
DETERMINAÇÃO DOS PREÇOS DE IMÓVEIS RESIDENCIAIS EM FORTALEZA COM APOIO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Determination of residential property prices in Fortaleza with support of artificial neural networks

Bernardo Nogueira de Codes

Engenheiro Civil. Mestre em Engenharia Civil (Estruturas e Construção Civil) pela Universidade Federal do Ceará (UFC). bncodes@hotmail.com

Vanessa Ribeiro Campos

Engenheira Civil. Doutora em Engenharia de Produção pela Escola de Engenharia de São Carlos - USP (2011). Professora do Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil do Centro de Tecnologia e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (UFC). UFC - Universidade Federal do Ceará. Campus Universitário do Pici. Bloco 733. Campus do Pici. 60420280 - Fortaleza, CE – Brasil. vanessa.campos@ufc.br

Anselmo Ramalho Pitombeira Neto

Engenheiro de Produção Mecânica. Doutor em Engenharia de Transportes (UFC). Professor Adjunto e chefe do Departamento de Engenharia de Produção da UFC. anselmo.pitombeira@ufc.br

Resumo: O objetivo desta pesquisa é propor um modelo de Redes Neurais Artificiais para a determinação de preços de imóveis de edifícios residenciais em grandes centros urbanos. A pesquisa considerou os dados das transações imobiliárias de Fortaleza, para os anos de 2012 a 2016, oriundos da Secretaria de Planejamento do Município de Fortaleza que faz a avaliação de imóveis para o cálculo do Imposto de Transmissão de Bens Imóveis. O modelo foi desenvolvido a partir da seleção das principais variáveis que influenciam a distribuição dos preços de acordo com as suas características físicas. Os resultados mostram a estimação de preços para os três bairros mais densos da cidade, considerando fatores como o tamanho do terreno, a área construída e a idade do imóvel. Observou-se que, apesar dos imóveis apresentarem características bem distintas, é possível estimar os preços de forma eficiente, com baixo erro. A contribuição da pesquisa consiste em apoiar as decisões de avaliação de imóveis para grandes centros urbanos.

Palavras-chave: avaliação de imóveis; mercado imobiliário; construção de edifícios.

Abstract: This research aims to propose a model of Artificial Neural Networks for the determination of real estate prices of residential buildings in major urban centres. The survey considered the data of all real estate transactions in Fortaleza for the years 2012 to 2016. The data came from the planning secretariat of Fortaleza that analyses the valuation of properties for the calculation of the tax of immovable property transfer. The model was developed from the selection of the main variables that influence the distribution of these prices that deal with the physical characteristics of the properties. The results show the price estimation for the three of the densest districts of the city based on various factors such as land size, constructed area, property age, among others. It has been observed that, although the properties present very distinct characteristics it is possible to estimate the prices efficiently, with low average errors. The contribution of the research is to support decisions regarding the study of the real estate market.

Keywords: real estate estimation; real estate market; building construction.

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de estudar a dinâmica do mercado imobiliário torna-se evidente para os grandes centros urbanos. São vários os agentes que precisam de informações sobre a dinâmica do mercado como os bancos, as entidades de incorporação, as empresas construtoras, os investidores, as empresas seguradoras, entre outros. Essas entidades prestam serviços que necessitam do conhecimento sobre avaliação de imóveis tais como as transações de locação, a taxação de impostos territoriais, as operações de seguros e as desapropriações. Lacerda (2018) reforça que o estudo sobre avaliação de imóveis impulsiona os investimentos voltados para a construção de unidades habitacionais novas, o que implica na estruturação do espaço urbano.

Xu e Chen (2012) consideram que a política monetária influencia diretamente na variação dos preços dos imóveis, nos quais se destacam três fatores que incidem diretamente sobre a oscilação:

- O poder dos bancos sobre a taxa de juros para a aquisição de empréstimos, que pode influenciar a demanda de investimentos em imóveis;
- A ampliação da oferta de dinheiro que aumenta a capacidade de aquisições de empréstimos junto aos bancos, alterando, assim, a disponibilidade de crédito para o setor;
- Os requisitos necessários para os pagamentos estipulados pelos bancos geram o aumento da oferta de crédito, incidindo sobre a variação nos preços dos imóveis.

A maior parte das transações imobiliárias não ocorrem sem a participação ativa dos bancos, que propiciam o crédito. Dessa forma, verifica-se que o conhecimento sobre o mercado imobiliário está muito mais além de uma simples análise financeira. Esse estudo envolve, sobretudo, o conhecimento sobre as variáveis econômicas, as variações nas taxas de juros e as perspectivas de renda e emprego da população (CROWE et al., 2013).

Independente das condições econômicas que regem o mercado, quando um consumidor escolhe um imóvel, ele não se preocupa apenas com a propriedade em si, mas também com todo o entorno que atinge a qualidade dessa edificação. Malpezzi (2003) considera que os clientes valorizam as características de um imóvel de forma diferente, de acordo com as suas preferências particulares.

A definição de uma habitação vai além das opções físicas do imóvel, como área e número de cômodos. Algumas das preferências consideradas pelos consumidores também estão em torno das características locacionais e ambientais desta edificação (ARON et al., 2012). Igan e Loungani (2012) observam que embora existam pesquisas empíricas que documentem a evolução do mercado imobiliário, há uma relativa escassez de modelos teóricos que verifiquem, de maneira eficaz, as características da edificação. Assim, muitas vezes, são utilizadas ferramentas que empregam critérios comuns para a formação dos preços dos imóveis. Por meio de uma metodologia eficaz, é possível entender o processo de formações de preços dos imóveis. Dantas (2005) argumenta que, para isso, além dos conhecimentos específicos na área da engenharia, se faz necessário adquirir conhecimento em outras áreas tais como: estatística básica, estatística inferencial, matemática financeira, micro e macroeconomia, psicologia, filosofia, planejamento urbano, teoria das decisões, direito imobiliário, marketing e mercado de capitais.

A investigação sobre o fenômeno de aumento no valor dos imóveis, nos grandes centros urbanos do País, que ocorreu nos últimos anos foi motivo de interesse para a realização desse estudo. O aumento dos preços dos imóveis gerou o acréscimo nas construções de edifícios, provocando aumento e distribuição desordenada de edificações cuja avaliação não é feita por meio de um processo eficiente. O que se verificou foi uma situação de amplo crescimento na quantidade de imóveis com elevados preços. Em decorrência, a necessidade de avaliação desses e as variáveis que contribuem para a formação de preços tornou-se eminente.

Nesse contexto, essa pesquisa tem o objetivo de propor um modelo para estimar os preços de edificações residenciais verticais em Fortaleza. A pesquisa abordou os seguintes aspectos: a evolução das ofertas de imóveis e de transações imobiliárias nos últimos anos; a identificação das principais variáveis que influenciam a distribuição desses preços de acordo com os bairros; a aplicação de Redes Neurais Artificiais para as amostras selecionadas. A contribuição da pesquisa consiste na análise das transações imobiliárias e na aplicação de um método quantitativo para investigar a formação dos preços em edificações residenciais.

2 O MERCADO IMOBILIÁRIO

O mercado de imóveis tem um comportamento bem peculiar quando comparado a outros mercados, pois são produtos que possuem alta vida útil. Esse mercado é bem diversificado, as unidades habitacionais diferem entre si em vários aspectos, tais como as áreas internas, os padrões de acabamento, as áreas de lazer, a localização, entre outros (LIMA JR.; MONETTI; ALENCAR, 2013). A construção de edifícios necessita alto investimento; assim, ao se estudar a viabilidade de novos produtos, os incorporadores devem conhecer as preferências dos consumidores, a localização do imóvel, além de definir quais os métodos de avaliação, entender as tendências de mercado e verificar qual infraestrutura local.

A dinâmica de crescimento do mercado imobiliário está diretamente ligada à situação econômica do País e às oportunidades de financiamento no setor de habitação. Assim, a Figura 1 apresenta o crescimento de financiamento no Brasil, de acordo em uma série cronológica de 16 anos. Para entender a evolução, foi elaborado um gráfico com informações referentes ao número de unidades financiadas por ano conforme a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2021).

Figura 1 - Unidades habitacionais financiadas no Brasil



Fonte: Adaptado de CBIC (2021).

Na Figura 1, percebe-se que os financiamentos habitacionais, até 2014, cresceram expressivamente; a partir daí, sofreram diminuição acentuada. Esse aumento de financiamento foi resultado da queda das taxas de juros e do crescimento econômico no Brasil. Essa evolução e decréscimo de financiamentos têm impacto direto sobre a Indústria da Construção Civil (ICC) que é fortemente influenciada pelo crédito imobiliário.

Aponta-se que um dos fatores que propiciou a alta habitacional, observada a partir de 2009 a 2014, foi o Programa Minha Casa, Minha Vida que foi lançado em 2009 pelo Governo Federal que realizava a concessão de incentivos à produção e compra de novas unidades habitacionais (ROLNIK et al., 2015). A partir de 2014, houve queda de crédito destinado ao financiamento

de imóveis no Brasil. Verifica-se que em qualquer cenário, o aumento nos preços e as variações na economia têm impacto direto sobre o planejamento urbano e sobre a Indústria da Construção Civil. Analisar as variações nas transações imobiliárias em uma cidade e estudar as variáveis que influenciam a formação de preços dos imóveis tornam-se estratégicos para apoiar as decisões na construção civil.

No que concerne aos atributos para a determinação dos preços, Sirmans et al. (2006) afirmam que os valores dos imóveis não estão só relacionados com as suas características físicas individuais, são diversos fatores que produzem a variação de preços. Uma avaliação imobiliária eficiente, pode possuir várias finalidades como as atividades comerciais, tributárias, hipotecárias ou judiciais. Ahearne et al. (2005) investigaram, em dezoito países industrializados (Austrália, Canadá, Reino Unido, Japão, Estados Unidos, entre outros) que o elevado crescimento nos preços dos imóveis, geralmente aconteciam após um período de flexibilização da política monetária; em uma situação de taxas de juros reduzidas, maiores seriam os incentivos fiscais para as transações imobiliárias, garantindo, dessa forma, melhores facilidades de crédito por parte dos consumidores e consequente aumento na procura de unidades habitacionais.

Nebreda et al. (2006) estabelecem que o valor do imóvel corresponde à quantia estabelecida entre comprador e vendedor, na data de avaliação, por meio de uma transação comercial apropriada, em que cada uma das partes tenha atuado no processo espontaneamente. Dantas (2005) assegura que, em um mercado perfeitamente competitivo, ou de concorrência perfeita, essa quantia pode ser compreendida como o valor mais justo pago por um determinado bem, ou seja, quanto mais distante for o mercado desta conjuntura, mais divergente do ideal estariam os preços aplicados. Diversos órgãos governamentais e privados utilizam o valor de mercado como parâmetro importante para as tomadas de decisões.

Quando se analisa a vida útil de um empreendimento, percebe-se algumas dificuldades na mensuração no valor final de mercado. Imóveis que foram construídos no mesmo período encontram-se em estados de conservação diferentes, isso pode influenciar significativamente na determinação do seu valor. Portanto, o preço final de um imóvel não é uma tarefa tão fácil, necessitando de metodologias eficientes para a avaliação imobiliária.

Balarine (2004) constatou que na Indústria da Construção Civil, não se conhecem ou não se aplicam corretamente as técnicas de avaliação disponibilizadas pela engenharia econômica. A estimativa dos valores dos imóveis, por sua vez, é um processo composto por incertezas, e que, em decorrência, há riscos na estimação dos valores. Liu et al. (2011) reforçam que o processo de avaliação imobiliária é bastante complexo, pois são diversas as informações imobiliárias disponíveis que devem fazer parte do processo de avaliação. Dessa maneira, muitas são as imprecisões nos métodos de avaliação.

Dentre as diferentes técnicas de avaliação, estão os procedimentos de avaliação tradicionais, que consistem em quatro métodos de avaliação: método comparativo direto de dados de mercado; método involutivo; método evolutivo e; método da renda. Além desses, Selim (2009) considera como métodos de avaliações avançados os seguintes: métodos de preços hedônicos; redes neurais artificiais; métodos de análise espacial; lógica fuzzy e; integrações autorregressivas de média móvel.

Green et al. (2005) assinala que, quando a demanda por habitações aumenta, o mercado não consegue ajustar, imediatamente, a curto prazo, a oferta de imóveis habitacionais, pois a demanda não segue a um alinhamento perfeitamente elástico quando comparado à procura. Isso gera variações nos preços dos imóveis, pois se trata de um bem durável e requer um período longo de construção. McCluskey et al. (2013) assevera, ainda, que a relação entre o valor de uma propriedade e a análise de seus atributos é uma tarefa altamente complexa, devendo ser, na maioria das vezes, tratada por métodos não lineares.

Dessa maneira, na aplicação de um método de avaliação, é muito importante a obtenção de um conjunto de dados consistentes, pois eles precisam ser comparados de forma eficaz. Essa com-

paração poderá ser feita a partir da obtenção de um maior número de características intrínsecas e extrínsecas de um imóvel. Entre os métodos tradicionais de avaliação de um imóvel, a Norma Brasileira NBR-14653 aponta sobre a necessidade de priorizar, sempre que possível, o uso do método comparativo de dados de mercado (ABNT, 2011). Nesse método, para determinar o valor de um imóvel, este deve ser comparado com outros empreendimentos semelhantes e com preços previamente conhecidos. Essa comparação torna-se desafiadora, pois alguns aspectos devem ser levados em consideração como fatores de localização e socioeconômicos.

3 REDES NEURAS ARTIFICIAIS E SUAS APLICAÇÕES

As Redes Neurais Artificiais (RNA) são formadas a partir dos conceitos de aproximação universal; esses modelos são capazes de se adaptarem às formas funcionais arbitrárias e desconhecidas, com um satisfatório grau de precisão (HORNICK et al., 1989). Chiarazzo et al. (2014) ressaltam que a eficácia dessa ferramenta consiste na propriedade de não linearidade existente em alguns critérios de avaliações; assim, é possível estimar as variáveis que são difíceis de integração quando comparado às abordagens matemáticas tradicionais. Um modelo de rede neural artificial possui características relevantes e que devem ser bem exploradas, tais como: tolerância, raciocínio paralelo e processamento de habilidades de problemas não lineares (LI; SHI, 2011). Haykin (2005) lista seis benefícios de aplicação das RNAs:

- a. Linearidade: consiste em um neurônio artificial que pode ser linear ou não linear;
- b. Mapeamento de entrada e saída: em cada exemplo considerado, deve haver sinais de entrada para uma única saída correspondente. Os parâmetros livres da rede podem ser modificados a fim de minimizar a diferença entre a resposta desejada e a resposta real da rede, que gera os sinais de entrada e de acordo com a seleção de um critério estatístico apropriado. O objetivo é garantir a estabilidade do modelo sem que haja alterações significativas nos parâmetros;
- c. Adaptabilidade: as redes possuem a capacidade interna de adaptar seus pesos sinápticos às mudanças no ambiente que estão envolvidas, podendo facilmente passar por uma nova readaptação para lidar com pequenas mudanças. Isso ocorre quando se está operando em um ambiente não estacionário, ou seja, aquele em que as estatísticas mudam com o tempo. A RNA pode ser projetada para alterar, se necessário, seus parâmetros livres em tempo real;
- d. Tolerância à falha: a rede possui um grande potencial de tolerância, sendo capaz de contornar, de uma maneira eficiente as condições adversas de operação; dessa forma obtém-se um sistema estável.
- e. Uniformidade de análise: verifica-se que a mesma notação é sempre usada em todos os domínios envolvendo a aplicação de redes neurais, em que os processadores da informação possuem certa universalidade. Dessa forma, a partir dessa uniformidade, torna-se possível compartilhar teorias e algoritmos de aprendizagem em diferentes formas de aplicação dessas redes.
- f. Analogia neurobiológica: averigua-se na aplicação desses modelos uma analogia ao cérebro humano. Isso consiste em um processamento paralelo tolerante às falhas, rápido e poderoso.

Nas Redes Neurais Artificiais, assim como nos modelos lineares, são utilizadas as mesmas entradas, gerando-se uma série de saídas análogas. Na execução desse processo, existem três componentes principais: os dados de entrada, os dados de transformação e os dados de saída. Os

pesos das conexões entre os elementos de processamento podem ser ajustados a partir do conjunto de dados apresentados. Esses ajustes na ponderação aumentam ainda mais a eficácia na previsão do preço (WARNER; MISRA, 1996). Essa técnica, por lidar com funções não lineares, se adapta facilmente para sistemas com dados difusos (SPELLMAN, 1999). Ao se analisar todos esses elementos, verifica-se que, em cada uma das camadas existentes no modelo de RNA, têm-se a presença de nós que estão conectados a outros de camadas adjacentes. No processamento desses dados, a camada de saída é estabelecida.

Bishop (2006) considera que o número efetivo de graus de liberdade na rede é responsável por definir o seu comportamento qualitativo, por meio de um treinamento prévio. Esse treinamento tem como finalidade avaliar a complexidade efetiva do modelo. Haykin (2001) diz que para validar os componentes básicos de uma rede neural em um software, tornando-a acessível e compreensível para os usuários, algumas precauções devem ser consideradas, tais como: identificar as regiões do espaço de entrada em que os dados ainda não estão adequadamente representados; indicar as principais circunstâncias em que a rede neural pode deixar de ser generalizada e; desenvolver e satisfazer as necessidades críticas de segurança, de forma a garantir as condições mínimas imperativas para o bom desempenho da rede.

Na literatura, encontram-se algumas aplicações que merecem ser citadas com a utilização de RNA no contexto do mercado imobiliário. Kauko et al. (2002), por exemplo, propuseram um modelo de RNA aplicado ao mercado de habitação de Helsinkí, na Finlândia. Seus resultados indicaram a formação de várias dimensões de submercado, a partir da descoberta de padrões, na análise do conjunto de dados. Guan et al. (2014), demonstraram que as redes neurais replicam com mais precisão o processo de pensamento heurístico dos agentes à medida que incorporam regras de lógicas difusas, sendo uma técnica de avaliação de massa confiável e econômica. A incorporação de técnicas possibilita o maior controle e precisão nas estimativas de preços.

A determinação do valor de mercado para imóveis auxiliados por redes neurais foi realizada por Li e Shi (2011), assim como por Rubio, Gámez e Cortés (2008). Finalmente, Chiarazzo et al. (2014) aplicam RNAs para estimar o preço de imóveis, considerando fatores ambientais tais como níveis de poluição e ruído, paisagem, entre outros. Liu et al. (2011), em estudos sobre a aplicação das redes neurais nas avaliações imobiliárias, atentaram que, mesmo depois de um processo de avaliação ser finalizado, os usuários ainda podem, se necessário, atualizar as informações do sistema de preços, por meio da inserção de novos dados que sejam considerados pertinentes, além dos dados já incluídos, de forma a melhorar a eficácia do modelo. Destaca-se, ainda, a aplicação de RNA em conjunto com Sistemas de Geoprocessamento que foi estudada por Campos e Correia (2016) com o objetivo de avaliar os preços por metro quadrado imóveis utilizando os dados de lançamentos imobiliários em Fortaleza.

4 DADOS E MÉTODOS

A metodologia da pesquisa foi dividida em cinco etapas: obtenção dos dados, análise das variáveis, caracterização da amostra, processamento dos dados e, por último, verificação dos resultados. Os dados analisados foram disponibilizados pela Secretaria Municipal de Finanças da Prefeitura Municipal de Fortaleza (Sefin). Na base de dados obtida pelo setor de planejamento da Sefin, constavam as principais informações referentes às transações imobiliárias e às características dos imóveis negociados dos últimos cinco anos. A planilha com as informações de transações imobiliárias contemplava 72 variáveis cujas informações foram organizadas e analisadas.

A etapa seguinte da pesquisa foi a análise dos dados. Foram selecionadas 14 das 27 variáveis disponibilizadas pela Secretaria de Finanças para a estruturação da matriz de dados. Para isso, verificou-se os elementos mais significativos para a elaboração da RNA. As variáveis selecionadas foram: ano de exercício da transação; bairro; data de construção do imóvel; tipo de imóvel: favela, predial ou territorial; classificação arquitetônica: apartamento, casa, sala, loja, galpão,

etc.; uso específico: residencial, comercial, industrial, etc.; ocupação: edificação, em construção, estacionamento, etc.; número de pavimentos; situação do lote: normal; esquina, gleba, etc.; fator da edificação; padrão da edificação; área do terreno; área edificada; valor de base de cálculo do Imposto de Transmissão de Bens Imóveis (ITBI).

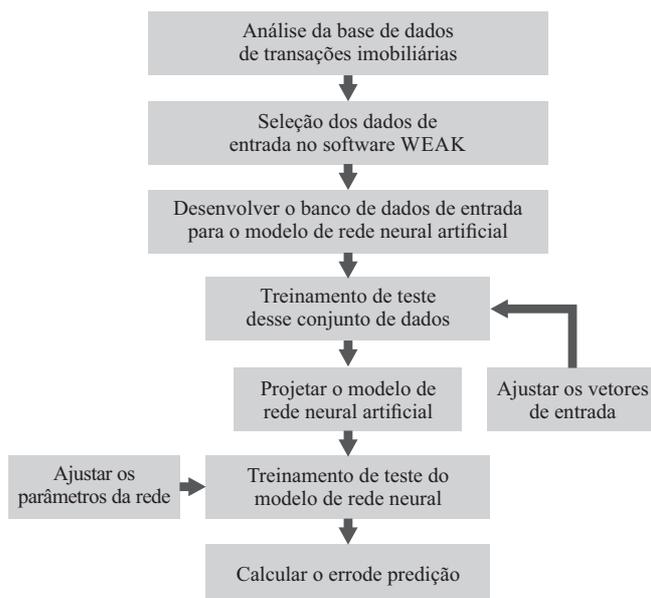
A partir da seleção das variáveis, fez-se a caracterização da amostra. Nessa etapa, foram estabelecidas algumas restrições na seleção das transações imobiliárias. A primeira restrição diz respeito à variável “data de construção do imóvel”. Nesse item, considerou-se os imóveis construídos a partir de 2012, ou seja, edificações com até 5 anos de construção. Esse procedimento visou limitar a investigação para os imóveis construídos nos últimos anos. As outras restrições consideradas foram:

- ocupação: para esse atributo, selecionou-se todos os dados referentes às edificações;
- tipo de imóvel: nesse item, considerou-se apenas as edificações verticais;
- uso específico: foram escolhidos imóveis apenas para fins residenciais;
- classificação arquitetônica: limitou-se aos dados apenas de apartamentos.

Após a etapa de seleção das variáveis e discretização da amostra, fez-se a verificação no banco de dados dos bairros com os maiores números de transações imobiliárias, para o período de 5 anos, de 2012 a 2016. Foram selecionados três bairros de acordo com o número significativo de transações imobiliárias. Esses bairros são aqueles que representam a maior densidade de edifícios em Fortaleza.

O processamento dos dados foi feito em duas etapas: a primeira consiste na aplicação do modelo, em seguida, realizou-se a avaliação prática da rede. Todo o processamento contou com apoio do software WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analyses). Esse programa utiliza uma linguagem Java e faz a análise computacional e estatística dos dados fornecidos pelo usuário. Por meio de técnicas de mineração de dados, esse software gera hipóteses para soluções de problemas que envolvem regressões numéricas, agrupamento, predição e classificação. A Figura 2 mostra as etapas do processamento de dados de uma RNA.

Figura 2 - Etapas de processamento do aplicativo WEKA



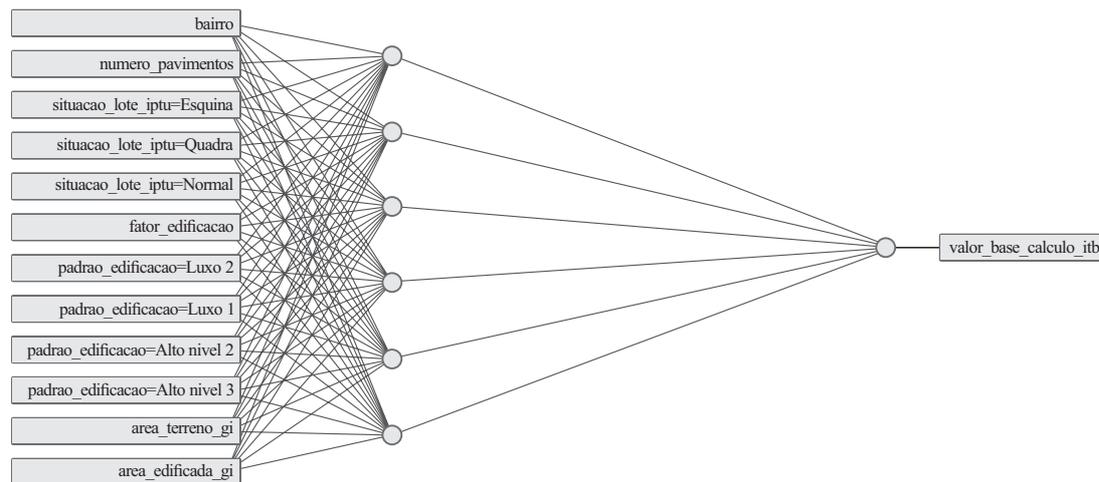
Fonte: Adaptado de Yadav et al. (2014).

Vale ressaltar que, para se chegar no modelo de Rede Neural e obter menor erro de predição, o ajuste dos pesos das variáveis é uma etapa indispensável no estudo. De acordo com Yadav et al. (2014), o cálculo do erro pode ser obtido pela Equação (1):

$$\%Erro_{Rel} = \frac{|V_{Simul} - V_{Real}|}{V_{Real}} \times 100$$

Onde, o V_{Simul} corresponde ao valor simulado do imóvel e V_{Real} consiste no valor real do imóvel.

Para inserir os dados da camada de entrada do programa, utilizou-se primeiramente uma planilha, com as variáveis selecionadas. A Figura 3 mostra a fase de construção da rede neural, a partir das variáveis indicadas no modelo.



Fonte: Elaboração própria.

Foram avaliados dois conjuntos: o primeiro que trata do treinamento da rede e contempla 80% dos dados; o segundo conjunto de dados, com a finalidade de validação prática do modelo de RNA, utiliza 20% das informações contidas no banco de dados. Vale ressaltar que as transações testadas foram escolhidas de forma aleatória.

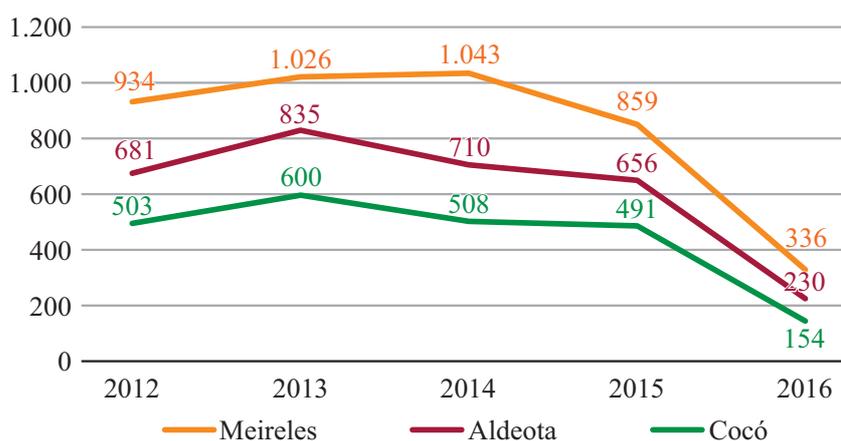
A validação do modelo foi realizada a partir dos conceitos indicados na norma NBR 14653-1 (ABNT, 2011). A intenção aqui foi estimar, por meio da aplicação das RNAs, o preço de valor de mercado do imóvel. O preço estudado consiste no valor pelo qual é negociado um determinado imóvel, dentro das condições de mercado vigente.

A NBR 14653-1 aponta que o campo de arbítrio, ou seja, o intervalo de variação entre o valor máximo e o valor mínimo a ser aplicado em um processo avaliatório, deve apresentar a amplitude de 15%, para mais ou para menos, a partir do valor calculado. Dentro de um processo de avaliação, esse intervalo é utilizado quando variáveis relevantes não estão contempladas no modelo ou quando há escassez de dados. Esse percentual (15%) é suficiente para assimilar as influências de atributos que não foram considerados no processo de avaliação (ABNT, 2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira análise dos dados incide sobre a evolução no número de transações na cidade de Fortaleza. Os resultados da pesquisa contemplam os bairros com maiores números de transações para o período de 2012 a 2016. Os bairros escolhidos para a aplicação no software WEKA, foram: Meireles, Aldeota e Cocó. A representação desses bairros de acordo com um número de transações imobiliárias realizadas pode ser conferida na Figura 4.

Figura 4 - Evolução das transações por bairro no período de 2012 a 2016



Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 4, constata-se que na série histórica de 2012 a 2016, todos os bairros cresceram no número de transações. Os anos de 2013 e 2014, foram aqueles que apresentaram a maior negociação de imóveis em Fortaleza, em sequência, observa-se a diminuição de transações que ocorre a partir de 2014. Esse decréscimo é resultado da redução dos incentivos de financiamentos para habitações residenciais.

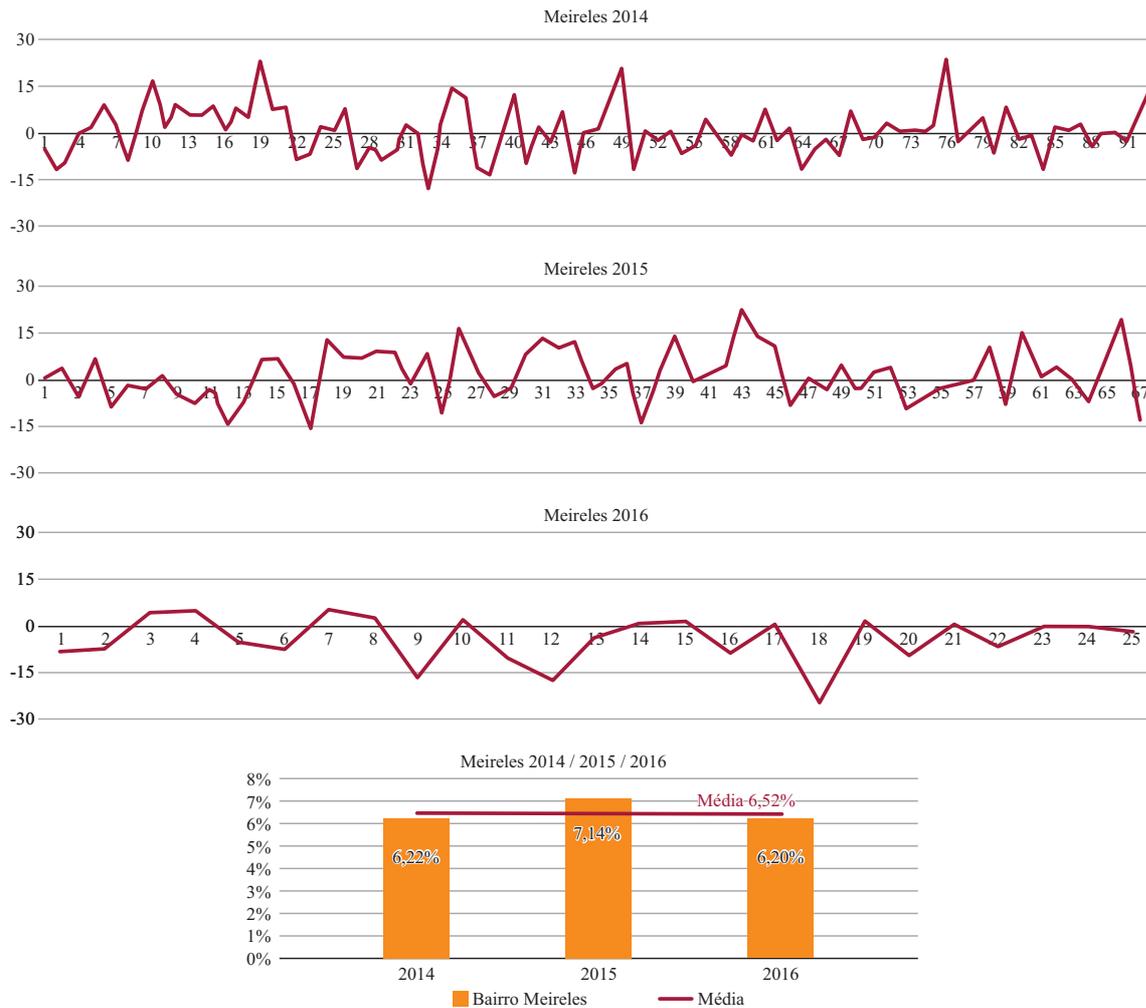
A partir da análise desses bairros, foram desenvolvidas três redes neurais para cada um dos bairros analisados. As redes geradas correspondem aos anos de 2014, 2015 e 2016. A partir daí, foi calculada a média desses três anos. Com isso, fundamentado no diagnóstico do erro de predição dos valores de transações imobiliárias, foram desenvolvidos 12 modelos de RNA.

Bairro I - Meireles

No primeiro bairro, denominado de Meireles, assim com os demais bairros, o número de transações, foram maiores no ano de 2014. No desenvolvimento da Rede Neural Artificial, para o ano de 2014, constatou-se 466 casos de transações imobiliárias. Os preços dos imóveis, após a aplicação da RNA tiveram variação entre R\$ 348.000,00 e R\$ 3.203.438,00. A média do erro relativo foi de 6,22%. No ano de 2015, averiguou-se 336 casos, os valores dessas transações tiveram variação entre R\$ 355.814,00 e R\$ 2.585.000,00; nessa situação, a média do erro relativo foi de 7,14%.

No ano de 2016, 125 operações imobiliárias foram efetivadas, com valores entre R\$ 364.000,56 e R\$ 3.576.356,00. Observa-se, no ano de 2016, o maior valor de operação registrado para o triênio. A média do erro relativo, atingiu a porcentagem de 6,20%. Na Figura 5, apresenta-se o erro relativo para cada ano e o erro médio desses erros foi de 6,52%.

Figura 5 - Erro relativo em percentual do bairro Meireles



Fonte: Elaboração própria.

Bairro II - Aldeota

Nesse bairro, no ano de 2014, 315 transações imobiliárias foram efetuadas. O cálculo dos preços dos imóveis variou de R\$ 383.966,00 a R\$ 1.212.000,00. Constata-se, para os valores mínimos de transações, montantes similares aos negociados no bairro Meireles. Já para os valores máximos, observa-se operações monetárias com valores menores em relação ao primeiro Bairro I. Na Figura 6, é possível observar que todos os preços previstos não ultrapassam 15% de erro. Nesse ano, a estimação do preço foi mais precisa, ao calcular a média do erro relativo, obteve-se 5,96 %.

No ano de 2015, ocorreram 275 transações, cujos imóveis tiveram valores variando entre R\$ 473.000,65 e R\$ 3.730.087,00. Observa-se um aumento significativo no valor máximo quando comparado ao ano de 2014. Todavia, em 2015, obteve-se um erro relativo de 7,43%. Em 2016, verificou-se um número bem menor de transações, apenas 85 casos. Os preços dos imóveis foram de R\$ 392.300,00 a R\$ 2.920.500,00. Os valores identificados em 2016 foram semelhantes ao ano de 2015.

Apesar do baixo número de transações imobiliárias, foi possível manter uma boa estimação de preços. Esse fato ocorre em função do treinamento inicial da RNA. Nesse bairro, todos os preços

simulados pela rede, apresentaram um erro inferior a 15%. É possível observar o comportamento eficiente da rede, mesmo com uma amostra reduzida. A porcentagem do erro relativo foi apenas de 5,81%, o menor valor do triênio. A Figura 5 apresenta os erros relativos e a média desses erros foi de 6,40%.

Figura 6 - Erro relativo percentual das transações imobiliárias do bairro Aldeota



Fonte: Elaboração própria.

Bairro III - Cocó

Nesse bairro, foram efetuadas 246 transações no ano de 2014 cujos preços tiveram variação entre R\$ 336.960,00 e R\$ 1.900.000,00; calculando-se a média do erro relativo, obteve-se o total de 5,52%. No ano de 2015, efetuaram-se 241 transações imobiliárias com valores entre R\$ 379.040,00 e R\$ 2.563.270,00; a média do erro relativo foi de 5,65%. Em 2016, identificou-se um número bem menor de transações, quando comparados aos anos de 2014 e 2015, assim como nos outros bairros. Foram observados apenas 85 casos. As operações apresentaram entre R\$ 377.859,35 e R\$ 2.080.000,00. A média desse erro relativo resultou em 5,16%. Na Figura 7, apresenta-se o erro relativo percentual e a médias desses erros para os três anos, apresentando um valor de 5,44%.

Figura 7 - Erro relativo percentual das transações imobiliárias do bairro Cocó



Fonte: Elaboração própria.

Após a obtenção de todos os preços simulados, para os três bairros estudados, foi agendada uma entrevista com o engenheiro civil responsável pela área de avaliação imobiliária, na Secretaria de Finanças da Prefeitura Municipal de Fortaleza. Na entrevista, foram apresentados todos os resultados dessa pesquisa, com a finalidade de validar a precisão do modelo desenvolvido em relação ao preço dos imóveis. O que mais chamou a atenção do engenheiro foram os baixos percentuais de erros relativos; o profissional considerou que a pesquisa obteve um resultado eficiente.

No que diz respeito à NBR 14653-1, pode-se considerar a rede neural como válida, pois os valores simulados não ultrapassaram, quase em sua totalidade, o valor de 15%, intervalo esse limitado para o campo de arbítrio. Ressalta-se que, mesmo com amostras reduzidas, como constatado no ano de 2016, a Rede Neural apresentou-se como estável. Conclui-se que o modelo se mostrou estável para maiores ou menores quantidades de dados utilizados. Conclui-se que a aplicação Rede Neural Artificial se torna uma importante ferramenta para a avaliação de imóveis e estudo do planejamento urbano.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa pesquisa tem como finalidade facilitar as aplicações nos processos de predição de preços, a partir da aplicação de um modelo de redes neurais artificiais. O modelo proposto permitiu conhecer a variação de preços nos bairros com maior densidade de habitações. Observou-se que, apesar dos imóveis possuírem características bem distintas de tamanho, idade, localização, entre os outros fatores, é possível estimar os preços de forma eficiente, com um baixo erro relativo. Esse estudo analisou a evolução dos financiamentos de imóveis e as transações imobiliárias nos últimos anos, assim como as principais variáveis que influenciam a distribuição dos preços. A análise dos tributos imobiliários, tais como o Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana (IPTU) e o Imposto de Transmissão de Bens Imobiliários (ITBI), necessitam de técnicas mais precisas de avaliação, de forma a garantir maiores equidades nessas tributações.

O modelo proposto pode auxiliar os diversos atores do mercado imobiliário como credores hipotecários, instituições financeiras, construtoras, investidores e instituições governamentais no conhecimento da evolução dos preços de imóveis dentro do espaço urbano. Recomenda-se a utilização desse modelo para outros fins, não se limitando apenas para as transações imobiliárias, mas verificar a variação de preço no lançamento de imóveis novos. Assim, será possível entender a dinâmica dos valores de todos os tipos de imóveis considerando o preço de mercado dentro das condições econômicas atuais.

REFERÊNCIAS

- AHEARNE, A. G.; AMMER, J.; DOYLE, B. M.; KOLE, L. S.; MARTIN, R. F. Monetary policy and house prices: a cross-country study. **International finance discussion papers**, v. 841, 2005. DOI:10.2139/ssrn.816946.
- ARON, J.; DUCA, J. V.; MUELLBAUER, J.; MURATA, K.; MURPHY, A. Credit, housing collateral, and consumption: evidence from Japan, the UK, and the US. **Review of Income and Wealth**, v. 58, n. 3, p. 397-423, 2012. DOI:10.1111/j.1475-4991.2011.00466.x.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14653**: Avaliação de bens. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- BALARINE, O. F. O. O uso da análise de investimentos em incorporações imobiliárias. **Produção**, v. 14, n. 2, p. 47-57, 2004. DOI:10.1590/S0103-65132004000200005.
- BISHOP, C. M. **Pattern Recognition and Machine Learning**. New York: Springer, 2006.
- CAMPOS, V. R.; CORREIA, L. O. Análise de preços com a aplicação Geoprocessamento e Redes Neurais Artificiais no mercado imobiliário de Fortaleza. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 47, n. 4, p. 39-49, 2016.
- CBIC - CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Financiamento Habitacional segundo dados do Banco Central. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/financiamento-habitacional/sbpe>. Acesso em 02 de abril de 2021.
- CHIARAZZO, V.; CAGGIANI, L.; MARINELLI, M.; OTTOMANELLI, M. A. Neural Network based model for real estate price estimation considering environmental quality of property location. **Transportation Research Procedia**, v. 3, p. 810-817, 2014. DOI:10.1016/j.trpro.2014.10.067

CROWE, C.; DELL'ARICCIA, G.; IGAN, D.; RABANAL, P. How to deal with real estate booms: Lessons from country experiences. **Journal of Financial Stability**, v. 9, n. 3, p. 300-319, 2013. DOI:10.1016/j.trpro.2014.10.067.

DANTAS, R. A. **Engenharia de avaliações**: uma introdução à metodologia científica. 2ª. ed. São Paulo: Pini, 2005. 255 p.

GREEN, R. K.; MALPEZZI, S.; MAYO, S. K. Metropolitan-specific estimates of the price elasticity of supply of housing, and their sources. **The American Economic Review**, v. 95, n. 2, p. 334-339, 2005.

GUAN, J.; SHI, D.; ZURADA, J. M.; LEVITAN, A. S. Analyzing massive data sets: an adaptive fuzzy neural approach for prediction, with a real estate illustration. **Journal of organizational computing and electronic commerce**, v. 24, n. 1, p. 94-112, 2014. DOI:10.1080/10919392.2014.866505.

HAYKIN, S. **Redes Neurais**: princípios e práticas. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

HORNIK, K.; STINCHCOMBR, M.; WHITE, H. Multiplayer feedforward networks are universal approximators. **Neural networks**, p. 359-366, 1989.

IGAN, D.; LOUNGANI, P. **Global housing cycles**. Global Housing Cycles. IMF Working Papers, 217, 2012. DOI: 10.5089/9781475505672.001.

KAUKO, T.; HOOIMEIJER, P.; HAKFOORT, J. Capturing housing market segmentation: an alternative approach based on neural network modelling. **Housing Studies**, v. 17, n. 6, p. 875-894, 2002. DOI:10.1080/02673030215999

LACERDA, N. Mercado imobiliário de bens patrimoniais um modelo interpretativo a partir do centro histórico de Recife (Brasil). **EURE**, v. 44, p. 113-132, 2018.

LI, W.; SHI, H. Applying Unascertained Theory, principal component analysis and ACO-based Artificial Neural Networks for Real Estate Price. **Journal of Software**, v. 6, n. 9, p. 1672-1679, 2011. DOI:10.4304/jsw.6.9.1672-1679

LIMA JR, J. R.; MONETTI, E.; ALENCAR, C. T. **Real estate**: fundamentos para análise de investimento. Elsevier: Rio de Janeiro, 2013.

LIU, X. S.; ZHE, D. E. N. G.; WANG, T. L. Real estate appraisal system based on GIS and BP neural network. **Transactions of nonferrous metals society of China**, p. 626-630, 2011. DOI:10.1016/S1003-6326(12)61652-5

MALPEZZI, S. Hedonic pricing models: a selective and applied review. **Section in housing economics and public policy: Essays in honor of Duncan Maclennan**, p. 67-74, 2003.

MCCLUSKEY, W. J.; MCCORD, M.; DAVIS, P. T.; HARAN, M.; MCILHATTON, D. Prediction accuracy in mass appraisal: a comparison of modern approaches. **Journal of Property Research**, v. 30, n. 4, p. 239-265, 2013. DOI:10.1080/09599916.2013.781204

NEBREDA, P. G.; PADURA, J. T.; SÁNCHEZ, E. V. **La valoración inmobiliaria. Teoría y práctica**. Madrid: La ley, 2006.

- ROLNIK, R.; PEREIRA, A. L. S.; MOREIRA, F. A.; ROYER, L. O.; ICOVINI, R. R. G.; NISIDA, V. C. O Programa Minha Casa Minha Vida nas regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas: aspectos socioespaciais e segregação. **Cadernos Metr pole**, v. 17, n. 33, p. 127-154, 2015. DOI: 10.1590/2236-9996.2015-3306.
- RUBIO, N. G; G MEZ, M.; ALFARO, E. ANN+GIS: An automated system for property valuation. **Neurocomputing**, v. 71, p. 733-742, 2008. DOI:10.1016/j.neucom.2007.07.031
- SELIM, H. Determinants of house prices in Turkey: Hedonic regression versus artificial neural network. **Expert systems with applications**, p. 2843-2852, 2009. DOI:10.1016/j.eswa.2008.01.044
- SIRMANS, G. S.; MACDONALD, L.; MACPHERSON, D. A.; ZIETZ, E. N. The value of housing characteristics: a meta analysis. **The journal of real estate finance and economics**, p. 215-240, 2006. DOI:10.1007/s11146-006-9983-5.
- SPELLMAN, G. An application of artificial neural networks to the prediction of surface ozone concentrations in the United Kingdom. **Applied Geography**, v. 19, n. 2, p. 123-136, 1999. DOI: 10.1016/S0143-6228(98)00039-3.
- WARNER, B.; MISRA, M. Understanding neural networks as statistical tools. **The american statistician**, v. 50, n. 4, p. 284-293, 1996. DOI: 10.1080/00031305.1996.10473554
- XU, X. E.; CHEN, T. The effect of monetary policy on real estate price growth in China. **Pacific-Basin finance journal**, p. 62-77, 2012. DOI:10.1016/j.pacfin.2011.08.001.
- YADAV, A. K.; MALIK, H.; CHANDEL, S. S. Selection of most relevant input parameters using WEKA for artificial neural network based solar radiation prediction models. **Renewable and sustainable energy reviews**, p. 509-519, 2014. DOI:10.1016/j.rser.2013.12.008.