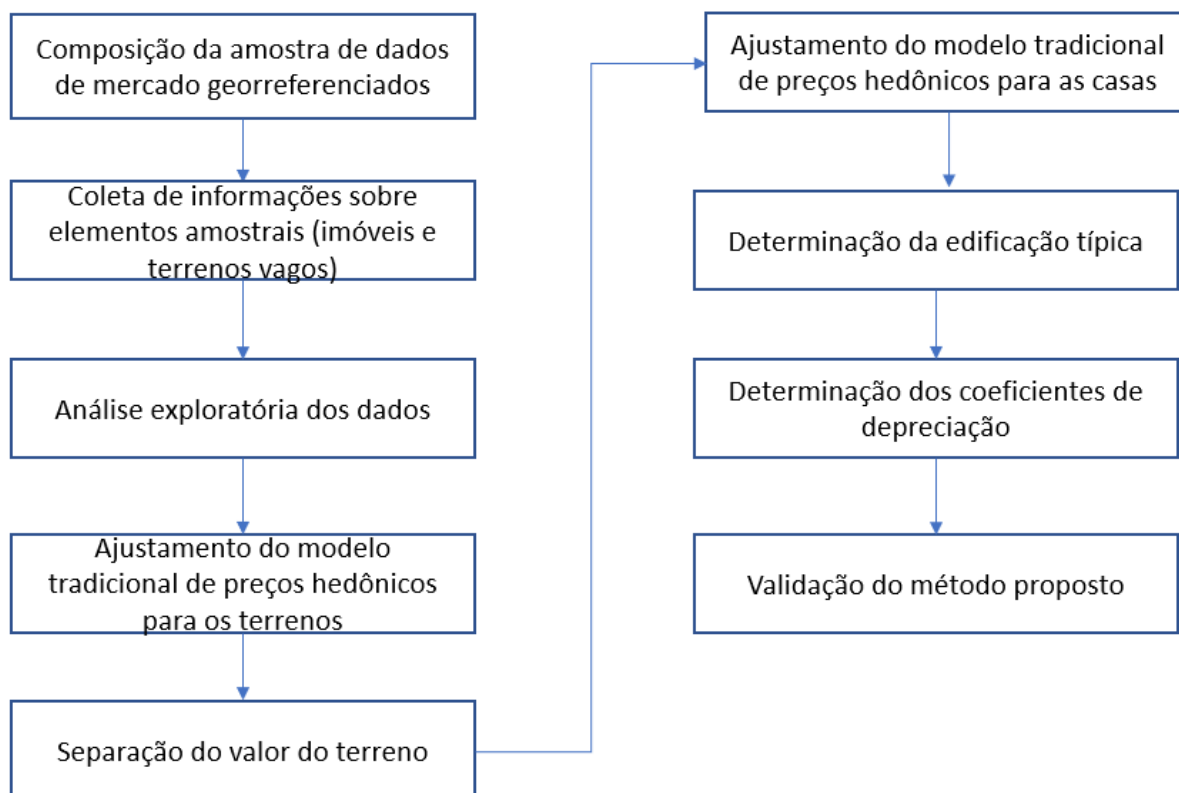
### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo iniciou com a fundamentação teórica, fundamental na obtenção de uma base conceitual do assunto, contemplando temas como a importância, o histórico e os métodos utilizados para a realização de avaliação de imóveis no Brasil. Conceituou-se e descreveu-se os métodos utilizados no Brasil para realizar a depreciação de uma edificação, definindo também o conceito de vida útil de uma edificação e de seus elementos. Para estabelecer o estado da arte, foi realizada uma revisão narrativa de estudos correlatos, realizados nos últimos 15 anos.

O presente capítulo tem a finalidade de detalhar os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa. Descreveu-se a área de estudo, fazendo uma exposição dos procedimentos utilizados para a coleta dos elementos amostrais, para o tratamento dos dados, tendo por meta a obtenção dos coeficientes de depreciação das edificações.

A metodologia utilizada foi dividida em etapas, as quais estão sumarizadas no esquema da Figura 5.

Figura 5 – Esquema dos procedimentos metodológicos



Fonte: Elaborado pela autora

### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Conforme Sampieri (2013), a estratégia de pesquisa depende do alcance do estudo. Assim, o desenho, os procedimentos e outros componentes do processo serão diferentes em estudos com alcance exploratório, descritivo, correlacional ou explicativo. Mas, na prática, qualquer pesquisa pode incluir elementos de mais de um desses quatro alcances. Esta pesquisa teve o alcance correlacional pois associou variáveis, com a finalidade de conhecer o grau de relação entre dois ou mais conceitos, categorias ou variáveis num contexto determinado.

Esta pesquisa teve o enfoque quantitativo, por meio da coleta de dados de campo dos imóveis disponíveis para venda, e com a utilização de recursos estatísticos foram testadas hipóteses e a análise de causa-efeito.

### 3.2 SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Joinville, escolhido para o estudo, é a maior cidade de Santa Catarina em termos populacionais. A seleção de bairros localizados na região centro norte foi realizada tendo em vista que consiste na região de maior concentração de imóveis com as características desejadas, ou seja, residências unifamiliares padrão normal (SEPUD, 2018).

### 3.3 DESCRIÇÃO DO OBJETO E ÁREA DE ESTUDO

O objeto deste estudo são residências unifamiliares, com um ou dois pavimentos, classificadas como sendo padrão normal, conforme os conceitos da NBR 12721 (ABNT, 2006). No item 8.2.1- Enquadramento dos projetos padrão, desta mesma norma, os projetos são descritos conforme seu tipo de acabamento, enquadrando a edificação em padrão baixo, normal ou alto, conforme mostrado na Figura 6. Cabe informar que os elementos amostrais coletados possuem características construtivas similares ao projeto padrão indicado, não sendo possível coletar dados com características idênticas. Também foram coletados elementos amostrais de terrenos vagos, no intuito de separar o valor do terreno do valor das edificações.

Os elementos amostrais foram coletados na cidade de Joinville, Estado de Santa Catarina, região sul do Brasil, Figura 7. Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2022), Joinville possui área de unidade territorial de 1.127.976 Km<sup>2</sup>, altitude de 4,5m e está situado na latitude 26° 18' 05" sul e longitude 48° 50' 38" oeste, a 180 km da capital do estado, Florianópolis. A população apurada no último censo é de 616.323 pessoas (IBGE, 2022).

Figura 6 – Características principais dos projetos-padrão de acordo com a Tabela 1 da NBR 127121(ABNT,2006)

**Tabela 1 - Características principais dos projetos-padrão:**

<b>Residência Unifamiliar</b>		
<b>Residência Padrão Baixo (R1-B)</b>	<b>Residência Padrão Normal (R1-N)</b>	<b>Residência Padrão Alto (R1-A)</b>
Residência composta de dois dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área para tanque.	Residência composta de três dormitórios, sendo um suíte com banheiro, banheiro social, sala, circulação, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda (abrigo para automóvel).	Residência composta de quatro dormitórios, sendo um suíte com banheiro e closet, outro com banheiro, banheiro social, sala de estar, sala de jantar e sala íntima, circulação, cozinha área de serviço completa e varanda (abrigo para automóvel).
<b>Área Real: 58,64 m<sup>2</sup></b>	<b>Área Real: 106,44 m<sup>2</sup></b>	<b>Área Real: 224,82 m<sup>2</sup></b>
<b>Residência Popular (RP1Q)</b>		
Residência composta de dois dormitórios, sala, banheiro e cozinha.		
<b>Área Real: 39,56 m<sup>2</sup></b>		

Fonte: NBR 12712 (ABNT,2006) – item 8.2 Projetos padrão, página 19.

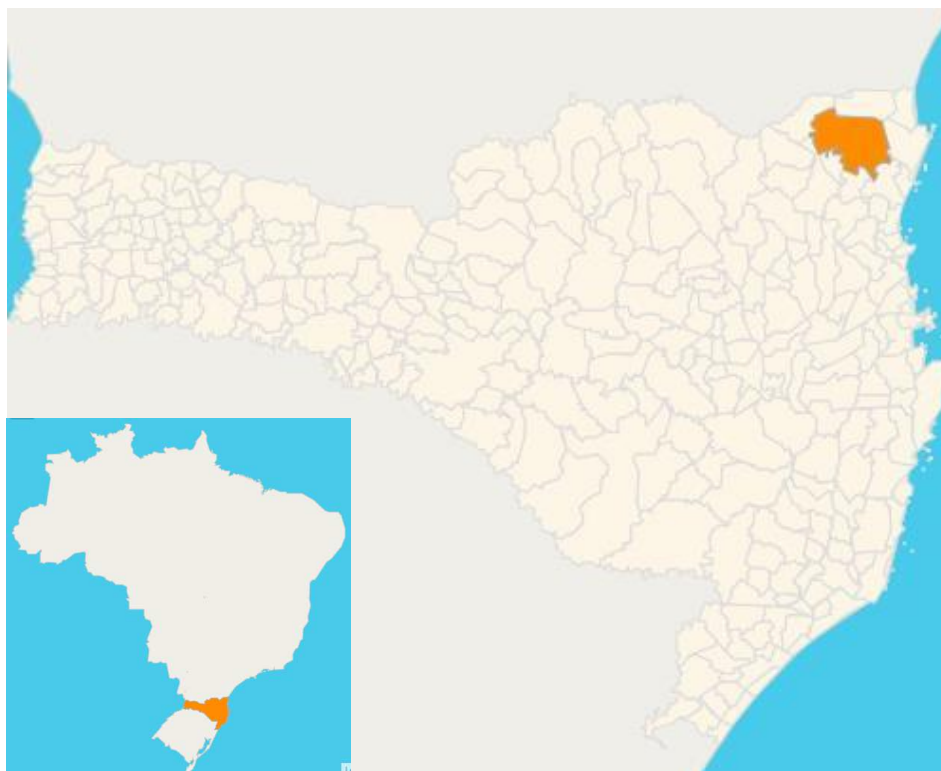
A cidade concentra na indústria grande parte da atividade econômica, com destaque para os setores metalmeccânico, têxtil, plástico, metalúrgico, químico e farmacêutico (SEPUD, 2020). O salário médio mensal dos trabalhadores formais em 2018 era de 2,9 salários-mínimos. O PIB per capita (2018) foi de R\$ 52.792,59 e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM, 2010) foi de 0,809. Conforme IBGE (2017) o setor que mais contribuiu para a formação do PIB, foi o setor de serviços com o percentual de 43,34%, seguido da indústria com 26,83%.

No ano de 2010 foram apurados o total de 160.690 de domicílios particulares permanentes, sendo 155.565 localizadas na área urbana. Destes domicílios, 122.098, eram próprios e o restante era alugado, cedido ou em outra condição. Os domicílios do tipo casa, correspondiam a 134.199 unidades, sendo que 128.356 foram



construídas com paredes de alvenaria e revestimento. Os apartamentos correspondiam a 25.321 unidades habitacionais. A densidade habitacional de moradores por dormitórios foi de 62.489 até um morador, 84.258 de um até dois moradores, 11.212 de dois a três moradores e 2.731 com mais de 3 moradores (IBGE, 2010).

Figura 7 – Localização geográfica do Estado de Santa Catarina e Joinville



Fonte: IBGE (2022)

O município é dividido em regiões administrativas, onde estão implantadas subsedes da Prefeitura Municipal, conforme Figura 7. As subsedes são órgãos da administração direta do Município de Joinville, responsáveis por facilitar o contato com a população e prestar atendimento de serviços públicos, cuidar da manutenção e limpeza do sistema viário, da rede de drenagem e espaços públicos, atendendo demandas diretas pelos moradores dos bairros de sua abrangência (SEPUD, 2021). Estas regiões são formadas por agrupamentos de bairros, em determinadas regiões geográficas, consistindo nas seguintes regiões: Pirabeiraba, Oeste, Centro Norte, Nordeste, Sudeste, Sudoeste e Sul.

Para seleção dos bairros nos quais foram coletados elementos amostrais, foram analisadas as informações disponibilizadas pelo SEPUD (2017). Com base nestas informações foram escolhidos os bairros em uma mesma região geográfica,

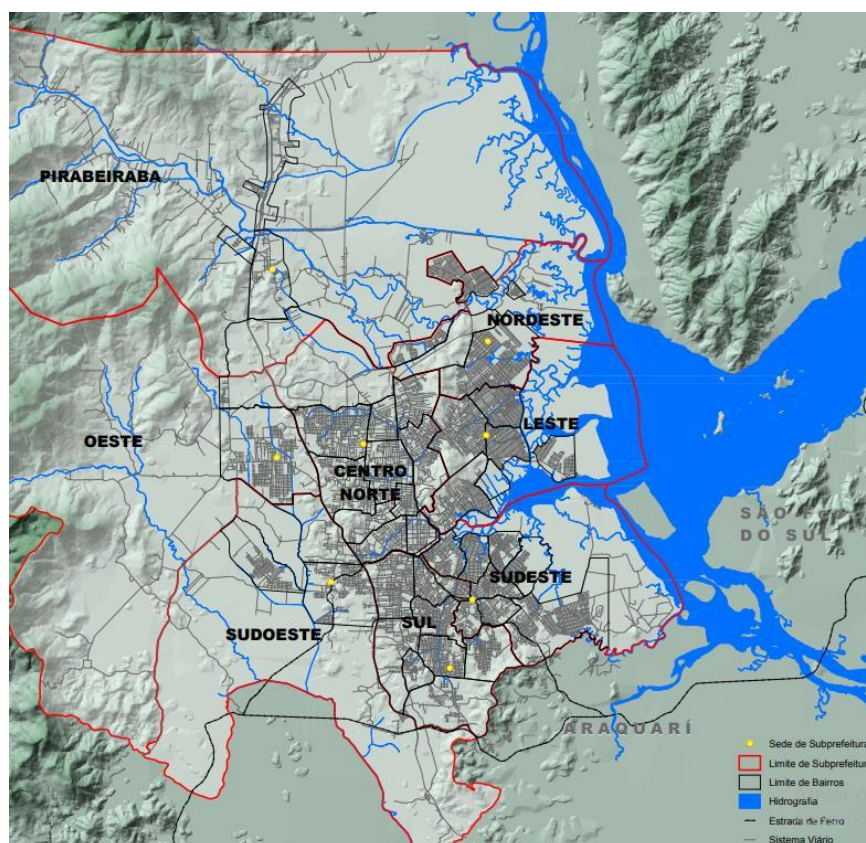
com uso do solo predominantemente residencial e características socioeconômicas semelhantes. Os bairros selecionados foram: Costa e Silva, Glória e Santo Antônio, conforme ilustrado na Figura 9. A Tabela 3 sintetiza as informações disponibilizadas pelo SEPUD (2017) e analisadas para a escolha.

Tabela 3 – Características dos bairros utilizados no estudo

	Costa e Silva	Bairro Glória	Santo Antônio
Densidade demográfica (hab./ km <sup>2</sup> )	4.608,00	2.125,00	3.294,00
Área (km <sup>2</sup> )	33.572,00	12.641,00	8.026,00
Rendimento médio mensal (salários-mínimos)	2,61	4,22	3,96
Uso do solo (%)			
Residencial	87,80	79,40	86,60
Comércio	6,40	9,40	7,00
Indústria	0,20	0,40	0,11
Baldio	6,40	10,90	6,20

Fonte: Elaborado pela Autora com base nos dados do (SEPUD, 2017).

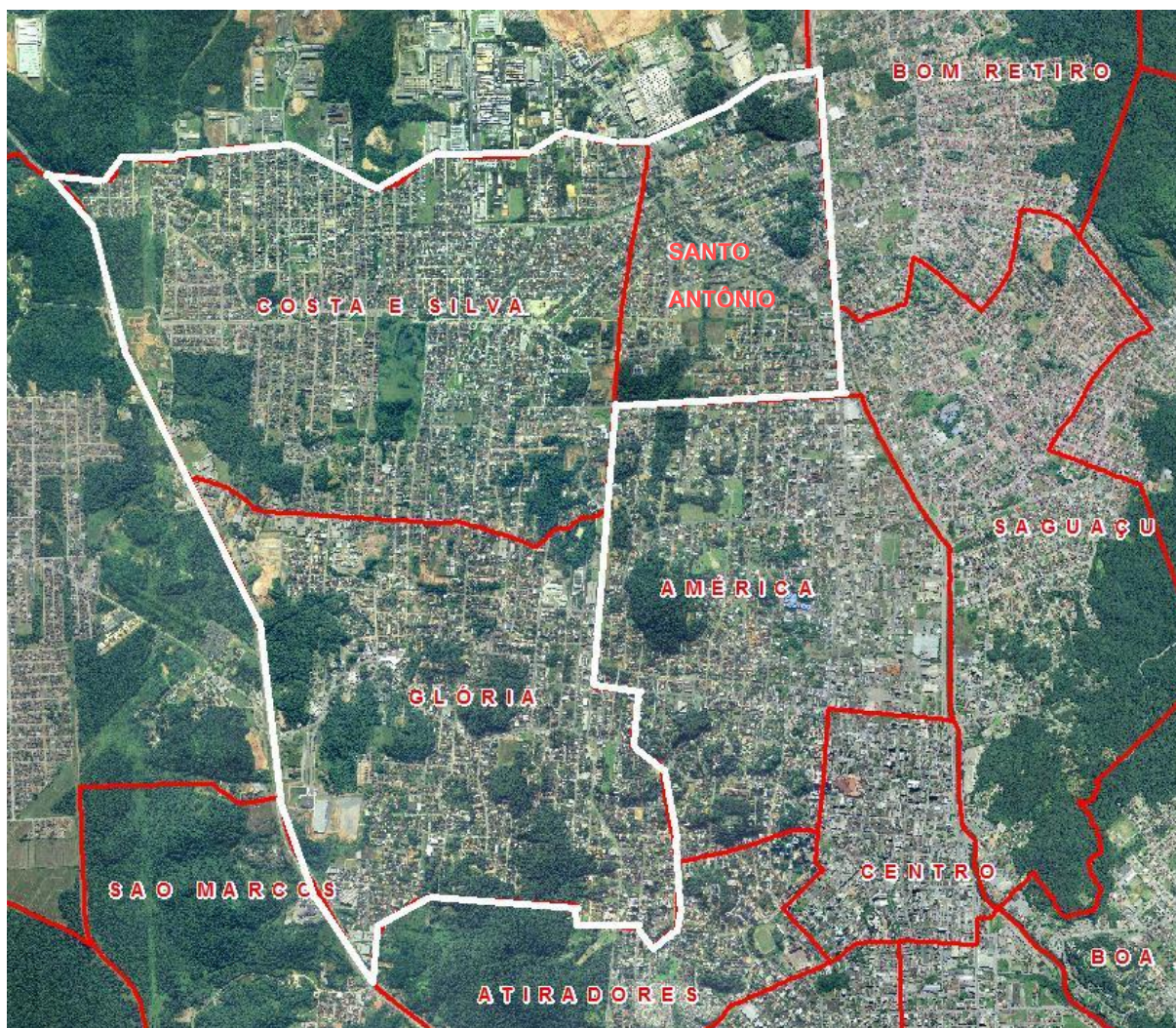
Figura 8 – Mapa das regiões de abrangência das subprefeituras de Joinville



Fonte: SEPUD (2021)



Figura 9 – Identificação dos bairros estudados



Fonte: Elaborado pela autora (2021), com base no mapa do Simgeo 2021

### 3.4 COMPOSIÇÃO DA AMOSTRA DE DADOS DE MERCADO

#### 3.4.1 Variáveis dependentes e independentes

As variáveis podem ser classificadas em dependentes, aquelas podem ser influenciadas por outras variáveis, e preditoras, as que afetarão as dependentes (DE OLIVEIRA; GRANDISKI, 2013). A variável dependente, utilizada na análise estatística foi o valor de mercado do imóvel e as independentes testadas serão as características do imóvel, de acordo com o apresentado no Quadro 3 e Quadro 4, para os imóveis (terrenos + casas) e para os terrenos vagos. Conforme De Oliveira e Grandiski (2013), as variáveis são um conjunto de características repetidas no objeto de estudo. Estas podem ser medidas em diferentes unidades, que levam a classificá-las como

quantitativas ou qualitativas. As quantitativas são aquelas que podem ser medidas ou contadas, já as qualitativas são provenientes de uma qualificação que não pode ser medida diretamente e poderão apenas ser hierarquizadas ou possuir códigos alocados. Conforme a NBR 14653-2 (ABNT, 2011), os códigos alocados devem ser explicitados, descritos de forma clara, no intuito de garantir que todos os elementos amostrais com a mesma característica estejam agrupados em um mesmo item.

A escolha das variáveis foi realizada com base em estudos já realizados, como Yoshida (2020), Wilhelmsson (2008), Francke e Van de Minne (2017), Armengot; Williams e Padial, (2019), Syed e Haan (2016), Gröbel (2018).

Quadro 3 – Características das variáveis independentes testadas para imóveis

(continua)

Variáveis	Significado	Natureza	Caraterização
Terr	Área do Terreno	Numérica	Correspondentes à área superficial do terreno, medida em m <sup>2</sup> .
Const	Área da edificação	Numérica	Correspondente a área total da edificação, medida em m <sup>2</sup> .
Sit	Situação na quadra	Qualitativa, dicotômica (sim/não)	Indica a situação do imóvel na quadra, sendo: meio de quadra (1), esquina (2).
Inun	Mancha de inundação	Qualitativa, dicotômica (sim/não)	Informa se o imóvel está ou não situado área passível de enchentes frequentes. Classificação realizada conforme manchas de inundação obtidas no site <a href="https://simgeo.joinville.sc.gov.br/">https://simgeo.joinville.sc.gov.br/</a> , defesa civil, mancha de inundação.
Idade_num	Idade numérica do imóvel	Numérica	Indica a idade aparente do imóvel em anos.
Dorm	Quantidade de dormitórios	Numérica	Correspondente ao número de quartos existentes no imóvel.
Pav	Número de pavimentos	Numérica	Correspondente ao número de pavimentos existentes no imóvel.
Banho	Número de banheiros	Numérica	Numérica, correspondente ao número de banheiros existentes no imóvel.
Censo	Renda média domiciliar	Numérica	Renda média domiciliar referente ao setor censitário em que o imóvel está localizado, conforme dados do IBGE(2010).

Quadro 3 – Características das variáveis independentes testadas para imóveis  
(continuação)

Variáveis	Significado	Natureza	Caraterização
Zon	Zoneamento	Qualitativa, dicotômica (sim/não)	Indica em qual zoneamento o imóvel está localizado sendo: 1 - AUAP - Área Urbana de Adensamento Prioritário (Coef. Aproveitamento 3, gabarito 25 m, Taxa Ocupação 60%); 2 AUAC - Área Urbana de Adensamento Controlado (Coef. Aproveitamento 1,5, gabarito 9 m, Taxa Ocupação 60%). A classificação do zoneamento dos elementos amostrais foi realizada conforme mapa de zoneamento no site <a href="https://simgeo.joinville.sc.gov.br/">https://simgeo.joinville.sc.gov.br/</a> , zoneamento.
Pisc	Piscina	Qualitativa, dicotômica (sim/não)	Informa se o imóvel tem ou não piscina.
Mov	Móveis	Qualitativa, dicotômica (sim/não)	Informa se o imóvel está ou não mobiliado.
Garag	Garagem	Numérica	Correspondente ao número de vagas de garagem existentes no imóvel.
Geminado	Casa Geminada	Qualitativa, dicotômica (sim/não)	Informa se a casa é ou não do tipo geminada.
Cons	Estado de conservação da edificação	Qualitativa	<p>1 - Novo - Edificação nova ou com reforma que apresente apenas sinais leves de desgastes, os quais possam ser reparados com uma demão de pintura. Corresponde aos estados Novo e entre novo e regular de Ros-Heideck.</p> <p>2 – Regular - Edificação cujo estado geral possa ser recuperado com pintura interna e externa, após reparos de fissuras superficiais, sem recuperação do sistema estrutural. Eventualmente, revisão do sistema hidráulico e elétrico. Corresponde aos estados Regular, entre regular e reparos simples e reparos simples de Ros-Heideck.</p> <p>3 – Ruim - Edificação cujo estado geral possa ser recuperado com pintura interna e externa, após reparos de fissuras, e com estabilização e/ou recuperação localizada do sistema estrutural. As instalações hidráulicas e elétricas possam ser restauradas mediante a revisão e com substituição eventual de algumas peças desgastadas naturalmente. Eventualmente possa ser necessária a substituição dos revestimentos de pisos e paredes, de um, ou de outro compartimento. Revisão da impermeabilização ou substituição de telhas da cobertura. Corresponde aos estados entre reparos simples e importantes, reparos importantes e entre reparos importantes e sem valor de Ros-Heideck</p>

Fonte: Elaborada pela Autora

Quadro 4 – Características das variáveis independentes testadas para terrenos vagos

Variáveis	Significado	Natureza	Caraterização
Terr	Área do terreno	Numérica	Correspondentes à área superficial do terreno, medida em m <sup>2</sup> .
Sit	Situação na quadra	Qualitativa, código alocado	Indica a situação do imóvel na quadra, sendo: meio de quadra (1), esquina (2).
Inun	Mancha de inundação	Qualitativa, dicotômica (sim/não)	Informa se o imóvel está ou não situado área passível de enchentes frequentes. Classificação realizada conforme manchas de inundação obtidas no site <a href="https://simgeo.joinville.sc.gov.br/">https://simgeo.joinville.sc.gov.br/</a> , defesa civil, mancha de inundação.
Censo	Renda domiciliar média	Numérica	Renda média domiciliar referente ao setor censitário em que o imóvel está localizado, conforme dados do IBGE(2010).
Zon	Zoneamento	Qualitativa, código alocado	Indica em qual zoneamento o imóvel está localizado sendo: 1 - AUAP - Área Urbana de Adensamento Prioritário (Coef. Aproveitamento 3, gabarito 25 m, Taxa Ocupação 60%); 2 AUAC - Área Urbana de Adensamento Controlado (Coef. Aproveitamento 1,5, gabarito 9 m, Taxa Ocupação 60%). A classificação do zoneamento dos elementos amostrais foi realizada conforme mapa de zoneamento no site <a href="https://simgeo.joinville.sc.gov.br/">https://simgeo.joinville.sc.gov.br/</a> , zoneamento.
Top	Topografia	Qualitativa, código alocado	Indica o tipo de topografia sendo (1) plano, ou (2) acidentado.
Cota	Cota do terreno	Qualitativa, código alocado	Indica se o terreno está acima ou no nível da rua (1), ou (2) abaixo do nível da rua.
Forma	Formato	Qualitativa, código alocado	Indica o se o formato do terreno é quadrangular (1), ou (2) irregular.

Fonte: Elaborada pela Autora

### 3.4.2 Caracterização e tamanho da amostra

O tipo de amostragem utilizado foi não probabilístico, o qual consiste em um método com seleção de amostras com características pré-determinadas, portanto não depende da probabilidade (SAMPLERI, 2013). A amostragem foi realizada por cluster ou conglomerados, método no qual se analisa uma população em particular, na qual a amostra consiste em vários elementos, por exemplo, bairro, padrão construtivo, tipo de imóvel (casa/apartamento/comércio), entre outros. Os *clusters* são basicamente



selecionados dividindo a população maior em várias seções menores (SAMPLERI, 2013).

Conforme NBR 14653-2 (ABNT, 2011), o levantamento de dados de mercado constitui a base do processo avaliatório e deve explicar o comportamento do mercado estudado. Segundo De Oliveira e Grandiski (2013) a determinação de uma amostragem representativa do mercado estudado é um processo complexo, devido à dificuldade de encontrar elementos amostrais no mercado imobiliário, que sejam semelhantes ao imóvel avaliado. Conforme os autores a obtenção de uma amostra efetivamente aleatória no mercado pode ser inviabilizada devido a um número insuficiente de elementos amostrais.

No Brasil a avaliação de imóveis urbanos é regida pela NBR 14653-2 (ABNT, 2011), portanto, o tamanho da amostra deve ser no mínimo o prescrito no Quadro 5.

Quadro 5 – Grau de fundamentação no caso de utilização de modelos de regressão de acordo com a NBR 14653-2 (ABNT, 2011)

Item	Descrição	Grau		
		III	II	I
2	Quantidade mínima de dados de mercado, efetivamente utilizados	$6(k + 1)$ , onde $k$ é o número de variáveis independentes	$4(k + 1)$ , onde $k$ é o número de variáveis independentes	$3(k + 1)$ , onde $k$ é o número de variáveis independentes

Fonte: Adaptado de NBR 14653-2 (ABNT, 2011)

Conforme pode-se observar, a quantidade de elementos amostrais está diretamente relacionada ao número de variáveis independentes e ao grau de fundamentação que o pesquisador deseja alcançar. A NBR 14653-2 (ABNT, 2011) indica que o grau de fundamentação está relacionado ao empenho do avaliador, e a quantidade e qualidade dos dados disponíveis no mercado. Quanto maior o grau de fundamentação, melhor fundamentado estará o valor obtido para o imóvel. Segundo De Oliveira e Grandiski (2013), o tamanho da amostra implica diretamente e de maneira considerável no poder de predição do modelo, afetando também a generalização dos resultados pela proporção entre observações e variáveis dependentes.

Conforme o Quadro 3, para os imóveis foram testadas 15 variáveis independentes ( $k$ ). Caso todas sejam utilizadas no modelo, para obter-se um grau de

fundamentação III, seriam necessárias no mínimo  $6(k+1)$ , onde  $k$  é o número de variáveis independentes, logo:  $6(15+1) = 96$  elementos amostrais.

De acordo com o Quadro 4, para os terrenos foram testadas oito variáveis independentes ( $k$ ). Para obter-se um grau de fundamentação III, serão necessárias no mínimo  $6(k+1)$ , onde  $k$  é o número de variáveis independentes, logo:  $6(8+1) = 54$  elementos amostrais.

Segundo Hair *et al.* (2009) o tamanho da amostra em regressão múltipla talvez seja o elemento mais influente sob o controle do pesquisador no planejamento da análise. O tamanho da amostra tem um impacto direto sobre a adequação e o poder estatístico da regressão múltipla.

Hair *et al.* (2009) apresenta em seu livro a Tabela 4-7, Figura 10, a qual ilustra o efeito recíproco entre o tamanho da amostra, o nível de significância ( $\alpha$ ) escolhido e o número de variáveis independentes na detecção de um  $R^2$  significativo. Os valores da tabela são o  $R^2$  mínimo que o tamanho de amostra especificado detecta como estatisticamente significativo no nível alfa ( $\alpha$ ) especificado com um poder (probabilidade) de 0,80. O  $R^2$  é o coeficiente de determinação, é uma medida estatística que indica a proporção da variabilidade dos dados dependentes que é explicada pelo modelo de regressão. Segundo Hair *et al.* (2009) se o modelo de regressão é propriamente aplicado e estimado, o pesquisador pode assumir que quanto maior o valor de  $R^2$ , maior o poder de explicação da equação de regressão e, portanto, melhor a previsão da variável dependente. Os valores da tabela são o  $R^2$  mínimo que o tamanho de amostra especificado detecta como estatisticamente significativo no nível alfa ( $\alpha$ ) especificado com um poder (probabilidade) de 0,80.

Figura 10 – Tamanho da amostra x número de variáveis independente

**TABELA 4-7**  $R^2$  mínimo que pode ser tido como estatisticamente significativo com um poder de 0,80 para diferentes números de variáveis independentes e tamanhos de amostras

Tamanho da amostra	Nível de significância ( $\alpha$ ) = 0,01 Número de variáveis independentes				Nível de significância ( $\alpha$ ) = 0,05 Número de variáveis independentes			
	2	5	10	20	2	5	10	20
20	45	56	71	NA	39	48	64	NA
50	23	29	36	49	19	23	29	42
100	13	16	20	26	10	12	15	21
250	5	7	8	11	4	5	6	8
500	3	3	4	6	3	4	5	9
1.000	1	2	2	3	1	1	2	2

NA = não aplicável

Fonte: Hair et al. (2009) pag. 167



Utilizando interpolação linear para obtenção dos valores, obteve-se  $R^2$  mínimo para a quantidade de elementos amostrais.

- Para os imóveis considerando  $n = 96$  elementos, 15 variáveis independentes, teríamos  $R^2$  significativo de no mínimo de 0,19, para um nível de significância de 0,05.

- Já para os terrenos considerando  $n = 54$  elementos, 8 variáveis independentes, teríamos  $R^2$  significativo de no mínimo de 0,34, para um nível de significância de 0,05.

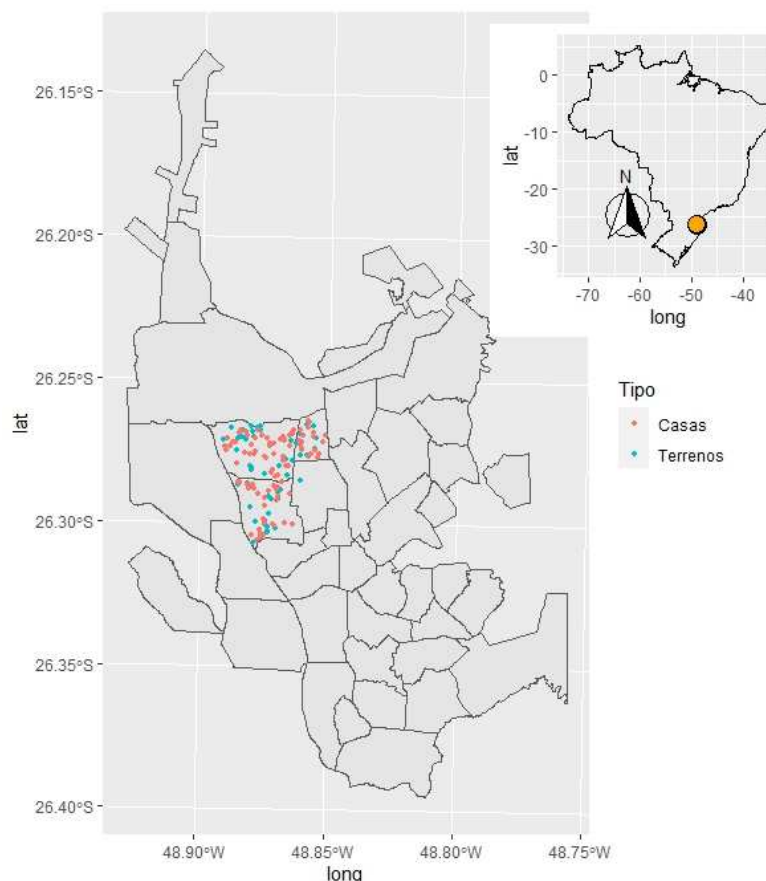
Segundo Hair *et al.* (2009) a proporção mínima de observações por variáveis é 5:1, mas a proporção preferida é de 15:1 ou 20:1, o que deve então aumentar quando a estimação *stepwise* é usada. De forma generalizada, no caso de se utilizar todas as variáveis independentes, seriam necessários no mínimo 84 elementos amostrais para os imóveis e 35 elementos amostrais para os terrenos. Nesta pesquisa foram obtidos 98 elementos para os imóveis(casa+terreno) e 54 para os terrenos.

### 3.4.3 Coleta dos elementos amostrais

O primeiro passo para a coleta de dados amostrais, foi a pesquisa nos sites das imobiliárias locais, nos quais foi possível filtrar os bairros e tipo de imóvel para a seleção dos elementos amostrais, nos bairros: Costa e Silva, Santo Antônio e Glória, no período de novembro de 2022 a maio de 2023. De posse dos elementos amostrais foi realizada a coleta de todas as informações disponíveis dos imóveis. Para que a amostra fosse representativa, foram estabelecidas as informações mínimas que cada imóvel deveria possuir, as quais são referentes a edificação e ao lote. Para o lote: área, tipo de topografia, possibilidade de inundação, coordenadas geográficas de localização, nível do terreno, situação (meio de quadra, esquina, uma ou mais frentes). Para a edificação: área, número de banheiros, renda por domicílio, número de dormitórios, se tem piscina, número de pavimentos, idade, estado de conservação, se é geminada, possibilidade de inundação e zoneamento. A maioria dos sites possuem os dados requeridos e fotos dos imóveis, nos quais pôde-se verificar informações que não estão expressamente descritas. Para as informações faltantes foi feito contato com a imobiliária através de telefone. Seguindo o procedimento realizado por Paiva e Antunes (2017) em sua pesquisa, para obter acurácia de informações, durante o contato individual com o corretor de imóveis, esta pesquisadora se identificou como possível negociadora interessada na compra dos imóveis anunciados. Para os

imóveis (casas +terrenos) foram coletados 98 elementos amostrais e para os terrenos foram coletados 54 elementos amostrais. A localização dos dados coletados está ilustrada na Figura 11.

Figura 11 – Localização dos elementos amostrais



Fonte: Elaborado pela autora (2023), com base na imagem do SimGeo Joinville.

### 3.5 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

Foi realizada a análise exploratória dos dados tanto nas variáveis explicativas quanto na variável resposta, objetivando avaliar a existência de possíveis valores atípicos na distribuição e obter maior familiaridade com os dados da amostra, corrigindo eventuais problemas para que, na fase de modelagem, se obtenha o modelo de regressão mais ajustado aos dados coletados. Para a análise serão utilizados gráficos e medidas descritivas.

Além da análise exploratória, buscou-se avaliar a associação e a relação entre cada variável independente e a variável resposta. Isso foi realizado a partir do coeficiente de correlação linear de Pearson para as variáveis quantitativas, o qual

mede o grau da correlação entre duas variáveis de escala métrica. Este coeficiente, normalmente representado por  $r$  assume apenas valores entre -1 e 1. Para as variáveis independentes categóricas foram utilizados o teste não paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney, o qual é utilizado na comparação de dois grupos para se verificar se pertencem ou não à mesma população, e o teste de Kruskal-Willis, para a mesma função no caso de três ou mais grupos. Essa análise permite avaliar a possível interrelação entre o valor do terreno e do imóvel e cada variável independente.

### 3.6 MODELAGEM ESTATÍSTICA

#### 3.6.1 Modelagem da regressão linear múltipla

Em razão de que a finalidade do estudo é propor um modelo com uma variável resposta quantitativa e mais de um regressor, foi utilizado o método de regressão linear múltipla. De acordo com Montgomery e Runger (2016), nesse método a variável dependente ou de resposta ( $Y$ ) pode estar relacionada com  $k$  variáveis independentes ou regressoras, conforme a Equação (8).

$$Y = \beta + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots \beta_j x_j + \epsilon \quad (8)$$

Onde

$\beta$  = Intercepto;

$Y$  = Variável dependente ou resposta;

$x_j$  = Variáveis independentes (preditoras ou regressoras);

$\beta_j$  = Coeficientes de regressão;

$\epsilon$  = Termo de erro aleatório.

Nessa etapa buscou-se estimar a melhor equação de regressão linear múltipla pelo método dos mínimos quadrados ordinários. Foram realizados testes com o objetivo de verificar os pressupostos básicos do modelo clássico de regressão. Nos resíduos do modelo foram realizados testes e análises para verificar a homoscedasticidade, normalidade, *outliers* (dados discrepantes) e independência.

Segundo Neter (2004), para que os modelos de regressão obtidos sejam considerados aptos, deve-se garantir que: a) haja homocedasticidade dos resíduos (a

variância é constante); b) existe independência serial dos resíduos (não há autocorrelação); c) os resíduos seguem a distribuição normal (normalidade); d) a relação entre as variáveis independentes e a variável dependente é linear; e) Não há colinearidade perfeita entre quaisquer variáveis independentes. Além desses, o modelo deve ainda atender a outros requisitos, em parte decorrentes dos próprios pressupostos básicos: a) as variáveis importantes foram incluídas (o modelo especificado é similar ao real); b) não existem observações espúrias (elementos claramente não adaptados ao modelo, chamados de outliers); c) as variáveis independentes não são aleatórias (somente a variável dependente pode ser estocástica); d) os resíduos têm média igual a zero. Para a análise da multicolineariedade foi utilizado o VIF (*Variance Inflation Factor*), menor do que 5 (HAIR *et al.*, 2009). Para os resíduos foram utilizados os testes de *Breusch-Pagan*, *Shapiro-Wilk*, *Bonferroni* e distância de *Cooke*.

A análise de variância (ANOVA) foi aplicada para testar a significância do modelo como um todo. No caso dos coeficientes da regressão, sua significância foi analisada pelo teste *t* de *Student*. Outra estatística global para avaliar o ajuste da regressão é o coeficiente de determinação  $R^2$ . Se o modelo de regressão é propriamente aplicado e estimado, o pesquisador pode assumir que quanto maior o valor de  $R^2$ , maior o poder de explicação da equação de regressão e, portanto, melhor a previsão da variável dependente (HAIR *et al.*, 2009).

Para identificar o melhor subconjunto de preditores, auxiliando assim na escolha da melhor equação de regressão foi utilizado um procedimento de busca automática, foi utilizada a regressão *stepwise*. Esta regressão cria uma sequência de modelos de regressão, adicionando ou removendo uma variável  $x$  em cada etapa. O critério para adição ou remoção de uma variável pode ser definido em termos de redução da soma quadrática dos erros, coeficiente de correlação parcial, estatística  $t$  e estatística  $F$  (KUTNER; NACHTSHEIM; NETER, 2004).

Para auxiliar na avaliação da precisão do modelo foi aplicado o MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*), o qual é uma medida de erro comumente utilizada na estatística. O MAPE é especialmente útil quando se deseja entender a precisão de previsão em termos percentuais, ele é calculado tomando a diferença percentual absoluta entre os valores previstos e os valores reais e, em seguida, calculando a média dessas diferenças absolutas (TUFFÉRY, 2011).

Para auxiliar na avaliação linearidade, normalidade dos resíduos, homocedasticidade e independência dos resíduos, foi utilizado o GVLMA (*Global Validation of Linear Models Assumption*). O GVLMA realiza uma análise abrangente das suposições do modelo linear, identificando potenciais problemas nos dados e nos resíduos. Ele é particularmente útil para verificar se as suposições do modelo linear são válidas e, se necessário, sugerir transformações nos dados ou a utilização de modelos não lineares. O GVLMA foi proposto por Harvey *et al.* (2013) como uma alternativa ao método tradicional de avaliação das suposições dos modelos lineares, que envolve a análise gráfica dos resíduos.

### 3.7 SEPARAÇÃO DO VALOR DO TERRENO

O valor do imóvel é composto pelo valor do terreno, mais a estrutura existente sobre ele. Os coeficientes de Ross-Heidecke são destinados a realizar a depreciação física da edificação. Portanto, para que se possa comparar os coeficientes obtidos neste estudo com os coeficientes de Ross-Heidecke, foi necessária a separação do valor do terreno, no valor obtido do imóvel.

Segundo Clapp *et al* 2021, historicamente tem sido difícil separar o valor da terra e das benfeitorias construídas sobre ela. Os métodos mais utilizados são o do valor residual do terreno e o do terreno vago. No primeiro deles o valor da terra é igual ao valor residual entre o valor do imóvel e os custos de construção. A segunda abordagem baseia-se no preço de venda de terrenos vagos para fornecer valores comparáveis aos terrenos com edificações. Ainda segundo o autor estes métodos utilizados não são os ideais, tendo em vista que quando uma estrutura substancial é adicionada ao terreno, as opções do comprador são limitadas ao seu conjunto pré-existente. Assim o valor do imóvel não será dado pela simples soma do valor do terreno vago, mais os custos das construções. Estas divergências podem gerar valores de mercado para os imóveis, maiores ou menores do que a soma do valor do terreno mais custo de construção, dependendo do estado de conservação e idade das edificações sobre o terreno (CLAPP *et al*, 2021).

Bourassa *et al.* (2011), usa o método residual para encontrar a razão do valor da terra. Cohen, Coughlin e Clapp (2017) e Clapp (2003), empregam variantes desta abordagem. Cohen, Coughlin e Clapp (2017) focaram nas vendas de casas em Denver Colorado, durante um período de aproximadamente 20 anos, de 1990 a 2013.

Segundo Clapp *et al* (2021) este método baseia-se na suposição de que o valor do imóvel é igual à soma dos valores da edificação aplicada uma depreciação, e o valor do terreno.

No seu estudo Haughwout *et al.* (2008) focam em terrenos vagos para chegar a estimativas de valor de terrenos para a cidade de Nova York. Barr *et al.* (2018) produzem um índice de preços de terrenos para Manhattan, para o período 1950 e 2014, utilizando vendas de terrenos vagos. Albouy *et al.* (2018) desenvolvem as estimativas de valor da terra para Massachusetts nos Estados Unidos. Segundo Clapp *et al* (2021) esta abordagem pode ser viável, embora possa haver uma limitação potencial na obtenção de dados confiáveis relativas as mudanças nos terrenos vagos ao longo do tempo. Outro fator limitante do método é que em cidades com alta densidade habitacional, há poucos lotes vagos nas regiões em que se deseja separar o valor do terreno do valor da estrutura (CLAPP *et al*, 2021).

Neste estudo o método utilizado foi o do terreno vago, tendo em vista que a região do estudo possui diversos terrenos nesta condição, sendo possível a realização de uma regressão para a determinação do valor do terreno para um imóvel típico.

O método do valor residual do terreno e suas variantes não foram aplicados neste estudo tendo em vista que utilizam fatores de depreciação para calcular o valor da parcela da edificação. Neste estudo buscou-se a determinação destes coeficientes, não fazendo sentido utilizar coeficientes pré-estabelecidos. O estudo de Clapp *et al.* (2021), introduziu alterações no método residual do terreno no intuito de medir e entender a condição de que o imóvel é comercializado como um todo e não como parcelas separadas. Porém, este estudo também utiliza fatores de depreciação regionais pré-estabelecidos e dados de venda de imóveis ao longo de seis anos. No Brasil não há um banco de dados disponível para os pesquisadores, que apresente um histórico do valor de imóveis ao longo dos anos.

Os valores dos terrenos para cada imóvel, foram estimados com o modelo obtido por meio de regressão linear múltipla para os terrenos vagos coletados no mercado.

### 3.8 DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE DEPRECIAÇÃO

Os coeficientes foram dispostos em uma tabela com dupla entrada, a qual foi formada pelo cruzamento das variáveis idade e o estado de conservação. Na tabela

as colunas corresponderão aos três estados de conservação (novo, regular, ruim), e as linhas ao percentual de idade, variando entre 1% e 80% da vida útil da edificação. Sendo assim, calculado o percentual de vida útil da edificação é possível obter os coeficientes de depreciação para cada estado de conservação. O percentual de vida útil da edificação foi obtido através da razão entre a vida útil da edificação, considerada 50 anos, e a sua idade aparente.

### **3.8.1 Definição da edificação típica**

Para a construção da base de dados de coeficientes de depreciação as variáveis independentes significativas para o modelo, foram fixadas por meio da determinação de um imóvel típico. As variáveis fixadas correspondem as características dos imóveis, portanto, por meio de análise estatística foi definido um imóvel paradigma, ou seja, com as características que mais ocorrem na amostra. O imóvel típico é um tipo de imóvel que é considerado comum, representativo ou padrão dentro de um determinado contexto ou região. Este termo é usado para descrever uma propriedade residencial que compartilha características comuns e é representativa das propriedades encontradas em uma determinada área geográfica ou mercado imobiliário.

O imóvel típico foi estabelecido com base na metodologia desenvolvida por Triana, Lamberts e Sassi (2015), a qual considera a média e moda das características mais comuns encontradas na população das edificações. A moda representa o valor mais frequente de um conjunto de dados. O intervalo de confiança para a média foi usado para as variáveis quantitativas, como área da edificação e terreno, e a moda foi aplicada no caso de características, como ocorrência de enchentes, localização em esquina, ou dados que tendem a se repetir.

Foi definido apenas um imóvel padrão para todos os bairros, com características que atenderam a todos os intervalos e valores de moda.

### **3.8.2 Determinação dos coeficientes de depreciação**

Para elaborar a tabela com os fatores de depreciação, após a definição da edificação típica, o modelo obtido por meio de regressão, para o valor do imóvel, foi testado para idades cheias entre 1 e 40 anos e os estados de conservação. A idade

inicial (1) corresponde a edificação com menos de um ano de idade e a idade 40 anos foi a maior idade observada nos dados. Cada idade foi relacionada a um estado de conservação por vez, gerando assim valores de mercado unitário para cada combinação.

Os coeficientes de depreciação foram obtidos pela razão entre o valor unitário da edificação típica para cada combinação de estado de conservação e idade, e o valor unitário do imóvel com idade 1 e em estado de conservação “novo”.

A metodologia utilizada foi dividida em etapas, as quais estão sumarizadas no esquema da Figura 12.

Figura 12 – Esquema dos procedimentos metodológicos para obtenção do coeficiente de depreciação



Fonte: A autora

### 3.9 VALIDAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Para a análise dos resultados foi realizado um comparativo dos valores dos imóveis obtidos com a regressão para cada combinação de idade e estado de conservação, com valor dos imóveis calculados através do método evolutivo. No método evolutivo foi calculado o valor do imóvel utilizando os coeficientes de Ross-Heidecke e os coeficientes obtidos na pesquisa.



O valor do imóvel calculado pelo método evolutivo foi realizado conforme determina a NBR 14653-2(ABNT, 2011), através da Equação (1).

$$VI = (VT + CB)FC \quad (1)$$

Onde

$VI$  = valor do imóvel;

$VT$  = valor do terreno;

$CB$  = custo de reedição da benfeitoria;

$FC$  = fator de comercialização.

O valor do terreno foi obtido por meio do método comparativo de dados de mercado, através de uma regressão.

O custo de reedição da benfeitoria, será obtido com a Equação (16).

$$CB = CRP * CD \quad (16)$$

Onde

$CB$  = custo de reedição da benfeitoria;

$CRP$  = custo de reprodução da benfeitoria;

$CD$  = coeficiente de depreciação.

Conforme a NBR 14653-2(ABNT, 2011) o custo de reprodução da benfeitoria é calculado por meio da Equação (17).

$$CRP = \left[ CUB + \frac{OE+OI+(OFe \sim OFd)}{S} \right] (1 + A)(1 + F)(1 + L) \quad (17)$$

Onde

$CRP$  = custo de reprodução da benfeitoria;

$S$  = área equivalente da edificação padrão;

$CUB$  = custo unitário básico para edificações unifamiliares padrão normal (R1-N), publicado mensalmente pelo SINDUSCON/SC;

$OE$  = orçamento de elevadores;

$OI$ = orçamento de instalações especiais e outras, tais como geradores, sistemas de proteção contra incêndio, centrais de gás, interfone, antenas, projetos etc.;

$OFe$ = orçamento de fundações especiais;

$OFd$ = orçamento de fundações diretas;

$OE$ = orçamento de elevadores;

$A$ = taxa de administração da obra;

$F$ = percentual relativo aos custos financeiros da obra durante o período de construção;

$L$ = percentual correspondente ao lucro ou remuneração da construtora.

Conforme a NBR 14653-2(ABNT, 2011) o fator de comercialização (FC), pode ser maior ou menor do que a unidade, em função da conjuntura de mercado na época da avaliação. A NBR 14653-2(ABNT, 2011) não indica como este fator pode ser estimado, porém, uma das maneiras utilizadas é a determinação por meio da diferença entre o valor do imóvel calculado pelo método evolutivo e o valor do imóvel determinado por meio do método comparativo com dados de mercado. Como o objetivo principal desta pesquisa é calcular os coeficientes de depreciação utilizados no método evolutivo, o (FC) adotado foi 1, tanto para a determinação do valor do imóvel com a utilização dos coeficientes de Ross-Heidecke, como para a utilização dos coeficientes estimados nesta pesquisa.

A comparação entre os valores dos imóveis determinados pelo método evolutivo, com a utilização dos coeficientes de depreciação de Ross-Heidecke e dos coeficientes estimados nesta pesquisa, com os valores determinados para os imóveis por meio do método comparativo direto com dados de mercado, permitiu avaliar com qual conjunto de coeficientes o método evolutivo mais se aproxima do valor real de mercado.

Toda a análise estatística foi feita utilizando o *software* R versão 4.3.1 (R CORE TEAM, 2023) com nível de significância de 5%.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do desenvolvimento geral da pesquisa, bem como a discussão a respeito do tema, são tratados neste capítulo.

### 4.1 DETERMINAÇÃO DO VALOR DO TERRENO

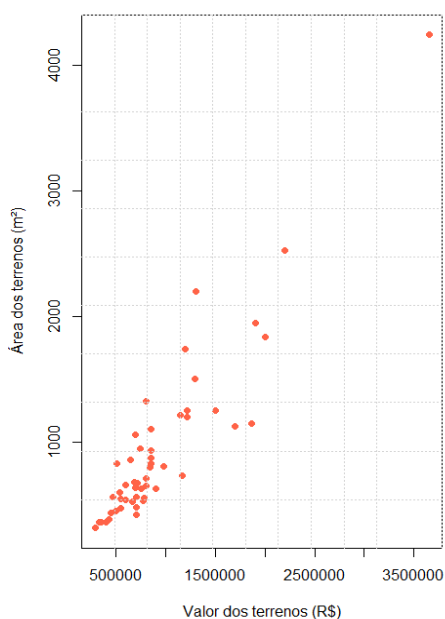
Foram obtidos 54 elementos amostrais de terrenos vagos nos bairros da pesquisa, disponíveis para venda. Por meio da realização de uma regressão linear múltipla, obteve-se um modelo para o cálculo dos terrenos da região, no intuito de retirá-lo do valor dos elementos amostrais dos imóveis com casa.

#### 4.1.1 Análise exploratória dos dados dos terrenos

Uma ferramenta gráfica bastante útil para verificar a associação entre duas variáveis quantitativas é o diagrama de dispersão, em que os dados são representados por pontos em um sistema cartesiano (MORETTIN; BUSSAB, 2013).

O gráfico de dispersão valor do terreno x área dos terrenos apresentado na Figura 13, indica que quanto maior a área do terreno maior o seu valor total.

Figura 13 – Gráfico de dispersão dos valores dos terrenos x área dos terrenos



Fonte: a autora

Para a variável dependente, foram obtidas as medidas descritivas indicadas na Tabela 4:

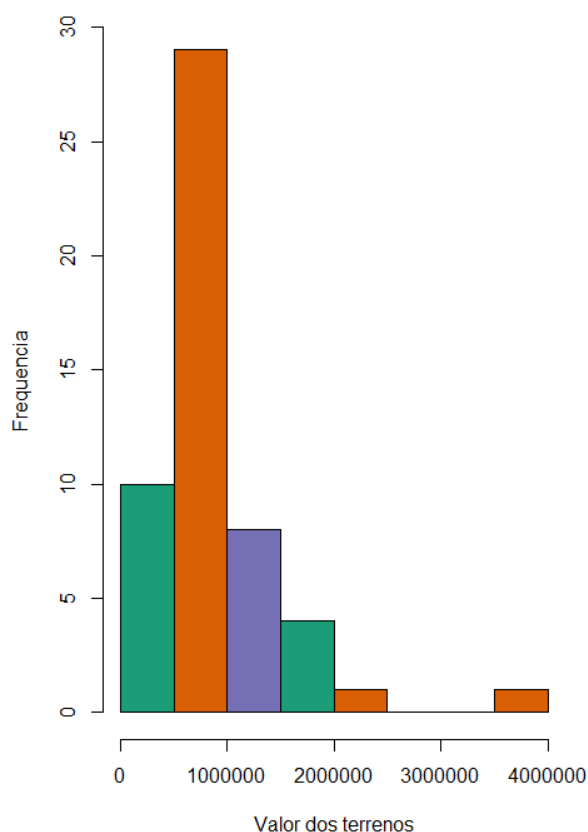
Tabela 4 – Medidas descritivas da variável dependente dos terrenos

Variável dependente	Mínimo	1º quartil	Mediana	Média	3º quartil	Máximo	Desvio padrão
Valor total do terreno(R\$)	290.000,00	550.000,00	750.000,00	915.776,00	1.150.000,00	3.650,00	585.846,50

Fonte: a autora

Na Figura 14 observa-se que a maior parte dos terrenos possui um valor entre R\$ 500.000,00 e R\$ 1.000.000,00.

Figura 14 – Histograma dos valores dos terrenos em R\$



Fonte: a autora

Para as variáveis independentes numéricas, foram calculadas as medidas descritivas indicadas na Tabela 5.

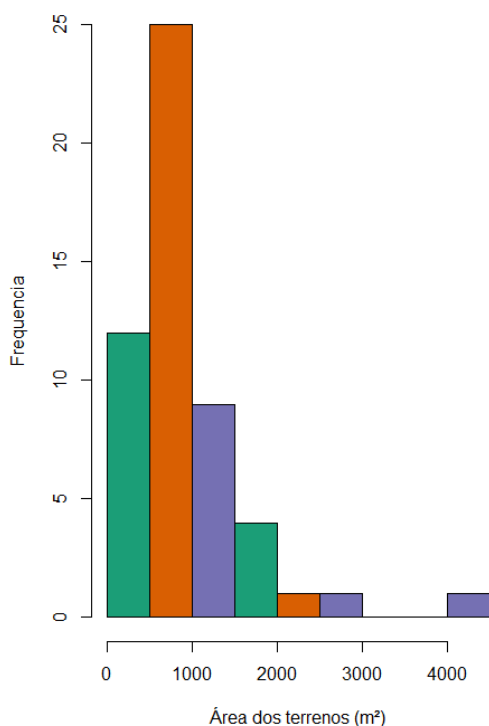
Tabela 5 – Medidas descritivas das variáveis numéricas

Variáveis numéricas	Mínimo	1º quartil	Mediana	Média	3º quartil	Máximo	Desvio padrão
Área do terreno (m²)	315,00	532,00	684,00	921,40	1.125,00	4.242,00	676,46
Renda média por família (IBGE)(R\$)	218,50	2.933,50	3.971,50	3.799,00	4.965,40	6.906,40	1.698,40

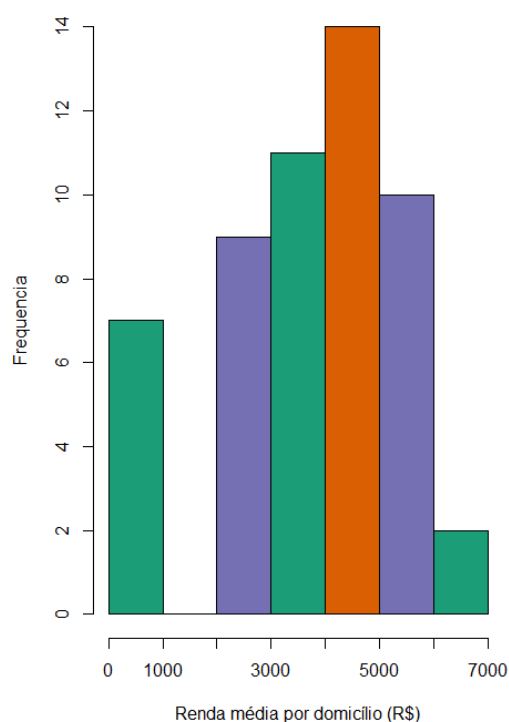
Fonte: a autora

Na Figura 15 A observa-se que a maior parte dos terrenos possui área entre 500 m² e 1000 m². Na Figura 14 B observa-se que a maior parte dos domicílios possui renda média entre R\$ 4.000,00 e R\$ 5.000,00.

Figura 15 A e B – Histogramas das áreas dos terrenos e da renda média por domicílio em R\$



(A)



(B)

Para as variáveis independentes qualitativas, foram obtidas as quantidades de elementos para os parâmetros apresentadas na Tabela 6.

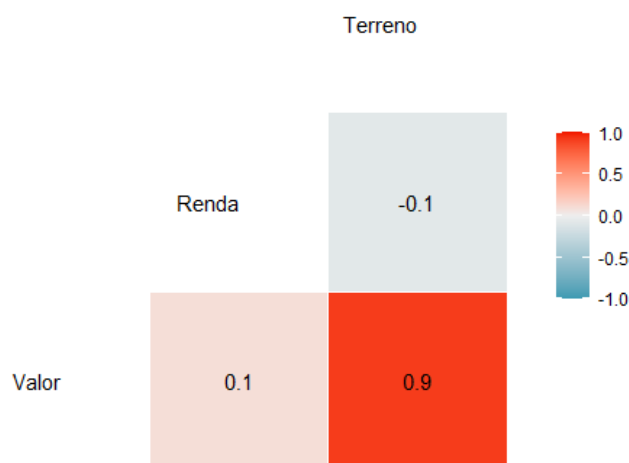
Tabela 6 – Quantidades de elementos para cada variável qualitativa

Variáveis qualitativas	Quantidades	
	plano	acidentado
Topografia	39 (76%)	14(26%)
Cota com relação ao nível da rua	no nível 48(91%)	acima 5 (9%)
Forma do terreno	quadrangular 48(91%)	irregular 5(9%)
Situação do terreno na quadra	meio de quadra 44(83%)	esquina 9(17%)
inserido na Mancha de inundação (IPPUJ)	não 45(85%)	sim 8(15%)

Fonte: a autora

A Figura 16 e a Tabela 07 apresentam a matriz de correlação entre as variáveis. Observa-se que para a correlação entre as variáveis independentes (Renda e Terreno) o valor em módulo encontrado foi 0,1, estando dentro do intervalo (-0,8/0,8) admitido pela norma NBR 14.658-2 (2011), sendo um dos indicativos da ausência de multicolinearidade. Já a correlação entre a variável dependente (Valor) e a variável independente (Terreno, área do terreno) é alta (0,9), o que é desejável.

Figura 16 - Diagrama dos coeficientes de correlação das variáveis para a análise dos terrenos



Fonte: A autora

Tabela 7 –Matriz de correlações das variáveis dos terrenos

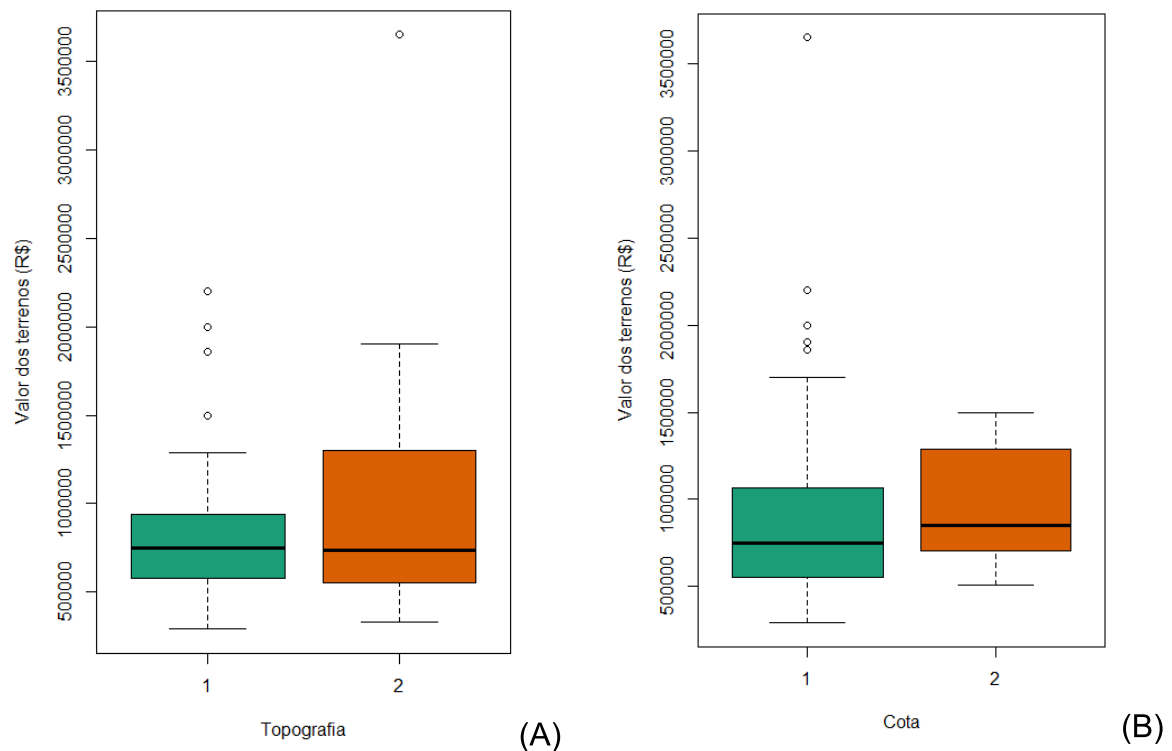
	Valor	Renda	Terreno
Valor	1,000	0,095	0,917
Renda	0,093	1,000	0,076
Terreno	0,917	-0,076	1,000

Fonte: A autora

Para as variáveis qualitativas foram realizados os gráficos comparativos de *boxplot* e teste de *Wilcoxon (W)*, conforme mostrado nas Figuras 17 a 19.

Na Figura 17 A observa-se que o valor dos terrenos não varia de forma significativa de acordo com o tipo de topografia, ou seja, se ele é plano (1) ou acidentado (2), ( $W= 251$ ,  $p\text{-valor}= 0,6644$ ). Na Figura 17 B observa-se que o valor mediano dos terrenos com cota ( $W=92$ ,  $p\text{-valor}=0,4026$ ) no nível (1) ou acima da Rua está um pouco maior do que o abaixo (2) da rua, mas não é significativo, em razão da variabilidade de (1).

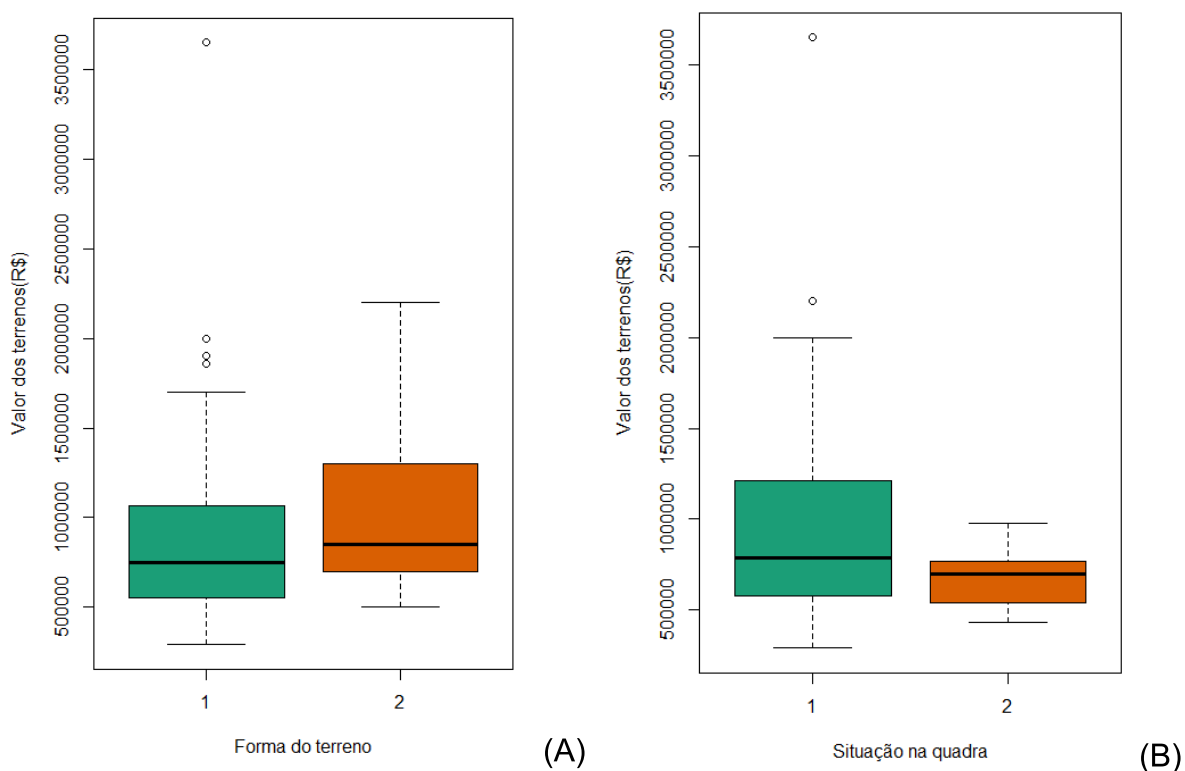
Figura 17 A e B - Gráfico boxplot das variáveis Topografia e Cota



Fonte: a autora

Na Figura 18 A observa-se que o valor mediano dos terrenos com forma retangular (1) é mais alto do que com formas irregulares (W= 89, p-valor= 0,3533, porém não é significativo. Na Figura 18 B observa-se que o valor mediano dos terrenos localizados na esquina (1) é mais alto do que os localizados no meio da quadra (2) (W=250,5, p-valor=0,2179), porém não é significativo.

Figura 18 A e B - Gráfico boxplot das variáveis Forma do terreno e Situação na quadra

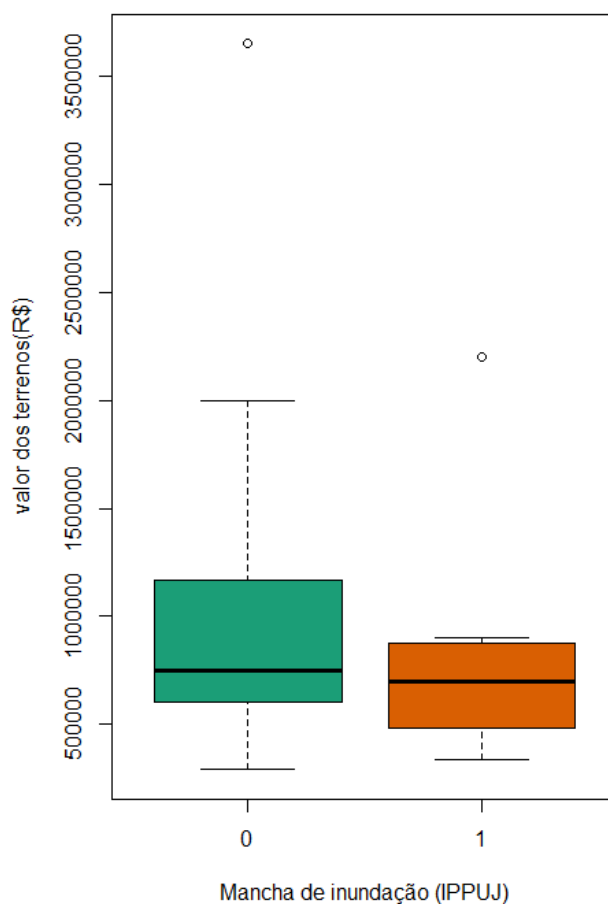


Fonte: a autora

Na Figura 19 observa-se que o valor mediano dos terrenos que não estão localizados dentro da mancha de inundação (0) é maior do que dos terrenos que estão inseridos na mancha de inundação (1) (W= 204, p-valor= 0,5592), porém não é significativo.



Figura 19 - Gráfico boxplot da variável Mancha de inundação



Fonte: A autora

Com base nos resultados de W, constata-se que as diferenças nas ordenações entre as duas situações comparativas não são significativas, indicando que as diferenças se devem ao acaso. Apesar do comportamento entre as duas situações não ser significativo, as variáveis podem apresentar um comportamento diferente ao estarem juntas num mesmo modelo.

#### 4.1.2 Modelo de Regressão linear múltipla para o valor do terreno

Neste subcapítulo são apresentados os resultados da análise de regressão linear múltipla, com base no conjunto de dados com 52 terrenos, considerando como variável resposta o valor total do terreno.

As variáveis independentes selecionadas para a análise de regressão abrangiam: renda média domiciliar do setor censitário, forma do terreno, cota, forma do terreno, tipo de topografia, e se estava ou não inserido na mancha de inundação.

Para a seleção de variáveis utilizou-se método *stepwise*, com o critério de informação de Akaike (AIC), obtendo-se a Equação 18.

$$\text{Valor do terreno} = -13.006,44 + 796,78 \times \text{Terr} + 47,86 \times \text{Censo} \quad (18)$$

Onde

Terr = área total do terreno;

Censo = valor da renda média domiciliar do setor censitário IBGE(2010).

Como foram utilizadas duas variáveis na elaboração do modelo, o tamanho da amostra (52 terrenos) atende ao pressuposto da amostragem, de ter no mínimo 15 a 20 vezes a quantidade de variáveis candidatas a preditores (HAIR *et al*, 2009) e  $6(K+1)$  (ABNT NBR 14653,2011). Portanto, garante-se que o tamanho do conjunto de dados é satisfatório para construir um modelo confiável.

Os resultados da análise de regressão linear múltipla são mostrados na Tabela 08. As duas variáveis utilizadas se apresentaram estatisticamente significativas aos níveis de 5% ( $p\text{-valor} < 0,05$ ).

Tabela 8 – Estatísticas e coeficientes do modelo de regressão linear múltipla

	Estimativa	Erro padrão	t	p-valor
Intercepto	- 13.006,440	79.612,010	- 0,163	0,871
Área total do terreno	796,780	40,680	19,586	< 0,001 ***
Renda média por domicílio (IBGE,210)	47,860	16,410	2,917	0,00532 **
Nível de significância	0 ‘***’ 0,001 ‘**’ 0,01 ‘*’ 0,05 ‘.’			
Erro padrão residual =	197500	49 graus de liberdade		
F= 192,6	p-valor = < 2,2 x10 <sup>-16</sup>			
R² = 0,8872	R <sub>ajustado</sub> = 0,8826			

Os valores calculados para o VIF - *Variance Inflation Factor*, para as variáveis independentes (Renda e Área do terreno= 1,0072), confirma que não há multicolinearidade no modelo, uma vez que os valores foram inferiores a 5.

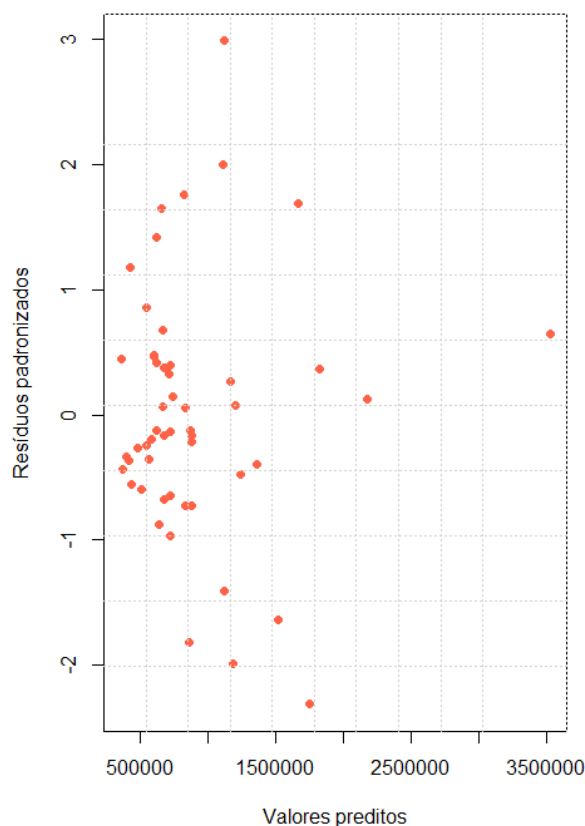
Os sinais dos regressores confirmam a expectativa do mercado imobiliário local, tendo em vista que é esperado que o aumento da área do terreno, provoque um

aumento no valor unitário dos imóveis, confirmado pelo sinal positivo. O mesmo ocorre com o aumento do valor da renda média domiciliar.

O modelo é estatisticamente significativo ( $F = 192,6$ ,  $p$  valor  $< 0,001$ ) e explica 88,72% ( $Adjusted R^2 = 0,8826$ ) do valor total dos terrenos analisados. As suposições de linearidade, homocedasticidade e normalidade dos resíduos, além da presença de outliers (dados discrepantes), foram verificadas pela avaliação de gráficos e aplicação de testes estatísticos (DEVORE, 2016), os quais são apresentados a seguir.

A Figura 20 mostra que os resíduos apresentam distribuição aparentemente aleatória, isto é, formam uma nuvem de pontos e não há qualquer tendência ou padrão reconhecível no gráfico. Os resultados do teste Breusch-Pagan levam à não rejeição da hipótese nula ( $p$ -valor=0,1605). Dessa forma, a variância dos resíduos pode ser considerada constante.

Figura 20 - Resíduos versus valores preditos da regressão linear múltipla dos terrenos

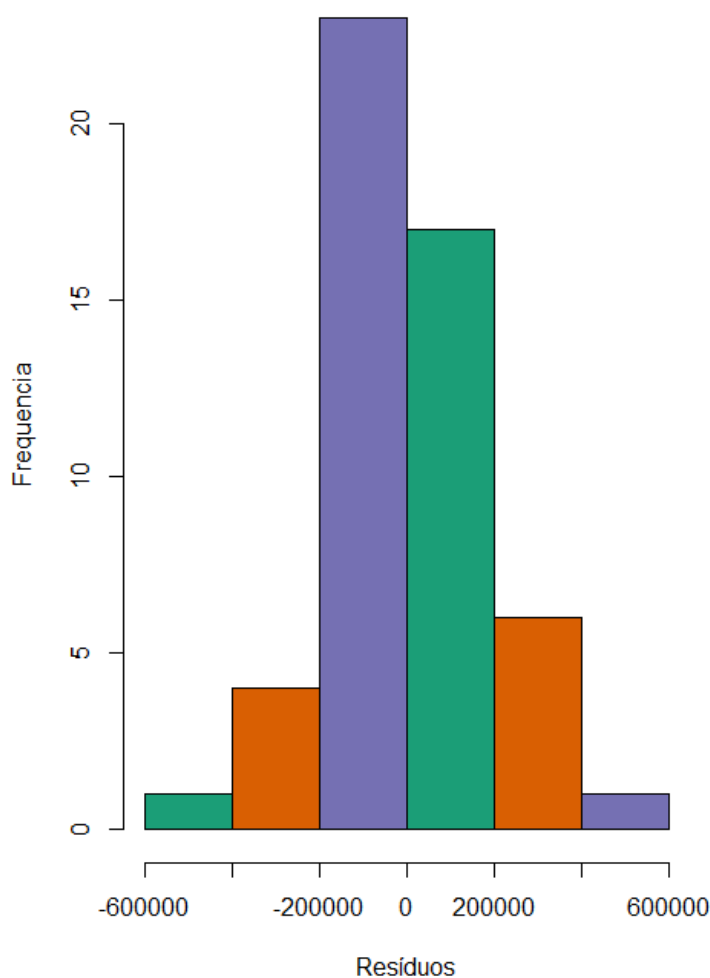


Fonte: A autora

A aleatoriedade e dispersão dos resíduos permite inferir que a suposição de linearidade do modelo é verdadeira.

Para testar a normalidade dos resíduos foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk, obtendo-se  $p\text{-valor} = 0,1172$ , ou seja, o teste mostra evidências que esta amostra não é diferente de uma distribuição normal. Pode-se, também, fazer a análise do histograma da Figura 21, o qual apresenta uma distribuição relativamente simétrica, indicando a normalidade dos resíduos.

Figura 21 - Histograma de resíduos padronizados



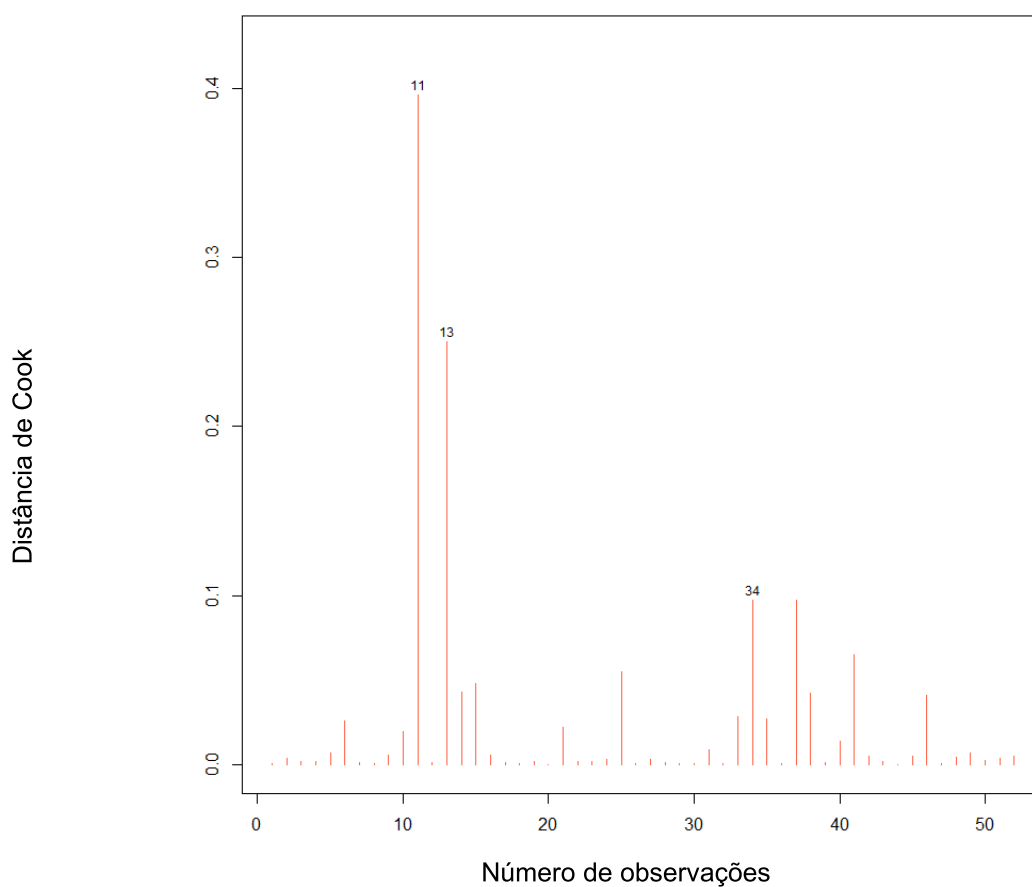
Fonte: A autora

Por fim, investigou-se a presença de observações influentes e possíveis outliers (dados discrepantes) pela distância de Cook bem como pela aplicação do teste de Bonferroni (KUTNER; NACHSHEIM; NETER, 2004). Observa-se na Figura 22 que não

existem observações com distância de Cook  $> 1$ , logo não há pontos na amostra que possam alterar significativamente a função de regressão ajustada (KUTNER; NACHSHEIM; NETER, 2004).

Baseado nos resultados do teste de Bonferroni ajustado, verificou-se que a observação que possui maior valor de resíduo (34), apresenta  $p\text{-valor}=0,1071$ , e, portanto, não se trata de um *outlier*. Deste modo conclui-se que não existem *outliers* nos resíduos.

Figura 22 – Distância de Cook



Fonte: A autora

Foi utilizada a função `gvlma` no pacote `gvlma` do R, para executar uma validação global das suposições do modelo linear, bem como avaliações separadas de assimetria, curtose e heterocedasticidade. Os resultados estão na Tabela 09.

Tabela 9 – Validações globais

	Valor	p-valor	Decisão
Estatística Global	4,01484	0,4040	Aceito
Assimetria	1,19641	0,2740	Aceito
Curtose	1,98489	0,1589	Aceito
Função de ligação	0,81724	0,3660	Aceito
Heterocedasticidade	0,01629	0,8984	Aceito

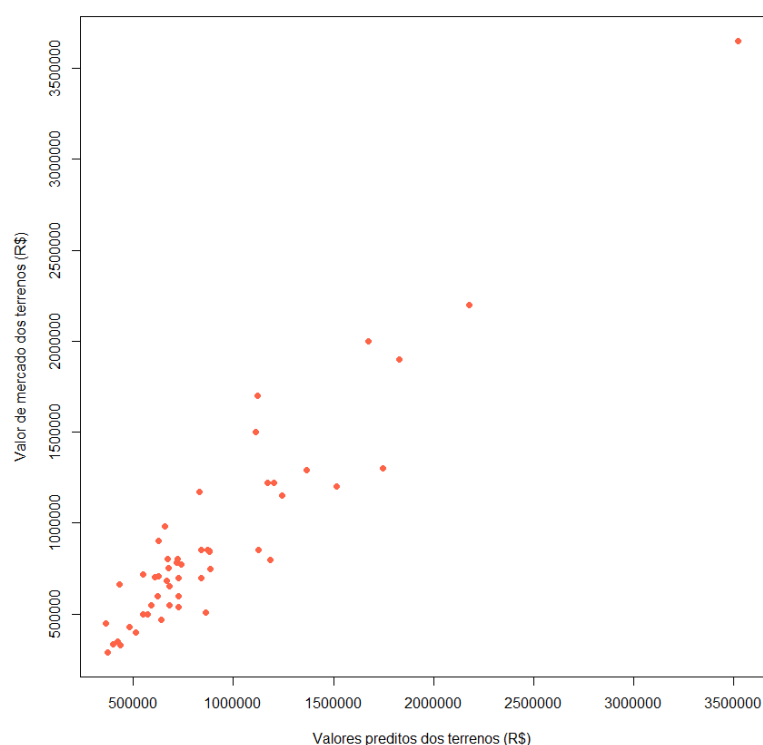
Fonte: A autora

A Estatística Global verifica se a relação entre a relação entre a variável dependente e independentes são lineares. Com base nos resultados dos testes verificou-se que suposição foi atendida. A Distorção e a Curtose mostram que a distribuição dos resíduos é normal. O resultado da Função de Ligação indicou que a variável é contínua. A Heterodasticidade demonstrou que o modelo tem-se homocedasticidade.

Para a verificação entre os valores de mercado dos terrenos e os valores preditos, foi utilizado o MAPE. A precisão resultou em 17,73 % . O RMSE resultou em 191.719,6. O erro quadrado médio (MSE), resultou em 36756398323.

O gráfico da Figura 23 mostra que os valores preditos para os terrenos se assemelham aos valores de mercado.

Figura 23 – Valores e mercado x valores preditos dos terrenos



Fonte: A autora

## 4.2 DETERMINAÇÃO DO VALOR DAS CASAS

Para a determinação do valor das casas, o valor dos terrenos foi subtraído dos 95 imóveis (casas + terrenos) coletados no mercado. A Equação 18 foi utilizada para calcular o valor do terreno de cada elemento amostral, utilizando as variáveis independentes correspondentes a área total do terreno e renda domiciliar média do setor censitário de cada observação, conforme demonstrado na Tabela 10. A tabela completa com os dados dos elementos amostrais, o valor dos terrenos e casas, estão no Apêndice A e B.

Tabela 10 – Valores das casas

(continua)

Elemento amostral	Valor de mercado do imóvel (R\$)	Valor terreno estimado com a Equação (18)	Valor da casa (terreno - valor imóvel) R\$
1	860.000,00	496.900,77	363.099,23
2	670.000,00	779.563,96	- 109.563,96
3	850.000,00	565.292,18	284.707,82
4	610.000,00	436.577,50	173.422,50
5	799.000,00	609.537,40	189.462,60
6	710.000,00	497.191,42	212.808,58
7	850.000,00	743.811,38	106.188,62
8	925.000,00	357.442,71	567.557,29
9	770.000,00	600.438,96	169.561,04
10	660.000,00	624.126,91	35.873,09
11	650.000,00	361.487,25	288.512,75
12	750.000,00	732.408,25	17.591,75
13	1.590.000,00	664.326,41	925.673,59
14	850.000,00	903.796,69	- 53.796,69
15	650.000,00	561.021,58	88.978,42

Tabela 10 – Valores das casas

(continuação)

Elemento amostral	Valor de mercado do imóvel (R\$)	Valor terreno estimado com a Equação (18)	Valor da casa (terreno - valor imóvel) R\$
16	530.000,00	615.272,47	- 85.272,47
17	690.000,00	497.680,08	192.319,92
18	830.000,00	529.493,72	300.506,28
19	600.000,00	617.473,41	- 17.473,41
20	640.000,00	605.521,71	34.478,29
21	500.000,00	338.361,68	161.638,32
22	590.000,00	419.947,66	170.052,34
23	800.000,00	405.605,62	394.394,38
24	690.000,00	532.528,61	157.471,39
25	850.000,00	484.401,35	365.598,65
26	425.000,00	417.309,97	7.690,03
27	785.000,00	479.772,16	305.227,84
28	850.000,00	414.789,22	435.210,78
29	800.000,00	593.790,17	206.209,83
30	940.000,00	617.473,41	322.526,59
31	980.000,00	505.121,06	474.878,94
32	890.000,00	690.056,08	199.943,92
33	430.000,00	347.881,35	82.118,65
34	890.000,00	372.623,22	517.376,78
35	600.000,00	438.171,81	161.828,19
36	1.200.000,00	421.960,24	778.039,76
37	755.000,00	325.518,04	429.481,96
38	549.000,00	277.711,24	271.288,76



Tabela 10 – Valores das casas

(continuação)

Elemento amostral	Valor de mercado do imóvel (R\$)	Valor terreno estimado com a Equação (18)	Valor da casa (terreno - valor imóvel) R\$
39	898.000,00	290.869,30	607.130,70
40	798.000,00	457.767,36	340.232,64
41	630.000,00	199.376,52	430.623,48
42	649.000,00	321.987,58	327.012,42
43	558.000,00	414.294,51	143.705,49
44	590.000,00	285.710,86	304.289,14
45	640.000,00	276.527,26	363.472,74
46	1.339.000,00	250.715,88	1.088.284,12
47	1.000.000,00	709.644,57	290.355,43
48	890.000,00	513.636,69	376.363,31
49	895.000,00	605.347,35	289.652,65
50	849.990,00	582.732,70	267.257,30
51	1.280.000,00	1.298.545,95	- 18.545,95
52	1.380.000,00	989.545,26	390.454,74
53	870.000,00	573.968,12	296.031,88
54	1.080.000,00	668.073,10	411.926,90
55	1.100.000,00	788.867,43	311.132,57
56	1.498.630,00	659.649,27	838.980,73
57	960.000,00	782.505,61	177.494,39
58	1.000.000,00	616.652,22	383.347,78
59	1.100.000,00	654.442,90	445.557,10
60	650.000,00	582.732,70	67.267,30
61	775.000,00	582.732,70	192.267,30

Tabela 10 – Valores das casas

(continuação)

Elemento amostral	Valor de mercado do imóvel (R\$)	Valor terreno estimado com a Equação (18)	Valor da casa (terreno - valor imóvel) R\$
62	750.000,00	517.380,35	232.619,65
63	695.000,00	582.732,70	112.267,30
64	1.300.000,00	687.907,66	612.092,34
65	1.099.000,00	751.749,59	347.250,42
66	1.200.000,00	679.536,64	520.463,36
67	1.100.000,00	679.228,02	420.771,98
68	900.000,00	903.699,18	- 3.699,18
69	750.000,00	301.974,44	448.025,56
70	700.000,00	606.619,71	93.380,29
71	495.000,00	281.533,47	213.466,53
72	990.000,00	356.430,79	633.569,21
73	465.000,00	302.249,75	162.750,25
74	850.000,00	384.103,19	465.896,81
75	680.000,00	302.249,75	377.750,25
76	1.098.000,00	410.225,00	687.775,00
77	840.000,00	404.819,47	435.180,53
78	690.000,00	346.188,57	343.811,44
79	899.000,00	390.216,75	508.783,25
80	650.000,00	723.597,17	- 73.597,17
81	1.180.000,00	573.587,47	606.412,53
82	1.200.000,00	723.918,09	476.081,91
83	1.997.000,00	740.455,26	1.256.544,74
84	980.000,00	656.090,73	323.909,27

Tabela 10 – Valores das casas

(continuação)

Elemento amostral	Valor de mercado do imóvel (R\$)	Valor terreno estimado com a Equação (18)	Valor da casa (terreno - valor imóvel) R\$
85	1.667.000,00	650.777,66	1.016.222,34
86	950.000,00	608.384,99	341.615,01
87	1.500.000,00	861.671,46	638.328,54
88	400.000,00	533.748,47	- 133.748,47
89	750.000,00	504.702,53	245.297,47
90	1.390.000,00	438.134,87	951.865,13
91	1.490.000,00	558.789,42	931.210,58
92	730.000,00	481.012,76	248.987,24
93	900.000,00	458.988,74	441.011,26
94	1.600.000,00	714.520,06	885.479,94
95	750.000,00	580.497,69	169.502,31
96	920.000,00	471.435,46	448.564,54
97	1.400.000,00	358.121,25	1.041.878,75
98	660.000,00	329.511,99	330.488,01

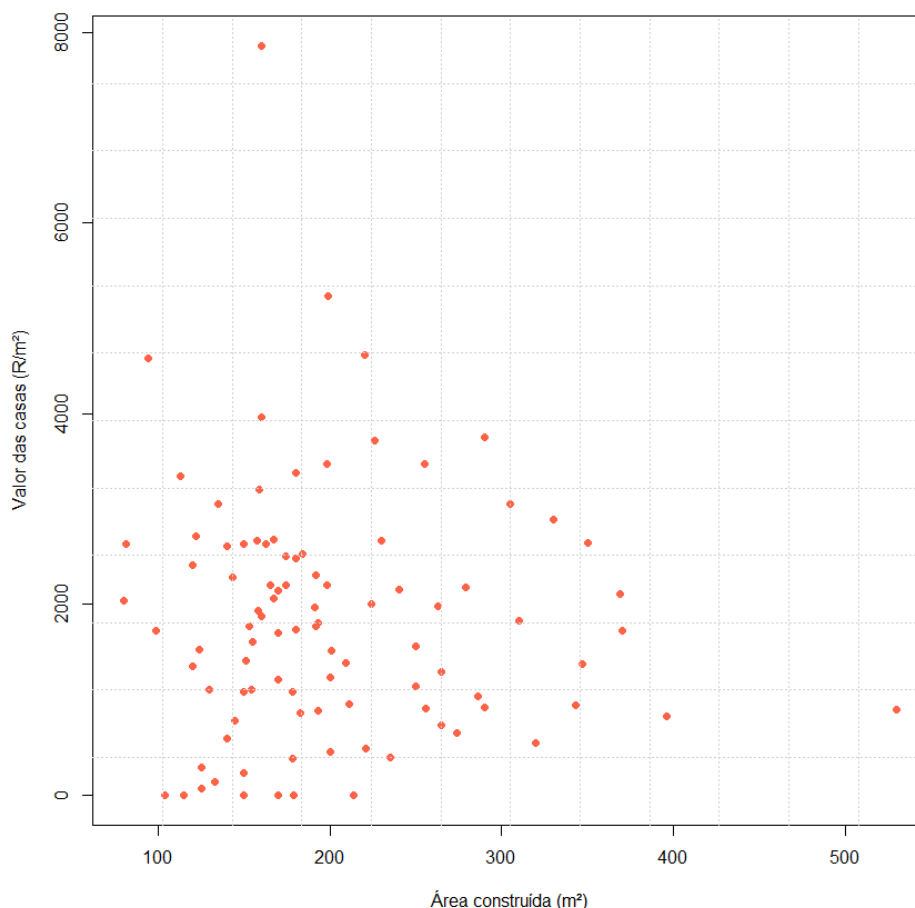
Observou-se que nos elementos nº 2, 14, 16, 19, 51, 68, 80 e 88 o valor resultante para as casas possui sinal negativo. Esta situação indica que a casa não possui valor comercial e pode até mesmo desvalorizar o imóvel como um todo. Nestes casos o valor comercial das casas foi considerado como sendo zero.

Com os valores das casas para cada elemento amostral, obtido conforme procedimento descrito, foi realizada a análise exploratória dos dados e a regressão linear múltipla descrita nos itens a seguir.

### 4.2.1 Análise exploratória dos dados das casas

O gráfico de dispersão apresentado na Figura 24, não aponta uma relação linear entre o valor das casas por metro quadrado e sua área construída.

Figura 24 – Gráfico de dispersão dos valores das casas x área construída



Fonte: a autora

Para a variável dependente, foram obtidas as medidas descritivas indicadas na Tabela 11:

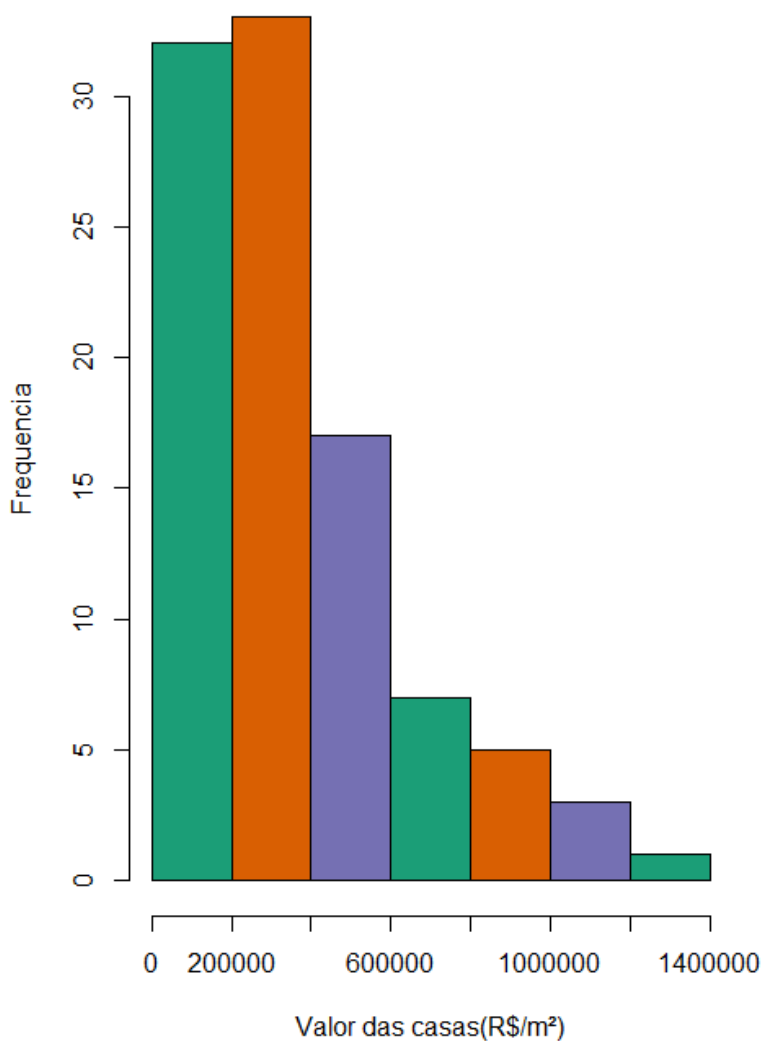
Tabela 11 – Medidas descritivas da variável dependente para as casas

Variável dependente	Mínimo	1º quartil	Mediana	Média	3º quartil	Máximo	Desvio padrão
Valor das casas(R\$/m²)	0	900,90	1.726,90	1.794,70	2.524,30	7.853,40	1.305,11

Fonte: a autora

Na Figura 25 observa-se que a maior parte do valor do m<sup>2</sup> das casas possui um valor entre R\$ 2.000,00 e R\$ 4.000,00.

Figura 25 – Histograma dos valores dos terrenos em R\$



Na Figura 25 observa-se que a maior parte do valor do m<sup>2</sup> das casas possui um valor entre R\$ 200.000,00 e R\$ 1.400.000,00.

Para as variáveis independentes numéricas, foram obtidas as medidas descritivas indicadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Medidas descritivas das variáveis numéricas das casas

<b>Variáveis numéricas</b>	<b>Mínimo</b>	<b>1º quartil</b>	<b>Mediana</b>	<b>Média</b>	<b>3º quartil</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desvio padrão</b>
Área do terreno (m²)	94,00	319,50	416,70	432,00	549,00	1.230,00	205,59
Renda média por família (IBGE)(R\$)	565,80	3.052,90	4.515,10	4.301,90	5.426,60	6.906,40	1.476,78
Idade das casas(anos)	1	15,00	30,00	25,09	37,50	40,00	13,11
Área das casas(m²)	80,00	150,00	179,50	199,70	233,80	530,00	76,85
Nº de dormitórios	2,00	3,00	3,00	2,96	3,00	5,00	0,55
Nº de banheiros	1,00	2,00	3,00	3,02	4,00	5,00	0,94
Nº de Garagens	1,00	2,00	2,00	2,03	2,00	3,00	0,62

Fonte: a autora

Para as variáveis independentes qualitativas, foram obtidas as quantidades de elementos para os parâmetros apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 – Quantidades de elementos para cada variável qualitativa das casas

<b>Variáveis qualitativas</b>	<b>Quantidades</b>		
	ótima	regular	ruim
Conservação	11(11%)	37(38%)	30(31%)
Situação na quadra	meio de quadra	esquina	
	89(91%)	9(9%)	
Zoneamento	AUAC	AUAP	
	13(13%)	85(87%)	
Piscina	não	sim	
	66(67%)	32(33%)	
Inserido na Mancha de inundação (IPPUJ)	não	sim	
	88(90%)	10(10%)	
Casa mobiliada	não	sim	
	78(80%)	20(20%)	
Nº de pavimentos	1	2	
	50(51%)	48(49%)	
Geminado	não	sim	
	76(77%)	22(23%)	

Fonte: a autora

A Figura 26 e a Tabela 14 apresentam a matriz de correlação entre as variáveis. Observa-se que para a correlação entre as variáveis independentes o maior valor em módulo encontrado foi 0,6, estando dentro do intervalo  $(-0,8/0,8)$  admitido pela norma NBR 14.658-2 (2011), sendo um dos indicativos da ausência de multicolinearidade.

Figura 26 - Diagrama dos coeficientes de correlação das variáveis para análise do valor das casas



Fonte: a autora

Tabela 14 – Matriz de correlações das variáveis das casas

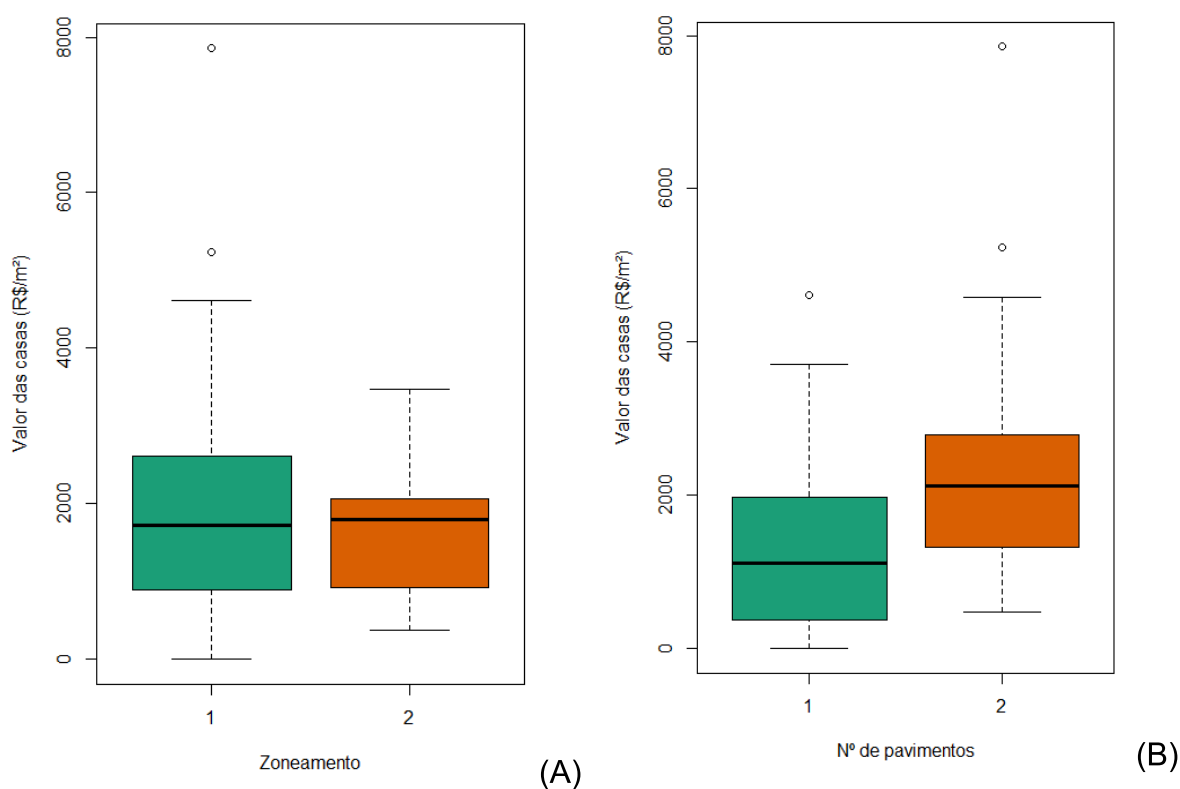
	Valor	Renda	Terreno	Construção	Idade
Valor	1,000	0,042	-0,249	0,407	-0,295
Renda	0,042	1,000	0,037	0,094	0,042
Terreno	-0,249	0,037	1,000	0,227	0,628
Construção	0,407	0,094	0,228	1,000	0,226
Idade	-0,295	0,042	0,628	0,226	1,000

Fonte: A autora

Para as variáveis qualitativas foram realizados os gráficos comparativos de blox plot e teste de Wilcoxon (W), para duas categorias, ou Kruskal-Willis, para três categorias, conforme demonstrado nas Figuras 26 a 29.

Na Figura 27 A observa-se que os valores das casas localizadas no zoneamento AUAP (1), e AUAC (2) ( $W= 572$ ,  $p\text{-valor}= 0,842$ ), não variam de forma significativa. Apesar do fato que no zoneamento AUAP, a altura máxima do gabarito é maior do que no AUAC, sendo 25 m e 9 m respectivamente. Este fato pode estar relacionado a tendencia da construção de casas geminadas no zoneamento AUAC, valorizando os terrenos, devido ao retorno financeiro aos investidores. Na Figura 27 B observa-se que as casas dois pavimentos (2) tendem a ser mais valorizadas do que casas com um pavimento (1), ( $W=678$ ,  $p\text{-valor}=0,00021$ ), sendo a variação significativa.

Figura 27 A e B - Gráfico boxplot das variáveis zoneamento e número de pavimentos



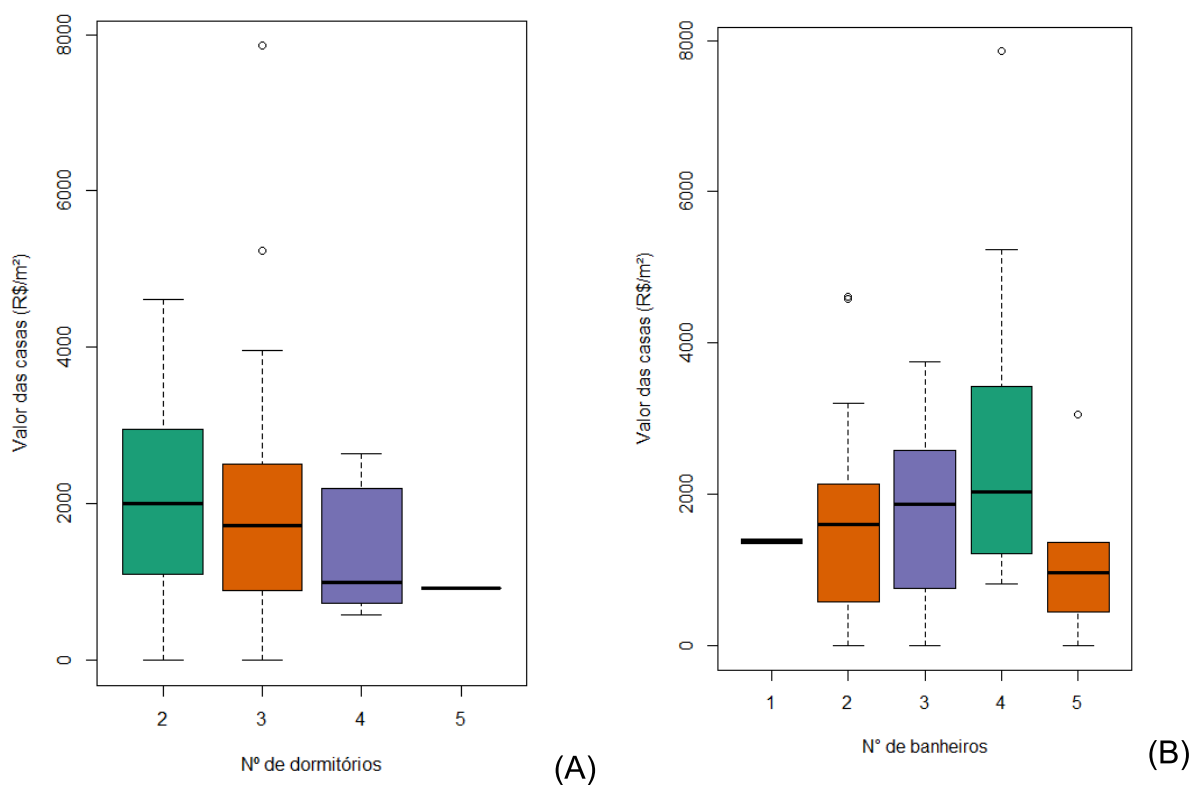
Fonte: a autora

Na Figura 28 A observa-se que quanto maior o número de dormitórios, menor o valor do metro quadrado da casa (Kruskal-Willis = 2,2953,  $p\text{-valor}= 0,5134$ ), porém, devido à alta variabilidade a diferença não é significativa. Na Figura 28 B observa-se



que de forma geral quanto maior a quantidade de banheiros maior o valor do metro quadrado da casa, (Kruskal-Willis = 7,9555, p-valor=0,09323). Esta tendência pode estar relacionada a existência de suítes e lavabos, os quais tornam a casa mais atrativa.

Figura 28 A e B - Gráfico boxplot das variáveis número de dormitórios e número de banheiros



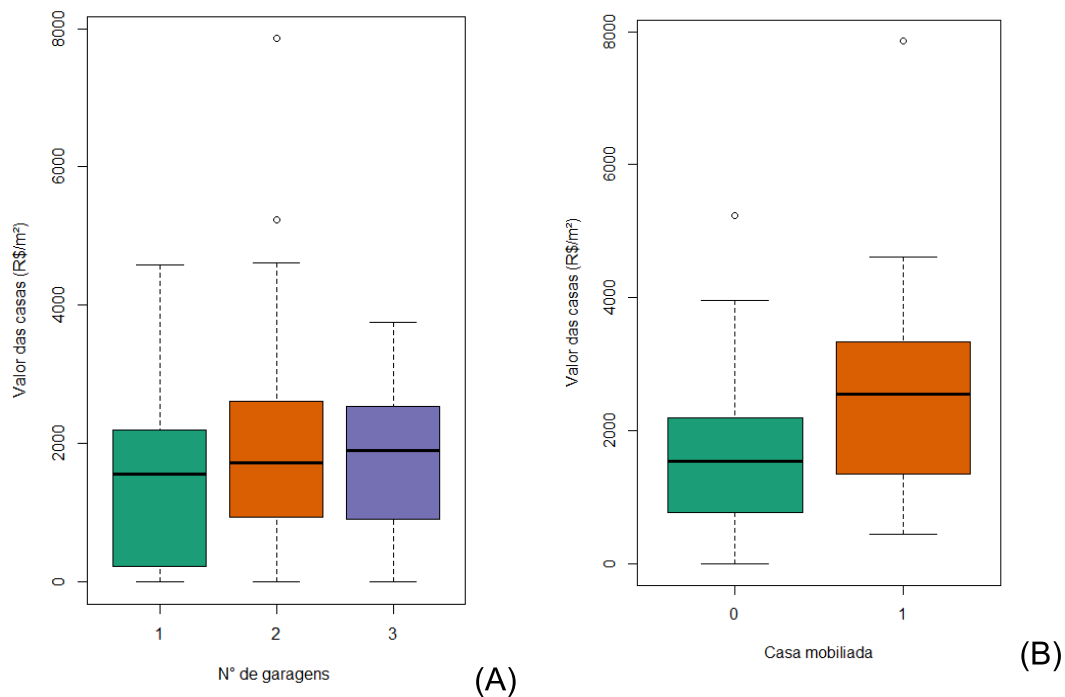
(A)

(B)

Fonte: a autora

Na Figura 29 A observa-se que o valor do metro quadrado da casa não varia de forma significativa de acordo com a quantidade de garagens, (Kruskal-Willis = 0,9953, p-valor= 0,6079). Na Figura 29 B observa-se que se a casa está mobiliada o metro quadrado tende a valer mais, (W = 470, p-valor=0,006355).

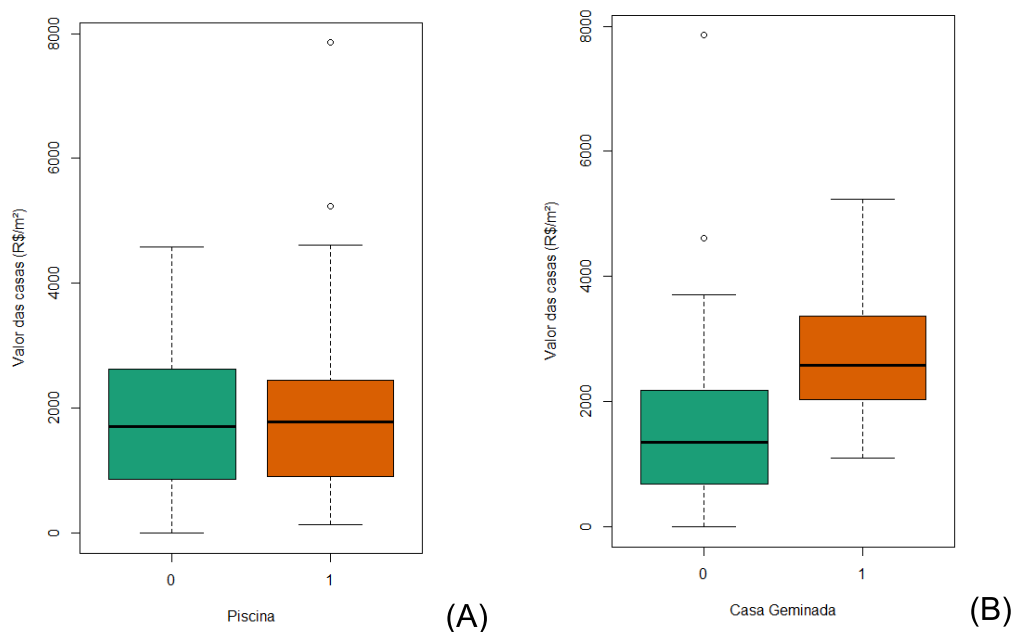
Figura 29 A e B - Gráfico boxplot da variável nº de garagens e casa mobiliada



Fonte: a autora

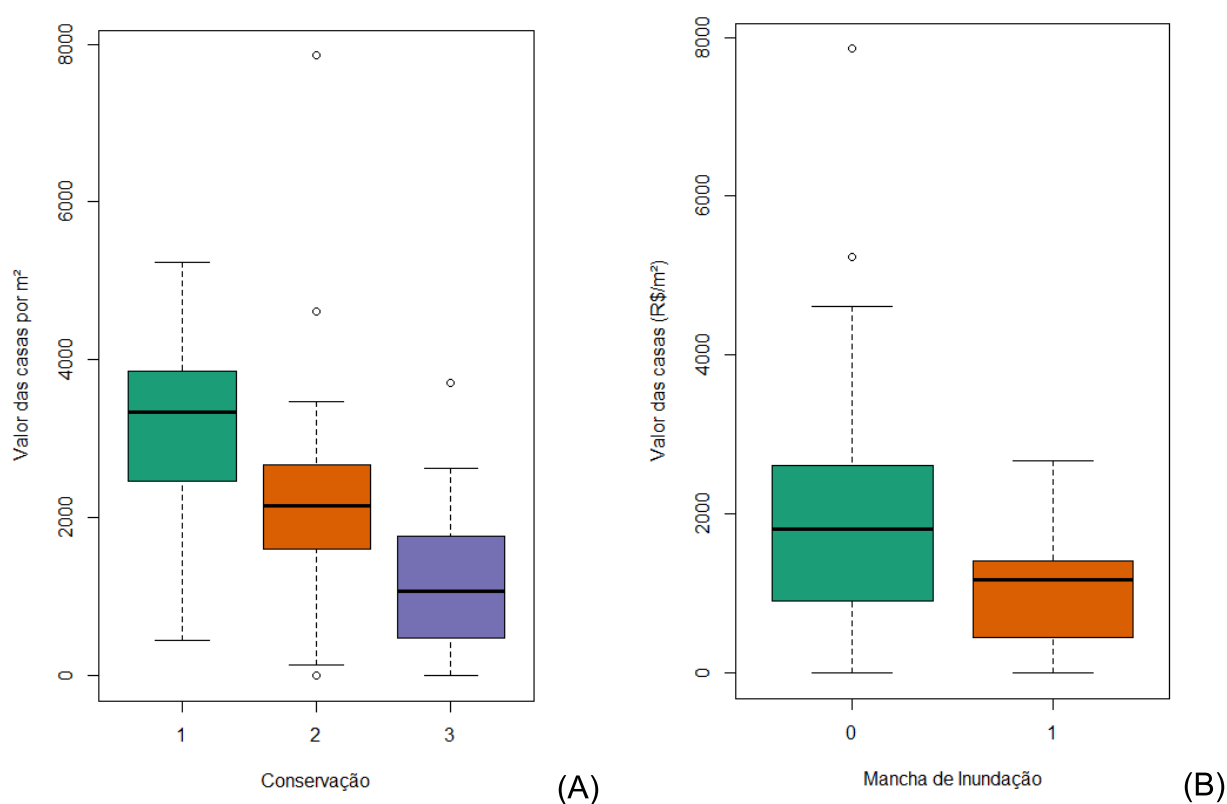
Na Figura 30 A observa-se a existência ou não de piscina nas casas, não tende a alterar o valor do metro quadrado da casa ( $W= 999$ ,  $p\text{-valor}= 0,6685$ ). Na Figura 30 B observa-se que o valor do metro quadrado das casas geminadas (1) tende a ser mais elevado do que das casas comuns (0), ( $W = 314$ ,  $p\text{-valor}=0,000009$ ).

Figura 30 A e B - Gráfico boxplot da variável piscina e casa geminada



Na Figura 31 A observa-se quanto melhor o estado de conservação (1), maior o valor do metro quadrado da casa (Kruskal-Willis = 30,26, p-valor= 0,0000003). Na Figura 31 B observa-se que o valor do metro quadrado das casas que não estão inseridas na mancha de inundação tende ser maiores do que das casas que estão inseridas, (W= 344,5, p-valor= 0,4947), porém não é significativo devido à alta variabilidade.

Figura 31 A e B- Gráfico boxplot da variável estado de conservação e mancha de inundação



Fonte: A autora

#### 4.2.2 Modelo Regressão linear múltipla para o valor das casas

Neste subcapítulo são apresentados os resultados da análise de regressão linear múltipla, com base no conjunto de dados com 94 casas, considerando como variável resposta o valor do metro quadrado da casa.

As variáveis independentes selecionadas para a análise de regressão abrangiam: renda média domiciliar do setor censitário, se estava ou não inserido na

mancha de inundação, nº de dormitórios, nº de banheiros, nº de garagens, estado de conservação, existência ou não de piscina, zoneamento, se a casa era ou não geminada, nº de pavimentos e se a casa estava ou não sendo vendida com mobiliário. Para a seleção de variáveis utilizou-se método stepwise, com o critério de informação de Akaike (AIC), obtendo-se a Equação 19.

$$\begin{aligned} \text{Valor da casa} = & 2943,8937 - 0,88190 \times \text{Terr} - 870,2973 \times \text{Cons2} - 1345,3425 \\ & * \text{Cons3} - 429,3833 \times \text{Inun} - 20,7588 \times \text{Idade}_{\text{num}} + 274,4912 \times \text{Garag} + \\ & 607,2777 \times \text{Mov} + 265,628 \times \text{Pisc} \end{aligned} \quad (19)$$

Onde

Valor da casa = valor da casa por metro quadrado.

Terr = área total do terreno em m<sup>2</sup>;

Cons 2= estado de conservação regular;

Cons 3 = estado de conservação ruim;

Inun = se a casa está inserida na mancha de inundação (IPPUJ);

Garag = número de garagens existentes na casa;

Mov = se a casa está mobiliada;

Pisc = se tem ou não piscina.

Considerando as utilizadas na elaboração do modelo, o tamanho da amostra (94 terrenos) atende ao pressuposto da amostragem, de ter no mínimo 5 vezes a quantidade de variáveis candidatas a preditores (HAIR *et al*, 2009) e 6(K+1) (ABNT NBR 14653, 2011). Portanto, garante-se que o tamanho do conjunto de dados é satisfatório para construir um modelo confiável. A Tabela 15 apresenta as estatísticas e coeficientes do modelo de regressão linear múltipla da casa

Os valores calculados para o VIF - *Variance Inflation Factor*, para as variáveis independentes confirmam que não há multicolinearidade no modelo, uma vez que os valores foram inferiores a 5, conforme demonstrado na Tabela 16.

Tabela 15 – Estatísticas e coeficientes do modelo de regressão linear múltipla da casa

	Estimativa	Erro padrão	t	p-valor
Intercepto	2.943,89370	363,69180	8,094	<0,0001
Área do terreno	- 0,88190	0,52120	- 1,692	0,094310 .
Estado de conservação 2	- 870,29760	340,37940	- 2,557	0,012339 *
Estado de conservação 3	-1.345,34250	387,84070	- 3,469	0,000823***
Piscina	265,62800	191,48370	1,387	0,169005
Mancha de inundação	- 429,38330	279,38800	- 1,537	0,128039
Idade da casa	- 20,75880	10,55660	- 1,966	0,052513 .
Garagem	274,49120	141,80750	- 1,936	0,056233 .
Mobília	607,27700	225,42230	2,694	0,008507 **
Nível de significância	0 '***' 0,001 '***' 0,01 '*' 0,05 '.'			
Erro padrão residual =	786,4 85 graus de liberdade			
F= 14,01	p-valor = $8,502 \times 10^{-13}$			
R <sup>2</sup> = 0,57	R <sub>ajustado</sub> = 0,53			
	Fonte: A autora			

Tabela 16 – Valores de VIF - *Variance Inflation Factor*

Variáveis utilizadas no modelo	VIF
Terreno	1,338
Conservação	1,259
Inundação	1,013
Piscina	1,090
Idade	1,707
Garagem	1,067
Móveis	1,067

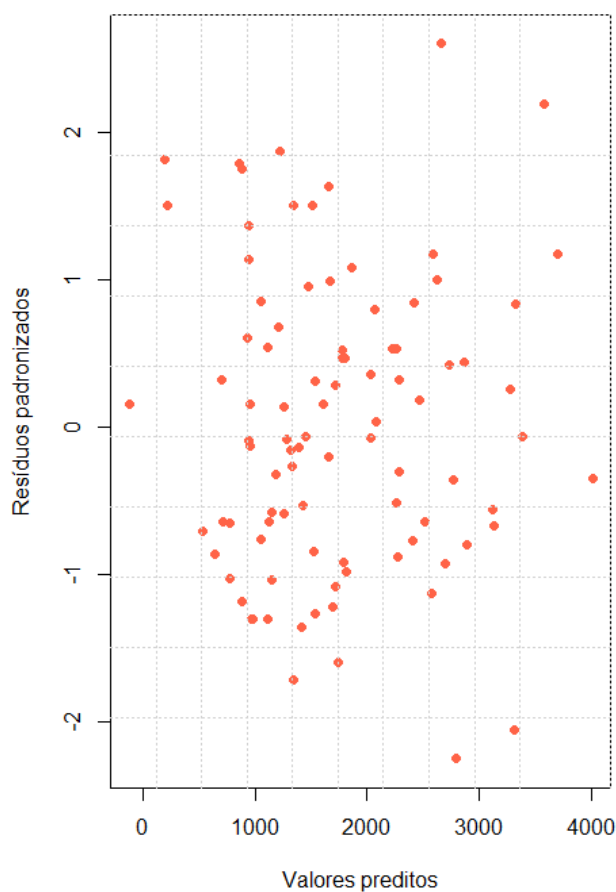
Fonte: A autora

O modelo é estatisticamente significativo ( $F = 14,01$ ,  $p\text{-valor} < 0,05$ ) e explica 57% ( $Adjusted R^2 = 0,53$ ) do valor por metro quadrado das casas analisadas. As suposições de linearidade, homocedasticidade e normalidade dos resíduos, além da

presença de outliers, foram verificadas pela avaliação de gráficos e aplicação de testes estatísticos (DEVORE, 2016), os quais são apresentados a seguir.

A Figura 32 mostra que os resíduos apresentam distribuição aparentemente aleatória, isto é, formam uma nuvem de pontos e não há qualquer tendência ou padrão reconhecível no gráfico. Os resultados do teste Breusch-Pagan levam à não rejeição da hipótese nula ( $p\text{-valor}=0,6794$ ). Dessa forma, a variância dos resíduos pode ser considerada constante.

Figura 32 - Resíduos versus valores preditos da regressão linear múltipla das casas

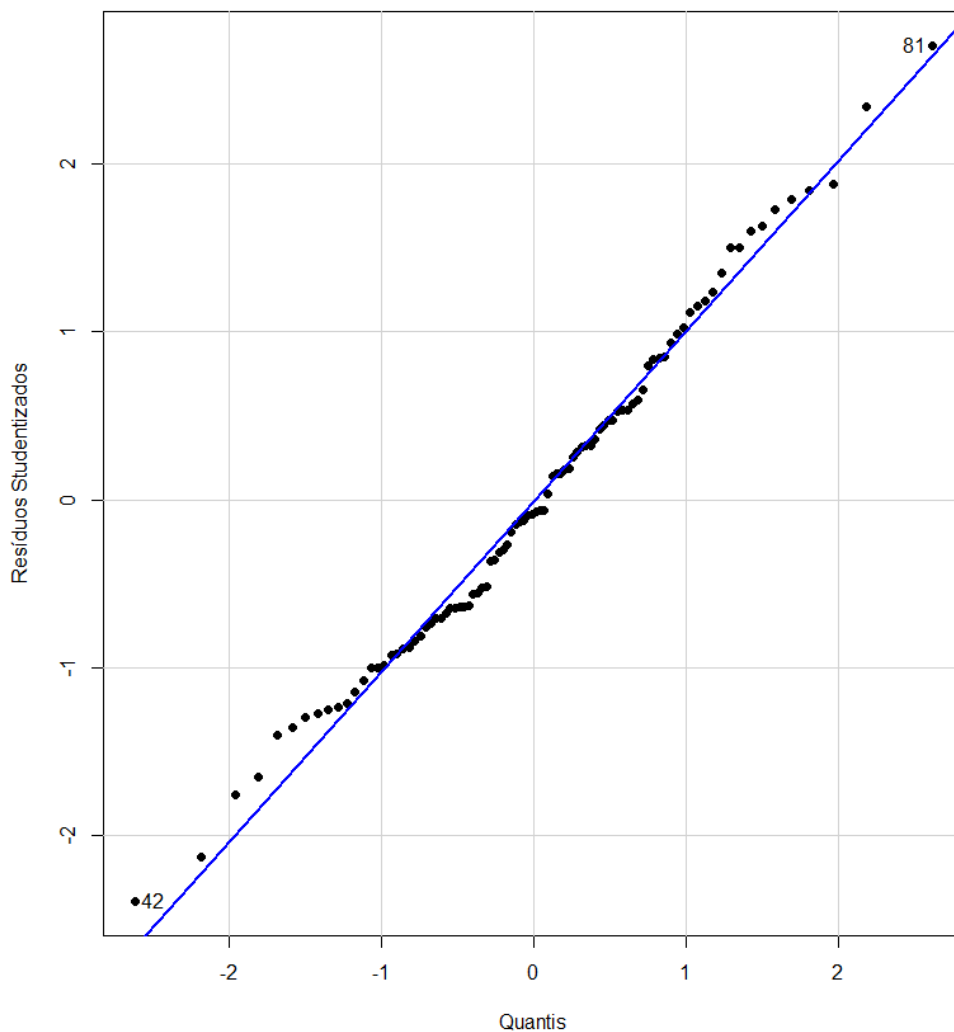


Fonte: A autora

A aleatoriedade e dispersão dos resíduos permite inferir que a suposição de linearidade do modelo é verdadeira. Do contrário, a Figura 32 apresentaria um padrão característico, revelando possíveis problemas de não-linearidade.

Como ilustra a Figura 33, os pontos do gráfico de probabilidade normal tendem a desviar pouco da linha de tendência diagonal, sugerindo há normalidade dos resíduos.

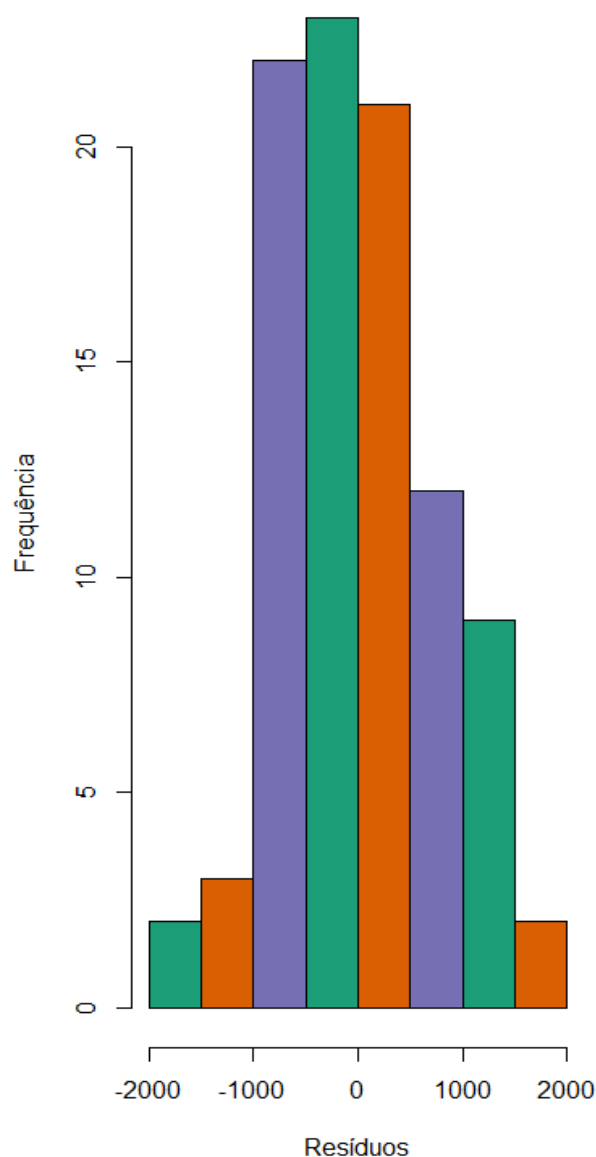
Figura 33 - Probabilidade normal dos resíduos da regressão linear múltipla



Fonte: A autora

Para testar a normalidade dos resíduos foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk. Como resultados obteve-se  $W = 0,98753$  e  $p = 0,5194$ . O teste mostra evidências que esta amostra não é diferente de uma distribuição normal. Pode-se, também, fazer a análise do histograma Figura 34, que apresenta uma distribuição relativamente simétrica, indicando a normalidade dos resíduos.

Figura 34 - Histograma de resíduos padronizados das casas



Fonte: A autora

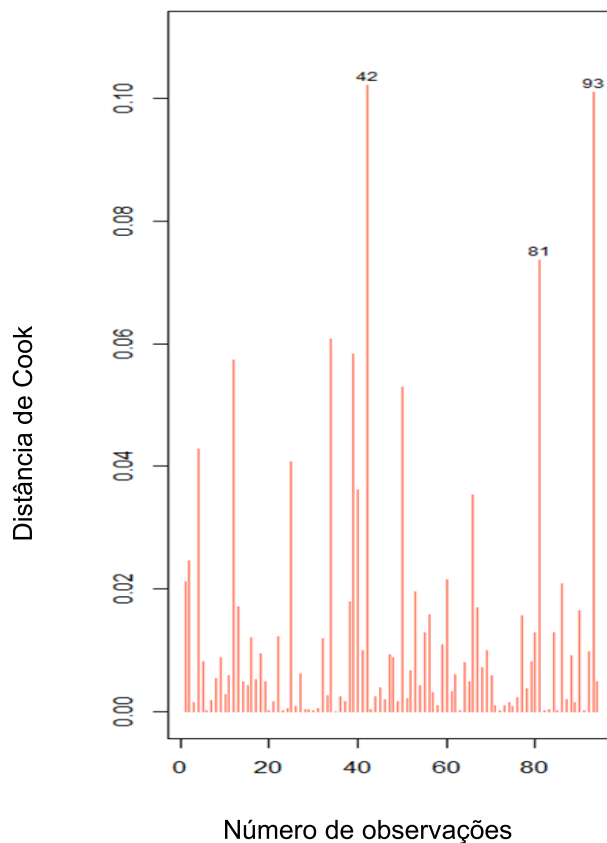
Por fim, investigou-se a presença de observações influentes e possíveis outliers pela distância de Cook bem como pela aplicação do teste de Bonferroni (KUTNER; NACHSHEIM; NETER, 2004). Observa-se na Figura 35 que não existem observações com distância de  $Cook > 1$ , logo não há pontos na amostra que possam alterar significativamente a função de regressão ajustada (KUTNER; NACHSHEIM; NETER, 2004).

Baseado nos resultados do teste de Bonferroni ajustado, verificou-se que a observação que possui maior valor de resíduo (81), apresenta  $p\text{-valor} = 0,78159$ , e,



portanto, não se trata de um *outlier*. Deste modo conclui-se que não existem pontos de *outliers* nos resíduos.

Figura 35 – Distância de Cook



Fonte: A autora

Foi utilizada a função `gvlma` no pacote `gvlma` do R, para executar uma validação global das suposições do modelo linear, bem como avaliações separadas de assimetria, curtose e heterocedasticidade. Os resultados estão na Tabela 17.

Tabela 17 – Validações globais

	Valor	p-valor	Decisão
Estatística Global	5,3164	0,25634	Aceito
Assimetria	1,1381	0,28605	Aceito
Curtose	0,6025	0,43764	Aceito
Função de ligação	3,5447	0,05866	Aceito
Heterocedasticidade	0,0011	0,97354	Aceito

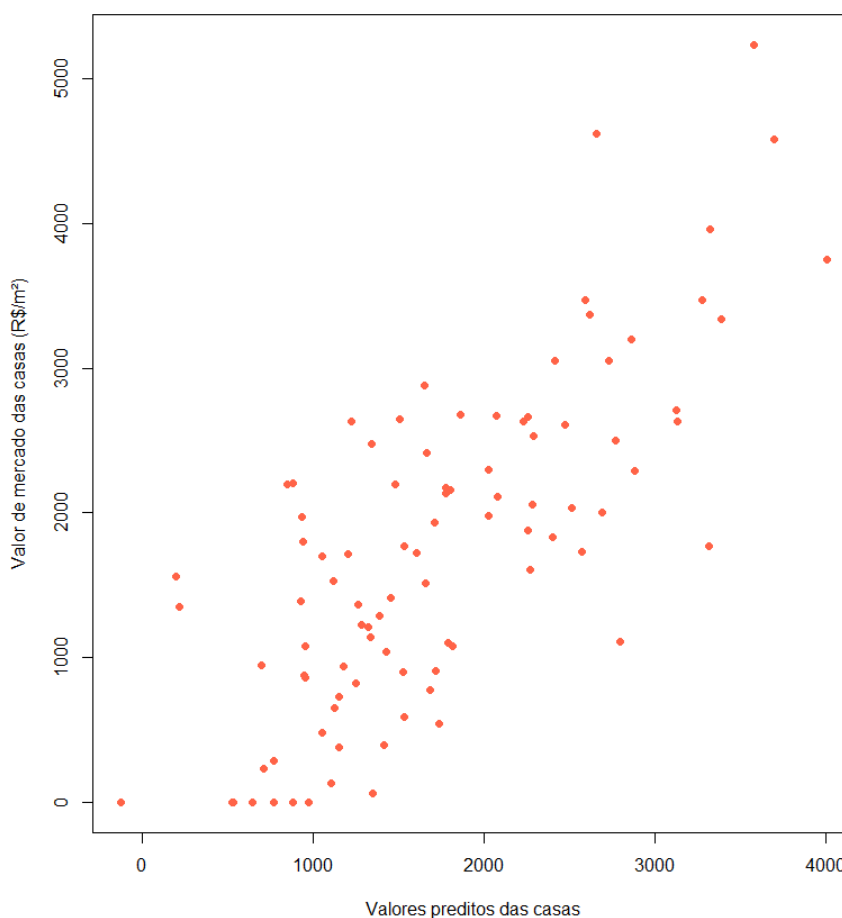
Fonte: A autora

A Estatística Global verifica se a relação entre a variável dependente e independentes são lineares. Com base nos resultados dos testes verificou-se que a suposição foi atendida. A Assimetria e a Curtose mostram que a distribuição dos resíduos é normal. O resultado da Função de Ligação indicou que a variável é contínua. A Heterocedasticidade demonstrou que o modelo tem-se homocedasticidade.

Para a verificação entre os valores de mercado dos terrenos e os valores preditos, foi utilizado o MAPE. O RMSE resultou em 747,8051, este valor mede quão ruins/errôneas são as previsões do modelo quando comparadas aos valores reais observados. Portanto, um RMSE alto é “ruim” e um RMSE baixo é “bom”. O erro quadrado médio (MSE) é a média de todos os resíduos quadrados, resultou em 559212,5

O gráfico da Figura 36 mostra que os valores preditos para os terrenos não se assemelham aos valores de mercado, principalmente nas casas que possuem o valor zero.

Figura 36 – Valores e mercado x valores preditos das casas



Fonte: A autora

### 4.3 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE DEPRECIAÇÃO

Para a determinação do coeficiente de depreciação foi necessário determinar a casa típica. A qual foi estabelecida com base na média e moda das características mais comuns encontradas na população das edificações (TRIANA; LAMBERTS e SASSI, 2015), e as quais já foram descritas na análise exploratória de dados. A casa típica possui as características descritas na tabela 18.

Tabela 18 – Características da casa típica

Variáveis	Quantidades/intervalos			Valor adotado para a casa típica
Conservação	Ótima (1) 11	Regular (2) 30	Ruim (3) 37	Ruim (3)
Situação na quadra	Meio de quadra (1) 89	Esquina (2) 9		meio de quadra (1)
Zoneamento	AUAP (1) 62	AUAC (2) 32		AUAP (1)
Piscina	não(0) 66	sim(1) 32		Não (0)
Inserido na Mancha de inundação (IPPUJ)	Não (0) 88	Sim (1) 10		Não (0)
Casa mobiliada	Não (0) 78	Sim (1) 20		Não (0)
Nº de pavimentos	1 50	2 48		1
Geminado	Não (0) 76	Sim (1) 22		Não (0)
	Intervalo de confiança (95%)			
	inferior	superior		
Renda média domiciliar do setor censitário(R\$)	3052,9	5426,6		4.677,09
Área do terreno (m²)	319,5	549		430
Área da casa (m²)	150	233,8		190

Fonte: A autora

Os dados da casa típica foram fixados e utilizados na Equação (19). A Equação (19) foi aplicada para cada idade em cada estado de conservação, resultando na Tabela 19. O intervalo de idades considerado foi de 1 a 40 anos, pois foram as idades mínimas e máximas observadas no mercado.

Para ilustrar o procedimento a seguir demonstra-se a seguir o cálculo do valor por metro quadrado de uma casa típica com idade entre 0 e 1 anos e com estado de conservação ótimo e de uma casa com estado de conservação ruim e idade de 20 anos.

Para idade um ano e conservação ótima (1), utilizando-se a Equação (19), obtém-se o valor de R\$/m<sup>2</sup> 3.092,9.

Para idade 20 e conservação ruim (3), utilizando-se a Equação (19), obtém-se o valor de R\$/m<sup>2</sup> 3.092,9 R\$/m<sup>2</sup> 1.353,14.

Tabela 19 – Valores das casas típicas para cada estado de conservação  
(continua)

Idade	Valor das casas para os estados de conservação (R\$/m <sup>2</sup> )		
	Ótimo	Regular	Ruim
1	3092,90	2222,60	1747,56
2	3072,14	2201,84	1726,80
3	3051,38	2181,08	1706,04
4	3030,62	2160,33	1685,28
5	3009,87	2139,57	1664,52
6	2989,11	2118,81	1643,76
7	2968,35	2098,05	1623,01
8	2947,59	2077,29	1602,25
9	2926,83	2056,53	1581,49
10	2906,07	2035,77	1560,73
11	2885,31	2015,01	1539,97
12	2864,55	1994,26	1519,21
13	2843,79	1973,50	1498,45
14	2823,04	1952,74	1477,69
15	2802,28	1931,98	1456,93
16	2781,52	1911,22	1436,18
17	2760,76	1890,46	1415,42
18	2740,00	1869,70	1394,66
19	2719,24	1848,94	1373,90
20	2698,48	1828,19	1353,14
21	2677,72	1807,43	1332,38

Tabela 19 – Valores das casas típicas para cada estado de conservação  
(continuação)

Idade	Valor das casas para os estados de conservação (R\$/m²)		
	Ótimo	Regular	Ruim
22	2656,97	1786,67	1311,62
23	2636,21	1765,91	1290,86
24	2615,45	1745,15	1270,11
25	2594,69	1724,39	1249,35
26	2573,93	1703,63	1228,59
27	2553,17	1682,87	1207,83
28	2532,41	1662,11	1187,07
29	2511,65	1641,36	1166,31
30	2490,90	1620,60	1145,55
31	2470,14	1599,84	1124,79
32	2449,38	1579,08	1104,04
33	2428,62	1558,32	1083,28
34	2407,86	1537,56	1062,52
35	2387,10	1516,80	1041,76
36	2366,34	1496,04	1021,00
37	2345,58	1475,29	1000,24
38	2324,82	1454,53	979,48
39	2304,07	1433,77	958,72
40	2283,31	1413,01	937,96

Fonte: A autora

Para obtenção dos coeficientes de depreciação foi dividido o valor da casa em cada idade e cada estado de conservação pela casa com idade de 1 ano e estado de conservação ótimo, resultando na Tabela 20.

Utilizando-se os resultados do exemplo de cálculo das casas com idade entre 0 e 1 ano e estado de conservação ótimo e casa com idade de 20 anos e estado de conservação ruim, calcula-se como exemplo o coeficiente de depreciação para uma casa com 20 anos e estado de conservação ruim:

$$\text{Coeficiente de depreciação} = 1.353,14/3092,9 = 0,44.$$

Tabela 20 – Coeficientes de depreciação da pesquisa

Idade	Estados de conservação		
	Ótimo	Regular	Ruim
1	1,00	0,72	0,57
2	0,99	0,71	0,56
3	0,99	0,71	0,55
4	0,98	0,70	0,54
5	0,97	0,69	0,54
6	0,97	0,69	0,53
7	0,96	0,68	0,52
8	0,95	0,67	0,52
9	0,95	0,66	0,51
10	0,94	0,66	0,50
11	0,93	0,65	0,50
12	0,93	0,64	0,49
13	0,92	0,64	0,48
14	0,91	0,63	0,48
15	0,91	0,62	0,47
16	0,90	0,62	0,46
17	0,89	0,61	0,46
18	0,89	0,60	0,45
19	0,88	0,60	0,44
20	0,87	0,59	0,44
21	0,87	0,58	0,43
22	0,86	0,58	0,42
23	0,85	0,57	0,42
24	0,85	0,56	0,41
25	0,84	0,56	0,40
26	0,83	0,55	0,40
27	0,83	0,54	0,39
28	0,82	0,54	0,38
29	0,81	0,53	0,38
30	0,81	0,52	0,37
31	0,80	0,52	0,36
32	0,79	0,51	0,36
33	0,79	0,50	0,35
34	0,78	0,50	0,34
35	0,77	0,49	0,34
36	0,77	0,48	0,33
37	0,76	0,48	0,32
38	0,75	0,47	0,32
39	0,74	0,46	0,31
40	0,74	0,46	0,30

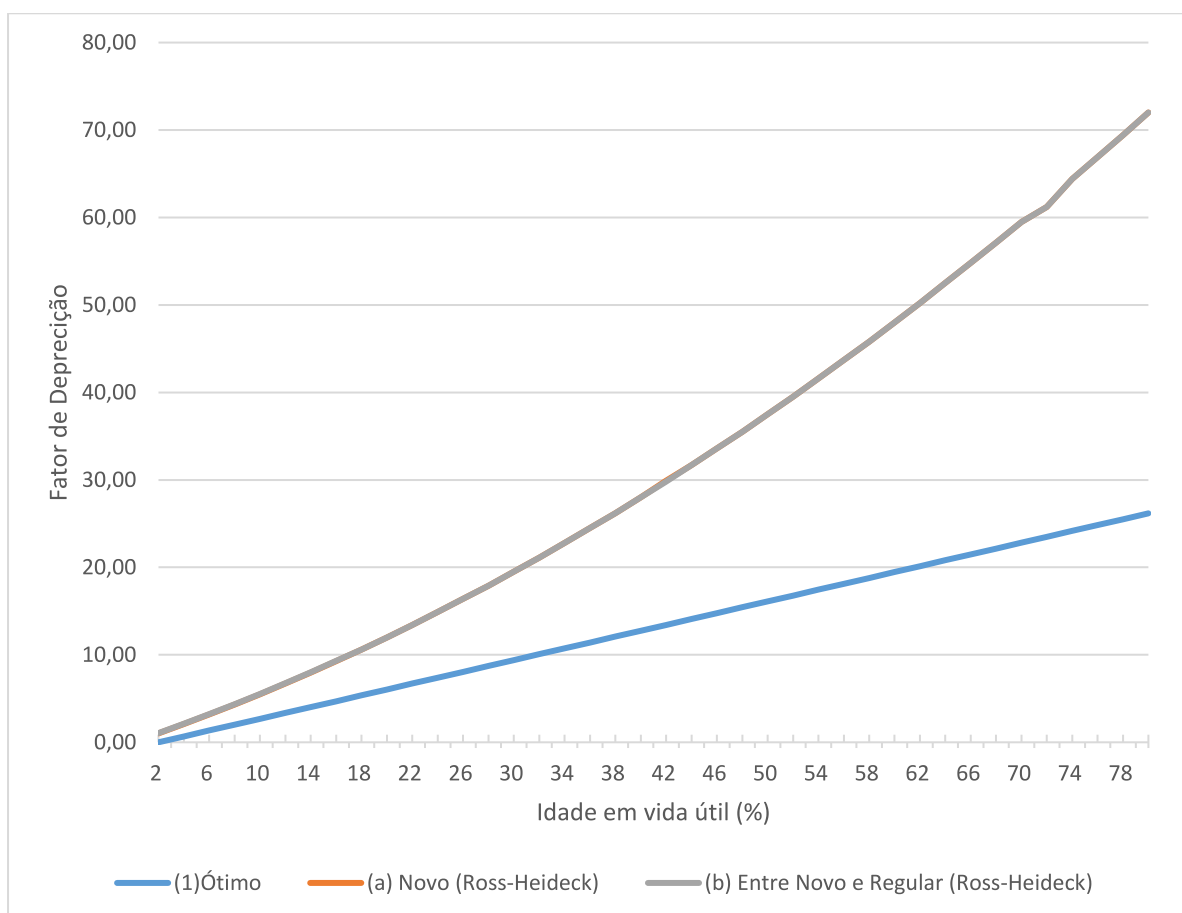
Fonte: A autora

Para comparar os coeficientes calculados na pesquisa, com os de Ross-Heideck, foram feitos os gráficos comparativos das Figuras 37, 38 e 39.

Na figura 37 a linha 1 (ótimo) representa a reta da depreciação traçada com os coeficientes de depreciação desta pesquisa. Retrata a tendência da depreciação de uma edificação em estado ótimo ao longo de 40 anos, ou até 80% da vida, considerando que a vida útil seja 50 anos. As linhas (a) (b), representam a curva de depreciação dos fatores de depreciação de Ross-Heidecke. Observa-se que as linhas de (a) e (b) estão muito próximas e se confundem, devido a similaridade dos fatores de depreciação nos dois estados, sendo (a) Novo e (b) Entre novo e regular.

Observa-se que a depreciação com a utilização dos coeficientes de Ross-Heidecke é mais acentuada com a passagem do tempo, mesmo que o estado de conservação seja novo ou entre novo e regular. Na depreciação proposta nesta pesquisa a edificação tende a se depreciar menos ao longo dos anos, desde que seu estado de conservação seja ótimo.

Figura 37 – Fator de depreciação x Idade (estado de conservação ótimo)

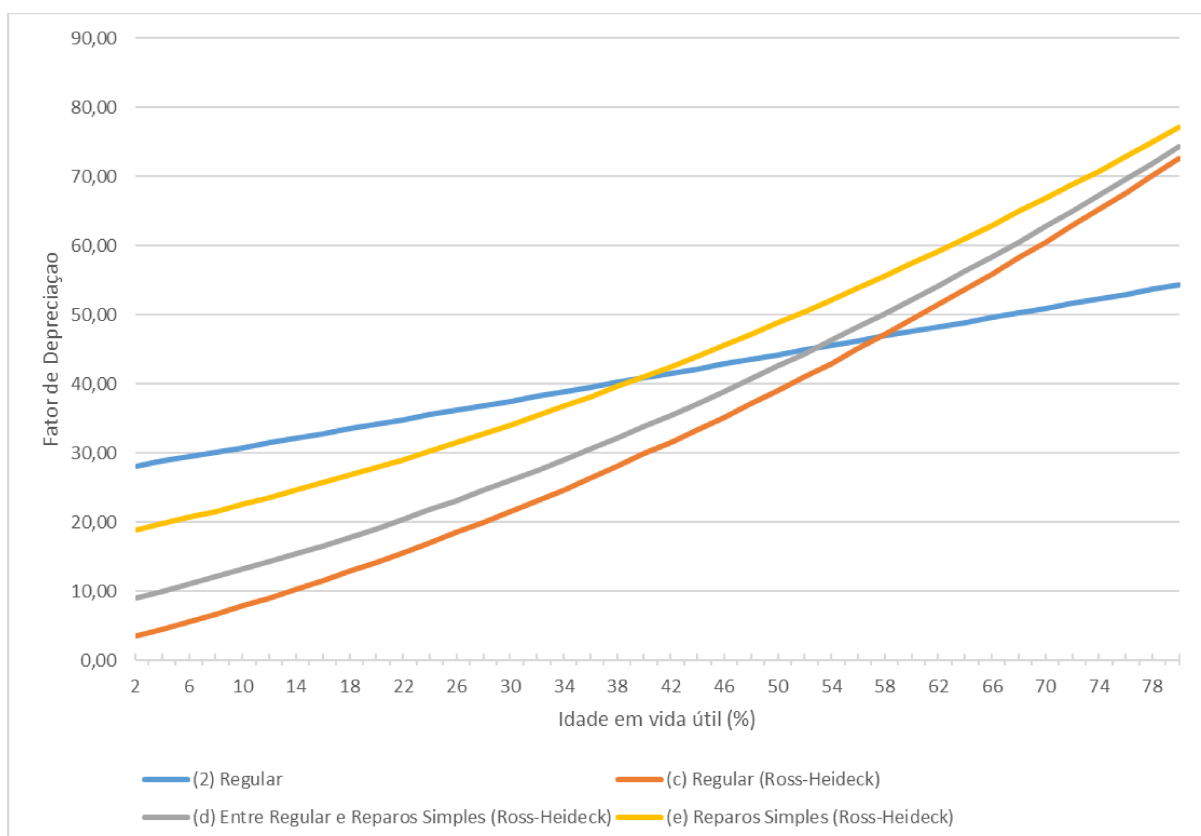


Fonte: A autora

Na figura 38 a linha 2 (Regular) representa a reta da depreciação traçada com os coeficientes de depreciação desta pesquisa. Retrata a tendência da depreciação de uma edificação em estado regular ao longo de 40 anos, ou até 80% da vida, considerando que a vida útil seja 50 anos. As linhas (c), (d) e (e), representam a curva de depreciação dos fatores de depreciação de Ross-Heidecke, sendo (c) Regular e (d) Entre regular e reparos simples e (e) Reparos simples.

Observa-se que a depreciação com a utilização dos coeficientes de Ross-Heidecke inicia de forma mais suave nos primeiros anos e é mais acentuada com a passagem do tempo. A reta da representativa da depreciação da pesquisa a depreciação é mais alta no início se o imóvel estiver em estado regular, porém, possui uma menor variação ao longo dos anos, mantendo-se me estado regular.

Figura 38 – Fator de depreciação x Idade (estado de conservação regular)



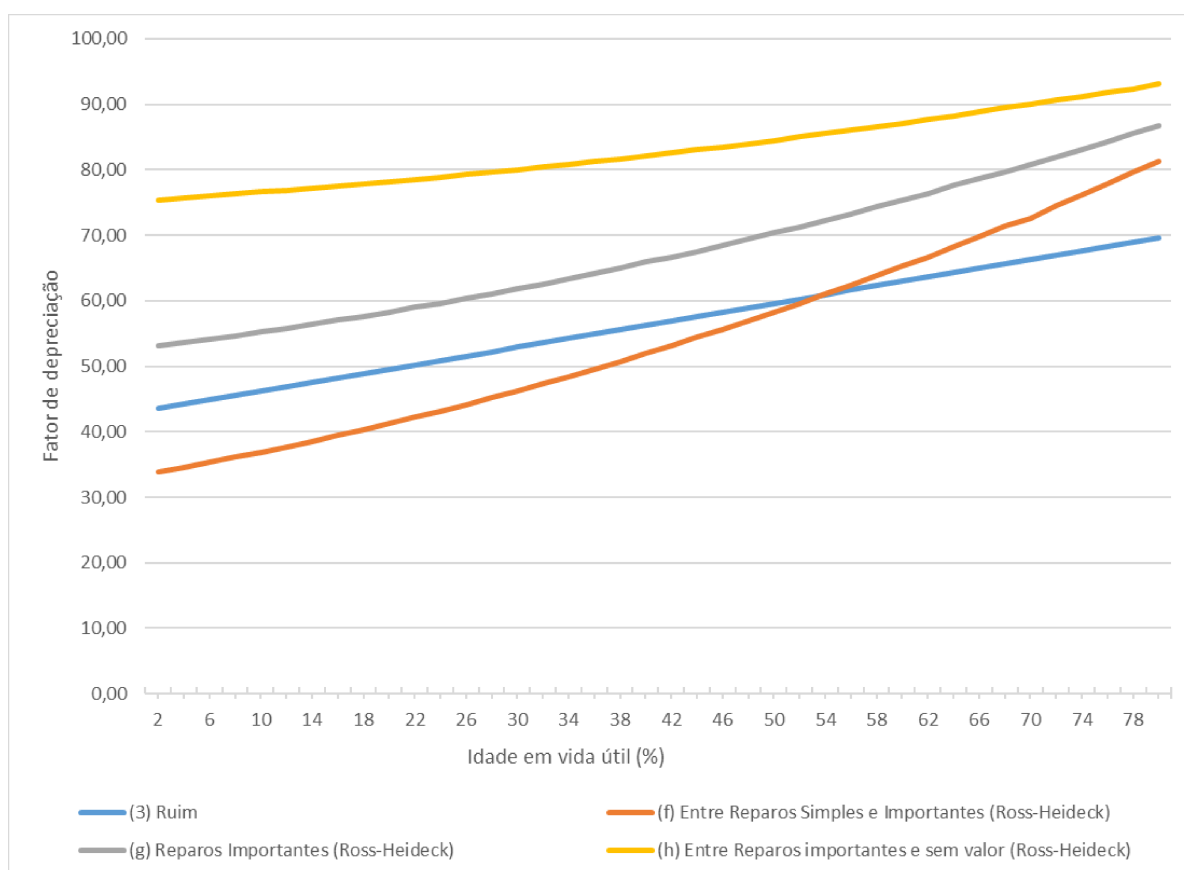
Fonte: A autora



Na figura 39 a linha 3 (Ruim) representa a reta da depreciação traçada com os coeficientes de depreciação desta pesquisa. Retrata a tendência da depreciação de uma edificação em estado de conservação ruim, ao longo de 40 anos, ou até 80% da vida, considerando que a vida útil seja 50 anos. As linhas (f), (g) e (h), representam a curva de depreciação dos fatores de depreciação de Ross-Heidecke, sendo (f) Entre reparos simples e Importantes, (g) Reparos importantes e (h) Entre reparos importantes e sem valor.

Observa-se que a na curva (h) inicia a depreciação de forma mais acentuada nos primeiros anos, com a utilização dos coeficientes de Ross-Heidecke. A reta da representativa da depreciação da pesquisa é mais baixa no início, estando entre as linhas (g) e (h), variando de forma menos acentuada.

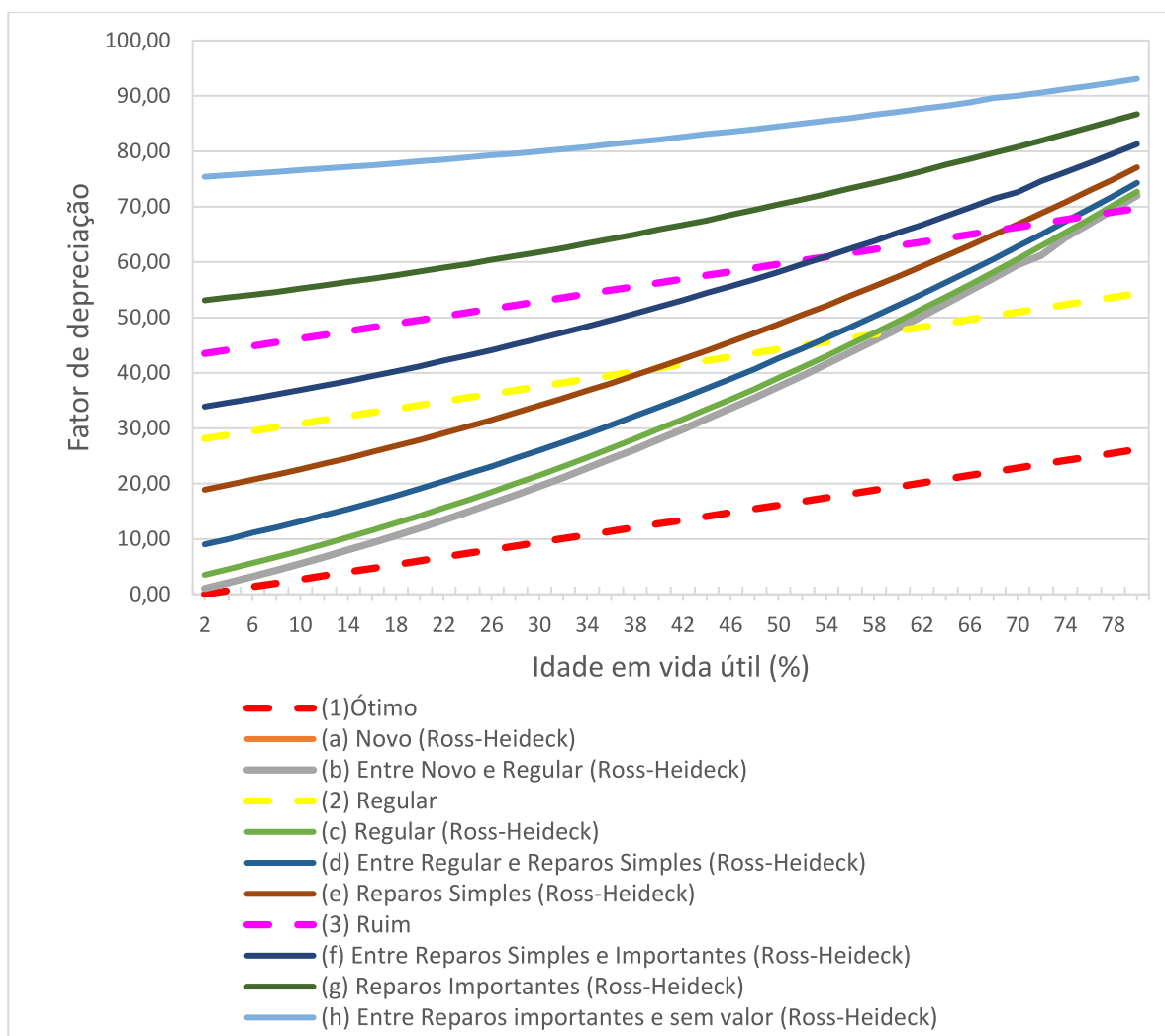
Figura 39 – Fator de depreciação x Idade (estado de conservação ruim)



Fonte: A autora

Na figura 40 as linhas representativas da depreciação obtida nesta pesquisa estão tracejadas. De modo geral observa-se que a depreciação proposta nesta pesquisa ocorre de forma menos acentuada do que no método de Ross-Heidecke.

Figura 40 – Fator de depreciação x Idade (comparativo todos os estados de conservação)



Fonte: A autora

#### 4.4 VALIDAÇÃO DO MODELO

Para fazer a verificação da funcionalidade dos coeficientes de depreciação encontrados nesta pesquisa, foi realizada a avaliação dos imóveis coletados no mercado por meio do Método Evolutivo, realizado conforme determina a NBR 14653-2 (ABNT, 2011), com a utilização da Equação (1).

Para a valoração do terreno foi utilizado o método comparativo direto de dados de mercado. Para cada elemento amostral de imóveis, foi calculado o valor do terreno, utilizando a Equação (18), sendo que os valores se encontram na Tabela do Apêndice 1.

Para o custo de reprodução da benfeitoria foi utilizado o CUB-SC (Custo Unitário Básico de Edificações), publicado pelo SINDUSCON-SC, para o mês de maio de 2023, multiplicado pela área de cada casa dos 95 elementos amostrais de imóveis utilizados. Para obtenção do custo de reedição o valor de reprodução foi multiplicado pelos coeficientes de depreciação encontrados na pesquisa e os coeficientes de Ross-Heidecke. Todas as casas dos elementos amostrais coletados são de padrão normal, e verificou-se que nenhuma delas possui elevador, sistemas de proteção contra incêndio, central de gás e ou outras instalações especiais.

Não foi utilizado BDI (Benefício de Despesas Indiretas), pois somente com os valores do CUB multiplicados pelos coeficientes de depreciação, já foram atingidos valores próximos aos de mercado. Caso fosse utilizada uma taxa de BDI de 21,24%, conforme instrui o TCU (Tribunal de Contas da União), os valores das casas ficaram acima do valor de mercado observado nos dados coletados, tanto com os coeficientes encontrados nesta pesquisa como com os de Ross-Heidecke. Esta observação pode indicar que o valor do CUB, está acima dos valores realmente gastos para a execução de edificações padrão normal.

Os valores dos imóveis, calculados de acordo com o Método Evolutivo, conforme Tabela 21.

Tabela 21 – Valor dos imóveis calculados pelo método Evolutivo

(continua)

Elem. Amostral	Valor de mercado do imóvel (R\$)	Valor terreno estimado com a Equação (18)	Valor casa CUB (R\$) abril/2023	Idade da casa (anos)	Pesquisa				Ross-Heidecke			
					Estado de conservação		Valor imóvel (R\$)	Diferença mercado (%)	Estado de conservação		Valor imóvel (R\$)	Diferença mercado (%)
					Coeficiente				Coeficiente			
1	860.000,00	496.900,77	440.068,20	30	3 0,37	659.893,83	-0,23		6 0,35	649.604,43	-0,24	
2	670.000,00	779.563,96	306.714,20	40	3 0,30	872.579,26	0,30		6 0,19	836.306,09	0,25	
3	850.000,00	565.292,18	666.770,00	30	2 0,52	914.661,87	0,08		5 0,43	849.336,20	0,00	
4	610.000,00	436.577,50	853.465,60	40	2 0,30	695.402,70	0,14		4 0,26	655.918,16	0,08	
5	799.000,00	609.537,40	330.717,92	20	3 0,44	754.226,14	-0,06		6 0,48	768.612,72	-0,04	

Tabela 21 – Valor dos imóveis calculados pelo método Evolutivo

(continuação)

Elem. Amostral	Valor de mercado do imóvel (R\$)	Valor terreno estimado com a Equação (18)	Valor casa CUB (R\$) abril/2023	Idade da casa (anos)	Pesquisa				Ross-Heidecke			
					Estado de conservação	Coefficiente	Valor imóvel (R\$)	Diferença mercado (%)	Estado de conservação	Coefficiente	Valor imóvel (R\$)	Diferença mercado (%)
6	710.000,00	497.191,42	402.729,08	20	2	0,59	735.240,91	0,04	3	0,59	733.996,12	0,03
7	850.000,00	743.811,38	589.424,68	30	3	0,37	962.123,29	0,13	6	0,35	948.341,74	0,12
8	925.000,00	357.442,71	826.794,80	10	2	0,66	901.646,05	-0,03	3	0,92	1.118.920,72	0,21
9	770.000,00	600.438,96	410.730,32	15	2	0,62	857.001,52	0,11	3	0,79	922.862,26	0,20
10	660.000,00	624.126,91	333.385,00	30	3	0,37	747.606,50	0,13	6	0,35	739.811,50	0,12
11	650.000,00	361.487,25	453.403,60	40	3	0,30	498.988,13	-0,23	6	0,19	446.273,72	-0,31
12	750.000,00	732.408,25	354.721,64	20	2	0,59	942.080,98	0,26	3	0,70	981.068,12	0,31
13	1.590.000,00	664.326,41	933.478,00	30	2	0,52	1.153.443,97	-0,27	3	0,51	1.137.599,76	-0,28
14	850.000,00	903.796,69	570.755,12	40	3	0,30	1.076.886,04	0,27	6	0,19	1.009.386,39	0,19
15	650.000,00	561.021,58	533.416,00	30	1	0,57	862.413,54	0,33	2	0,52	838.397,90	0,29
16	530.000,00	615.272,47	277.376,32	40	3	0,30	699.390,65	0,32	6	0,19	666.587,09	0,26
17	690.000,00	497.680,08	474.740,24	30	3	0,37	673.515,01	-0,02	6	0,35	662.414,94	-0,04
18	830.000,00	529.493,72	426.732,80	30	3	0,37	687.547,59	-0,17	6	0,35	677.570,00	-0,18
19	600.000,00	617.473,41	400.062,00	40	3	0,30	738.797,72	0,23	6	0,19	691.484,88	0,15
20	640.000,00	605.521,71	400.062,00	40	3	0,30	726.846,02	0,14	6	0,19	679.533,18	0,06
21	500.000,00	338.361,68	400.062,00	40	3	0,30	459.685,99	-0,08	6	0,19	412.373,15	-0,18
22	590.000,00	419.947,66	264.040,92	30	3	0,37	517.743,49	-0,12	6	0,35	511.569,85	-0,13
23	800.000,00	405.605,62	400.062,00	30	3	0,37	553.781,12	-0,31	6	0,35	544.427,13	-0,32
24	690.000,00	532.528,61	488.075,64	40	3	0,30	680.544,27	-0,01	6	0,19	622.822,61	-0,10
25	850.000,00	484.401,35	373.391,20	30	2	0,52	680.048,37	-0,20	3	0,51	673.710,69	-0,21
26	425.000,00	417.309,97	333.385,00	10	3	0,50	585.541,55	0,38	6	0,59	613.340,35	0,44
27	785.000,00	479.772,16	421.398,64	30	3	0,37	635.850,36	-0,19	6	0,35	625.997,49	-0,20
28	850.000,00	414.789,22	528.081,84	30	3	0,37	610.380,88	-0,28	6	0,35	598.033,62	-0,30
29	800.000,00	593.790,17	453.403,60	15	3	0,47	807.369,44	0,01	6	0,54	837.721,30	0,05
30	940.000,00	617.473,41	914.808,44	30	3	0,37	956.301,40	0,02	6	0,35	934.911,94	-0,01
31	980.000,00	505.121,06	925.770,14	40	3	0,30	785.873,60	-0,20	6	0,19	676.388,53	-0,31
32	890.000,00	690.056,08	562.753,88	40	3	0,30	860.718,94	-0,03	6	0,19	796.979,31	-0,10

Tabela 21 – Valor dos imóveis calculados pelo método Evolutivo

(continuação)

Elem. Amostral	Valor de mercado do imóvel (R\$)	Valor terreno estimado com a Equação (18)	Valor casa CUB (R\$) abril/2023	Idade da casa (anos)	Pesquisa				Ross-Heidecke			
					Estado de conservação	Coefficiente	Valor imóvel (R\$)	Diferença mercado (%)	Estado de conservação	Coefficiente	Valor imóvel (R\$)	Diferença mercado (%)
33	430.000,00	347.881,35	373.391,20	30	3	0,37	486.178,48	0,13	6	0,35	477.448,09	0,11
34	890.000,00	372.623,22	640.099,20	20	2	0,59	750.980,03	-0,16	3	0,70	821.332,76	-0,08
35	600.000,00	438.171,81	320.049,60	40	2	0,46	584.388,30	-0,03	5	0,23	511.463,17	-0,15
36	1.200.000,00	421.960,24	984.152,52	10	2	0,66	1.069.737,77	-0,11	3	0,86	1.266.363,10	0,06
37	755.000,00	325.518,04	434.734,04	10	2	0,66	611.663,67	-0,19	5	0,72	638.961,28	-0,15
38	549.000,00	277.711,24	408.063,24	10	3	0,50	483.626,69	-0,12	6	0,59	517.652,43	-0,06
39	898.000,00	290.869,30	480.074,40	5	2	0,69	622.969,05	-0,31	3	0,92	732.537,74	-0,18
40	798.000,00	457.767,36	512.079,36	1	1	1,00	969.846,72	0,22	1	1,00	969.846,72	0,22
41	630.000,00	199.376,52	250.705,52	1	1	1,00	450.082,04	-0,29	1	1,00	450.082,04	-0,29
42	649.000,00	321.987,58	381.392,44	5	1	0,97	693.140,76	0,07	2	0,94	680.496,47	0,05
43	558.000,00	414.294,51	346.720,40	2	2	0,71	661.125,65	0,18	3	0,95	745.239,14	0,34
44	590.000,00	285.710,86	536.083,08	15	3	0,47	538.236,94	-0,09	6	0,61	612.721,54	0,04
45	640.000,00	276.527,26	453.403,60	10	3	0,50	505.322,20	-0,21	6	0,59	544.035,38	-0,15
46	1.339.000,00	250.715,88	773.453,20	5	1	0,97	1.003.404,15	-0,25	1	0,95	981.629,15	-0,27
47	1.000.000,00	709.644,57	557.419,72	30	3	0,37	916.102,44	-0,08	6	0,35	904.741,47	-0,10
48	890.000,00	513.636,69	509.412,28	40	3	0,30	668.122,98	-0,25	6	0,19	610.425,03	-0,31
49	895.000,00	605.347,35	320.049,60	30	3	0,37	723.887,76	-0,19	7	0,25	684.399,61	-0,24
50	849.990,00	582.732,70	773.453,20	30	3	0,37	869.205,34	0,02	6	0,35	851.120,96	0,00
51	1.280.000,00	1.298.545,95	453.403,60	40	3	0,30	1.436.046,84	0,12	6	0,19	1.382.425,62	0,08
52	1.380.000,00	989.545,26	666.770,00	40	3	0,30	1.191.752,45	-0,14	7	0,13	1.078.225,67	-0,22
53	870.000,00	573.968,12	762.784,88	30	3	0,37	856.489,42	-0,02	8	0,13	672.367,37	-0,23
54	1.080.000,00	668.073,10	360.055,80	20	2	0,59	880.898,80	-0,18	3	0,70	920.472,22	-0,15
55	1.100.000,00	788.867,43	480.074,40	30	2	0,52	1.040.413,61	-0,05	3	0,51	1.032.265,15	-0,06
56	1.498.630,00	659.649,27	602.760,08	40	3	0,30	842.444,56	-0,44	7	0,13	739.816,36	-0,51
57	960.000,00	782.505,61	730.779,92	30	3	0,37	1.053.172,86	0,10	7	0,25	963.008,25	0,00
58	1.000.000,00	616.652,22	464.071,92	40	3	0,30	757.388,42	-0,24	6	0,19	703.433,67	-0,30
59	1.100.000,00	654.442,90	480.074,40	30	3	0,37	832.253,51	-0,24	6	0,35	821.028,72	-0,25

Tabela 21 – Valor dos imóveis calculados pelo método Evolutivo

(continuação)

Elem. Amostral	Valor de mercado do imóvel (R\$)	Valor terreno estimado com a Equação (18)	Valor casa CUB (R\$) abril/2023	Idade da casa (anos)	Pesquisa				Ross-Heidecke			
					Estado de conservação	Coefficiente	Valor imóvel (R\$)	Diferença mercado (%)	Estado de conservação	Coefficiente	Valor imóvel (R\$)	Diferença mercado (%)
60	650.000,00	582.732,70	474.740,24	30	3	0,37	758.567,63	0,17	7	0,25	699.993,54	0,08
61	775.000,00	582.732,70	706.776,20	30	3	0,37	844.509,42	0,09	7	0,25	757.306,42	-0,02
62	750.000,00	517.380,35	682.772,48	30	3	0,37	770.266,55	0,03	6	0,35	754.302,40	0,01
63	695.000,00	582.732,70	386.193,18	40	2	0,30	699.851,10	0,01	4	0,26	681.984,35	-0,02
64	1.300.000,00	687.907,66	613.428,40	20	2	0,59	1.050.499,60	-0,19	5	0,49	988.487,58	-0,24
65	1.099.000,00	751.749,59	514.746,44	30	3	0,37	942.402,07	-0,14	8	0,13	818.151,88	-0,26
66	1.200.000,00	679.536,64	701.442,04	30	2	0,52	1.047.073,55	-0,13	4	0,48	1.014.825,94	-0,15
67	1.100.000,00	679.228,02	420.065,10	20	2	0,59	927.524,68	-0,16	3	0,70	973.273,59	-0,12
68	900.000,00	903.699,18	477.407,32	40	3	0,30	1.048.479,52	0,16	8	0,07	936.640,28	0,04
69	750.000,00	301.974,44	446.602,55	30	2	0,52	535.982,26	-0,29	5	0,43	492.227,13	-0,34
70	700.000,00	606.619,71	626.763,80	40	3	0,30	796.694,46	0,14	6	0,19	722.571,02	0,03
71	495.000,00	281.533,47	216.033,48	1	1	1	497.566,95	0,01	1	1,00	497.566,95	0,01
72	990.000,00	356.430,79	426.732,80	1	1	1	783.163,59	-0,21	1	1,00	783.163,59	-0,21
73	465.000,00	302.249,75	213.366,40	1	2	0,72	455.577,90	-0,02	3	0,97	508.148,33	0,09
74	850.000,00	384.103,19	490.742,72	10	2	0,66	707.114,21	-0,17	3	0,92	836.077,24	-0,02
75	680.000,00	302.249,75	301.380,04	1	1	1	603.629,79	-0,11	1	1,00	603.629,79	-0,11
76	1.098.000,00	410.225,00	528.081,84	1	1	1	938.306,84	-0,15	1	1,00	938.306,84	-0,15
77	840.000,00	404.819,47	464.071,92	15	2	0,62	694.701,85	-0,17	5	0,66	710.642,87	-0,15
78	690.000,00	346.188,57	445.402,36	10	2	0,66	639.356,17	-0,07	5	0,72	667.323,67	-0,03
79	899.000,00	390.216,75	424.065,72	10	2	0,66	669.340,41	-0,26	5	0,72	695.968,14	-0,23
80	650.000,00	723.597,17	400.062,00	40	3	0,30	844.921,48	0,30	6	0,19	798.408,76	0,23
81	1.180.000,00	573.587,47	744.115,32	30	2	0,52	963.484,03	-0,18	4	0,48	929.274,59	-0,21
82	1.200.000,00	723.918,09	1.413.552,40	40	2	0,46	1.369.707,59	0,14	4	0,26	1.087.201,06	-0,09
83	1.997.000,00	740.455,26	426.732,80	40	2	0,46	935.410,59	-0,53	3	0,27	856.953,32	-0,57
84	980.000,00	656.090,73	1.056.163,68	40	3	0,30	976.386,91	0,00	6	0,19	851.481,01	-0,13
85	1.667.000,00	650.777,66	586.757,60	20	2	0,59	997.604,73	-0,40	3	0,70	1.062.094,73	-0,36
86	950.000,00	608.384,99	706.776,20	30	3	0,37	870.161,72	-0,08	6	0,35	855.756,66	-0,10

Tabela 21 – Valor dos imóveis calculados pelo método Evolutivo

(continuação)

Elem. Amostral	Valor de mercado do imóvel (R\$)	Valor terreno estimado com a Equação (18)	Valor casa CUB (R\$) abril/2023	Idade da casa (anos)	Pesquisa				Ross-Heidecke			
					Estado de conservação	Coefficiente	Valor imóvel (R\$)	Diferença mercado (%)	Estado de conservação	Coefficiente	Valor imóvel (R\$)	Diferença mercado (%)
87	1.500.000,00	861.671,46	986.819,60	30	2	0,52	1.378.738,59	-0,08	3	0,51	1.361.988,99	-0,09
88	400.000,00	533.748,47	400.062,00	30	3	0,37	681.923,97	0,70	8	0,13	585.356,47	0,46
89	750.000,00	504.702,53	533.416,00	30	3	0,37	702.269,87	-0,06	6	0,35	691.398,13	-0,08
90	1.390.000,00	438.134,87	880.136,40	30	2	0,52	899.302,85	-0,35	3	0,51	884.364,02	-0,36
91	1.490.000,00	558.789,42	813.459,40	20	2	0,59	1.039.617,87	-0,30	3	0,59	1.037.103,55	-0,30
92	730.000,00	481.012,76	413.397,40	30	2	0,52	697.621,96	-0,04	5	0,43	657.120,05	-0,10
93	900.000,00	458.988,74	511.625,96	30	2	0,52	727.067,09	-0,19	5	0,43	676.941,40	-0,25
94	1.600.000,00	714.520,06	680.105,40	20	2	0,59	1.116.524,16	-0,30	4	0,66	1.164.749,83	-0,27
95	750.000,00	580.497,69	515.039,82	40	3	0,30	736.690,61	-0,02	6	0,19	675.780,06	-0,10
96	920.000,00	471.435,46	597.425,92	10	2	0,66	864.666,27	-0,06	3	0,86	984.026,90	0,07
97	1.400.000,00	358.121,25	530.748,92	1	1	1	888.870,17	-0,37	1	1,00	888.870,17	-0,37
98	660.000,00	329.511,99	325.383,76	1	1	1	654.895,75	-0,01	1	1,00	654.895,75	-0,01

Fonte: A autora

Os resultados obtidos para o valor do imóvel com a utilização dos coeficientes estimados nesta pesquisa e os obtidos com o coeficiente de Ross-Heidecke foram comparados com os valores de mercado de cada elemento amostral, conforme demonstrado na Tabela 21.

A diferença entre os valores de mercado e os valores calculados pelo Método Evolutivo, foi obtida em termos percentuais e observou-se que estas variaram entre 1% a 44%.

Somando-se as diferenças em termos absolutos e as dividindo pela quantidade de elementos amostrais (98), obteve-se um percentual de erro médio de 17 %, tanto para o conjunto de dados obtidos com os coeficientes de depreciação da pesquisa como para o conjunto de dados obtidos com os coeficientes de Ross-Heidecke.

Observou-se que os coeficientes de depreciação obtidos nesta pesquisa resultam em valores de imóveis muito semelhantes aos obtidos com os coeficientes de Ross-Heideck, quando utilizado o Método Evolutivo.



## 5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo buscou desenvolver um método para a obtenção de coeficientes de depreciação física, para a utilização em avaliações de imóveis residenciais.

A fundamentação teórica apresentou informações importantes relativas a depreciação de imóveis, além da descrição do método utilizado e resultados alcançados em pesquisas com foco semelhante ao da proposta desta pesquisa. Essa exposição dos procedimentos metodológicos e análises estatísticas contribuiu na decisão acerca dos fatores a serem estudados e na definição do método adotado no presente estudo.

No método proposto foram coletados dados de mercado à venda, de imóveis com terreno e casa e somente de terrenos vagos. Foi realizada a análise exploratória dos dados e a regressão linear múltipla, para cada conjunto de dados. A equação obtida para o cálculo do valor do terreno foi utilizada para determinar o valor de cada terreno da amostra referente aos imóveis. O valor do terreno foi subtraído do valor do imóvel, restando apenas o valor da casa. Foram apresentados, também, os cálculos relativos às medidas de qualidade do ajuste e desempenho dos modelos. A equação obtida para a valoração das casas foi utilizada para determinar o valor da casa para cada idade combinada com cada estado de conservação. Para obter os coeficientes de depreciação o valor da casa para cada idade e estado de conservação foi dividido pelo valor da casa com idade um e estado de conservação novo, gerando uma tabela de entrada dupla.

O método de Ross-Heidecke, possui oito estados de conservação, porém na pesquisa verificou-se que não seria possível obter dados suficientes para classificar as casas em 8 categorias. Deste modo as casas da pesquisa foram classificadas em três estados de conservação, sendo em que cada uma das três classificações foi agrupada as características das categorias utilizadas por Ross-Heidecke

Os coeficientes obtidos na pesquisa foram comparados com os de Ross-Heidecke, por meio de análise gráfica e medidas descritivas. Nesta comparação constatou-se que a depreciação no método de Ross-Heidecke não acontece de forma linear, tendo em vista que a linha é curva. Já na pesquisa a depreciação ocorre de maneira linear em uma linha reta. De modo geral no método de Ross-Heidecke a depreciação ocorre de forma mais acentuada e tende ficar sem valor no final da vida útil considerada de 50 anos. Já na pesquisa observa-se que para que no final da vida

útil de 50 anos a edificação tende a ter um valor maior, quanto melhor for seu estado de conservação.

Para a validação do método, cada imóvel da amostra de dados coletada no mercado teve seu valor calculado pelo método Evolutivo, utilizando os coeficientes encontrados na pesquisa e os coeficientes de Ross-Heidecke. Os valores obtidos pelo método Evolutivo foram comparados com o valor de mercado de cada imóvel, podendo-se observar como cada conjunto de coeficientes se comportou com relação ao valor de oferta dos imóveis. Observou-se que em termos absolutos o erro total entre o valor obtido com os coeficientes da pesquisa é similar ao erro obtido com os coeficientes de Ross-Heidecke. Logo, para as características dos conjuntos de dados os dois métodos, possuem resultados similares. Verificou-se que apesar de na pesquisa os estados de conservação terem sido agrupados, os resultados em termos globais são similares. Este resultado pode indicar que o mercado não faz uma distinção tão minuciosa dos estados de conservação das casas para valorá-las, podendo resultar em uma simplificação no momento da avaliação.

Por fim, a presente pesquisa representa um passo inicial no estudo do comportamento do mercado, com relação a depreciação de casas residenciais padrão normal de Joinville. Sua principal contribuição é mostrar que é possível determinar coeficientes de depreciação para cada cidade ou região, e buscar de forma mais clara verificar o comportamento do mercado local. O estudo da depreciação das edificações pode ser útil para a criação de políticas sustentáveis, as quais envolvem planejamento urbano. A base de dados produzida, pode ser aplicada em outros estudos, e a rotina em R permite replicabilidade para a realização deste estudo em outras localidades.

## 5.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

As limitações encontradas no desenvolvimento da pesquisa foram:

- falta de dados oficiais atualizados sobre os aspectos socioeconômicos e demográficos de Joinville, sendo a maioria do último censo demográfico de 2010. Há uma defasagem de 10 anos, que pode ter afetado principalmente a análise de renda;
- não foi possível realizar a vistoria interna in loco das edificações. A classificação do estado de conservação foi realizada com a utilização de fotos dos sites das imobiliárias;

- o banco de dados utilizados tem somente dados de ofertas;
- a simplificação do Fator de Comercialização, designando seu valor como um (1) pode influenciar em determinados imóveis.
- a simplificação no método para a separação do valor da casa, pode influenciar no seu valor, tendo em vista que há estudos que indicam que outros fatores de mercado estão envolvidos.
- os resultados da pesquisa são válidos somente para os bairros estudados na cidade de Joinville e tipologia de habitação analisada.

## 5.2 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Esta pesquisa não se encerra aqui, como trabalhos a serem desenvolvidos neste tema sugere-se:

- aprimorar a análise da representatividade da amostra utilizando dados do censo demográfico de 2022 e outros a serem publicados.
- execução de um banco de dados para toda a cidade, com dados de transação de imóveis a serem pesquisados em registros de imóveis e imobiliárias
- ampliar a região de estudo e utilizar regressões e aprendizado de máquina que avaliem a influencia da localização do imóvel para a depreciação da casa;
- desenvolver uma metodologia para a determinação de um coeficiente de comercialização regional.
- investigar outras possibilidades metodológicas para separar o valor da casa do imóvel, determinando qual a influencia que uma casa já construída pode representar no valor total do imóvel.

## 6 REFERENCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14653-1. Avaliação de Bens. Parte1: Procedimentos gerais. Ago. 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR 14653-1**. Avaliação de Bens. Parte2: Imóveis urbanos. Fev. 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-1**. Edificações Habitacionais-Desempenho. Parte1: Requisitos gerais. Julh. 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 12721**. Avaliação de Custos Unitários de Construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios – Procedimento. Set. 2006.

ALBOUY David, Gabriel Ehrlich, Housing productivity and the social cost of land-use restrictions, **Journal of Urban Economics**, Volume 107,2018.

ABUNAHMAN, Sérgio A. **Curso Básico de Engenharia Legal e de Avaliações**. 4ª Edição, São Paulo, 2008.

ALMEIDA, Eduardo. **Econometria espacial aplicada**. São Paulo: Alínea, 2012.

ARMENGOT, Jaime; WILLIAMS, Brendan; PADIAL Francisco & J. Spatial and temporal impacts on building depreciation, **Journal of Property Research**, v. 36:2, p.206-225, abr. 2019.

BENVENHO, Agnaldo C. **Estimativa de Depreciação de bens através do emprego de dados de mercado usados e aplicação de transformações de Box-Cox**. Anais do XVII COBREAP, Florianópolis, 2013.

BERRINI, L. C. **Avaliações de Imóveis**. Ed. 1. São Paulo: Escolas Profissionais Salesianas, 1949.

BOKHARI, Sheharyar; GELTNER, David. Characteristics of Depreciation in Commercial and Multifamily Property: An Investment Perspective. **Real State Economics**, v. 46, p. 745-782, maio 2016.

BOURASSA, S. C, HOESLI M., SCOGNAMIGLIO D., ZHANG S. Land leverage and house prices. **Regional Science and Urban Economics**, v. 41, issue 2, p. 134 – 144, 2011.

BRAGA, F. M. V. **A Depreciação dos Edifícios na Avaliação Imobiliária**. Dissertação de Mestrado Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2015.

BRAGA, Luís F. T. V. **Valoração de Imóveis no Rio Grande Do Sul: Uma Análise a partir de Regressão Espacial**. 83 f. Dissertação de Mestrado em Economia. Universidade do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2010.

YUANYUAN, Cai; YINGMING, Zhu; FENG, yuan; JINLONG, Gao; MARCO Helbich. Urban Housing Prices and Regional Integration: A Spatial Analysis in the City of Kaifeng. **Springer Nature BV**, nov. 2020.

CAMPOS, R. B. A.; DE ALMEIDA, E. S. Decomposição espacial nos preços de imóveis residenciais no município de São Paulo. **Estudos econômicos**. v. 48, n 1, p 5-38, mar. 2018.

CLAPP, John M. e COHEN, Jeffrey e LINDENTHAL, Thies, Are Estimates of Rapid Growth in Urban Land Values an Artifact of the Land Residual Model? (20 de janeiro de 2020). Disponível em SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3618293> ou <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3618293>

CLAPP J. M. A semiparametric method for valuing residential locations: application to automated valuation. **The Journal of Real Estate Finance and Economics**, v. 27, issue 3, p. 303 – 320, 2003.

COHEN J P, COUGHLIN C C, CLAPP J M. Local polynomial regressions versus OLS for generating location value estimates. **The Journal of Real Estate Finance and Economics**, v. 54, p. 365 – 385, 2017.

COUSON, Edward; MCMILLEM, Daniel P. Estimating time, age and vintage effects in housing prices. *Journal of Housing Economics*. v. 17, p. 138-151, jun. 2008.

DANTAS, R. A., **Engenharia de Avaliações – Uma introdução à metodologia científica**, 3ª Edição, São Paulo: ed. Pini, 2012.

DANTAS, R. A. *et al.* **Uma nova metodologia para avaliação de imóveis utilizando regressão espacial**. XI COBREAP, Guarapari, 2002.

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

DE OLIVEIRA, Ana M. B. D. GRANDISKI, Paulo. **Engenharia de Avaliações. Métodos Científicos e a Engenharia de Avaliações**. v 2, 2 ed, p. 13-118. São Paulo: Leud, 2014.

D'OLIMPIO, D. Executive project and building pathology. **Techne-journal of technology for architecture and environment**, v.18, p. 154-163, nov. 2019.

DEVORE, Jay L. **“Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências”**. 8. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

FRANCKE, Mark. K.; VAN DE MINNE, Alex. M. Land, Structure and Depreciation. **Real Estate Economics**, v. 45, n. 2, p. 415–451, jun. 2017.

GALENDE, Ana B. F. **Depreciação e obsolescência em edificações com base na norma de desempenho NBR 15575/2013: Estudo em uma instituição de ensino**.

Dissertação de mestrado em engenharia civil. Universidade Federal do Pará. Belém, 2018.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisas**. 7ª ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GOMES, J., FERREIRA, R. Durabilidade dos Materiais: desempenho e projeto prescrito. **Revista Materiais de Construção** nº 145, Setembro/Outubro, p.41-48, São Paulo, 2009.

GRÖBEL, Soren. Regional heterogeneity in age-related housing depreciation rates: The case of German single-family houses. Springer-Verlag GmbH Germany, part of **Springer Nature**, v. 38, n. 2, p. 219–254, aug. 2018.

HAIR, J., BLACK, W., BABIN, B., Anderson, R. e TATHAM, R. **Análise Multivariada de Dados**. 6ª ed., Porto Alegre: Bookman, 2009.

HARDING, JP; ROSENTHAL, SS; SIRMANS, CF. Depreciation of housing capital, maintenance, and house price inflation: Estimates from a repeat sales model. *Journal of Urban Economics*, v. 61, p. 193 – 217, 2007.

HARVEY, AC. Tests for common features across multiple time series. **Journal of Econometrics**, 177(1), 75-89, 2013.

HAUGHWOUT, Andrew; Okah, Ebieri; Tracy, Joseph (2009): Second chances: Subprime mortgage modification and re-default, **Staff Report**, No. 417, Federal Reserve Bank of New York, New York, NY.

HOVDE, P.J. The Factor Method For Service Life Prediction From Theoretical Evaluation To Practical Implementation. In: 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF BUILDING MATERIAL AND COMPONENTS (DBMC), 2002, Brisbane. Anais [...]. Brisbane: 2002, p.232.

IBAPE – INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA. Institucional. Disponível em <https://ibape-nacional.com.br/site/institucional-2/>. Acesso em 18 de março de 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Resultados preliminares do universo do censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/joinville/pesquisa/23/24304?detalhes=true>. Acesso em: 17 maio 2021.

\_\_\_\_\_. Panorama das cidades e estados do Brasil. Versão 4.3.8.1. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/joinville/panorama>> Acesso em: 17 maio 2021.

MALPEZZI, S., OZANNE, L., THIBODEAU, T. Estimativas microeconômicas de depreciação habitacional. **Land Economics**, v 63, abr. 1987.

MONTENEGRO, Duarte André; GALENDE, Beatriz Ana. Proposta de Método de Depreciação Baseado na Norma Brasileira de em Avaliações de Benfeitorias pelo Método de Quantificação de Custo. In: COBREAP XX, 2019, Salvador. Anais [...]. Salvador: Fiesta Bahia Hotel, 2019.

MONTGOMERY, Douglas C.; PECK, Elizabeth A.; VINING, G. Geoffrey. **Introduction to linear regression analysis**. 5. ed. United States of America: John Wiley & Sons, 2012. 645 p.

MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. 629 p.

MOREIRA, F. F. **Modelo Hedônico Espacial para Avaliação em Massa de Imóveis De Dissertação** (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Fortaleza, 2020.

NETER, J.; WASSERMANN, W.; KUTNER, M. H. **Applied linear statistical models. Regression. analysis of variance. and experimental designs**. 3ed. Burr Ridge (IL): Richard D. Irwin. 1990.

NETHER, O. S. Depreciação de bens - Um método para determinação da depreciação de edificações. **Revista do Instituto de Resseguros do Brasil - IRB**, v. 290, 2002.

NETO F. Alcides; DANIEL Emilio; FIGUEIREDO F. Flávio. **Engenharia de Avaliações**. Métodos Científicos e a Engenharia de Avaliações. v 2, 2 ed., p 13-118, São Paulo: Leud, 2014.

OLIVEIRA, Anderson Magalhães de. **Avaliação em massa do potencial de retorno econômico de terrenos urbanos por modelagem espacial**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

PAIVA, C. DOS A.; ANTUNES, A. F. B. ARA. Geração de planta de valores genéricos a partir do cadastro territorial urbano. **Revista Brasileira de Cartografia**. v 69, n 3. p. 505–518, mar. 2017.

PAPENFUS, Michel. Do housing prices reflect water quality impairments? Evidence from the Puget Sound. **Water Resources and Economics**, v. 27, jul. 2019.

PEREIRA, A. J. D. S. **Avaliação Imobiliária e a sua relação com a Depreciação dos Edifícios**. Dissertação mestrado engenharia civil. Universidade do Porto. Porto, jan. 2013.

PIMENTA, João C. **Propostas de Desenvolvimento dos Modelos**

**Clássicos de Valoração da Depreciação Física na Avaliação Imobiliária.**

Dissertação mestrado engenharia civil. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, jun. 2011.

PINTO, F.; SANTOS, M. F. Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados. **Datagadgets**, v. 1, p. 53–63, 2005.

LOPES, José T.D.; ALONSO Nelson R. P. **Engenharia de Avaliações. Avaliação de Benfeitorias Urbanas**. v 1, 2 ed. P. 273-331. São Paulo: Leud, 2014.

SAMPIERI, H.; COLLADO, F.; BAPTISTA, L. **Metodologia de Pesquisa**. 5 ed, Porto Alegre: Penso, 2013.

SILVA, S. **Utilização de Métodos de Quantificação da Depreciação no Contexto do Método de Mercado – Uma Análise Comparativa**. Dissertação de mestrado em engenharia civil. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, set. 2016.

SEPUD – SECRETARIA DE PLANEJAMENTO URBANO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Joinville cidade em dados 2017**. Joinville: Prefeitura Municipal, 2017. 73 p. Disponível em: <https://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2017/01/Joinville-Bairro-a-Bairro-2017.pdf>. Acesso em: 17 maio 2021.

SYED. Iqbal A.; HAAN Jan de. AGE, TIME, VINTAGE, AND PRICE INDEXES: MEASURING THE DEPRECIATION PATTERN OF HOUSES, **Economic Inquiry**, v.55, jan. 2017.

SOUZA, V. C. M. DE; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. 1ª ed, São Paulo: Editora Pini, 2009.

TRIANA Maria A.; LAMBERTS Roberto; SASSI; Paola. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, v. 87, dez. 2015.

TUFFÉRY, Stéphane. Data mining and statistics for decision making. United Kingdom: John Wiley & Sons, 2011. 689 p

WILHELMSSON, Mats. House price depreciation rates and level of maintenance. **Journal of Housing Economics**, v. 17, n. 1, p. 88–101, mar. 2008.

WOO, Ayoung a, KENNETH, Joh b, CHIA-YUAN, Yu c. Who believes and why they believe: Individual perception of public housing and housing price depreciation. **Elsevier: Cities**, v. 109. nov.2020.

YOSHIDA, Jiro. The economic depreciation of real estate: Cross-sectional variations and their return implications. **Elsevier: Pacific-Basin Finance Journal**, v. 61, jun. 2020.



# APENDICE A – DADOS DOS TERRENOS

(continua)

Valor (R\$)	Terr (m²)	Rend	Top	Zon	cota	Forma	Sit	Inun	Lon(UTM)	Lat(UTM)	Censo
850.000,00	936,00	2,62	1	1	1	2	2	0	713428	7092420	2933,496
329.260,00	360,00	2,62	2	1	1	1	1	0	711127	7092168	3400,4
350.000,00	360,00	2,62	1	1	1	1	1	0	710618	7092583	3052,931
335.000,00	360,00	2,62	1	1	1	1	1	1	711811	7092682	2621,659
470.000,00	560,00	2,62	1	1	1	1	1	1	711719	7093077	4322,444
510.000,00	825,90	2,62	2	1	2	1	1	0	713026	7091820	4518,842
770.000,00	532,00	2,62	2	1	1	1	2	0	712787	7091566	6906,404
550.000,00	471,43	2,62	2	1	1	1	1	0	713263	7091732	4718,251
800.000,00	710,00	2,62	1	1	1	1	1	0	711374	7092936	2439,811
900.000,00	629,00	2,62	1	1	1	1	1	1	710920	7093017	2876,649
1.300.000,00	2.197,00	2,62	2	1	1	2	1	0	711625	7091522	218,4687
2.200.000,00	2.523,00	2,62	1	1	1	2	1	1	712049	7092944	3742,453
3.650.000,00	4.242,00	2,62	2	1	1	1	1	0	712229	7091224	3272,22
1.500.000,00	1.251,00	2,62	1	1	2	1	1	0	711954	7093047	2670,941
1.200.000,00	1.739,00	2,62	1	1	1	1	1	0	711498	7092567	3022,654
1.900.000,00	1.950,00	2,62	2	1	1	1	1	0	713572	7090991	6036,708
650.000,00	860,00	2,62	2	1	1	1	1	0	711678	7091378	218,4687
600.000,00	539,00	2,62	1	1	1	1	1	1	711720	7092906	4322,444
1.290.000,00	1.506,00	2,62	1	1	2	1	1	0	712050	7093093	3742,453
680.000,00	684,00	2,62	1	1	1	1	2	0	711344	7092700	2838,881
699.000,00	1.056,00	2,62	2	1	1	1	2	0	711672	7091479	218,4687
500.000,00	450,00	2,62	2	1	1	1	1	0	713062	7091191	4677,094
706.500,00	562,00	2,62	2	1	2	1	1	0	713210	7092514	3971,494
290.000,00	315,00	2,62	1	1	1	1	1	0	711161	7092624	2838,881
660.000,00	525,00	2,62	1	1	1	1	1	0	712545	7092439	565,7889
698.000,00	634,00	4,22	1	2	1	1	2	0	712574	7089257	4847,56
700.000,00	482,00	4,22	1	1	1	2	1	0	712714	7090534	4965,376
750.000,00	631,33	4,22	1	2	1	1	1	0	711659	7089964	3889,864
1.220.000,00	1.200,00	4,22	1	2	1	1	1	0	712313	7089035	5455,318
1.220.000,00	1.250,00	4,22	1	2	1	1	1	0	712210	7089451	3889,864
450.000,00	438,00	4,22	1	2	1	1	1	0	712196	7089265	565,7889
849.380,00	875,00	4,22	1	2	1	1	1	0	712385	7089680	4135,542
850.000,00	1.100,00	4,22	1	1	2	1	1	0	712373	7090367	5428,391
1.700.000,00	1.125,00	4,22	2	1	1	1	1	0	712711	7090246	4965,376
715.000,00	672,00	4,22	1	2	1	1	1	0	712629	7089120	565,7889
840.000,00	796,00	4,22	1	2	1	1	1	0	711769	7088579	5455,318

(continuação)

Valor (R\$)	Terr (m²)	Rend	Top	Zon	cota	Forma	Sit	Inun	Lon(UTM)	Lat(UTM)	Censo
980.000,00	810,00	4,22	1	2	1	1	2	0	712327	7089161	565,7889
1.170.000,00	730,00	4,22	2	1	1	1	1	0	712469	7090272	5428,391
430.000,00	387,00	4,22	1	2	1	1	2	0	711873	7089364	3889,864
540.000,00	600,00	4,22	1	2	1	1	2	0	712304	7088980	5455,318
2.000.000,00	1.840,00	4,22	1	1	1	1	1	0	711515	7090864	4589,273
400.000,00	364,00	4,22	1	1	1	1	1	0	712828	7090636	4965,376
800.000,00	648,00	4,22	1	1	1	1	1	0	711186	7090845	4589,273
850.000,00	832,00	3,96	2	1	1	1	1	1	714564	7092748	3937,611
1.150.000,00	1.216,00	3,96	1	1	1	1	1	0	713597	7091966	5961,421
799.000,00	1.327,00	3,96	1	1	1	1	1	1	713580	7092769	2933,496
500.000,00	448,00	3,96	1	1	1	2	2	1	714228	7092624	4241,138
745.000,00	951,00	3,96	1	1	1	1	1	0	713874	7093130	2933,496
550.000,00	546,00	3,96	1	1	1	1	1	0	713629	7092181	5408,62
780.000,00	558,00	3,96	1	1	1	1	1	0	714016	7092022	5961,421
1.860.000,00	1.150,00	3,96	1	1	1	1	1	0	714144	7092197	5789,655
600.000,00	660,00	3,96	1	1	1	1	1	0	714134	7093108	4424,816
700.000,00	420,00	3,96	1	1	1	1	1	0	713858	7091945	5961,421

APENDICE B – DADOS DOS IMÓVEIS

(continua)

Elemento	Valor	Const	Zon	Pav	Dorm	Banho	Garag	Mov	Pisc	Idade	Cons	Geminado	Terr	Sit	Inun	Censo
1	860000	165,00	1	1	1	2	1	1	0	4	3	0	450,00	1	0	3.162,48
2	670000	115,00	1	1	2	2	1	1	0	5	2	0	718,00	1	0	4.606,82
3	850000	250,00	1	1	2	3	2	1	1	4	2	0	568,32	1	1	2.621,66
4	610000	320,00	1	1	2	3	2	1	1	5	2	0	360,00	1	0	3.400,40
5	799000	124,00	1	1	2	3	2	1	1	3	3	0	510,00	2	1	4.517,05
6	710000	151,00	1	1	2	1	2	1	0	3	2	0	369,00	1	1	4.517,05
7	850000	221,00	1	2	2	3	2	1	0	4	3	0	535,00	1	0	6.906,40
8	925000	310,00	1	2	2	2	2	1	1	2	2	0	312,00	1	0	2.546,05
9	770000	154,00	1	1	1	3	2	1	0	2	2	0	593,00	1	0	2.945,15
10	660000	125,00	1	1	1	2	1	1	0	4	3	0	540,00	1	0	4.322,44
11	650000	170,00	1	1	1	2	2	1	0	5	3	0	300,00	1	0	2.830,33
12	750000	133,00	1	1	2	2	1	1	1	3	2	0	750,00	1	1	3.088,79
13	1590000	350,00	1	1	3	3	2	1	0	4	2	0	555,00	1	0	4.912,66
14	850000	214,00	1	1	2	2	2	1	0	5	3	0	891,00	1	0	4.322,44
15	650000	200,00	1	1	2	3	2	2	1	4	1	0	560,00	1	1	2.670,94
16	530000	104,00	1	1	2	3	2	1	0	5	3	0	618,00	1	0	2.838,88
17	690000	178,00	1	1	2	3	2	2	0	4	3	0	360,00	1	0	4.677,09
18	830000	160,00	1	1	2	3	3	2	1	3	3	0	466,00	1	0	3.577,11
19	600000	150,00	1	1	2	3	2	1	0	5	3	0	390,00	1	0	6.680,64
20	640000	150,00	1	1	1	3	1	1	0	5	3	0	375,00	1	0	6.680,64
21	500000	150,00	1	1	2	2	2	1	0	5	3	0	407,00	1	0	565,79
22	590000	99,00	1	1	2	2	2	1	0	4	3	0	360,00	1	0	3.052,93
23	800000	150,00	1	1	2	3	2	1	0	4	3	0	342,00	1	0	3.052,93
24	690000	183,00	1	1	2	2	2	1	0	5	3	0	413,35	1	0	4.517,05
25	850000	140,00	1	1	2	2	2	2	1	4	2	0	453,75	1	0	2.838,88
26	425000	125,00	1	1	2	2	1	1	0	2	3	0	360,00	1	0	2.997,82
27	785000	158,00	1	1	2	3	3	1	1	4	3	0	397,75	1	0	3.674,45
28	850000	198,00	1	2	2	3	3	1	0	4	3	0	360,00	1	0	2.945,15
29	800000	170,00	1	2	2	3	2	1	0	2	3	0	580,00	1	0	3.022,65
30	940000	343,00	1	2	3	3	2	1	0	4	3	0	390,00	1	0	6.680,64
31	980000	347,11	1	2	2	3	3	1	0	5	3	0	373,56	1	0	4.606,82
32	890000	211,00	1	1	3	3	2	1	0	5	3	0	699,00	1	0	3.052,93
33	430000	140,00	1	1	3	2	3	1	0	4	3	0	300,00	1	0	2.546,05
34	890000	240,00	1	2	3	3	1	1	1	3	2	0	450,00	1	0	565,79
35	600000	120,00	1	1	2	1	1	1	0	5	3	0	450,00	1	1	1.935,38
36	1200000	369,00	1	2	2	2	1	1	1	2	2	0	369,00	1	0	2.945,15
37	755000	163,00	1	2	2	3	2	1	0	2	2	1	210,00	1	0	3.577,11
38	549000	153,00	1	2	2	3	1	1	0	2	3	1	150,00	1	0	3.577,11
39	898000	180,00	1	2	2	3	3	1	0	1	2	1	198,00	2	0	3.052,93
40	798000	192,00	1	2	2	3	2	1	0	1	1	1	176,00	1	0	6.906,40
41	630000	94,00	1	2	1	2	1	3	0	1	1	1	120,00	1	0	2.439,81
42	649000	143,00	1	2	2	3	1	1	0	1	1	1	260,00	1	0	2.670,94
43	558000	130,00	1	2	1	2	1	2	0	1	2	1	135,00	1	0	6.680,64
44	590000	201,00	1	2	2	2	2	1	0	2	3	1	198,00	2	0	2.945,15
45	640000	170,00	1	2	2	2	2	1	0	2	3	1	180,00	1	0	3.052,93
46	1339000	290,00	1	2	2	3	3	3	0	1	1	1	297,00	1	0	565,79
47	1000000	209,00	2	1	2	3	2	1	0	4	3	0	675,00	1	0	3.861,77
48	890000	191,00	2	1	1	2	2	1	0	5	3	0	429,00	1	0	3.861,77
49	895000	120,00	1	2	3	3	3	1	1	4	3	0	450,00	1	0	5.428,39

(continuação)

Elemento	Valor	Const	Zon	Pav	Dorm	Banho	Garag	Mov	Pisc	Idade	Cons	Geminado	Terr	Sit	Inun	Censo
50	849990	290,00	1	1	3	3	3	2	1	4	3	0	420,00	1	0	5.455,32
51	1280000	170,00	1	1	2	3	1	1	0	5	3	0	1.320,00	1	0	5.428,39
52	1380000	250,00	1	2	2	3	1	1	0	5	3	0	960,00	1	0	4.965,38
53	870000	286,00	1	2	3	3	2	1	1	4	3	0	409,00	1	0	5.455,32
54	1080000	135,00	1	1	2	3	2	2	0	3	2	0	450,00	1	0	6.739,00
55	1100000	180,00	1	1	2	3	3	2	1	4	2	0	652,00	2	0	5.899,99
56	1498630	226,00	1	1	1	3	3	1	0	5	3	0	434,00	1	0	6.829,36
57	960000	274,00	1	2	3	3	2	1	1	4	3	0	750,00	1	0	4.135,54
58	1000000	174,00	2	1	3	3	2	1	0	5	3	0	492,00	2	0	4.965,38
59	1100000	180,00	1	1	2	3	2	1	1	4	3	0	510,00	1	0	5.455,32
60	650000	178,00	1	1	2	2	2	1	0	4	3	0	420,00	1	0	5.455,32
61	775000	265,00	1	2	3	2	2	1	0	4	3	0	420,00	1	0	5.455,32
62	750000	256,00	1	2	2	2	3	1	1	4	3	0	390,00	1	0	4.589,27
63	695000	144,80	1	1	2	2	2	1	1	5	2	0	420,00	1	0	5.455,32
64	1300000	230,00	1	1	2	3	3	1	1	3	2	0	552,00	2	0	5.455,32
65	1099000	193,00	1	1	2	3	2	1	0	4	3	0	660,00	2	0	4.991,25
66	1200000	263,00	2	1	2	3	3	1	1	4	2	0	578,00	1	0	4.847,56
67	1100000	157,50	2	1	2	3	3	1	0	3	2	0	464,00	1	0	6.739,00
68	900000	179,00	2	1	2	3	2	1	0	5	3	0	892,00	1	0	4.303,76
69	750000	167,45	2	1	2	2	2	2	0	4	2	0	360,00	1	1	587,97
70	700000	235,00	2	1	3	3	3	1	1	5	3	0	502,00	1	0	4.589,27
71	495000	81,00	2	2	1	3	1	1	0	1	1	1	94,00	1	0	4.589,27
72	990000	160,00	2	2	2	3	2	1	0	1	1	1	188,00	1	0	4.589,27
73	465000	80,00	2	2	2	2	2	1	0	1	2	1	120,00	1	0	4.589,27
74	850000	184,00	2	2	2	3	2	1	0	2	2	1	144,00	1	0	5.899,99
75	680000	113,00	2	2	2	3	2	1	0	1	1	1	120,00	1	0	4.589,27
76	1098000	198,00	2	2	2	3	2	1	0	1	1	1	240,00	1	0	4.847,56
77	840000	174,00	2	2	2	3	2	2	0	2	2	1	170,00	1	0	5.899,99
78	690000	167,00	2	2	2	3	2	1	0	2	2	1	151,00	1	0	4.991,25
79	899000	159,00	2	2	2	2	2	2	0	2	2	1	180,00	1	0	5.428,39
80	650000	150,00	2	1	2	3	3	1	0	5	2	0	700,00	1	0	3.737,10
81	1180000	279,00	2	2	3	3	3	1	0	4	2	0	560,00	1	0	2.933,50
82	1200000	530,00	2	2	2	3	2	1	1	5	2	0	600,00	1	0	5.408,62
83	1997000	310,00	2	2	2	3	3	2	1	5	2	0	620,00	1	0	5.421,19
84	980000	396,00	2	2	3	3	3	2	0	5	3	0	585,00	1	1	4.241,14
85	1667000	220,00	2	1	2	2	2	3	1	3	2	0	475,00	1	0	5.961,42
86	950000	265,00	2	2	2	3	2	1	1	4	3	0	455,00	1	0	5.408,62
87	1500000	370,00	2	2	2	2	2	1	1	4	2	0	750	1	0	5.789,66
88	400000	150,00	2	1	2	2	2	1	0	4	3	0	510	2	1	2.933,50
89	750000	200,00	2	2	3	3	3	1	1	4	3	0	395	1	1	4.241,14
90	1390000	330,00	2	2	3	3	2	1	0	4	2	0	390	1	0	2.933,50
91	1490000	305,00	2	2	3	3	2	3	1	3	2	0	392	1	0	5.421,19
92	730000	155,00	2	2	2	3	2	3	0	4	2	0	383,5	1	0	3.937,61
93	900000	191,83	2	2	2	3	2	1	1	4	2	0	267,5	2	0	5.408,62
94	1600000	255,00	2	2	2	3	2	2	1	3	2	0	555	1	0	5.961,42
95	750000	193,11	2	1	3	3	2	1	0	5	3	0	420	1	0	5.408,62
96	920000	224,00	2	2	2	3	2	3	0	2	2	1	371,48	1	0	3.937,61
97	1400000	199,00	2	2	2	3	2	1	1	1	1	1	200	1	0	4.424,82
98	660000	122,00	2	2	2	2	1	1	0	1	1	1	105	1	0	5.408,62