

# APLICAÇÃO DA DINÂMICA DE SISTEMAS AO ESTUDO DO COMPORTAMENTO DO MERCADO IMOBILIÁRIO DE RIBEIRÃO PRETO-SP: UMA ABORDAGEM MULTINÍVEL

*APPLICATION OF SYSTEM DYNAMICS TO THE STUDY OF THE REAL ESTATE BEHAVIOR OF RIBEIRÃO PRETO-SP: A MULTILEVEL APPROACH*

**Alex Quintino BARBI**  
Universidade de São Paulo  
aqbarbi@fearp.usp.br

**Alexandre Bevilacqua LEONETI**  
Universidade de São Paulo  
ableoneti@usp.br

---

Recebido em 09/2015 – Aprovado em 12/2015

## **Resumo**

Este trabalho tem como fundamentação a nova abordagem das ciências complexas, especialmente em se tratando de modelos de solução analítica inexistente. As áreas de ciências sociais aplicadas, que até então se valiam de vastas abordagens analíticas, agora podem testar seus modelos mediante experimentação computacional, simulando ambientes dinâmicos e inovadores. O mercado imobiliário exhibe características de Sistemas Complexos, sendo a Dinâmica de Sistemas ferramental apropriada no tratamento desses modelos. O estudo do mercado imobiliário como um sistema complexo ainda é pouco desenvolvido no Brasil, e, nesse sentido, esse trabalho visa obter um modelo sistêmico multinível para buscar o entendimento do comportamento do mercado imobiliário da cidade de Ribeirão Preto-SP, verificando o possível surgimento de bolhas imobiliárias. A combinação da modelagem populacional com a de moradias mostrou haver ciclicidade de preços, na mesma direção que trabalhos anteriores na área.

Palavras-chave: Sistemas Complexos, Dinâmica de Sistemas, Mercados Imobiliários.

## **Abstract**

*This work looks to the new approach of complex sciences, especially when it comes to non-existent analytical solution models. The areas of applied social science, which have until now enjoyed behind a huge amount of analytical approaches, can now test their models by computational experiments, simulating dynamic and innovative environments. The real estate market displays characteristics of Complex Systems, and System Dynamics is one of the tools that enables its treatment. The study of the housing market as a complex system is undeveloped in Brazil, and in that sense, this work aims to build a systemic multilevel model to understand the behavior of the real estate market of the city of Ribeirão Preto-SP, checking the possible emergence of housing bubbles. The combination of the population model with the housing one allowed prices cyclical, confirming some earlier works.*

**Keywords:** *Complex Systems, System Dynamics, Real Estate.*

## **1 INTRODUÇÃO**

Muitas das vezes não conseguimos achar boas soluções por experimentação com objetos ou mesmo em decisões em ambientes de negócios, de forma que a modelagem é uma das maneiras para se idealizar problemas complexos que aparecem em ambientes reais (BORSHCHEV, 2013). Esta ferramenta permite mudarmos do mundo real ao mundo dos modelos. A partir do modelo, ou mesmo enquanto construindo o modelo, podemos explorá-lo para entender sua estrutura e comportamento, testá-lo mediante várias condições para comparar diferentes cenários. Quando uma solução é encontrada, mapeamos essa solução no mundo real. Nesse sentido, este processo é considerado mais uma arte do que uma ciência. (BORSHCHEV, 2013; BONABEAU, 2002; AXELROD, 1997; MILLER;

PAGE, 2007). Existem, basicamente, dois métodos de modelagens: a modelagem analítica e a por simulação. A síntese da solução analítica é a de que para solucionar problemas é preciso subdividi-los em problemas menores. Supõe-se que uma vez solucionados os problemas menores estará solucionado o maior. Esse tipo de solução é baseada, por exemplo, na pesquisa operacional, na teoria dos jogos, dentre outras. A antítese (a simulação) parte do fato de que normalmente a soma das partes é diferente do todo, além de que pequenas alterações nas condições iniciais de um sistema podem levar a resultados muito divergentes. De acordo com Borshchev (2013), a simulação é baseada em três métodos: a modelagem de Eventos Discretos (MED), a Dinâmica de Sistemas (DS) e a Baseada em Agentes (MBA).

A construção de um modelo para o mercado imobiliário também segue a mesma linha de raciocínio, sendo referenciados a modelos analíticos e posteriormente aos de simulação. De acordo com Peiser (2015), o mercado imobiliário é delineado principalmente por ações de partes interessadas. Essa dinâmica pode influenciar diretamente as ações dos agentes, assim definida por Batty (2009) em sua expressão, 'cidades como organismos e não como máquinas'.

O professor Forrester (1970) foi o pioneiro na simulação das dinâmicas das cidades com modelos de DS. Seu trabalho mostrou como as políticas atuais de desenvolvimento de cidades poderiam ocasionar um decaimento da qualidade de vida nessas regiões. Wheaton (1999) utilizou a metodologia de estoques e fluxos para mostrar que oscilações no mercado imobiliário poderiam ser encontradas caso a oferta seja mais elástica que a demanda, o atraso do desenvolvimento seja longo e a durabilidade dos ativos baixa. O professor do Instituto de Tecnologia de Massachusetts John Sterman (2000) simulou,

pioneiramente, o comportamento do mercado imobiliário de Chicago por dinâmica de sistemas. Já Hong-Minh e Strohhecker mostraram, a partir da DS, que o lado da oferta do setor de construção mostra também oscilações, enquanto Özbas, Özgün e Barlas (2014) mostraram como essas oscilações advêm apenas de dinâmicas endógenas e não de políticas exógenas.

No Brasil, o mercado imobiliário ainda é pouco estudado. Partindo de uma pesquisa no sítio de artigos e periódicos da Scientific Electronic Library Online (SCIELO), referenciada a “mercado imobiliário, brasileiro”, podemos citar algumas tentativas de análise mais concreta do setor de moradias brasileira: Bezerra et al. (2013) estudaram a evolução de preços de moradias na cidade de Natal-RN. Os autores utilizaram preços spot (mercado primário) e preço forward (proxy dos preços de imóveis na planta), ressaltando que quanto maior a diferença entre os dois, maior a probabilidade de uma bolha. Hermann e Haddad (2005) utilizaram a abordagem dos preços hedônicos e correlação espacial para encontrar características semelhantes de valor entre as moradias na cidade de São Paulo-SP. Com o uso de regressão, encontraram que proximidade de estações de trem, a presença de áreas verdes e o zoneamento exclusivamente residencial valorizam os preços de imóveis, enquanto que a criminalidade os reduz. Já Fávero (2011) modificou o modelo de preços hedônicos original (ROSEN, 1974) e introduziu variáveis multiníveis, como as de imóveis, as regionais e distritais e das zonas comerciais. O estudo identificou relações entre as variações de preços nos imóveis e variações nas características dos distritos no município de São Paulo-SP. Arraes e Sousa Filho (2008) avançam no modelo hedônico no município de Fortaleza-CE, utilizando quatro principais fatores de precificação: aspectos físicos, locais, econômicos e financeiros. Este

último utiliza o custo de oportunidade do imóvel e o risco locacional de vacância. Os resultados mostraram que há divergência em relação às características de valor de moradias tradicionais e àquelas ditas como especulativas.

Verifica-se, portanto, que a análise do setor imobiliário brasileiro, é quase em sua totalidade, feita por preços hedônicos (auto-determinados). Não se conhece de maneira mais estruturada, os processos endógenos de formação de oferta e demanda de moradias, nem os efeitos da especulação, ainda menos como funcionam os efeitos dependentes de perturbação estocástica (efeitos exógenos), bem pouco de como são amplificados os efeitos de retroalimentação entre variáveis e quase nada de como a dinâmica do microambiente/macroambiente interfere no macroambiente/microambiente, quando da interação entre os diversos agentes. Mais do que procurar parcimoniosas maneiras de testar premissas, a ideia é que devemos construir modelos que considerem o funcionamento das cidades, não mais em torno de médias e agregados, participantes da visão de “cidades como máquinas”, mas sim, do entendimento das cidades definidas em “cidades como organismos”, na medida que os modelos possam ser desagregados ao nível individual, ou ao menos a um método holístico e representativo da realidade dos processos, que, muitas das vezes não são completamente entendidos de maneira plausível. A ciência complexa, através de conceitos como a escalabilidade, a similaridade autoorganizada e as estruturas de não-equilíbrio, mudou o conceito de sistemas e indivíduos, transformando o modo de como fazemos ciência hoje e no futuro (BATTY, 2009).

Portanto, a criação de um modelo dinâmico simples, mas condizente com a realidade da complexa estrutura das cidades brasileiras, atentando-se às suas dinâmicas não lineares,

deve motivar o estudo para este e para os próximos trabalhos na área. Finalmente, é sabido que o Brasil vive um momento de forte turbulência no cenário econômico, e há preocupações em relação à continuação da escalada de preços vistas nos últimos anos. No Brasil, há poucos trabalhos nessa temática. Um exemplo recente é a metodologia abordada por Leoneti, Giorgetti e de Matos (2014), adaptada do modelo de Sterman (2000), introduzindo uma variável de controle endógena, o Índice de Mercado Imobiliário, que reflete o comportamento dos preços dos imóveis e a disponibilidade de moradias. Devido as suas características práticas, o modelo será o ponto de partida deste artigo.

O presente estudo é uma pesquisa experimental e aplicada, que tem como objetivo, adaptar e desenvolver um método de simulação aplicado ao estudo exploratório do setor imobiliário da cidade de Ribeirão Preto-SP, do qual, fundamenta-se em desenvolver um modelo dinâmico com a metodologia da Dinâmica de Sistemas a fim de mimetizar o comportamento do mercado local. Para isso, será utilizado um modelo multinível, integrando a modelagem populacional e a modelagem de moradias. O objetivo específico é obter um modelo que tente explicar os ciclos do mercado imobiliário, como a [1] formação de ciclos de alta e baixa de preços, [2] os processos endógenos de formação de 'bolhas imobiliárias', bem como ser útil na [3] delimitação de políticas públicas e principalmente no [4] conhecimento sobre as interdependências entre as diversas variáveis envolvidas neste mercado.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Dado que o comportamento do sistema é diferente do comportamento de seus elementos, a Dinâmica de Sistemas e os Sistemas Dinâmicos

carregam em si propósitos diferentes, mas objetivos comuns: estudam sistemas complexos (OSIPENKO, 2004). É no estudo da complexidade em que os conceitos dos sistemas dinâmicos se integram à dinâmica de sistemas. Um sistema é complexo se seu comportamento depende dos detalhes do sistema de uma maneira não óbvia e pequenas mudanças no sistema levam a grandes mudanças no comportamento (PARISI, 2002). Tais sistemas, em princípio, não podem ter seu comportamento a longo prazo avaliado facilmente (NUSSENZVEIG, 2003). A Dinâmica de Sistemas (DS) é um dos métodos para modelar Sistemas Complexos. Em 1958, o professor-engenheiro Jay W. Forrester descrevia a DS como sendo um sistema de controle de retroalimentação. Assim, a teoria da retroalimentação tenta explicar como decisões, atrasos e previsões podem produzir tanto quanto um bom controle como uma desordem ao sistema. Em seu trabalho, mostrou-se um modelo de suprimentos, como sendo um tipo de sistema produção-distribuição-propaganda. Articulou-se, por meio da DS, como um sistema com relativamente pouca mudança de parâmetros pode resultar em longos ciclos de instabilidade (FORRESTER, 1958). Este trabalho surgiu como precursor da nova teoria que se desenvolveria no fim da década de 60, com "World Dynamics" (FORRESTER, 1969), e posteriormente com os trabalhos de Meadows et al. (1972).

Após mais de 50 anos, a Dinâmica de Sistemas passou a ser definida como uma metodologia para estudar e gerenciar sistemas de retroalimentação complexos, em contextos socioeconômicos, utilizado em contextos de relações não lineares e em que haja dependência temporal (BARDI, 2011). A teoria da DS é opositora à teoria do reducionismo, para tanto, adota-se uma abordagem holística que ajuda no entendimento da estrutura básica do

sistema e no comportamento que produz. As características da dinâmica são definidas por diagramas de retroalimentações causais, uma descrição lógica, não uma descrição de equação diferencial (OSIPENKO, 2004). Dessa forma, após identificado o problema, é desenvolvida a hipótese dinâmica como causa raiz; pela simulação computacional pode-se verificar se este sistema reproduz efeitos semelhantes daqueles que ocorrem no mundo real. Finalmente a solução é testada e, se possível, implementada. (MORECROFT, 2007). O paradigma da DS deriva de que ações alteram o estado das condições de um sistema após certa defasagem temporal (BUENO, 2011). Entre ações e estados podem haver dois tipos de malhas: malhas de realimentação positivas (amplificadores) e/ou malhas de realimentação negativas (estabilizadoras). Dentro desses estados, temos estoques, e entre esses estados, fluxos. Segundo Meadows (2008, p. 18), “estoques são a ‘fundação’ do sistema. São elementos que podem ser vistos, sentidos, contados e mensurados a qualquer tempo”. Os estoques sofrem alterações durante as ações de fluxos. Assim, o “estoque é a memória do histórico de mudanças dos fluxos

dentro do sistema”. Na figura 1, em uma banheira com o ralo aberto, o estoque é a água. O fluxo de entrada e saída modificam o estoque. Neste sistema, se a soma de todas as entradas excederem a soma das saídas, o nível do estoque aumentará. Caso contrário, o estoque decairá. Se ambas forem idênticas, o estoque não mudará. Essa condição é conhecida como equilíbrio dinâmico (MEADOWS, 2008).

Um sistema de retroalimentação pode ser formado quando mudanças no estoque afetam a ele próprio, ou quando uma série de decisões, regras ou ações são dependentes dos níveis de estoque. Um simples sistema de retroalimentação (neste caso amplificadora) pode ser explicado a exemplo de uma conta bancária, em que seus fluxos (rentabilidade) dependam também do estoque de dinheiro formado até então (incríveis juros compostos). As retroalimentações amplificadoras podem ocorrer se o sistema tiver a capacidade de reforçar ou de reproduzir si próprio, podendo produzir um crescimento ou um colapso exponencial. As retroalimentações estabilizadoras são equilibradoras de um sistema, produzindo estabilidade ou mesmo uma

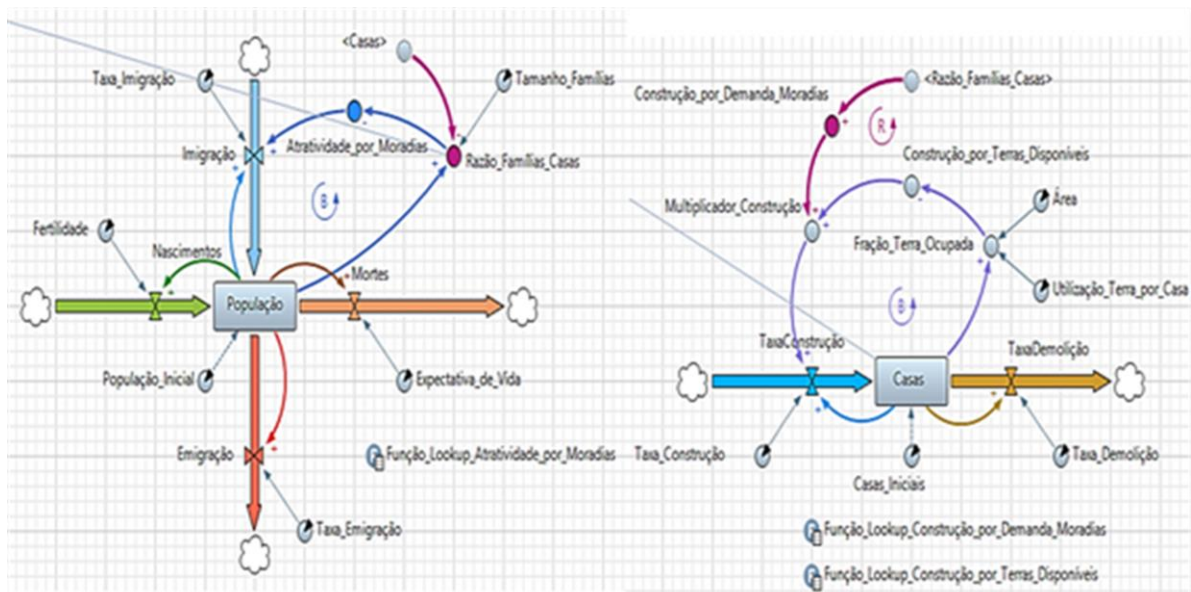


Figura 1 – Modelo ‘protótipo’ de Borshev (2013)

resistência a mudanças (MEADOWS et al., 2008). Assim, o sistema apresentará características de uma ou de outra retroalimentação, dependendo de qual delas tiver mais força (MORECROFT, 2007).

Uma última questão a ser definida, como então gerenciar esse tipo de sistema? Bueno (2011) identifica quatro implicações de política para abordagem de complexidade em sistemas. A primeira é a de que intervenções devem privilegiar um ponto de visto endógeno. Essa questão vem do fato de que é a própria estrutura que determina o desempenho do sistema (choques exógenos são relativamente pouco importantes). Uma segunda abordagem é a de que deve-se privilegiar a adoção de mecanismos de incentivos aos agentes dentro do sistema e não intervenções diretas (lembra-se aqui do efeito que os sistemas possuem a sistemática de contrabalancear choques externos). Outro ponto a ser discutido é a de lembrar que normalmente sistemas encontram-se em fases dinâmicas distintas e aplicar o que foi produtivo em um pode-se tornar extremamente improdutivo para outro. Um último ponto a ser destacado é que se houver intervenção, esta deve previamente identificar pontos de alavancagem do sistema antes de qualquer ação. Assim, pode-se entender melhor como funcionam as malhas de retroalimentação ao redor dos ciclos.

### 2.1 O Mercado Imobiliário como um Sistema

A ciência das cidades rapidamente se desenvolveu no conceito da ciência da complexidade no conceito de que são mais parecidas com sistemas biológicos ao invés de mecânicos, não ordenadas por uma espécie de organizador central, mas sim na interação de milhares de indivíduos (BATTY, 2011). Assim, a cidade deve ser tratada como um sistema em evolução, não como um produto de um grande

design. Na realidade, o desenvolvimento da ciência das cidades não abandonou a forma do entendimento da economia, da ciência regional, da física social e do planejamento de transportes, mas sim, mudou sua ênfase. A noção de sistemas que se ajustam livremente a mudanças no ambiente é questionada. Cidades admitem inovação, geram surpresas e mostram catástrofes (BATTY, 2011). Ainda, evidências de não linearidades e comportamentos caóticos se apresentam nos retornos dos mercados imobiliários, sugerindo que desta forma, os modelos devem incluir termos não lineares para serem plausíveis (HIANG; WEBB, 2007).

A década de 1970 representou um avanço na crítica dos modelos até então propostos para o mercado imobiliário. Fair (1971) critica os modelos econométricos, relatando que devido à complexidade da natureza das operações imobiliárias e dos mercados de hipotecas, verifica-se que os modelos não encontravam soluções de equilíbrio. O autor ainda completa que poucos estudos relacionavam as expectativas dos empreendedores com o mercado hipotecário. A falta de detalhismo e de desagregação aos sistemas faziam com que as previsões ficassem aquém do satisfatório (FAIR, 1971). Forrester (1970) propôs, pioneiramente, a DS no setor urbano, em um modelo interativo entre pessoas, casas e indústrias. Em 100 dos 250 anos simulados, há crescimento populacional e certa escassez de moradias, gerando novas oportunidades à procura de empregos. Nos anos seguintes, o subemprego se inicia, gerando um rápido crescimento de moradias suburbanas (excesso de moradias), enquanto o emprego declina. Segundo Forrester (1970), esta dinâmica ocorre por dois fatores: a migração de populações às regiões mais 'ricas' e programas de habilitação de baixo custo.

Já na década de 90, avanços nas diversas técnicas, pela utilização de métodos computacionais personalizados, foram verificados no estudo do mercado imobiliário. Wheaton (1999) discorre que os ciclos imobiliários são formados basicamente porque há um longo 'atraso' entre a demanda de capital e a entrega do ativo. Ainda completa que (i) diferentes tipos de imóveis causam diferentes ciclicidades, assim, alguns são relacionados aos ciclos econômicos, e para outros, a variação é exclusivamente endógena, (ii) algum tipo de informação irracional é necessária à formação desses ciclos, por exemplo, regras 'ad-hoc' de investimentos, (iii) ciclos dependem especialmente da durabilidade dos ativos, do atraso no investimento e nas elasticidades de demanda e oferta, dessa forma, a irracionalidade sozinha, não é suficiente para ocasionar comportamentos cíclicos, e (iv) mesmo agentes racionais podem gerar oscilações (previsíveis), quando incorporam-se no sistema agentes Institucionais, por exemplo, bancos de hipotecas.

Contudo, o século XXI representa o maior avanço nas técnicas de modelagem e simulação, com o aumento do poder de processamento e memória dos computadores. Hong-Minh e Strohhecker (2002) utilizaram a DS para estudar o comportamento da cadeia de suprimento do setor de construção de moradias na Grã Bretanha. O modelo proposto por Sterman (2000) utiliza o crescimento econômico como variável exógena, resultando em empregabilidade regional. O modelo proposto por Özbaş, Özgün e Barlas (2014) investigou razões estruturais para comportamentos cíclicos acerca das principais variáveis endógenas do ramo de moradias pela perspectiva das companhias de construção.

A metodologia abordada por Leoneti, Giorgetti e de Matos (2014), um dos raros trabalhos em língua portuguesa, simplificou o modelo de Sterman (2000), introduzindo uma variável de

controle endógena, o Índice de Mercado Imobiliário, que reflete o comportamento do preço-moradia.

Uma metodologia definida por Borshchev (2013) é a de separar, inicialmente, dois subsistemas principais: o sistema demográfico e o de moradias, e posteriormente integrá-los, por meio de variáveis. O modelo trabalha com acréscimos e decréscimos da população por nascimentos e imigração menos mortes e emigrações.

O 'estoque' de população afeta a razão famílias/casas, que por sua vez, afeta a variável de construção por novas demandas de moradias, o qual pode encontrar um fator balanceador (limite da fração de terra ocupada). O estoque de casas, dessa maneira, é utilizado no subsistema da população, enquanto que a variável 'Razão\_Famílias\_Casas' é utilizada no subsistema do setor de construção de moradias. Essa adaptação é importante para que as variáveis demográficas não sejam exógenas ao modelo principal de moradias. A figura 1 ilustra essa metodologia.

A metodologia abordada por Leoneti, Giorgetti e de Matos (2014) simplificou o modelo de Sterman (2000), introduzindo uma variável de controle que reflete o comportamento do preço-moradia, o Índice do Mercado Imobiliário.

Quando o indicador é negativo, reflete déficit de moradias, o que aumenta a expectativa de ganho dos investidores. Já quando adquirir valores positivos, existem moradias vagas, o que diminui o ganho dos investidores. Do lado da oferta, as construtoras terão maior incentivo a novas construções se os lucros operacionais excederem seus ganhos esperados de capital, medido pelo custo médio ponderado de capital (WACC). A figura 2 representa o modelo.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia será apresentada em duas partes. A primeira apresenta a modelagem populacional da cidade de Ribeirão Preto e a outra os modelos de mercados imobiliários e de especulação. O software de simulação a ser utilizado durante todo o trabalho é o AnyLogic 7.1.2 'Professional Edition' (BORSHCHEV, 2013).

#### 3.1 Modelagem Populacional

Nesta parte, a metodologia descrita nesta seção abordará a proposição do modelo populacional, que será chave para o desenvolvimento da modelagem do setor imobiliário. Para tanto, este trabalho iniciará a concepção de dinâmica populacional consagrada na literatura (BORSHCHEV, 2013; STERMAN, 2000; BUENO, 2011). No modelo populacional a ser apresentado, o estoque populacional sofre variação mediante quatro fluxos: positivo de nascimentos adicionado à imigração e negativo diante das mortes adicionado à emigração. Pelo lado de entrada, o fluxo de nascimentos é

impactado pela taxa de fertilidade vezes a população atual, após atraso de um período. A taxa de fertilidade inicial segue dados relativos à Ribeirão Preto-SP, disponibilizadas pelo IBGE (2010). A projeção da taxa brasileira (IGBE, 2008) serviu como parâmetro de extrapolação para as taxas de natalidades até 2050. Segundo o IGBE (2008), a taxa de natalidade/população brasileira estabilizará até 2040-2050 em 0,0075. A figura 3 representa a variação da taxa natalidade/mortalidade durante os anos de simulação. A taxa de mortalidade é dada pela equação (1) proposta por Sterman (2000), ajustada por um parâmetro  $\sigma$ , de erro. Neste caso, a expectativa para a população brasileira até 2050 pelo IGBE (2008) foi replicada (ajustados pela média superior da cidade de Ribeirão Preto), e extrapolada até o ano 2100, de acordo com a perspectiva da ONU (2012, p.81) de que a expectativa de vida no Brasil deve chegar a valores próximo a 88 anos em 2100.

Na parte superior do modelo foi inserida a imigração, dada por duas funções: uma função

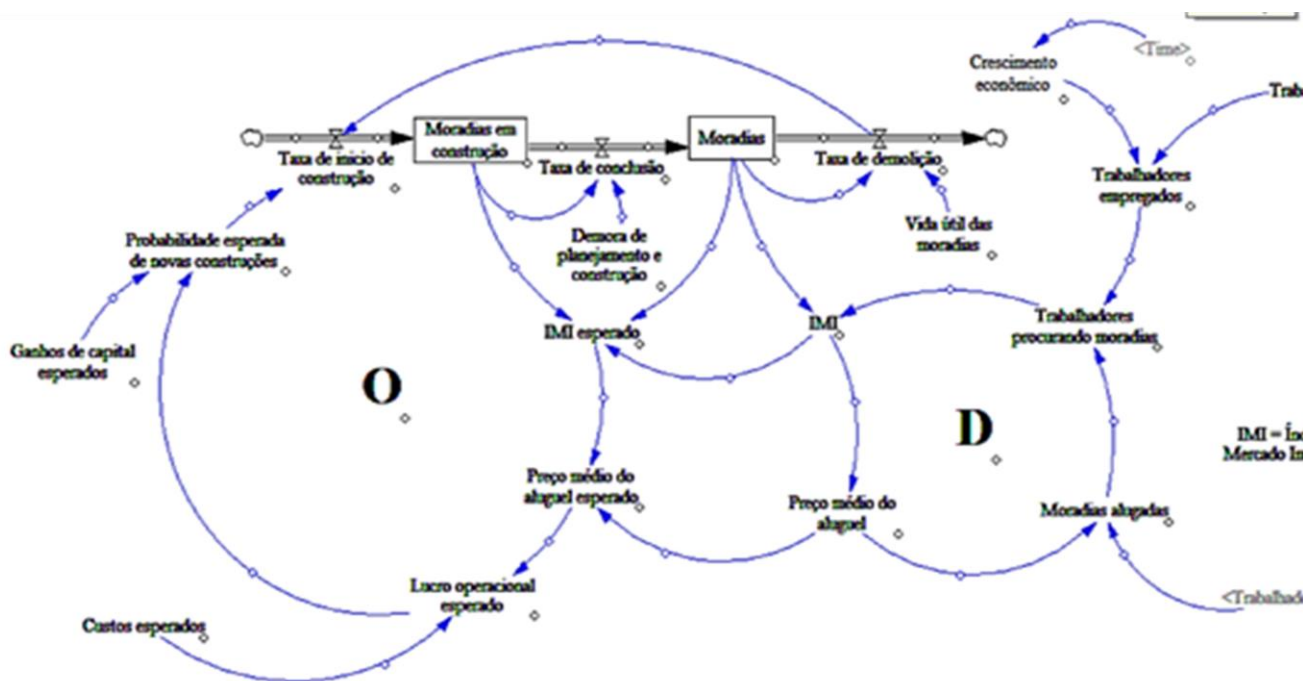


Figura 2 - Modelo de Leoneti, Giorgetti e de Matos (2014) para o mercado de moradias



$$\text{Mortalidade} = \frac{\text{População}}{\text{Expectativa de vida}} \times \epsilon \quad (1)$$

$$CS = \left( \frac{\text{Área urbana disponível}}{\text{Terra por moradia}} \right) \times f(\text{famanho médio das famílias, tempo}) \quad (2)$$

$$\text{ProporçãoPC} = \frac{\text{População}}{CS} \quad (3)$$

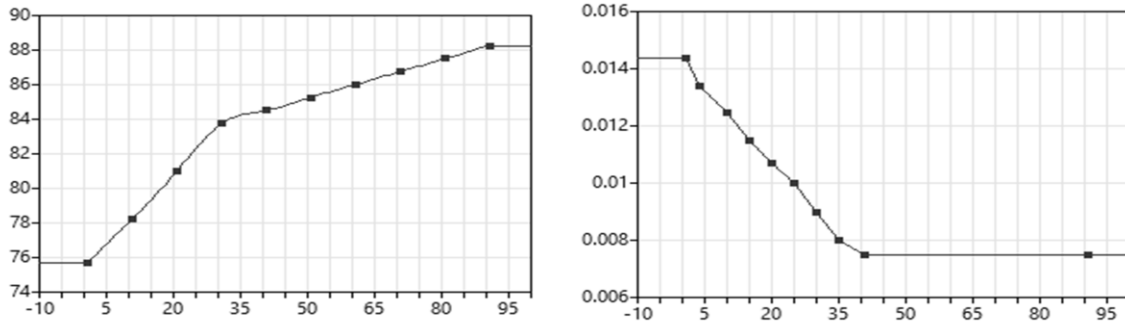


Figura 3 – A figura à esquerda representa a evolução da mortalidade (y) por tempo (x); ao lado a descrição do decaimento da função taxa de natalidade por tempo (x). Nota-se que entre a data 35 e 45, o IGBE (2008) não considera mais mudanças. Data 1 = 2010.

Fonte: Elaboração Própria e IGBE (2008).

dependente da população dividido pela capacidade do sistema (capacidade de área para novas moradias) e outra a variação do PIB (deltaPIB). Nesse modelo, a capacidade do sistema (CS) é dada pela equação (2). Já a variável ‘ProporçãoPC’ (3) é dada pela quociente entre População e capacidade do sistema.

Segundo Magalhães; Toscano e Bergamaschi (2013), as áreas urbanizadas são o resultado da ocupação antrópica sobre o território; são áreas que possuem ocupação contínua de edificações, ou que de alguma forma sofreram impacto antrópico destinado à ocupação urbana, enquanto que as áreas urbanas são delimitadas por políticas públicas como perímetro urbano, áreas onde teoricamente a urbanização pode avançar.

Segundo o plano diretor de Ribeirão Preto, a área urbana é de 351 km<sup>2</sup>, enquanto que a área urbanizada, sem contar áreas verdes e institucionais, é de 113km<sup>2</sup>. Da diferença entre área urbana e área urbanizada, 40% deverá ser utilizado como áreas Institucionais e verdes. A área útil fica igual a 142km<sup>2</sup>. Somado aos 113km<sup>2</sup>, a área total útil é igual a 257km<sup>2</sup>. Estima-se que, segundo o macrozoneamento da cidade, em torno de 30 a 35% sejam relativos a lotes não residenciais. O número que será inicialmente utilizado neste trabalho é de 167km<sup>2</sup> de área residencial. De acordo com o Plano Diretor da cidade de RP, existem quatro grandes áreas: A ZUP, área de zoneamento preferencial, com lote mínimo de 140m<sup>2</sup> e com proporção estimada em 35% da área, a ZUR, área de zoneamento restrita, com lote mínimo de 140m<sup>2</sup> com proporção estimada em 20%, a ZUC, zoneamento

controlado, com lote mínimo de 250m<sup>2</sup> e proporção em torno de 30%, e a ZPM, área de proteção máxima, com lote mínimo de 300m<sup>2</sup> e algo próximo a 15% da área. Neste sentido, será utilizada uma aproximação da média ponderada dos lotes mínimos como área por residência média, de 200m<sup>2</sup>. Já o tamanho médio das famílias sofreu quedas acentuadas nesses últimos anos, sendo que o IGBE (2008) projeta famílias bem menores para 2050. Segundo dados da OECD (2015), a Europa já possui hoje média de taxa de fertilidade semelhante ao que o IGBE (2008) projeta para o Brasil-2030-2050. Como variável proxy, o tamanho das famílias para esta simulação seguirá valores próximos aos europeus em 2050, com média de 2,5 pessoas/família. Hoje, de acordo com o IGBE (2010), a cidade de Ribeirão Preto possui índice próximo a 3,1. Na simulação, próximo a 2050, a taxa chegará à média europeia.

Finalmente, a imigração friccional é igual ao produto entre a função *ProporçãoPC* e *Imigração/Emigração* e pela segunda função multiplicadora entre *Imigração/Emigração* e  $\Delta$ PIB. A primeira função implica que menores taxas de imigração ocorrerão se a proporção população/capacidade (*ProporçãoPC*) do sistema aumentar, ou seja, se houver menos espaço para construção, menor será a imigração. Esta função seguirá uma curva logística (S), extrapolando os dados atuais do IGBE (2010) para migração dada a

atual *ProporçãoPC*. A segunda função seguirá também uma curva em (S), no sentido de que as duas funções possam balancear o sistema. A variação do PIB em Ribeirão Preto, nas simulações, seguirá um processo estocástico (LIMA et al., 1995) com distribuição Erlang, com fator de escala 1, fator de forma 4 e mínimo -2 (Figura 4).

As simulações da figura 4 resultam em médias entre 2 e 2,5%, condizentes com o produto da economia brasileira de longo prazo (IGBE, 2010). Se a variação do PIB for maior que a média dos últimos dez anos, haverá um acréscimo na taxa de imigração. De acordo com os dados do IGBE (2010), a taxa de imigração dobra com o substancial aumento do PIB local, com um atraso de três anos. De maneira semelhante, a taxa de emigração segue processo inverso do listado para a imigração.

A figura 5 mostra a relação entre '*ProporçãoPC*' (PC) e *Imigração/Emigração* (I/E) e do multiplicador entre a função  $\Delta$ PIB e I/E para o modelo desenvolvido.

Dessa maneira, a imigração (emigração) friccional são dadas pela função (4).

Para compensar a falta de imigração e emigração nos primeiros anos (por causa do atraso), foram criados saldos migratórios em forma de eventos, cada um encarregado de adicionar as médias

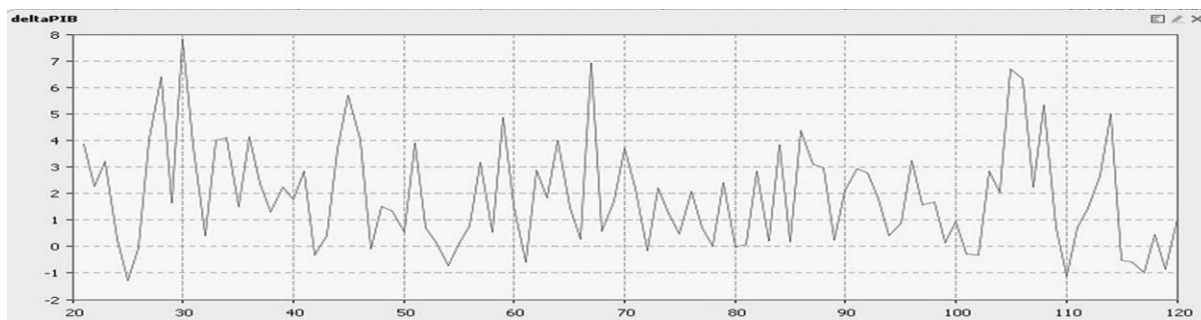


Figura 4 - Variação do PIB simulado para a distribuição Erlang

migratórias no modelo até o fim do período de atraso, que ocorre no sexto ano. Finalmente, a variável de saída do modelo é “Famílias”, de acordo com a equação (5).

A variável ‘Famílias’ será variável ‘multinível’ do modelo de simulação do mercado imobiliário, pois reflete a demanda real por casas. A figura a seguir apresenta o modelo populacional desenvolvido nesta pesquisa.

### 3.2 Modelagem do setor de moradias

O modelo de moradias segue o apresentado por Leoneti, Giorgetti e de Matos (2014), com algumas adaptações. A variável multinível ‘Famílias’ se integrará ao modelo, assim tornando-se comparativo de demanda real por habitações. A oferta é dada pelo estoque de

‘Moradias’, sendo que o IMI confrontará demanda e oferta. Já o preço médio do metro quadrado seguirá como uma função do IMI. O IMI esperado seguirá a mesma função descrita pelo modelo original, tanto quanto o preço médio esperado, que será função do IMI esperado para dado preço atual (LEONETI; GIORGETTI; DE MATOS, 2014). As funções aleatórias originais do modelo serão modificadas por funções representativas de Ribeirão Preto, neste caso, o custo atual será obtido de acordo com a média da diferença entre receita líquida e o percentual de resultado operacional das incorporadoras atuantes no município. Já lucro operacional esperado é dado pela diferença entre preço médio do metro quadrado esperado e custo esperado. A variável ganhos de capital esperados, neste caso, é representada pela soma entre custo

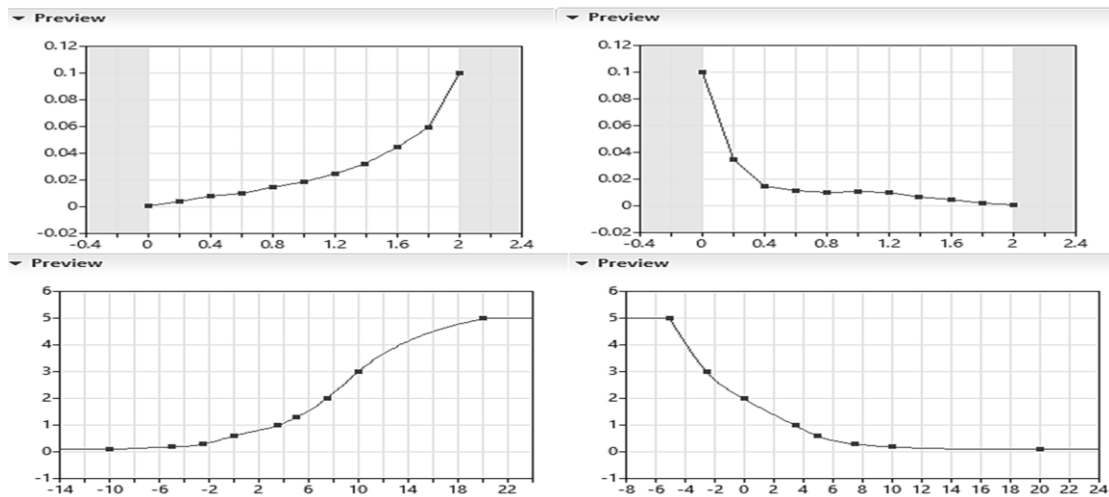


Figura 5 – Acima à esquerda, função PC (x) e E (y), acima à direita, PC (x) e I (y); inferior à esquerda, PIB (x) e I (y), e inferior à direita, PIB (x) e E (y)

*Imigração (emigração) friccional*

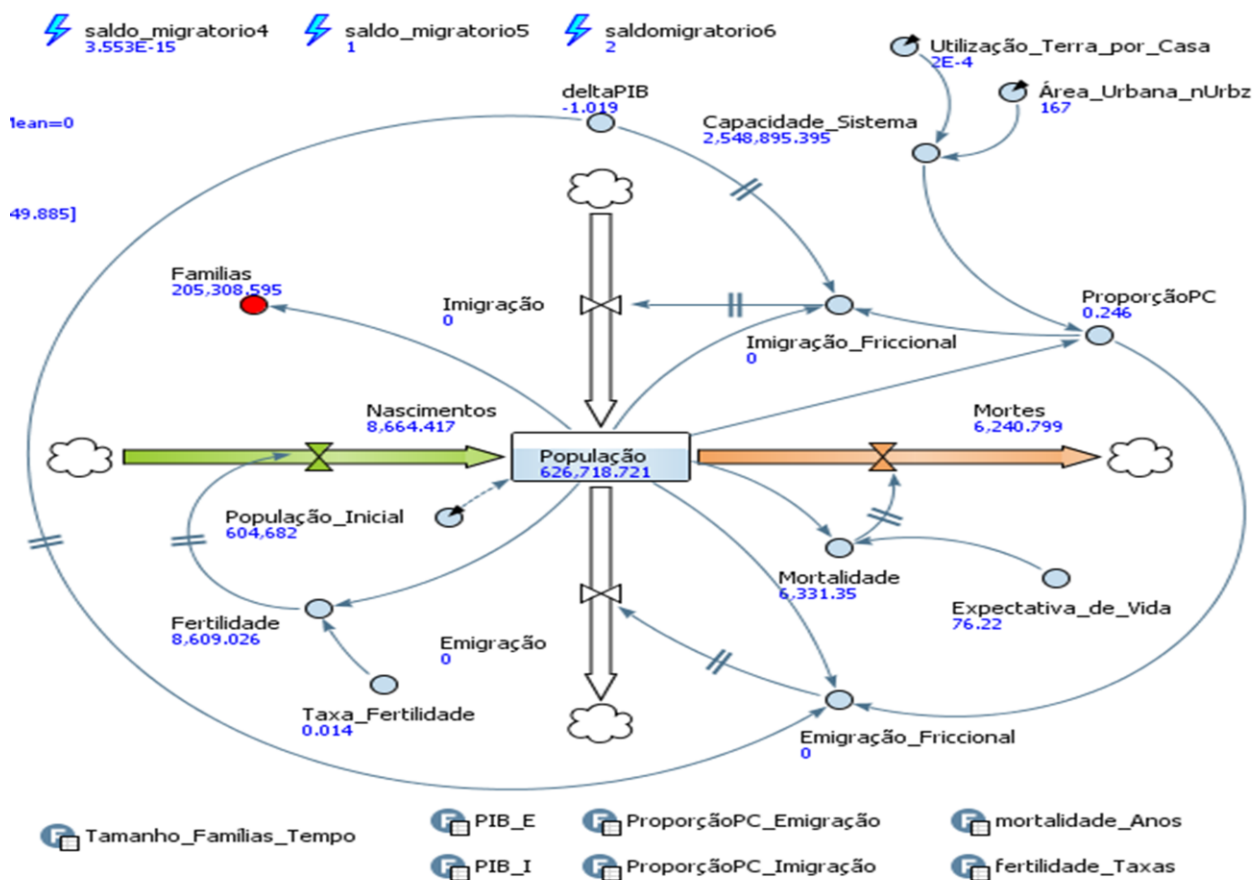
$$= \text{delay} [f(\text{ProporçãoPC}, \text{taxa imigração (emigração)})] \times \text{população} \\ \times \text{delay} [f(\Delta\text{PIB}, 3)] \quad (4)$$

$$\text{Famílias} = \frac{\text{População}(t)}{f(\text{tamanho médio das famílias}, \text{tempo})} \quad (5)$$

de oportunidade, dado pela taxa de juros (TJLR) acrescida por um spread, representativo do custo de capital (WACC), multiplicado pelo preço médio esperado do metro quadrado. Desta maneira, a probabilidade esperada de novas construções será dada pelo quociente entre lucro operacional esperado e ganhos de capital esperado multiplicado pelo quociente entre Demanda Total e Moradias (refletindo construções por demanda aquecida ou oferta excessiva), dessa maneira, refletindo as construções por especulação. O parâmetro 'demora de planejamento e construção' terá uma distribuição triangular com mínima de 2, média de 3 e máxima de 4 anos. Já a 'vida útil das moradias', terá valor igual a 40 anos. No lado dos fluxos entre estoques, o estoque de moradias em construção é dado pela taxa de início de construção, representada pela

multiplicação entre taxa de demolição e probabilidade esperada de novas construções, e a taxa de conclusão é dada pelo quociente entre o estoque de moradias em construção e a demora de planejamento e construção. O estoque inicial de população é igual a 604.950 pessoas e o estoque de moradias igual a 196.500 residências (IGBE, 2008). Finalmente, a taxa de demolição é dada pelo quociente entre moradias e vida útil das moradias. Representante da oferta, o estoque total de moradias é dado pela diferença entre taxa de conclusão e taxa de demolição.

A figura 7 apresenta o modelo multinível desenvolvido neste artigo. A variável multinível 'Famílias' (que apareceu primeiramente no modelo populacional) aparece no modelo de moradias, primeiro, como demanda real, segundo



como multiplicador na probabilidade esperada de novas construções.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados do modelo populacional e de moradias estão apresentados a seguir. A simulação percorre cem anos, iniciando-se no ano de 2010 ( $t = 0$ ). Alguns parâmetros ainda não foram especificados, por exemplo, o WACC representa o custo médio ponderado de capital e é utilizado na variável ganhos operacionais esperados. Assim, se o lucro operacional (margem bruta – despesas operacionais) for maior que o WACC, a incorporadora/construtora terá maior incentivo à construção de novas moradias. Para

margem bruta, despesas operacionais e WACC foram utilizados dados do Instituto Assaf (2015), referência de dados de empresas brasileiras setoriais. Já o preço do metro quadrado inicia-se em 1700, preço médio do metro quadrado estimado pela Pesquisa CRECI (2010, pg. 20), que calcula os preços médios de várias corretoras associadas na cidade de Ribeirão Preto-SP.

A cada ano, o preço é atualizado pela inflação vigente, dada por uma distribuição triangular entre 4,5 e 6,5% ao ano (meta do governo atual). Assim, o preço atual, que é multiplicado pelo IMI, o Índice de Mercado Imobiliário, dividido pelo preço atualizado pela inflação, o que fornecerá o “deltaPreço”, variável que mostra o quanto os preços crescem em relação à inflação.

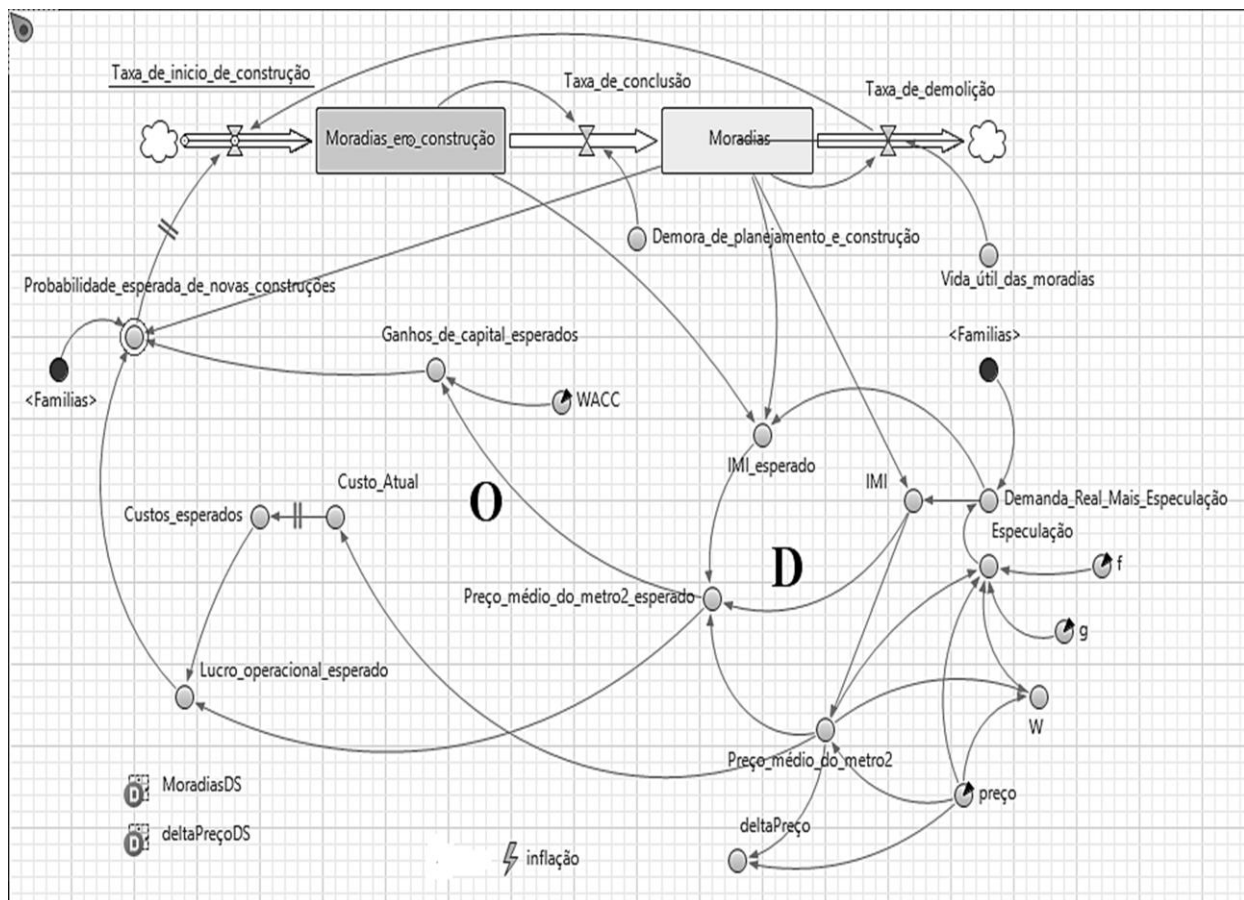


Figura 7 - Modelo de Moradias

Fonte: Leoneti, Giorgeti e de Matos (2014) e elaboração própria

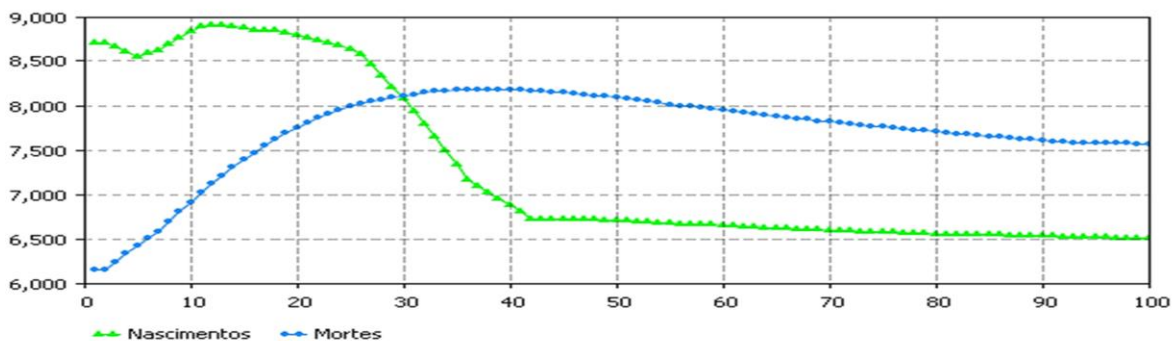


Figura 8 - Nascimentos, curva com tracejado triangular, e mortes, com tracejado circular se cruzam no momento  $t$  igual a 30 anos. Se  $t = 0 = 2010$ , a população tem crescimento vegetativo igual a zero no ano de 2040. O IBGE (2008) acredita que este período se daria entre 2035 e 2040

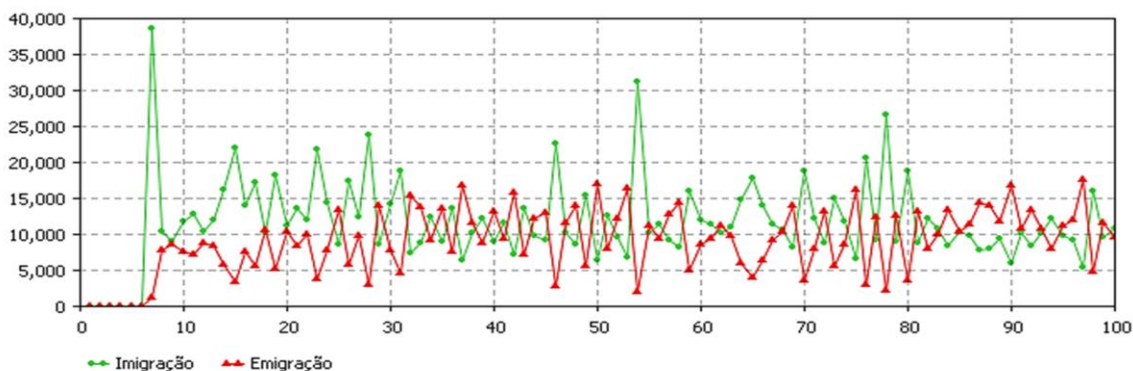


Figura 9 – A representação do número de emigrantes e dos imigrantes varia ao longo do tempo, porém apresentam convergências após o ano de 2050 ( $t = 40$ )

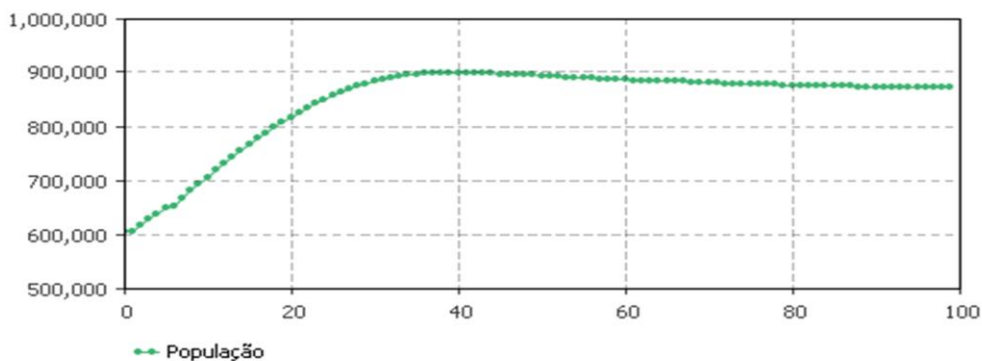


Figura 10 – Simulação do tamanho da população durante 100 anos. A população começaria a diminuir em  $t = 45 = 2055$ . O IBGE (2008) calcula que este período deverá ocorrer após a 2040

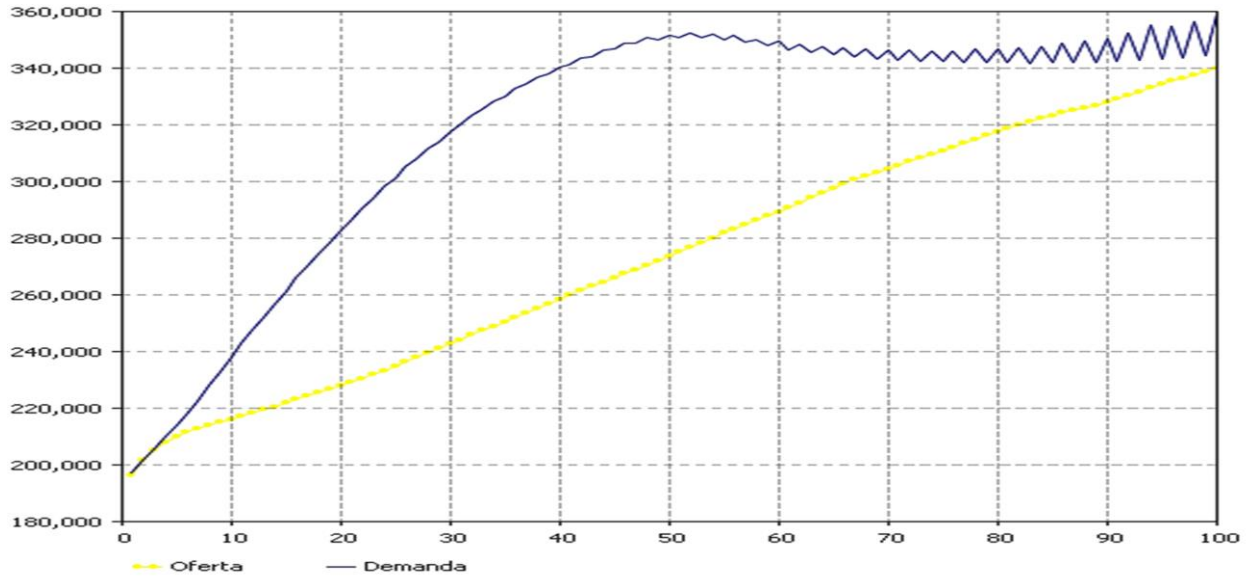


Figura 11 – As ofertas (representadas pela linha circular) crescem mais devagar do que a demanda por casas (dadas por famílias e especulação), gerando déficit de moradias e aumento de preços

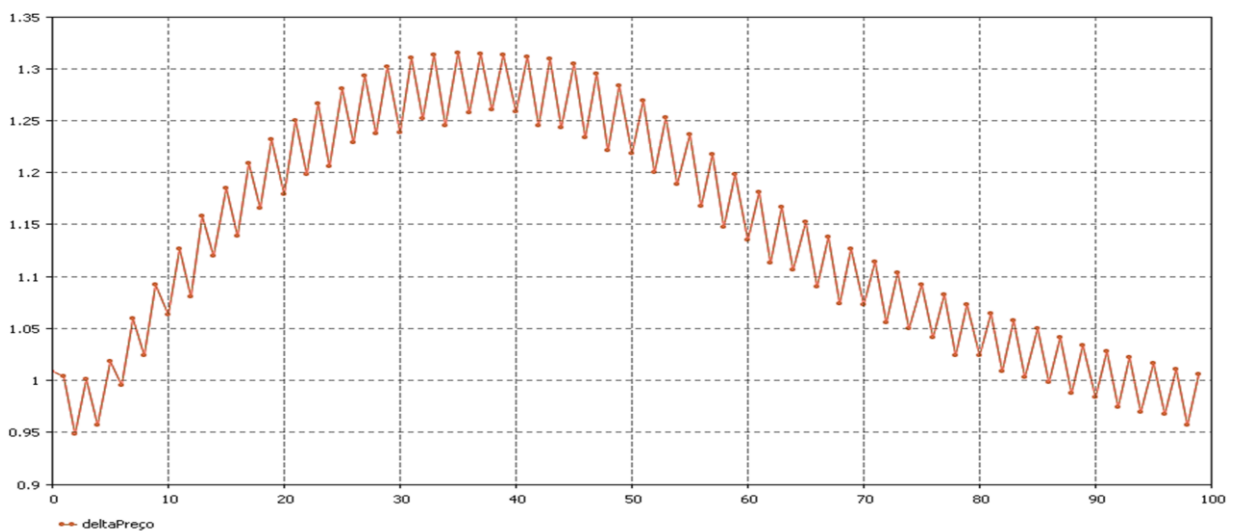


Figura 12 – “deltaPreço”, que reflete o quanto que os preços dos imóveis do modelo sobem em comparação com os preços inflacionados. Neste caso, os preços convergem ao equilíbrio de longo prazo quando este índice se estabelecer em valor próximos à unidade, ou seja rentabilidade é igual à inflação

Como pode-se perceber, o modelo busca um possível equilíbrio somente após  $t = 90$ . Segundo Wheaton (1999), para atingir um equilíbrio, o mercado de moradias deve possuir pouco “atraso” entre a demanda de capital e a entrega do ativo, agentes racionais, aqueles que podem prever preços futuros, e baixa elasticidade entre oferta e demanda.

Porém o modelo atual não condiz com as delineações em Fair (1971) e Wheaton (1999) de que há ocorrência de fortes oscilações em períodos de tempo menores, como proposto em Serman (2000) e Leoneti, Giorgetti e de Matos (2014). Porém, o modelo reproduz uma ciclicidade do mercado, indicando que deverá haver queda de preços ao atingir um patamar denominado ‘crítico’. Esse resultado pode apontar na direção de que deve haver uma correção na escalada de preços vista nos últimos anos, porém é difícil prever com exatidão seu tempo exato.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo desenvolvido nesse artigo buscou integrar dois modelos de Dinâmica de Sistemas a fim de buscar um comportamento cíclico no mercado imobiliário de Ribeirão Preto-SP. Viu-se que o mercado ribeirão-pretano exibe ciclos de preços, conforme o IMI se altera em razão da oferta, da demanda e da especulação causada pelos incentivos aos agentes.

Porém, esse modelo ainda não mostrou oscilação de curto prazo, conforme ocorre no mercado. Por essa razão, os próximos estudos podem se concentrar no quesito na especulação, atribuindo especulação da oferta por incentivos, por exemplo, governamentais.

Outro fator de mudança é a própria especulação da demanda, pois há outros agentes dentro do

setor imobiliário que possam causar oscilações ao sistema. Dessa maneira, pode-se abordar o sistema pela modelagem Baseada em Agentes, em que regras individuais são definidas de maneira desagregada. Assim, pode-se adicionar outros agentes para interagirem com as saídas das variáveis do sistema, como por exemplo, outros tipos de empresas, governo e agentes corretores, criando dessa forma, uma abordagem multimétodo.

## REFERÊNCIAS

- ARRAES, R.; SOUSA FILHO, E. (2008). Externalidades e formação de preços no mercado imobiliário urbano brasileiro: um estudo de caso. *Econ. Apl.* [online], vol.12, n.2, pp. 289-319. ISSN 1413-8050.
- AXELROD, R. (1997). *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration*. Princeton University Press, Princeton.
- BARDI, U. (2011). *The Limits to Growth Revisited*. SpringerBriefs in Energy: Energy Analysis, DOI 10.1007/978-1-4419-9416-5\_1, © Ugo Bardi, 2011.
- BATTY, M. (2009). *Cities as Complex Systems: Scaling, Interactions, Networks, Dynamics and Urban Morphologies*, In R. Meyers (Editor) *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, Volume 1, pp 1041-1071, Springer, Berlin, DE.
- BATTY, M. (2011). *Building a science of cities*. UCL Working Papers Series No. 170. London: UCL.
- BEZERRA et al. (2013). *Formação, sustentação ou implosão de uma bolha imobiliária? A dinâmica de preços no mercado de imóveis de Natal no período 2005-2010*. *Econ. soc.*, vol.22, no.1, p.167-196. ISSN 0104-0618.
- BORSHCHEV, A. (2013). *The Big Book of Simulation Modeling: Multimethod Modeling with AnyLogic 6*. AnyLogic: North America. 2013.



- BUENO, N (2011). Introdução à dinâmica de sistemas: com aplicações para a economia. Viçosa: UFV.
- FAIR, R. C. (1971). Disequilibrium in housing models. *The Journal of Finance*, 27(2), 207-221, 1972.
- FAVERO, L (2011). Preços hedônicos no mercado imobiliário comercial de São Paulo: a abordagem da modelagem multinível com classificação cruzada. *Estud. Econ.* [online], vol.41, n.4, pp. 777-810. ISSN 0101-4161.
- FORRESTER, J (1958). Industrial Dynamics: a major breakthrough for decision makers. *Harvard Business Review*, 36 (4): 37-66.
- FORRESTER, J. (1970). System Analysis as a Tool for Urban Planning. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, VOL. ssc-6, no. 4.
- FORRESTER, J. W. (1969). *Urban Dynamics*, Portland, OR: Productivity Press. 285 pp.
- HERMANN, B.; HADDAD, E. (2005). Mercado imobiliário e amenidades urbanas: a view through the window. *Estud. Econ.* [online], vol.35, n.2, pp. 237-269. ISSN 0101-4161.
- HIANG, L.; WEBB, J. (2007). Are international real estate markets integrated: evidence from chaotic dynamics. Technical Report. Hartford: Real Estate Research Institute.
- HONG-MINH, S.; STROHHECKER, J. (2002). A system dynamics model for the UK private house building supply chain. *Proceedings of the 20th International Conference of the System Dynamics Society*, Palermo, Italy.
- IBGE (2008). Projeção da população do Brasil por sexo e idade: 1980-2050. Revisão 2008. *Estudos e Pesquisas DPE*, IBGE, n. 24, 2008.
- IBGE (2010). Censo 2010. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=354340>>. Acesso em 28 abr. 15.
- INSTITUTO ASSAF (2015). Disponível em <[www.institutoassaf.com.br](http://www.institutoassaf.com.br)>. Acesso em 02 de jun. 15.
- LEONETI, A.; GIORGETTI, M.; de MATOS, D. (2014). Dinâmica de Sistemas Aplicada à Simulação do comportamento do Mercado Imobiliário. Trabalho apresentado no 10º Congresso Brasileiro de Sistemas, Ribeirão Preto.
- LIMA; L.; MOREIRA; P. (1995). Tendência estocástica do produto no Brasil: efeitos das flutuações da taxa de crescimento da produtividade e da taxa de juro real. *Pesq. Pla. Econ.*, Rio de Janeiro, v. 25, n. 2, p. 249-278.
- MAGALHÃES; T.; BERGAMASCHI (2013). Área, densidade e população: o caso de áreas urbanas e urbanizadas dos municípios do espírito santo planejamento e políticas públicas | ppp | n. 40 |.
- MEADOWS, D. (2008). *Thinking in Systems: A Primer*. Edited by Diana Wright. London: Sustainability Institute, 2009.
- MILLER, J.; PAGE S. (2007). *Complex Adaptive Systems: An introduction to computational models of social life*. New Jersey: Princeton University, 2007.
- MORECROFT J. (2007). *Strategic Modelling and Business Dynamics: a feedback systems approach*. Chichester, England. John Wiley & Sons Ltd.
- NUSSENZVEIG, H. (2003) (Org.). *Complexidade e Caos*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora UFRJ/COPEA.
- OECD (2015). *OECD Family Database*. OECD, Paris. Disponível em <[www.oecd.org/social/family/database.htm](http://www.oecd.org/social/family/database.htm)>.
- ÖZBAS, B.; ÖZGÜN, O.; BARLAS, Y. (2014). Modeling and Simulation of the Endogenous Dynamics of Housing Market Cycles. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 17 (1) 19. Disponível em <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/17/1/19.html>>.
- OSIPENKO, L. (2004). System Dynamics and Dynamic Systems Integration in Regulatory Environments. *System Dynamics Conference*. Disponível em <[http://www.systemdynamics.org/conferences/2004/SDS\\_2004/PAPERS/347OSIPE.pdf](http://www.systemdynamics.org/conferences/2004/SDS_2004/PAPERS/347OSIPE.pdf)> Acesso em 22 de abr. 2015.
- PARISI, G. (2002). Complex systems: a physicist's viewpoint. *cond-mat/0205297* Disponível em <<http://arxiv.org/pdf/cond-mat/0205297.pdf>>. Acesso em 24 abr 2015.

PEISER, R. (2015). Real Estate Development. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (Second Edition) p. 12805-12812.

PESQUISA CRECI (2010). Pesquisa Estadual de Preços de Moradias. Disponível em: <[http://www.crecisp.gov.br/arquivos/pesquisas/estadual/2010/pesquisa\\_estadual\\_outubro\\_2010.pdf](http://www.crecisp.gov.br/arquivos/pesquisas/estadual/2010/pesquisa_estadual_outubro_2010.pdf)>. Acesso em 29 mai. 15

STERMAN, J. (2000). Business Dynamics: System Thinking and Modelling for a Complex World. Boston, MA: Irwin MacGraw-Hill.

SYSTEM DYNAMIC SOCIETY (2015). Disponível em <<http://www.systemdynamics.org/what-is-s/>>. Acesso em 22 abr. 2015.

UNITED NATIONS (ONU, 2012). World Population Prospects: The 2012 Revision.

WHEATON, W. (1999). Real Estate “Cycles”: Some Fundamentals. Real Estate Economics. 27(2). pp. 209-230.