UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES

ANDRÉ GIULIESE

Proposta de um modelo de mercado utilizando sistemas multiagentes

São Paulo

2014

ANDRÉ GIULIESE

Proposta de um modelo de mercado utilizando sistemas multiagentes

Dissertação apresentada a Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Modelagem de Sistemas Complexos.

Versão corrigida contendo as alterações solicitadas pela comissão julgadora em 12 de novembro de 2013. A versão original encontra-se em acervo reservado na Biblioteca da EACH/USP e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (BDTD), de acordo com a Resolução CoPGr 6018, de 13 de outubro de 2011.

Área de concentração:

Sistemas Complexos

Orientador:

Prof. Dr. Carlos de Brito Pereira

São Paulo

2014

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

Biblioteca

Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de
São Paulo

Giuliese, André

Proposta de um modelo de mercado utilizando sistemas multiagentes /
André Giuliese ; orientador, Carlos de Brito Pereira. – São Paulo, 2014.
133 p. : il. + 1 CD-ROM.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-
Graduação em Modelagem de Sistemas Complexos, Escola de
Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, em
2013.

Contém o CD-ROM : código fonte dos softwares desenvolvidos –
(linguagem: NetLogo).
Versão corrigida.

1. Economia – Modelos matemáticos. 2. Segmentação de
mercado - Simulação. 3. Sistemas multiagentes. 4. Sistemas
dinâmicos. 5. Modelagem baseada em agentes. I. Pereira, Carlos
de Brito, orient. II. Título.

CDD 22.ed. – 330.0151

Dissertação de autoria de André Giuliese, sob o título "**Proposta de um modelo de mercado utilizando sistemas multiagentes**", apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Modelagem de Sistemas Complexos, na área de concentração Sistemas Complexos, aprovada em 12 de novembro de 2013 pela comissão julgadora constituída pelos doutores:

Prof. Dr. Carlos de Brito Pereira
Presidente
Instituição: EACH-USP

Prof. Dr. Jose Augusto Giesbrecht da Silveira
Instituição: FEA-USP

Prof. Dr. Fernando Fagundes Ferreira
Instituição: EACH-USP

Às minhas filhas Gabriela e Teresa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha esposa e filhas por todo o tempo que se dispuseram a ficar longe mim para que pudesse elaborar este trabalho. Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos de Brito Pereira por toda a paciência frente às minhas dúvidas e angústias em relação ao mestrado e a elaboração da dissertação. Ao Professor Dr. Fernando Fagundes Ferreira pelas valiosas sugestões referentes ao modelo e à simulação. À minha irmã Nádia pelas diversas revisões de texto e valiosas sugestões para melhorar a compreensão, coerência e consistência da dissertação. Ao Prof. Dr. José Augusto Giesbrecht da Silveira pela criteriosa análise do texto e importantes recomendações. Aos amigos da CDN Comunicação Corporativa pela compreensão quanto à dedicação necessária para escrever este trabalho e por permitir que eu utilizasse seus recursos computacionais para realizar a simulação necessária para este estudo. À minha mãe Mariá por todo apoio durante o período de estudo e pesquisa. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo para realização desta pesquisa.

RESUMO

GIULIESE, A. **Proposta de um modelo de mercado utilizando sistemas multiagentes**. 2014. 133 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

Este trabalho propõe um modelo de um mercado que pode ser simulado em diversas condições. Pode-se pensar neste modelo como um laboratório para simulação e estudo de diferentes configurações de mercado. O modelo foi desenvolvido sob a plataforma de software NetLogo para a execução das simulações. Apresenta-se também, de forma sintética um conceito de mercado, uma visão de economia, de marketing, de estratégia e do comportamento do consumidor. Foram analisadas diversas formas de modelagem e decidiu-se utilizar sistemas multiagentes, pois são flexíveis e permitem a simulação de diversos tipos de fenômenos. A primeira tentativa de desenvolver este modelo apresentou resultados distintos de um mercado real, pois revelou-se muito mecânico e processual. Isso nos levou a busca de modelos adaptativos inteligentes para o comportamento dos agentes, bem como, nos concentrar na dinâmica de interação entre os agentes.

Palavras-chave: Economia, Mercado, Sistemas Multiagente, Modelagem Baseada em agentes.

ABSTRACT

GIULIESE, A. **Proposal of a Market model using multi-agent systems**. 2014. 133 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

This work aims at developing a model to simulate a market under several conditions. This model can be viewed as a laboratory to simulate and study different markets configurations. The model simulation was developed using the NetLogo language. A concept of market, economy, marketing, strategy and consumer behavior are briefly presented. After analyzing several ways of implementing the model it was decided to use agent based simulation because of its flexibility and possibility of simulating a variety of behaviors. A first approach to develop the model resulted in a very mechanic and artificial market simulation. This result lead the simplification of the model and focus on adaptive behavior and the interaction among the agents.

Keywords: Market, Economy, Agent based modeling.

Lista de Ilustrações

Figuras:

Figura 1 - consumo mundial de petróleo	21
Figura 2 - Preço do barril de petróleo	21
Figura 3 - tipos de sistemas econômicos.....	27
Figura 4 - Informação, modelo e mundo.....	38
Figura 5 - Um modelo formal sobre modelos	39
Figura 6 - A modelagem de um sistema complexo	40
Figura 7 - O agente interagindo com o meio ambiente	42
Figura 8 - Modelo de Schelling de segregação.....	44
Figura 9 - Comparação das principais ferramentas de desenvolvimento de sistemas multiagentes.....	46
Figura 10 - Modelo de comportamento do consumidor.....	60
Figura 11 -Fluxo financeiro entre comprador e vendedor	67
Figura 12 - Escolha da estratégia pelo comprador.....	68
Figura 13 - conexões comprador – vendedor	69
Figura 14 - número médio de conexões comprador - vendedor	69

Sumário

1. Introdução.....	17
1.1 O que são sistemas complexos.....	17
1.2 Economia e mercado	24
2. Modelagem.....	37
3. Metodologia	49
4. Modelos Propostos.....	55
4.1 O primeiro modelo	55
4.1.1 Meio ambiente – o mercado	56
4.1.2 Vendedor	57
4.1.3 Comprador.....	59
4.1.4 Como a simulação funciona	61
4.2 O segundo modelo	61
4.2.1 Meio ambiente – o mercado	64
4.2.2 Vendedor	64
4.2.3 Comprador.....	65
4.2.4 O processo de compra	66
4.2.5 Resultados.....	67
5 Conclusão e desenvolvimentos futuros.....	73
6. Referências	77
7. Glossário	81
Apêndice A – o primeiro modelo	83
Objetivo	83
Modelo proposto.....	83
Componentes.....	83
Mercado	83
Vendedores (empresas).....	85
Compradores	91
Questões a serem discutidas:	93
Desenvolvimentos futuros.....	93
Apêndice B – código fonte do primeiro modelo	95
Apêndice C – código fonte do segundo modelo.....	105

1. Introdução

Pretendemos a partir de princípios econômicos e de marketing conceituar o objeto de estudo deste trabalho: o mercado e seus atores. Partimos do princípio de que o mercado é um sistema complexo e que os seus atores (compradores e vendedores) podem ser modelados segundo o paradigma de sistemas multiagentes. Esperamos observar as diferentes propriedades de um mercado a partir da simulação de interações entre os atores. O objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo o mais semelhante possível a um mercado real, com a finalidade de comparar o resultado do modelo com informações reais deste mercado. Entendemos que enxergar um mercado como um sistema complexo por meio do paradigma de sistemas multiagentes permitirá à academia estudar e entender mercados de uma nova forma. Corporações e seus gestores poderão utilizar este trabalho como instrumento de simulação das diversas condições de mercado e, assim, identificar o quanto a empresa está preparada para lidar com condições adversas. Adicionalmente, o poder público poderá utilizar este estudo para simular possíveis resultados de políticas públicas que pretenda aplicar a determinado mercado.

1.1 O que são sistemas complexos

Os estudiosos da área de sistemas complexos concordam que não existe uma definição formal do que é um sistema complexo ou do que é complexidade. Basicamente, quando nos referimos a sistemas complexos consideramos sistemas compostos por muitas partes autônomas que interagem entre si. Em sequência apresentamos algumas descrições de sistemas complexos feitas por professores estudiosos da área¹.

¹ As opiniões foram extraídas de entrevistas feitas com professores no curso on-line de Introdução aos Sistemas Complexos do Santa Fe Institute e traduzidas livremente pelo autor.

Segundo o professor Krakauer (2013)², sistemas complexos são sistemas em que não é possível representá-los ou descrevê-los de modo simples e compacto. Em sistemas físicos, por exemplo, podemos utilizar poucas equações que descrevem uma grande quantidade de fenômenos e dados empíricos. Por outro lado, quando estudamos, o cérebro, o genoma ou uma sociedade tais equações elegantes e compactas não existem; isso nos leva a concluir que estamos lidando com um sistema complexo. Ou seja, um tipo de sistema que codifica uma longa história. Um sistema complexo tem a habilidade de extrair informações do meio ambiente em que se encontra e utilizá-las para fazer previsões, se adaptar ou controlar o ambiente a sua volta. Portanto a existência de equações simples é extramamente improvável. Ao inserirmos um sistema complexo em um novo ambiente, ele terá que se readaptar (i.e. recodificar seu comportamento) e quanto maior a quantidade de ambientes em que ele for inserido, maior a quantidade de ajustes que ele poderá fazer. Nos seres vivos as informações geradas em decorrência destes ajustes evolutivos são codificadas em nosso genoma³. Consequentemente para descrever estes sistemas temos que descrever o funcionamento desta codificação, o que não gera, necessariamente, equações simples e elegantes. Extrair informações do meio ambiente com o objetivo de utilizá-las de forma adaptativa para prever e controlar exige um tipo de descrição diferente da qual estamos acostumados (i.e. descrição matemática). Tipicamente, estes modelos exigem uma descrição computacional. Ou seja, sistemas complexos não possuem uma formulação matemática simples. Além disso, se os sistemas complexos possuem essa característica adaptativa e inferencial, então, devem existir mecanismos que a viabilizem, tais como: aprendizado, adaptação, memória. Muitos pesquisadores definem complexidade em função destes mecanismos. Essa forma de descrição nos permite fazer comparações entre diferentes sistemas complexos.

² Krakauer, D. (2013). Complexity Explorer: Guest Spot - David Krakauer. Disponível em: <http://www.complexityexplorer.org/online-courses/1/segments/16>. Data de acesso 2/6/2013.

³ O professor Krakauer refere-se ao processo de evolução das espécies

A professora Liz Bradley (2013)⁴ define sistema complexo como um sistema com muitas variáveis de estado com alto grau de acoplamento entre si. Muitas vezes esta interconexão possui uma forma não linear ou adaptativa. Adicionalmente, quando o comportamento de um fenômeno ocupa apenas uma região do espaço de fases⁵ chamamos isso de emergência. Por exemplo, em uma revoada os passáros poderiam ocupar qualquer posição do espaço, porém, na prática, eles não fazem isso, eles se agrupam formando um “V”. Consequentemente, a quantidade de informação necessária para descrever este comportamento é menor do que se os passáros ocupassem qualquer posição e chamamos este comportamento de fenômeno emergente.

Segundo o professor John Rundle (2013)⁶ um sistema complexo é um sistema que contém interações entre seus componentes. Essas interações possuem elementos não lineares. Em geral estes sistemas apresentam muitas dimensões, revelando características interessantes como invariância na escala, leis de potencia ou objetos fractais em sua estrutura física ou estatística.

Para o professor Jim Crutchfield (2013)⁷ um sistema natural ou artificial é dito complexo quando possui uma arquitetura interna sofisticada que armazena e processa informação.

Segundo a Professora Stephanie Forrest (2013)⁸, os tipos de sistemas que chamamos de complexos possuem vários componentes ativos interagindo entre si. Essas interações não são triviais (i.e. são não-lineares) o que leva o sistema a apresentar um comportamento imprevisível. Muitos destes componentes estão aprendendo ou estão modificando seu comportamento⁹

⁴ Bradley, L. (2013). Complexity Explorer: Guest Spot. Disponível em:

<http://www.complexityexplorer.org/online-courses/1/segments/75> Data de acesso 2/6/2013.

⁵ Espaço de fases é uma representação abstrata de todas as possíveis configurações que um sistema pode assumir (ver glossário).

⁶ Rundle, J. (2013). Complexity Explorer: Guest Spot. Disponível em:

<http://www.complexityexplorer.org/online-courses/1/segments/154> Data de acesso 2/6/2013.

⁷ Crutchfield, J. (2013). Complexity Explorer: Guest Spot. Disponível em:

<http://www.complexityexplorer.org/online-courses/1/segments/156> Data de acesso 2/6/2013.

⁸ Forrest, S. (2013). Complexity Explorer: Guest Spot. Disponível em:

<http://www.complexityexplorer.org/online-courses/1/segments/179> Data de acesso 2/6/2013.

⁹ Novamente, há referência sobre os processos biológicos de adaptação e evolução.

enquanto interagem isso gera todo tipo de comportamento dinâmico interessante.

A professora Cris Moore (2013)¹⁰, questiona se realmente precisamos de uma definição de sistemas complexos. Em ciência da computação não dizemos que sistemas são simples ou complexos por si mesmo. Dizemos que as questões são complexas se elas exigem uma grande quantidade de recursos computacionais para serem respondidas, muito tempo, muita memória, muita comunicação entre pessoas. Diferentes questões a respeito de um sistema exigem diferentes níveis de complexidade computacional. Melhor do que perguntar se o sistema é simples ou complexo seria alterar a pergunta para: Dada uma questão ou uma quantidade a respeito de um dado sistema quão difícil computacionalmente é responder essa questão ou computar essa quantidade.

O professor Scott Page (2013)¹¹, explica que Sistemas Complexos consistem em vários elementos que podem inicialmente não ser diversos mas, acabam se diversificando. Esses elementos estão conectados de alguma forma, em geral através de algum tipo de rede. Eles obtêm informações e sinais através desta rede. Os elementos possuem uma relação de interdependência. Ou seja, o comportamento de um componente pode ter influência no comportamento de outro. Os componentes se adaptam e reagem ao ambiente em que estão. Um sistema com essas características pode ser complexo, porém não precisa necessariamente ser. Em um sistema econômico, algumas partes possuem um comportamento estável em equilíbrio, porém, outras partes exibem um comportamento complexo. Como exemplo podemos citar o mercado de petróleo. Ao observarmos a demanda mundial por petróleo veremos que existe um comportamento crescente, estável e previsível (ver figura). Por outro lado, ao observarmos o preço do barril de petróleo ao longo do tempo, veremos que o comportamento é complexo e de difícil previsão (ver figura). Essa complexidade decorre de toda a interdependência dos participantes deste

¹⁰ Moore, C. (2013). Complexity Explorer: Guest Spot. Disponível em: <http://www.complexityexplorer.org/online-courses/1/segments/231> Data de acesso 2/6/2013.

¹¹ Page, S. E. (2013). Complexity Explorer: Guest Spot. Disponível em: <http://www.complexityexplorer.org/online-courses/1/segments/253> Data de acesso 2/6/2013.

mercado. Talvez pudéssemos rebatizar o termo para sistemas capazes de produzir complexidade.

Figura 1 - consumo mundial de petróleo (fonte: United States Energy Information Administration)¹²

Figura 2 - Preço do barril de petróleo (fonte: FMI – Fundo monetário Internacional)¹³

Segundo Geoffrey West (2013)¹⁴, um sistema complexo possui um enorme número de componentes ou agentes que interagem entre si usualmente de

¹² Consumo mundial de petróleo por ano (ano x mil barris/dia)

¹³ Preço do barril de petróleo por ano (ano x indexador de preço)

¹⁴ West, G. (2013). Complexity Explorer: Guest Spot. Disponível em:

<http://www.complexityexplorer.org/online-courses/1/segments/268> Data de acesso 2/6/2013.

forma não-linear. Decorrem desta interação, diversos tipos de comportamento multinível que evoluem gerando fenômenos a que nos referimos como emergentes. Mas, o que distingue um sistema complexo de um sistema que poderíamos chamar de simples é que um sistema simples, como o movimento dos planetas ao redor do sol, permite que sua dinâmica possa ser encapsulada em poucas equações simples e isso está relacionado ao fato de que o sistema está progredindo ao longo do tempo, porém não está se adaptando.

Luis Bettencourt (2013)¹⁵ descreve sistemas complexos como “coisas” que são diferentes de sistemas simples e em geral físicos. Sistemas complexos tendem a ser heterogêneos, suas partes são compostas de diferentes tipos. Eles tendem a ser abertos, ou seja, continuam a evoluir de forma indeterminada. Tipicamente existem cadeias de causa e efeito, gerando loops de feedback negativo e positivo. Isso torna sua evolução mais difícil de estudar do que em sistemas físicos simples.

Para Mark Newman (2013)¹⁶, um sistema complexo é composto por muitas partes que interagem entre si em que o todo é maior que a soma das partes. O sistema apresenta um comportamento emergente que é distinto da soma dos comportamentos dos indivíduos.

Corroborando com a visão de Mark Newman (2013)¹⁴, Doyne Farmer (2013)¹⁷ define um sistema complexo como algo com muitas partes que interagem entre si. Porém, o modo como essas partes interagem e se comportam como um todo é qualitativamente diferente do modo como cada uma se comporta individualmente. Ou seja, é algo que apresenta fenômenos emergentes.

Dessa forma podemos resumir que sistemas complexos possuem as seguintes características:

¹⁵ Bettencourt, L. (2013). Complexity Explorer: Guest Spot. Disponível em: <http://www.complexityexplorer.org/online-courses/1/segments/269> Data de acesso 2/6/2013.

¹⁶ Newman, M. (2013). Complexity Explorer: Guest Spot. Disponível em: <http://www.complexityexplorer.org/online-courses/1/segments/287> Data de acesso 2/6/2013.

¹⁷ Farmer, D. (2013). Complexity Explorer: Guest Spot. Disponível em: <http://www.complexityexplorer.org/online-courses/1/segments/234> Data de acesso 2/6/2013.

- Comportamento coletivo – Grande número de componentes heterogêneos que interagem entre si, sem a necessidade de um controlador (centralizador).
- Transmissão e processamento de informação – Há troca de informação entre seus componentes internos e o ambiente externo. Ou seja, os componentes interagem entre si, diretamente, trocando informação, o que permite a existência de mecanismos de feedback que influenciam seus comportamentos.
- Adaptação – Os componentes mudam de comportamento e se adaptam a novas situações via aprendizagem ou processo evolucionário.
- Emergência – Como consequência das características anteriores, tais sistemas apresentam auto-organização, formação de padrões e estruturas emergentes.

Essas características nos permitem definir sistemas complexos como:

“A system in which large networks of components with no central control and simple rules of operation give rise to complex collective behavior, sophisticated information processing, and adaptation via learning or evolution.”¹⁸
(Mitchell, 2009, p. 13)¹⁹

Podemos citar diversos exemplos de sistemas complexos como: formigas, que formam colônias e se comportam de forma ordenada, algumas buscando comida, outras defendendo a colônia; cada formiga individualmente apresenta um comportamento simples. O cérebro, que possui trilhões de neurônios (componentes simples) cuja interação faz emergir o pensamento. O sistema imunológico; ecossistemas; a web (World Wide Web); trânsito, em que a decisão individual de motoristas contribui para a emergência de engarrafamentos²⁰.

¹⁸ Um sistema em que grandes redes de componentes que possuem regras simples de operação e não possuem controle central dão origem a um comportamento coletivo, complexo com uma forma sofisticada de processamento de informação e adaptação via aprendizado ou evolução.

¹⁹ Mitchell, M. (2009). Complexity: a guided tour. Oxford: Oxford University Press.

²⁰ Para exemplos e explicação detalhada de sistemas complexos veja (Mitchell, 2009)

Para responder a pergunta: se economias e mercados podem ser considerados sistemas complexos, vamos inicialmente conceituar economia e mercado.

1.2 Economia e mercado

“Equilíbrio é uma tendência que raramente se realiza”
(Robert Axelrod)

Diversos autores definem economia como o estudo da escolha em condições de escassez.

“A escassez de recursos – e as escolhas que somos forçados a fazer – é a fonte de todos os problemas estudados em economia. As famílias tem rendas limitadas, a partir das quais buscam satisfazer seus desejos, de modo que precisam escolher cuidadosamente como alocar seus gastos entre diferentes bens e serviços. As firmas desejam ter o maior lucro possível, mas precisam pagar por seus recursos e por isso escolhem cuidadosamente o que produzir, quanto produzir e como produzir.” (Hall e Lieberman, 2003, p. 4)²¹

“Economics is one of several sciences that attempt to explain and predict human behavior. It is distinguished from the other behavior sciences (psychology, anthropology, sociology, and political science) by its emphasis on rational decision making under conditions of scarcity. Economists generally assume that people have well-defined goals and preferences and that they allocate their limited resource so

²¹ Hall, R. E., & Lieberman, M. (2003). Microeconomia princípios e aplicações. São Paulo, SP, Brasil: Pioneira Thomson Learning.

as to maximize their own well-being in accordance with those preferences.”²² (Landsburg, 2011, p. 599)²³

Há dez mil anos, a humanidade passou de uma sociedade de coleta e caça para uma sociedade de agricultura e manufatura (revolução neolítica). Concomitantemente ocorreu a ampliação dos desejos humanos, que passaram a ir além de comida e abrigo, incluindo toda a variedade de objetos que podiam ser feitos. A partir do surgimento destes dois fenômenos em nossa história, as sociedades se depararam com três questões importantes.

1. Quais bens e serviços devem ser produzidos com os recursos sociais?
2. Como devem ser produzidos?
3. Quem deve ficar com eles?

Tomada em seu conjunto, essas três perguntas constituem o problema da alocação de recursos (Hall e Lieberman, 2003)²⁴.

Existem algumas formas de tratar o problema de alocação de recursos. A mais comum delas é um sistema econômico, chamado de economia de mercado²⁵. Neste sistema os recursos são alocados segundo dois mecanismos, mercado e preço.

“Em uma economia de mercado (...) as pessoas tem ampla liberdade para fazer o que quiserem com os recursos que têm à sua disposição. No final das contas, os recursos são

²² Economia é uma das diversas ciências que procuram explicar e prever o comportamento humano. Ela difere de outras ciências comportamentais como psicologia, antropologia, sociologia e política pela sua ênfase no processo racional de tomada de decisão em condição de escassez. Os economistas em geral assumem que as pessoas possuem preferências e objetivos bem definidos e que eles alocam seus recursos limitados de forma a maximizar seu próprio bem estar de acordo com as suas preferências.

²³ Landsburg, S. E. (2011). Price Theory (Oitava edição ed.). South-western CENGAGE Learning.

²⁴ Hall, R. E., & Lieberman, M. (2003). Microeconomia princípios e aplicações. São Paulo, SP, Brasil: Pioneira Thomson Learning.

²⁵ Podemos definir mercado como o conjunto de compradores e vendedores que têm o potencial para negociar uns com os outros.

alocados em decorrência das tomadas de decisões individuais.” (Hall & Lieberman, 2003, p. 40)²⁶.

Segundo Dixit, et al (1999)²⁷ a economia é um sistema que lida com produção e consumo. Seus recursos primários, trabalho, terra e matéria prima, são utilizados na produção de bens e serviços, incluindo aqueles que são utilizados na produção de outros bens e serviços. O ponto final desta cadeia são os bens e serviços destinados aos consumidores finais. Este sistema se desenvolveu de forma distinta em locais e datas diferentes, porém, em qualquer local ou data foi necessário criar formas de conectar seus diversos componentes. Isso significa, uma série de instituições e arranjos que permitem aos fornecedores, produtores e compradores lidarem uns com os outros.

Como podemos responder as questões de alocação de recursos em uma economia de mercado?

1. Quais bens e serviços produzir?
 - Aqueles que os produtores decidirem produzir.
2. Como produzir?
 - Como os produtores optarem.
3. Quem fica com esses bens e serviços?
 - Quem escolher comprá-los.

Note que em uma economia de mercado as decisões para as três questões de alocação de recursos decorrem da decisão individual dos compradores e vendedores.

Ainda segundo Hall e Liberman (2003)²⁸, os mercados desempenham uma função primordial na alocação de recursos por forçarem os tomadores de decisão individuais a considerarem com muita cautela suas decisões de

²⁶ Hall, R. E., & Lieberman, M. (2003). Microeconomia princípios e aplicações. São Paulo, SP, Brasil: Pioneira Thomson Learning.

²⁷ Dixit, A., Skeath, S., & Reiley Jr., D. H. (1999). Games of Strategy. Nova York: Norton & Company, Inc.

²⁸ Hall, R. E., & Lieberman, M. (2003). Microeconomia princípios e aplicações. São Paulo, SP, Brasil: Pioneira Thomson Learning.

compra e venda. Isso devido a uma característica muito importante de todos os mercados, o preço²⁹ pelo qual um produto é comprado e vendido.

Uma questão natural: por que o mecanismo de mercado é uma forma eficiente de responder a questão de alocação de recursos? Quando os recursos são alocados pelo mercado e as pessoas precisam pagar por suas compras, elas são obrigadas a considerar o custo de oportunidade³⁰ de seus atos individuais. Com isso, os mercados podem gerar uma alocação sensata de recursos. (Hall e Lieberman, 2003)³¹

Outro aspecto dos sistemas econômicos é o funcionamento da propriedade sobre os recursos. O proprietário tem o direito de definir como o recurso será utilizado e receberá renda quando outros o utilizarem.

Quando a maior parte dos recursos de uma sociedade é de natureza privada, estamos no sistema capitalista.

		Alocação dos recursos	
		Mercado	Comando
Propriedade dos recursos	Privada	Capitalismo de mercado	Capitalismo de planejamento central
	Estatal	Socialismo de mercado	Socialismo de planejamento central

Figura 3 - tipos de sistemas econômicos

(Hall e Lieberman, 2003)³²

²⁹ Define-se preço como a quantidade de dinheiro que o comprador deve pagar ao vendedor por um produto ou serviço.

³⁰ Define-se como custo de oportunidade de qualquer escolha o valor da melhor alternativa sacrificada quando da prática de um ato.

³¹ Hall, R. E., & Lieberman, M. (2003). Microeconomia princípios e aplicações. São Paulo, SP, Brasil: Pioneira Thomson Learning.

³² Hall, R. E., & Lieberman, M. (2003). Microeconomia princípios e aplicações. São Paulo, SP, Brasil: Pioneira Thomson Learning.

Neste trabalho, estaremos restritos ao sistema econômico capitalismo de mercado.

No capitalismo de mercado os recursos são alocados indiretamente, como consequência de tomadas de decisões individuais; surge, portanto, a necessidade de investigarmos como os vendedores e os compradores decidem. Este estudo servirá de base para codificar o comportamento dos agentes em nosso software, aquele que será desenvolvido neste trabalho.

A ideia de que em um mercado a alocação de recursos é decorrente de um conjunto de decisões individuais nos remete ao conceito de que sistemas complexos são compostos por elementos autônomos interconectados. O conjunto das decisões dos compradores e vendedores gera as características macroscópicas do mercado (e.g. preço), o que em sistemas complexos chamamos de fenômenos emergentes. Isso sugere que um mercado pode ser considerado um sistema complexo.

Em microeconomia consideramos dois tipos de mercado quanto à competição. Os mercados de competição imperfeita – nos quais compradores ou vendedores individuais têm alguma influência sobre o preço do produto – e os mercados de competição perfeita (mercado competitivo) – nos quais compradores ou vendedores individuais têm de aceitar o preço como dado.

Em nosso modelo, iremos considerar que os agentes compradores e vendedores possuem autonomia para definir o preço. Através das interações entre eles espera-se constatar que essa liberdade será autorregulada pelo mercado. Se este for o caso, o preço de mercado deve surgir e ser observado como uma propriedade emergente do sistema.

Neste momento, vale ressaltar que, ao deixarmos os compradores e vendedores decidirem o preço individualmente abrimos mão de utilizar os modelos macroscópicos de oferta e demanda como uma ferramenta para inferir a quantidade produzida, ou ainda, para determinar o preço de mercado em equilíbrio.

Um dos modelos macroscópicos utilizado pelos economistas para avaliar uma economia como um todo em que diversos mercados estão atuando conjuntamente é a Teoria do Equilíbrio Geral. Porém, existem diversas críticas quanto a capacidade desta teoria descrever satisfatoriamente o comportamento agregado das economias e sociedades³³.

“Assim, as opiniões destes autores permitem que se perceba que o arcabouço teórico desenvolvido pela combinação do Individualismo Metodológico com o Método Axiomático, tal como se fez até o presente, não pode descrever conclusiva e univocamente o comportamento agregado das economias; ou seja, embora de valor incontestado e substancial pelas diversas contribuições que facultou à Teoria Econômica, o Modelo de Equilíbrio Geral não basta como recurso técnico para análise econômica do comportamento agregado das sociedades.” (Freitas, 2003, p. 9)³⁴

Isso nos motiva a buscar uma forma alternativa de modelar mercados e economias.

Segundo Mitchell (2009)³⁵, economias e mercados são sistemas complexos constituídos por pessoas ou empresas (componentes), comprando e vendendo bens. O comportamento coletivo é complexo, de difícil previsão, e emergente. Alguns economistas consideram as economias adaptativas. Em um nível microscópico as empresas e os indivíduos procuram ampliar sua lucratividade através do aprendizado do comportamento dos outros indivíduos. Considera-se que este comportamento, leva o mercado a um estado de equilíbrio. O processo pelo qual este equilíbrio é atingido se chama eficiência de mercado. A

³³ Para uma discussão detalhada sobre a Teoria do Equilíbrio geral e sua capacidade de descrever comportamento agregado de economias ver capítulo 1 de Freitas (2003)

³⁴ Freitas, G. G. (2003). Economia e Sistemas Complexos: Interações Sociais, Dinâmicas Emergentes e uma Análise da Difusão da Internet na Cidade de São Paulo. São Paulo: Dissertação de Mestrado.

³⁵ Mitchell, M. (2009). Complexity: a guided tour. Oxford: Oxford University Press.

este comportamento auto-organizado, o Economista Adam Smith se referiu como “A mão invisível do mercado”.³⁶

Um dos aspectos que é importante investigarmos em um mercado é a variação das curvas de oferta e demanda. Os principais fatores que deslocam a curva de demanda são:

- Variação da renda
- Variação da riqueza
- Variação do preço do bem substituto
- Variação de preço do bem complementar
- Expectativa de preço do bem
- Variação da população
- Gosto

Os principais fatores que deslocam a curva de oferta são:

- Variação no preço do insumo
- Lucratividade do bem alternativo
- Avanços de produtividade
- Alteração da capacidade produtiva
- Expectativa de preço do bem

É importante observar, que uma das propostas deste trabalho é estudar como o mercado se comportará frente às alterações da economia. Alterações essas, que são responsáveis pelo deslocamento das curvas de oferta e demanda, e que estão listadas acima. Especialmente: Variação da renda, variação da riqueza, expectativa do preço do bem, variação da população.

Surge a questão de como o agente (comprador ou vendedor) reage a cada um destes fatores. Por exemplo, um aumento da renda, em geral, leva a um aumento da demanda, ou seja, os compradores estarão dispostos a comprar mais, mas, o efeito pode ser a queda da demanda, se o comprador preferir comprar um bem substituto. Por sua vez, o vendedor poderá perceber este

³⁶ Para uma lista com diversas aplicações de sistemas complexos em economia ver Freitas (2003, p. 17 e 18)

movimento e se adaptar oferecendo um bem substituto, aumentando o preço do produto ou ainda reduzindo a produção do bem corrente. Observe que em economia um fenômeno ora pode ser causa ora causado por outro.

Neste breve exemplo, podemos observar que para um determinado fenômeno, diversas estratégias de reação são possíveis. Percebemos, na prática, que empresas diferentes tomam decisões estratégicas distintas e isso determina seu crescimento e desenvolvimento no mercado ou seu decréscimo e falência. Isso nos leva a concluir que um modelo de atuação dos agentes construído como um conjunto de regras rígidas não representará a realidade que percebemos no mercado. Aliás, o primeiro modelo que desenvolvemos (ver Apêndice 1) segue exatamente essa linha, é um conjunto de regras e processos que determina como o agente deve atuar. Ou seja, não há adaptabilidade.

Outra questão importante, é que nosso propósito é simular um mercado e não uma economia. Sabemos que compradores e vendedores interagem em diversos mercados de uma economia. Passa a ser fundamental, definirmos exatamente o que entendemos por mercado e como tratar, mesmo que de uma forma simples, resultados da interação do agente em outros mercados da economia.

Trataremos todos os aspectos não pertencentes ao mercado simulado como fatores externos. Dessa forma, por exemplo, um agente comprador possui uma renda determinada no início da simulação. Podemos entender que essa renda tem origem na sua atuação em um mercado qualquer, inclusive no mercado em estudo. Consequentemente, um aumento na renda do agente pode ocorrer como uma propriedade emergente do mercado ou como um fator externo. O fator externo, no caso, o aumento da renda, pode ser alterado pelo operador da simulação. Tal alteração será feita com o objetivo de estudar a reação do mercado a uma possível alteração na renda dos compradores.

Cabe a observação do Professor Luis Bettencourt (2013)³⁷ de que cidades, economias e mercados são mais como ecossistemas do que organismos. Organismos não evoluem; ecossistemas, cidades, economias e mercados sim.

Ainda segundo o Professor Luis Bettencourt, a economia é um sistema auto-organizado. Na verdade, pensar em sistemas auto organizados apareceu primeiro em economia do que em outras ciências. Quando Adam Smith, 1776, escreveu a Riqueza das Nações ele fala da Mão Invisível da Economia: apesar das pessoas perseguirem seu interesse individual emergem, de alguma forma, coisas que são boas para todos.

Podemos interpretar o que acontece com a economia como um tipo de aprendizado, similar ao aprendizado de pessoas e máquinas, um tipo auto-organizado de aprendizado, em que cada indivíduo processa a sua informação, realiza uma série de ações e envia sinais a outras pessoas através de crises, consumo, produção, oferta e demanda; as forças dessas ações alteram as variáveis percebidas por todos que por sua vez retroalimentam o sistema.

O que poderíamos chamar de Economia Complexa utiliza os métodos e ponto de vista de sistemas complexos em economia. Em sistemas complexos temos uma visão do mundo em que são consideradas regras de interação básicas entre os agentes, bem como, a captura dos elementos cruciais das relações entre eles.

Em economia pensamos nos diversos agentes econômicos (ou players) cuja atuação conjunta gera um resultado macroscópico contra o qual os agentes reagem. Podem, por exemplo, ser investidores em uma bolsa de valores comprando e vendendo ações. Este comportamento causa um ajuste de preço e os investidores, por sua vez reagem a este novo preço. Ora, como relatado no capítulo anterior, Sistemas Complexos são justamente sistemas com múltiplos elementos criando continuamente algum padrão ou resultado ao qual estes elementos reagem se adaptando. A economia é certamente um sistema altamente interativo e complexo. Visão esta que data desde a origem da

³⁷ Bettencourt, L. (2013). Complexity Explorer: Guest Spot. Disponível em: <http://www.complexityexplorer.org/online-courses/1/segments/269> Data de acesso 2/6/2013.

economia. No entanto, houve mudanças, e a ideia principal dos estudiosos de economia passou a ser matematizá-la. Esforço este que exigiu muitas simplificações. A economia passou a ser considerada uma máquina, em que as partes trabalham juntas para obter um comportamento em equilíbrio. Consequentemente, a ênfase passou a ser no equilíbrio. Atualmente estamos nos distanciando novamente deste conceito. As pessoas estão tratando a economia de uma forma orgânica, quase biológica. Percebemos que há novas oportunidades surgindo constantemente, como em uma biosfera com novas espécies surgindo o tempo todo. Estamos tratando, neste estudo a economia como um sistema complexo adaptativo. Assumimos a economia como um sistema em que novas oportunidades surgem frequentemente, gerando novas estruturas as quais a própria economia reage. Essas reações, por sua vez, trazem novas oportunidades. Portanto, a economia está evoluindo. Está se comportando basicamente como uma ecologia.

Vale a pena destacar que Charles Darwin utilizou idéias da economia para descrever a Biologia e agora utilizamos idéias da Biologia para descrever a economia. Os agentes da economia, pessoas, empresas e assim por diante, estão constantemente explorando novas oportunidades, novas estratégias, novas formas de fazer previsões, novas formas de pensar, novas formas de agir.

Estamos, então, pensando em pessoas desenvolvendo uma nova estratégia em uma ecologia de estratégias. Este ponto de vista trata a economia como um sistema em constante evolução, mudança e adaptação. Economia complexa significa que estamos tratando as interações adequadamente e não observando um possível resultado de equilíbrio. Quando observamos os agentes da economia se adaptando a uma situação que eles criaram isto pode ou não levar a um estado de equilíbrio. Tratamos a economia como um sistema aberto em que os agentes estão constantemente criando oportunidades e atuando em função delas, o que altera a situação (ou o cenário) novamente. Se considerarmos a economia como algo estático, em equilíbrio, teremos o estudo da economia da forma tradicional que é uma simplificação que permite uma vasta gama de análises. Mas, se quisermos generalizar e considerar como algo que está em constante evolução e adaptação, então precisamos utilizar a

Economia Complexa que generaliza a economia tradicional. A razão pela qual podemos fazer isso é que hoje possuímos as seguintes ferramentas essenciais para este tipo de análise: processos estocásticos não lineares, estatística, sistemas dinâmicos e computação. Essas ferramentas, em conjunto com outras integram o campo de conhecimento que hoje chamamos Sistemas Complexos. Isso nos permite especificar os problemas que queremos tratar em economia como modelos, utilizar estes modelos como um laboratório e observar o que ocorre. Não é possível prever exatamente o que ocorrerá, porém o interessante é observar as estruturas, padrões e transições que decorrem (ou emergem) do modelo.

Para definirmos, o que é mercado, vamos recorrer ao Marketing³⁸.

Segundo Lambin (2000)³⁹, na base da economia de mercado encontram-se quatro ideias centrais:

- *O que os indivíduos buscam são experiências gratificantes; é a procura do interesse pessoal que os incita a produzir e trabalhar. Esta procura é o motor do crescimento, do desenvolvimento individual e determina, em definitivo, o bem-estar geral.*
- *O que é gratificante advém das escolhas individuais que variam segundo os gostos, as culturas, os sistemas de valor, etc.*
- *É através da troca voluntária e concorrencial que indivíduos e organizações poderão alcançar da melhor forma seus objetivos.*
- *Os mecanismos da economia de mercado apoiam-se no princípio da liberdade individual e em particular no princípio da soberania do comprador.*

Utilizando este conceito, vamos definir mercado como o conjunto de produtos (bens e serviços) que tem como objetivo prover a experiência gratificante que o indivíduo (comprador/consumidor) busca. Incluindo produtos semelhantes e substitutos.

³⁸ Marketing é a teoria das escolhas individuais fundadas no princípio de soberania do comprador (Lambin, 2000).

³⁹ Lambin, J.-J. (2000). Marketing Estratégico. Lisboa, Portugal: McGraw-Hill de Portugal Ltda.

Nesta definição, o que determina o mercado é o resultado final que seus produtos oferecem ao comprador.

Segundo Paul Peter & Olson (2009)⁴⁰, os consumidores possuem diversos níveis de conhecimento sobre um produto. Variando do mais abstrato ao mais concreto. São eles:

- Classe de produto
- Espécie de produto
- Marca
- Modelo

Isso deixa claro, que no presente trabalho, a espécie de produto define o mercado. Os diversos vendedores possuem marcas e modelos que concorrem entre si no mercado.

Sintetizando essas definições, temos que:

Mercado é um conjunto de vendedores e compradores com potencial de negociar entre si marcas e modelos de uma determinada espécie de produto com objetivo de prover ao comprador a experiência (prazer) que ele procura.

⁴⁰ Paul Peter, J., & Olson, J. C. (2009). Comportamento do consumidor e estratégia de marketing (Oitava ed.). (B. Honorato, Trad.) São Paulo, SP, Brasil: McGraw-Hill Interamericana do Brasil Ltda.

2. Modelagem

“Essentially, all models are wrong, but some are useful”
(George E. P. Box)

A utilização de modelos e simulação por computador para estudar sistemas sociais é uma ideia recente. Como relatam Gilbert e Troitzsch (2005)⁴¹ os primeiros exemplos desta abordagem datam da década de 1960, porém, o uso se tornou frequente a partir da década de 1990. Mas, qual é a vantagem de utilizarmos modelos?

Utilizamos modelos para nos auxiliar a pensar mais claramente sobre um problema ou uma questão; para compreender e utilizar dados; para tomar decisões; para compreender padrões; para prever pontos específicos (situações limites); para identificar outros aspectos de um problema; para orientar a busca por dados e informações;

Estes dados e informações nos auxiliam a aprimorar o modelo que por sua vez nos ajuda a compreender melhor o mundo (ver Figura 4).

⁴¹ Gilbert, N., & Troitzsch, K. G. (2005). Simulation for the social scientist. Nova York: Open University Press.

Figura 4 - Informação, modelo e mundo

Um modelo é uma representação simplificada da realidade que tem como objetivo nos ajudar a compreender como o mundo real funciona. Um modelo computacional é uma representação abstrata da realidade. Sabe-se que um bom modelo deve ser o mais simples possível para atender o seu objetivo, contando apenas com os detalhes necessários para descrever o fenômeno estudado.

Miller & Page (2007)⁴² apresentam uma abordagem mais formal de modelo. Nosso objetivo é modelar o mundo real em intervalos de tempo discretos. Assumimos que o mundo real é constituído por diversos estados S e que existe uma função $F(S)$ que mapeia a evolução de cada estado do tempo t para o tempo $t+1$. Essa função é desconhecida para quem está elaborando o modelo devido à enorme quantidade de estados permitidos possíveis. Portanto, para fazer uma previsão a respeito do mundo real, utilizamos uma função $E(S)$ que mapeia os diversos estados do mundo real em uma quantidade menor de estados importantes para o estudo em questão. Essa função nos permite simplificar o mundo real em poucos estados e em uma condição que podemos utilizar uma função $f(s)$ para fazer previsões no modelo. Finalmente, podemos

⁴² Miller, J. H., e Page, S. E. (2007). Complex Adaptive Systems: An introduction to computational models of social life. Princeton University Press.

mapear de volta as previsões do modelo ao mundo real por meio da função $E(S)$ – ver figura 5.

Figura 5 - Um modelo formal sobre modelos

(Miller e Page, 2007)

Em sistemas complexos, devemos lembrar que, como diz Anderson (1972)⁴³, “The whole becomes not only more than, but very different from the sum of its parts.”⁴⁴ Essa hipótese implica no surgimento de um sistema derivado do sistema inicial que opera em um nível mais alto do que este (emergência). Passa, então, a ser importante para o estudo de sistemas complexos, o estudo da função X (ver Figura 6) que mapeia o sistema inicial em sistemas emergentes.

⁴³ Anderson, P. W., Arrow, K. J., & Pines, D. (1988). The Economy as an Evolving Complex System. Westview Press.

⁴⁴ O todo não se torna apenas maior do que, mas, muito diferente das somas das partes.

Figura 6 - A modelagem de um sistema complexo

(Miller & Page, 2007)

Em resumo, segundo Miller e Page (2007)⁴⁵ se pudéssemos simplesmente elaborar as simplificações corretas no modelo e dessa forma compreender um sistema complexo, então, o mundo ao nosso redor (incluindo as ciências sociais) se comportaria como física de partículas (hipótese reducionista). Porém, em sistemas complexos, isso não é possível. Por isso a necessidade da função X mencionada acima. Essa impossibilidade decorre de que a agregação dos componentes de um sistema complexo é não trivial e gera um comportamento em nível superior, que chamamos de fenômeno emergente.

Sistemas multiagentes

⁴⁵ Miller, J. H., e Page, S. E. (2007). Complex Adaptive Systems: An introduction to computational models of social life. Princeton University Press.

Sistemas multiagentes⁴⁶ é uma técnica computacional de desenvolvimento de software em que diversos componentes (agentes) são codificados para operar de forma independente buscando atingir um objetivo dado pelo programador. Essa característica faz com que esta seja uma ótima técnica para modelar sistemas complexos.

De acordo com Weiss (1999)⁴⁷, a utilização de sistemas multiagentes é apropriada para modelar um fenômeno quando:

1. O ambiente é aberto, ou altamente dinâmico, incerto e complexo.
2. Agentes são uma metáfora natural. Diversos ambientes (incluindo organizações, ambientes comerciais ou competitivos) são naturalmente modelados como uma sociedade de agentes cooperando ou competindo uns com os outros.

Um mercado e uma economia, atendem plenamente as condições 1 e 2 acima, portanto, concluímos que sistemas multiagentes são uma forma apropriada de modelar o mercado.

Weiss (1999)⁴⁵ define um agente como um sistema computacional capaz de agir de forma independente para atingir seu objetivo de projeto. Ou seja, os agentes concluem o que deve ser feito por si mesmos, em vez de definirmos explicitamente o que eles devem fazer em cada condição.

Um sistema que possui diversos agentes interagindo é chamado de sistema multiagentes. Em geral, os diversos agentes possuem objetivos e características diferentes. Para que o agente possa ser bem sucedido e atinja seu objetivo ele deve interagir com outros agentes, trocando informações, cooperando e negociando.

Os agentes estão imersos em um meio ambiente, em nosso caso o mercado. Neste ambiente, os agentes devem perceber (receber o feedback do ambiente), decidir (o que deve fazer) e agir. Para isso eles possuem os seguintes componentes:

⁴⁶ Também chamado de ABM – Agent Based Modeling

⁴⁷ Weiss, G. (1999). Multiagent Systems - A modern approach to distributed artificial intelligence. MIT Press.

- Sensores – É o que permite que o agente perceba, veja, ou identifique as informações do meio ambiente.
- Atuadores – São os mecanismos que o agente tem para executar ações no meio ambiente.
- Lógica de decisão – Modo de decisão do agente.

Figura 7 - O agente interagindo com o meio ambiente

(Russell e Norvig, 1995)

Um sistema multiagentes, ou seja, uma sociedade de agentes é uma comunidade de entidades autônomas em que cada um percebe, decide e atua por conta própria de acordo com seu interesse, podendo colaborar com outros para atingir um objetivo comum. Como atingir uma coordenação entre os agentes é, em geral, uma tarefa difícil e de uma maneira ampla, ainda um mistério. (Sun, 2008)⁴⁸

Sistemas multiagentes são um meio de pensar a relação micro-macro; encorajar o foco no processo e na dinâmica; enfatizar a geografia e a rede; auxiliar na identificação de mecanismos de causa e efeito.

Modelando sistemas sociais

Segundo Gilbert (2008)⁴⁹, existem duas abordagens gerais para o estudo do comportamento social:

⁴⁸ Sun, R. (2008). Cognition and multi-agent interaction: from cognitive modeling to social simulation. Cambridge: Cambridge University Press.

⁴⁹ Gilbert, N. (2008). Agent-based models. Sage Publications, Inc.

- Coletar dados via observação e pesquisa, seguindo de sua análise estatística e matemática, eventualmente estimando um modelo (estatístico/matemático);
- Partir de uma base teórica a respeito de algum comportamento, construir um modelo e simulá-lo com suas dinâmicas para podermos compreender melhor sua complexidade.

A maioria das técnicas utiliza a primeira abordagem. Sistemas multiagentes é uma das poucas técnicas que se utilizam da segunda abordagem. Para exemplificar a importância da utilização de modelos baseados em agentes, vale a pena citarmos o famoso modelo de (Schelling, 1971)⁵⁰. Neste modelo extremamente simples, pessoas eram arranjadas em uma grade como um tabuleiro de xadrez e possuíam uma única regra de comportamento: ela se mudaria de local caso um determinado percentual de seus vizinhos não fossem da mesma classe socioeconômica ou racial que ela. Schelling construiu este modelo para tentar entender como os bairros se organizam em uma enorme segregação racial ou de classe econômica. O que é surpreendente e contra intuitivo neste modelo é que ele nos mostra que o padrão macroscópico de segregação é gerado não por uma população extremamente intolerante mas, por uma população muito tolerante. O modelo mostra, que se a população fosse extremamente intolerante, não observaríamos o padrão de segregação macroscópico, observaríamos, de fato, que não chegaríamos a uma situação de equilíbrio. As pessoas passariam a se mudar o tempo todo. Isso ilustra a relação entre comportamentos microscópicos das pessoas gerando padrões sociais macroscópicos. Interações em nível individual geram padrão global.

⁵⁰ Schelling, T. C. (1971). Dynamic Models of Segregation. *Journal of Mathematical Sociology*, pp. 143-186.

Figura 8 - Modelo de Schelling de segregação

Sistemas Sociais são:

- Não-lineares
- Multinível
- Emergentes
- Abertos

Além disso apresentam emergência de segunda ordem e construção social. Isso não existe em sistemas físicos e biológicos (apenas em sistemas sociais). Sistemas sociais são complexos, para entendê-los precisamos de métodos computacionais.

Modelando pessoas:

Diferente de sistemas físicos, pessoas pensam e falam, são “thinking particles”

Pessoas são atores distintos que possuem propósitos. O professor Scott Page sugere 3 formas de modelarmos pessoas:

- Forma 1 – Pessoas como agentes racionais. Nesta forma assumimos que as pessoas otimizam (sempre). Apesar de ser não realista pode funcionar como uma boa referência. Partimos do princípio de que as pessoas tem algum objetivo e que elas otimizam este objetivo.
- Forma 2 – Comportamental. Pesquisamos e compilamos todo um conjunto de dados sobre como as pessoas tomam decisões. Tentamos,

a partir daí, modelar os agentes o mais próximo possível ao comportamento das pessoas reais.

- Forma 3 – Regras. Em vez de nos aprofundarmos na psicologia das pessoas (comportamental), assumimos apenas que as pessoas seguem regras e modelamos estas regras.

Pessoas como agentes racionais (forma 1)

Nesta forma assumimos que existe uma função objetivo. Trata-se de uma função matemática que o agente busca maximizar (ou minimizar). Por exemplo: Maximizar a felicidade, maximizar a utilidade, maximizar o faturamento ou marketshare, maximizar o número de votos. Dado o objetivo assumimos que o agente tenta otimizá-lo, ou seja, desempenhar as ações da melhor forma para atingir os objetivos. Por exemplo, tomamos as decisões que nos fazem o mais feliz possível, desenvolvemos os produtos que geram o maior faturamento, tomamos as decisões políticas que geram a maior quantidade de votos.

Pessoas como agentes comportamentais (forma 2)

Nesta forma assumimos que as pessoas não são racionais. Observamos as pessoas e como elas tomam decisões. Busca-se, então, codificar o comportamento observado. A grande crítica desta abordagem é que as pessoas são sempre diferentes uma das outras e qualquer pesquisa ou observação não será capaz de gerar dados que expliquem o comportamento de todos.

Pessoas seguem regras (forma 3)

Nesta forma assumimos que as pessoas seguem regras. Não geramos um modelo sofisticado de como as pessoas decidem, apenas assumimos que elas seguem regras. Por exemplo, no modelo de schelling assumimos que as pessoas se mudam quando os vizinhos se tornam muito diferentes delas.

Desta forma consideramos razoável utilizar a modelagem por agentes para simular um mercado. A modelagem por agentes nos permite modelar o

comportamento de cada agente individualmente, neste caso compradores e vendedores, bem como, as interações entre eles (o processo de compra e venda), avaliar e estudar o resultado. Optamos por modelar os compradores como pessoas que seguem regras (forma 3) acima.

Cabe destacar, que cientistas sociais utilizam (de forma crescente) sistemas baseados em agentes para desenvolver hipóteses, suportar resultados matemáticos e tentar entender comportamentos. A observação de como regras de comportamento se traduzem em comportamento agregado é central neste trabalho. Reforçamos que o processo de agregação em sistemas complexos é, muitas vezes, contraintuitivo, agentes podem estar fazendo A no nível micro e estarmos observando B no nível macro. Decorre daí uma orientação importante no desenvolvimento deste tipo de modelo: buscar o modelo mais simples possível para o funcionamento dos agentes e conectá-los de forma coerente.

Para desenvolvermos o modelo precisamos buscar uma linguagem de computação preparada para o desenvolvimento de sistemas multiagentes. As principais ferramentas para este tipo de desenvolvimento de software estão listadas na tabela em sequência:

	Swarm	Repast	Mason	NetLogo
Tipo de licença	GPL	GPL	GPL	Gratuita de código fechado
Documentação	Inregular	Limitada	Razoável	Boa
Base de usuários	Pequena	Grande	Média	Grande
Linguagem para modelagem	Java e objetc-C	Java e Python	Java	NetLogo
Velocidade de execução	Moderada	Rápida	Muito rápida	Moderada
Suporte para interface gráfica	Limitado	Bom	Bom	Muito bom
Suporte a experimentação sistemática	Não	Sim	Sim	Sim
Facilidade de programação	Ruim	Moderada	Moderada	Boa
Facilidade de instalação	Ruim	Moderada	Moderada	Boa

Figura 9 - Comparação das principais ferramentas de desenvolvimento de sistemas multiagentes
Adaptado de Gilbert (2008, p. 50)⁵¹

Devido a facilidade de uso, boa documentação, capacidade gráfica e grande base de usuários optamos por utilizar a ferramenta NetLogo. O lado negativo

⁵¹ Gilbert, N. (2008). Agent-based models. Sage Publications, Inc.

desta escolha é que o NetLogo, apesar de gratuita não possui código aberto, o que nos impede de fazer alguma modificação na ferramenta que por ventura possa ser necessária. Além disso, caso o modelo demande muito processamento computacional poderemos experimentar problemas de desempenho ao utilizar NetLogo.

Em resumo, utilizaremos a ferramenta NetLogo para desenvolver e simular um modelo baseado em agentes de um sistema complexo que chamamos mercado.

3. Metodologia

Weaver (1948)⁵² foi um dos primeiros autores a utilizar o termo complexidade. Em seu artigo sobre ciência e complexidade ele explica que a ciência lida com três grupos distintos de problemas: problemas da simplicidade, problemas da complexidade desorganizada e problemas da complexidade organizada.

Speaking roughly, it may be said that the seventeenth, eighteenth and nineteenth centuries formed the period in which physical science learned variables, which brought us the telephone and the radio, the automobile and the airplane, the phonograph and the moving pictures, the turbine and the Diesel engine, and the modern hydroelectric power plant⁵³.

(...)

To sum up, physical science before 1900 was largely concerned with two-variables problems of simplicity; whereas the life sciences, in which these problems of simplicity are not so often significant, had not yet become highly quantitative or analytical in character⁵⁴.

Note que a ciência do século XIX lidou principalmente com os problemas da simplicidade, o que levou ao grande desenvolvimento das ciências físicas e engenharias. Do ponto de vista do método científico a utilização de experimentos foi fundamental nesta época.

⁵² Weaver, W. (1948). Science and complexity. American Scientist, 36, 536-544.

⁵³ De forma grosseira podemos dizer que os séculos XVII, XVIII e XIX compreendem o período em que as ciências físicas aprenderam as variáveis que nos trouxeram o telefone e o rádio; o automóvel e o avião; a vitrola e o cinema; e o motor Diesel e a moderna usina hidroelétrica.

⁵⁴ Sumarizando, as ciências físicas antes de 1900 estavam dedicadas a problemas da simplicidade com poucas variáveis, enquanto as ciências biológicas, em que estes problemas não têm tanta relevância, ainda não tinham se tornadas fortemente analíticas ou quantitativas.

Subsequent to 1900 and actually earlier (...) the physical sciences developed an attack on nature of an essentially and dramatically new kind. Rather than study problems which involved two variables or at most three or four, some imaginative minds went to the other extreme, and said: "Let us develop analytical methods which can deal with two billion variables." (...) They developed powerful techniques of probability theory and statistical mechanics to deal with what may be called problems of disorganized complexity⁵⁵.

(...)

Indeed, the whole question of evidence and the way in which knowledge can be inferred from evidence are now recognized to depend on these same statistical ideas, so that probability notions are essential to any theory of knowledge itself⁵⁶.

Próximo a 1900, o desenvolvimento da teoria da probabilidade e da estatística nos permitiu tratar os problemas da complexidade desorganizada. Essas teorias nos permitiram fundamentar a questão da evidência e inferência tão importantes para o método científico.

This new method of dealing with disorganized complexity, so powerful an advance over the earlier two-variable methods, leaves a great field untouched. One is tempted to over simplify, and say that scientific methodology went from one extreme to the other – from two variables to an astronomical number – and left untouched a great middle region. The importance of this middle region, moreover,

⁵⁵ Após e mesmo antes de 1900 as ciências físicas desenvolveram um novo ataque contra a natureza de um tipo novo e radicalmente diferente. Em vez de estudar problemas que envolvem duas, três ou quatro variáveis; algumas mentes criativas foram para o outro extremo e disseram: vamos desenvolver técnicas analíticas para lidar com dois bilhões de variáveis. Elas desenvolveram técnicas probabilísticas e de mecânica estatística poderosas para lidar com os problemas da complexidade desorganizada.

⁵⁶ De fato, toda a questão da evidência e a forma pela qual o conhecimento é inferido a partir das evidências é agora reconhecida como decorrente destas mesmas ideias estatísticas. Portanto, noções de probabilidade são essenciais a qualquer teoria do conhecimento.

does not depend primarily on the fact that the number of variables involved is moderately large compared to two, but moderately small compared to the number of atoms in a pinch of salt. The really important characteristics of the problems of this middle region, which science has as yet little explored or conquered, lies in the fact that these problems, as contrasted with the disorganized situations with which statistics can cope, shows the essential feature of organization. In fact, one can refer to this group of problems as those of organized complexity⁵⁷.

They are all problems which involve dealing simultaneously with a sizable number of factors which are interrelated into an organic whole. They are all, in the language here proposed, problems of organized complexity⁵⁸.

Finalmente, Weaver (1948)⁵⁹ nos aponta que a ciência do final do século XX deve lidar com problemas da complexidade organizada, ou como chamamos hoje, sistemas complexos. Veremos, que esta categoria de problemas, também agrega novos componentes ao método científico. Entre as questões que tratamos nesta categoria de problemas, temos especialmente questões sociais, econômicas e de mercado.

One what does the price of wheat depend? This too is a problem of organized complexity. A very substantial number of relevant variables are involved here, and they are all

⁵⁷ Este novo método de lidar com a complexidade desorganizada, apesar de ser um poderoso avanço sobre o método anterior deixa uma grande área intocada. Somos tentados a simplificar em excesso ao dizer que a metodologia científica foi de um extremo ao outro deixando o meio do caminho intocado. A importância desta região central não está relacionada primariamente ao número de variáveis. A verdadeira importância está no fato de que estes problemas em comparação com os problemas de complexidade desorganizada possuem uma característica essencial: organização. Portanto, nos referíamos a essa classe de problemas como complexidade organizada.

⁵⁸ Todos estes problemas requerem lidarmos com um número significativo de fatores que estão interrelacionados em um todo orgânico. Eles são todos, na linguagem proposta aqui, problemas de complexidade organizada.

⁵⁹ Weaver, W. (1948). Science and complexity. American Scientist, 36, 536-544.

interrelated in a complicated, but nevertheless not in helter-skelter fashion⁶⁰.

How can currency be wisely and effectively stabilized? To what extent is it safe to depend on the free interplay of such economic as supply and demand? To what extent must systems of economic control be employed to prevent the wide swings from prosperity to depression? These are also obviously complex problems, and they too involve analyzing systems which are organic wholes, with their parts in close interrelation⁶¹.

Mas, como lidar que este tipo novo de problemas?

These problems – and a wide range of similar problems in the biological, medical, psychological, economic, and political sciences – are just too complicated to yield to the old nineteenth-century techniques which were so dramatically successful on two-, three-, or four-variables problems of simplicity. These new problems, moreover, cannot be handled with the statistical techniques so effective in describing average behavior in problems of disorganized simplicity⁶².

These new problems, and the future of the world depends on many of them, requires science to make a third great advance, and advance that must be even greater than the

⁶⁰ Do que depende o preço do trigo? Este, também é um problema de complexidade organizada. Um número substancial de variáveis possuem um papel relevante nessa questão e elas estão emaranhadas de uma forma complicada porém, não caótica ou confusa.

⁶¹ Como uma moeda pode ser inteligentemente estabilizada? Até que ponto é seguro depender de um jogo livre entre oferta e demanda? Até que ponto devemos implantar um sistema de controle econômico para prevenir mudanças bruscas de prosperidade para depressão? Todos estes problemas são de fato complexos e envolvem analisar sistemas que são orgânicos com suas partes funcionando em constante inter-relação.

⁶² Estes problemas e uma gama de problemas similares em biologia, medicina, psicologia, economia e política são muito complicados para dependerem da velhas técnicas do século XIX que foram tão bem sucedidas ao tratar os problemas da simplicidade com duas, três ou quatro variáveis. Além disso, estes novos problemas não podem ser tratado com técnicas estatísticas tão eficazes em descrever o comportamento médio em problemas de complexidade desorganizada.

*nineteenth-century conquest of problems of simplicity or the twentieth-century victory of problems of disorganized complexity. Science must, over the next 50 years, learn to deal with these problems of organized complexity*⁶³.

Quais são as novas ferramentas e métodos para lidar com esta categoria de problemas da complexidade organizada? A primeira evidência relatada por (Weaver, 1948) que aponta na direção de sermos capazes de tratar este tipo de problema foi o desenvolvimento dos computadores eletrônicos que permitem armazenar uma vasta quantidade de informação e realizar um grande volume de operações sobre elas. Estes são os ingredientes essenciais para realizarmos simulações.

Popper (1959)⁶⁴ descreve o papel de um cientista.

Um cientista, seja teórico ou experimental, formula enunciados ou sistemas de enunciados e verifica-os um a um. No campo das ciências empíricas, para particularizar, ele formula hipóteses ou sistemas de teorias, e submete-os a teste, confrontando-os com a experiência, através de recursos de observação e experimentação.

No método científico, a simulação se interpõe justamente entre a elaboração da teoria e a observação / experimentação. Muitas vezes, principalmente em sistemas complexos é muito difícil visualizar todos os comportamentos que decorrem de uma teoria. Além disso, especialmente em sistemas sociais, o experimento e observação podem ser de difícil execução. Podemos definir simulação como o processo de alimentar um modelo com informações de entrada adequadas e observar as informações de saída correspondentes.

Conforme explica o professor Jean-Philippe Rennard (2007)⁶⁵, o valor da simulação para o método científico está fundamentalmente em sua capacidade

⁶³ Estes novos problemas (o futuro do mundo depende de muito deles) requer que a ciência faça um terceiro grande avanço. Este avanço deve ser maior do que conquista dos problemas da simplicidade do século XIX e da vitória dos problemas da complexidade desorganizada do século XX. A ciência precisa, nos próximos 50 anos, aprender a lidar com os problemas da complexidade organizada.

⁶⁴ Popper, K. (1959). A lógica da pesquisa científica. Editora da Universidade de São Paulo.

de provar, prever e descobrir. Utilizar a simulação para prever nos auxilia a testar, validar e aprimorar o modelo que ela implementa. Além disso, a simulação pode ser uma ferramenta de descoberta, nos mostrando por exemplo, que comportamentos complicados podem originar-se de regras muito simples. A simulação, neste caso nos permite entender melhor os princípios e relações entre os elementos do modelo.

É importante destacar o caráter iterativo entre modelagem e simulação. Como a simulação nos faz compreender melhor o modelo é natural utilizarmos este entendimento para melhorar o modelo. O modelo aprimorado, por sua vez, será submetido a uma nova simulação que poderá ser utilizada para aprimorar ainda mais o modelo. Note que o modelo e, portanto, a simulação, representam algum aspecto da realidade. Existe um ciclo natural em desenvolver modelos por agentes que capturam algum realismo e subsequentemente se afastar, buscando modelos mais simples que ainda capturam as características essenciais do fenômeno. Quando entendermos que o modelo e simulação estiverem suficientemente robustos, podemos realizar experimentos e comparar os resultados gerados pela simulação com os obtidos com a experiência. Neste sentido, no método científico a simulação é executada após a formulação de hipóteses ou teorias; e antecede o experimento.

Podemos dizer que em função da ênfase dada à prova matemática, economistas podem não considerar o potencial da simulação e, pela mesma razão, tendem a estilizar modelos que falham em considerar aspectos chaves do mundo real. O desenvolvimento e a simulação de modelos baseados em agentes não é um substituto temporário de uma matemática avançada, porventura inexistente: é um elemento essencial para muitas pesquisas científicas. A economia faz uso extenso de matemática avançada. A questão que se coloca é se a matemática que utilizamos é suficiente para capturar as características essenciais do mundo (econômico).

⁶⁵ Rennard, J.-P. (2007). The Handbook of Research on Nature-Inspired Computing for Economics and Management. Hershey, PA: Idea Group Reference.

4. Modelos Propostos

4.1 O primeiro modelo

Para definir nossos agentes e o meio ambiente em que interagem vamos utilizar o processo de identificação e análise de um mercado em quatro etapas proposto por Hall e Lieberman (2003)⁶⁶:

Etapas 1 – Caracterização do mercado: Qual o mercado que melhor atende o problema objeto da análise e quais são os tomadores de decisão (compradores e vendedores) que interagem no mercado.

- O bem ou serviço negociado
 - Será uma espécie de produto chamada de P.
 - Essa espécie de produto possuirá 3 atributos de valor, $P(a_1, a_2, a_3)$ que servirão para diferenciar os modelos e marcas no mercado.
 - A durabilidade do bem é um parâmetro do mercado definido como condição inicial da simulação.
- Os tomadores de decisão
 - Vendedores (empresas)
 - Compradores (pessoas)
- Natureza da competição
 - Competição imperfeita (compradores e vendedores tem liberdade para definir o preço)
 - Oligopólio.

⁶⁶ Hall, R. E., & Lieberman, M. (2003). Microeconomia princípios e aplicações. São Paulo, SP, Brasil: Pioneira Thomson Learning.

No presente trabalho estamos, portanto, considerando um sistema econômico de capitalismo de mercado, um mercado de competição imperfeita e um oligopólio varejista.

Etapa 2 – Identificação de metas e restrições: quais metas os tomadores de decisão devem cumprir e quais restrições os limitam.

Os vendedores devem maximizar seu lucro e os compradores sua utilidade e experiência de uso.

Os vendedores estão limitados pela sua condição de caixa e capacidade produtiva. Os compradores, por sua vez, estão limitados por sua renda e riqueza.

Etapa 3 – Encontrar o equilíbrio: descrever as condições necessárias para o equilíbrio no mercado e um método de determinação deste equilíbrio.

Etapa 4 – O que acontece quando as coisas mudam: explorar como eventos afetam o equilíbrio de mercado.

As etapas 3 e 4 serão geradas a partir da interação dos agentes no modelo, bem como a imposição de fatores externos pelo operador da simulação.

Iremos agora descrever com mais detalhes o meio ambiente e os agentes do modelo proposto.

4.1.1 Meio ambiente – o mercado

Para definir o mercado que estaremos simulando, precisamos das seguintes condições iniciais.

- Do mercado em estudo:
 - Número de vendedores
 - Número de compradores
 - Durabilidade do bem
- Da economia

- Taxa de entrada de compradores no mercado
- Taxa de entrada de vendedores no mercado
- Taxa de aumento (ou redução) na renda dos compradores
- Taxa de aumento (ou redução) no preço dos insumos

Note que estes parâmetros têm como objetivo calibrar o modelo com as condições de um mercado real, permitindo assim submeter este mercado a diversos cenários simulados e estudar a reação dos agentes.

4.1.2 Vendedor

O vendedor deve avaliar o meio-ambiente, estimar sua evolução e decidir o quanto produzir e vender. A partir daí, cabe à operação de marketing, vendas e produção atuar de forma a garantir que as vendas se realizem o mais próximo do planejado. Para isso utiliza-se de campanhas publicitárias, turnos de produção, estoque, aquisição de insumos, etc.

A visão estratégica do vendedor pode ser dividida em duas partes: a análise, que trata do processo de coleta de informações, a escolha do modelo de previsão e a projeção do mercado propriamente dita; e a tomada de decisão, ou seja, a definição das ações estratégicas que seguirão: permaneceremos no mercado ou não, manteremos o produto ou o descontinuaremos, o quanto devemos investir para o desenvolvimento de novos produtos, o quanto devemos investir para aumentar a produtividade da operação da empresa, como podemos influenciar as 5 forças de Porter, etc.

A partir daí, cabe à operação da empresa executar essas tarefas de forma que a estratégia se realize. Adicionalmente, o meio ambiente está em constante mudança e a empresa deve aproveitar as oportunidades que se apresentam, bem como mitigar eventuais riscos.

O agente vendedor tem como objetivo maximizar seu lucro. Outros objetivos podem ser utilizados:

- Maximizar a participação de mercado
- Maximizar a taxa interna de retorno
- Maximizar o valor da empresa

As seguintes condições iniciais precisam ser estabelecidas

- Caixa inicial do vendedor
- Estoque inicial do vendedor
- Atributos do produto desenvolvido pelo vendedor

Essas condições variam para cada vendedor, por tanto, serão distribuídas entre os diversos agentes seguindo uma distribuição de probabilidade. Inicialmente será utilizada a distribuição normal.

As seguintes informações são detectadas (i.e. percebidas) pelos vendedores

- Participação no mercado
- Quantidade de produtos vendidos pelo vendedor
- Quantidade de produtos vendidos por todos os vendedores
- Lucro apurado

Os vendedores podem atuar no mercado da seguinte forma

- Variar (aumentar ou diminuir) o investimento em marketing/vendas
- Variar a capacidade de produção
- Variar o investimento em P&D
 - Desenvolver outro produto (com outro conjunto de atributos de valor)
 - Aumentar a produtividade
- Variar o preço do produto

4.1.3 Comprador

Neste modelo varejista o comprador é uma pessoa física, um consumidor. Hawkins, Mothersbaugh e Best (2007)⁶⁷ sugerem um modelo conceitual sobre o comportamento do consumidor (Figura 10).

“Os indivíduos desenvolvem uma autoimagem e subsequentes estilos de vida com base em uma variedade de influências internas (principalmente psicológicas e físicas) e externas (principalmente sociológicas e demográficas). Essa autoimagem e esses estilos de vida geram necessidades e desejos, muitos dos quais exigem decisões de consumo para satisfazê-los. Quando os indivíduos se deparam com situações relevantes, o processo de decisão do consumidor é ativado. Esse processo e as experiências e aquisições que produz, por outro lado, influenciam a autoimagem e o estilo de vida do consumidor ao afetar suas características internas e externas.” (Hawkins, Mothersbaugh e Best, 2007, p. 19)⁶⁵

⁶⁷ Hawkins, D. I., Mothersbaugh, D. L., & Best, R. J. (2007). Comportamento do consumidor: construindo a estratégia de marketing (Décima ed.). Rio de Janeiro: Elsevier.

Figura 10 - Modelo de comportamento do consumidor
(Hawkins, Mothersbaugh e Best, 2007)

O objetivo do comprador é maximizar sua experiência de forma a atender suas necessidades e desejos.

O comprador possui as seguintes condições iniciais

- Renda
- Susceptibilidade à influência social

Como estes parâmetros variam para cada comprador, eles serão distribuídos entre os agentes seguindo uma distribuição normal de probabilidade.

O comprador percebe as seguintes informações:

- Preço do produto
- Características do produto (segundo os atributos)
- Informação sobre os produtos (publicidade dos vendedores)
- Opinião dos amigos e sociedade (informação dos outros compradores)

O comprador pode atuar no mercado da seguinte forma:

- Comprando (ou não) um determinado produto
- Divulgando ou não sua opinião sobre o produto

4.1.4 Como a simulação funciona

A simulação funciona por turnos. Em cada turno a seguinte sequência é realizada:

Os vendedores avaliam o mercado, tomam a decisão e atuam. As atuações são capturadas, consolidadas e apresentadas aos compradores. Os compradores, por sua vez, avaliam o mercado (agora alterado devido a atuação dos vendedores), decidem e atuam. A atuação conjunta dos compradores e vendedores é compilada gerando uma nova situação de mercado.

A descrição detalhada deste modelo encontra-se no apêndice A.

Conclusões: Ao simular este modelo, pudemos constatar que ele sempre converge para o equilíbrio. A razão disso decorre da forma em que os agentes tomam a decisão. Eles simplesmente observam suas variáveis internas e reagem a elas. Faltou, conforme sugerido no capítulo sobre modelagem de agentes, modelar a interação entre comprador e vendedor. Muito foco foi dado ao funcionamento do agente e pouco foco foi dado a seu comportamento e interação com outros agentes. Em função disso desenvolvemos um segundo modelo.

4.2 O segundo modelo

Para definir nossos agentes e o meio ambiente em que interagem vamos, novamente, utilizar o processo de identificação e análise de um mercado em quatro etapas proposto por Hall e Lieberman (2003)⁶⁸:

⁶⁸ Hall, R. E., & Lieberman, M. (2003). Microeconomia princípios e aplicações. São Paulo, SP, Brasil: Pioneira Thomson Learning.

Etapa 1 – Caracterização do mercado: Qual o mercado que melhor atende o problema objeto da análise e quais são os tomadores de decisão (compradores e vendedores) que interagem no mercado.

- O bem ou serviço negociado
 - Será uma espécie de produto chamada de P.
 - O produto será único, não há atributos de valor e não há diferença entre marcas e modelos.
 - Uma única unidade do bem deve ser consumida por comprador por turno.
 - A única diferença entre um bem oferecido por um vendedor e um bem oferecido por outro vendedor é seu preço.
 - Não há armazenamento do bem. O vendedor e o comprador não possuem estoque.
- Os tomadores de decisão
 - Vendedores (empresas)
 - Compradores (pessoas)

Inicialmente, ao tentamos definir o modelo com apenas um agente que possuía a capacidade de vender e comprar simultaneamente, decidimos abandonar esta ideia e passar a utilizar dois agentes distintos, o comprador e o vendedor. A razão para isso foi a dificuldade de definir, de uma forma razoável, quando o comportamento do agente deve ser de comprador e quando deve ser de vendedor. Adicionalmente, o agente possuir dois papéis distintos em uma negociação nos parece artificial, o mais razoável é que ele entre em uma negociação com o objetivo de comprar ou de vender e não ambos.

- Natureza da competição
 - Competição imperfeita (compradores e vendedores tem liberdade para definir o preço)

- O modelo permitirá simular a situação de monopólio, oligopólio e concorrência monopolística.

Estamos, novamente considerando um sistema econômico de capitalismo de mercado, um mercado de competição imperfeita com a possibilidade de um ou múltiplos vendedores.

Etapas 2 – Identificação de metas e restrições: quais metas os tomadores de decisão devem cumprir e quais restrições os limitam.

Os vendedores devem maximizar sua receita (dada pela quantidade vendida multiplicada pelo preço de venda) e os compradores sua felicidade (dada pela aquisição de um produto por turno). Os compradores maximizam sua eficiência ao minimizarem o custo de aquisição da unidade do produto. Isso é feito pela escolha de uma entre 6 estratégias possíveis.

Os vendedores estão limitados pela sua condição de caixa e não há restrição quanto à capacidade produtiva. Os compradores, por sua vez, estão limitados a sua renda e riqueza (caixa).

Etapas 3 – Encontrar o equilíbrio: Descrever as condições necessárias para o equilíbrio no mercado e um método de determinação deste equilíbrio.

Etapas 4 – O que acontece quando as coisas mudam: explorar como eventos afetam o equilíbrio de mercado.

As etapas 3 e 4 serão geradas a partir da interação dos agentes no modelo, bem como, a imposição de fatores externos pelo operador da simulação.

Iremos agora descrever com mais detalhes o meio ambiente e os agentes do modelo proposto.

4.2.1 Meio ambiente – o mercado

Para definir o mercado que estaremos simulando, precisamos das seguintes condições iniciais.

- Do mercado em estudo:
 - Número de vendedores
 - Número de compradores
 - Número de conexões entre compradores e vendedores (ou seja, quantos vendedores um comprador conhece)
 - Número de conexões entre vendedores (ou seja, quantos concorrentes cada vendedor monitora)
 - Se existe ou não morte dos vendedores (quando o caixa fica negativo)
 - Se existe ou não morte dos compradores (quando a felicidade fica negativa)
 - Se há reposição dos vendedores e/ou compradores (assim que um deles morrer)

4.2.2 Vendedor

O agente vendedor tem como objetivo maximizar sua receita.

As seguintes condições iniciais precisam ser estabelecidas

- Caixa inicial do vendedor

Essa condição será definida via uma distribuição de probabilidades

As seguintes informações são detectadas (i.e. percebidas) pelos vendedores

- Participação no mercado (aproximada)
- Preço médio
- Tamanho do mercado (número de compradores que o vendedor atinge)
- Preço médio dos concorrentes
- Quantidade de produtos vendidos pelo vendedor
- Receita apurada

Os vendedores podem atuar no mercado da seguinte forma:

- Variar o preço do produto

Para cada combinação das variáveis (variação da quantidade vendida, variação do preço de venda, participação no mercado, preço médio da concorrência) o vendedor decide se mantém, eleva ou reduz o preço de venda. Para cada uma destas variáveis existe um intervalo em que consideramos que ela manteve, reduziu ou elevou seu valor. Portanto, temos três possibilidades para cada uma das quatro variáveis, gerando 81 ($3 \times 3 \times 3 \times 3$) possíveis condições de mercado, cada uma delas podendo levar a um ganho ou perda de receita. Ou seja, há duas estratégias por condição o que acarreta em um total de 162 possibilidades, cada qual contendo a decisão de aumento ou redução de preço. Esta decisão é tomada de forma aleatória, porém, quando bem sucedida, a proporção do sorteio é alterada favorecendo o resultado bem sucedido no passado. Dessa forma o vendedor se adapta as condições do mercado.

4.2.3 Comprador

O comprador possui as seguintes condições iniciais

- Renda
- Numero de conexões com vendedores (quantos vendedores um comprador conhece)
- Limiar de aumento de preço (até que proporção do preço o comprador topa pagar a mais para garantir sua felicidade)
- Felicidade limite (o valor que a felicidade deve atingir para o comprador deixar o mercado)

Como estes parâmetros variam para cada comprador, eles serão distribuídos entre os agentes seguindo uma distribuição normal de probabilidade.

O comprador percebe as seguintes informações:

- Preço do produto

O comprador pode atuar no mercado da seguinte forma:

- Comprando (ou não) um determinado produto a um determinado preço de um determinado vendedor.

4.2.4 O processo de compra

É no processo de compra que a interação entre compradores e vendedores ocorre.

O comprador conhece alguns vendedores. Ele inicia cada turno selecionando um dentre os vendedores que possuem a maior fidelidade para ele. Uma vez selecionado, ele verifica se o preço que ele está disposto a pagar pelo produto é menor ou igual ao preço de venda daquele vendedor. Em caso afirmativo, uma compra é consumada. Em caso negativo, ele poderá desempenhar as seguintes ações:

- A. Aumentar o preço que está disposto a pagar pelo produto (tomando como limite superior seu limiar de preço)
- B. Buscar uma oferta dentro do preço em sua rede de vendedores (i.e. vendedores os quais ele está conectado)
- C. Procurar um novo vendedor (e acrescentá-lo a sua rede caso o preço seja favorável)

Cada uma destas ações possui um custo que é definido com parâmetro no modelo.

As sequências de ações possíveis definem 6 estratégias:

- 1- ABC
- 2- ACB
- 3- BAC
- 4- BCA
- 5- CAB
- 6- CBA

Cada estratégia possui um valor de pay-off associado. Inicialmente estes valores são iguais. Quando uma estratégia é bem sucedida, seu valor de pay-

off aumenta. Caso ela seja mal sucedida, seu valor diminui. A escolha da estratégia é feita de forma aleatória, tomando o valor de pay-off como tamanho do intervalo de escolha. Este processo visa permitir que o agente comprador se adapte ao meio ambiente.

É importante reforçar que neste modelo dinheiro entra no sistema via remuneração dos compradores e deixa o sistema via custo de operação dos vendedores. Os produtos entram no sistema através de uma venda (via vendedor) e são consumidos na mesma venda (via comprador). Ou seja, o fluxo de produtos é definido pelas transações. Não há estoque de produto. Há estoque de dinheiro (caixa) tanto do lado do vendedor como do lado do comprador (ver figura 11).

Figura 11 -Fluxo financeiro entre comprador e vendedor

4.2.5 Resultados

O gráfico abaixo mostra as estratégias escolhidas pelos agentes em 30 simulações com as mesmas condições iniciais de custo de operação e remuneração do comprador com média 100 e desvio padrão 30. Compradores e vendedores podem sair de mercado e não há reposição.

Figura 12 - Escolha da estratégia pelo comprador

É interessante perceber que em determinado momento no tempo a estratégia 1 (tentar pagar mais caro → acessar a rede → buscar novos vendedores) é preferida pelos compradores, em outro a estratégia 6 (tentar buscar novos vendedores → acessar a rede → pagar mais caro) é a preferida. Observamos que isso ocorre quando o preço de venda de alguns vendedores já não pode mais ser superado pela tolerância do comprador em pagar mais caro. Note que a estratégia 1 é preferida quando o número de vendedores com que um comprador se relaciona é máximo e a estratégia 6 quando o número de vendedores com que um comprador se relaciona é mínimo.

Figura 13 - conexões comprador – vendedor

Figura 14 - número médio de conexões comprador - vendedor

Outra análise interessante nos mostra que com as mesmas condições iniciais do estudo anterior, em 26,6% das vezes o mercado é extinto. Percebemos que conforme o custo de operação aumenta para o vendedor, a probabilidade de o mercado ser extinto aumenta.

Percebemos que em diversas simulações apenas um vendedor permanece no mercado; nesta situação, quando o vendedor altera o preço de venda, todos os compradores ajustam seu preço de compra para o mesmo valor. Comprovando que o sistema funciona como um monopólio. Este comportamento permanece sempre que o preço de venda se mantém abaixo da remuneração do comprador. Infelizmente, o vendedor pela forma que foi codificado, acaba não identificando nessa situação a oportunidade de aumentar o preço, fazendo com que o preço de venda se mantenha em um patamar inferior do que poderia atingir. Conforme a elevação de preço ocorre, percebemos uma queda temporária no nível de felicidade. Isso ocorre por que durante a mudança, os compradores devem se ajustar ao novo preço e esse ajuste implicará uma mudança de estratégia e possível falha em efetivar a compra. Porém, enquanto o preço de venda for inferior à remuneração do comprador, o nível de felicidade será reestabelecido e permanecerá em crescimento. Além disso, percebemos que a estratégia 6 passa, conforme o preço de venda aumenta, a ser a estratégia preferida dos compradores. Isso é contra intuitivo, pois considera-se, em geral optar por estratégias em sequência de custo crescente, iniciando-se pela estratégia de menor custo. Quando o preço de venda é superior à remuneração dos compradores, o fenômeno permanece, porém passa, a partir deste ponto a drenar o caixa dos compradores, até o momento em que este fica negativo, o que reduz brutalmente a felicidade até que ela atinja o nível mínimo e os compradores deixem o mercado. Essa constatação nos sugere que o mecanismo adaptativo dos vendedores deva ser melhorado de forma que os vendedores consigam estabelecer um preço de venda cada vez mais próximo da remuneração dos compradores. O que seria a eficiência máxima do vendedor (cobrar o máximo possível). O inverso também é verdadeiro, quando o preço de venda supera a remuneração dos compradores, estes são incapazes de forçar o preço para baixo, levando o mercado à extinção. Uma

questão que surge da simulação é se realmente os compradores são incapazes de se ajustar à situação ou se não têm tempo suficiente para o ajuste. Isso nos leva a crer que um mecanismo de adaptação eficiente deve levar em conta não apenas as mudanças mas, a velocidade na qual as mudanças ocorrem.

Outra conclusão interessante é que enquanto o caixa do comprador for muito superior ao preço do produto, variação nas demais variáveis implicam que o agente irá preferir a estratégia 1. A razão é evidente, já que com caixa disponível em abundância, o mais razoável para garantir a compra do produto é pagar mais caro logo e minimizar o risco de insucesso (não conseguir comprar).

5. Conclusão e desenvolvimentos futuros

Inicialmente foi proposto um modelo multiagente em que o modo de decisão do agente seguia uma sequência de regras pré-estabelecidas (apêndice 1). Percebemos que este modelo não é adequado à realidade. Durante as simulações, ficou claro que os preços praticados por diversos vendedores possuem ordens de grandeza diferentes, o que é totalmente divergente do observado na prática. Além disso, o modelo inicial sugere a importância de considerarmos novos entrantes no mercado (vendedores e compradores).

O novo modelo simplificou o modelo anterior e focou no comportamento, adaptação e interação dos agentes vendedores e compradores. O fenômeno de aumento de preço exagerado por parte de alguns vendedores e redução exagerada por parte de outros continua ocorrendo. Porém, há um grupo de vendedores que pratica a variação de preço dentro de uma faixa moderada e permanece no mercado por muitas rodadas.

Entendemos que este modelo é uma tentativa de compreender mecanismos de mercado. Nele, a remuneração dos compradores é um fator exógeno, porém, na realidade, a remuneração provém de outro mercado (o mercado de trabalho). Analogamente, o produto é adquirido pelo vendedor a um preço fixo. Na verdade, isso também deveria ser outro mercado (a compra de produto do fabricante ou distribuidor pelo vendedor). Um possível desenvolvimento do modelo seria simplificá-lo ainda mais a ponto de permitir que os agentes participem de diversos mercados, ora com o papel de comprador, ora com o papel de vendedor.

Outro aspecto importante é que o modelo proposto considera principalmente um tipo de interação: comprador-vendedor. Os compradores decidem se conectar a alguns vendedores em detrimento de outros. Sugerimos aprofundar o entendimento desta relação, por exemplo, esforços de comunicação e publicidade dos vendedores podem estimular a criação de conexões com novos compradores. Uma segunda relação, vendedor-vendedor, foi tratada no modelo, porém apenas para o vendedor estimar o preço médio dos

concorrentes, além disso, a conexão vendedor-vendedor é estática e definida no momento inicial da simulação. Podemos expandir significativamente este relacionamento, tornando-o dinâmico e permitindo, por exemplo, a formação de coalizões entre vendedores gerando uma unidade econômica maior. A relação comprador-comprador não foi tratada no modelo, mas, poderia. Este tipo de relação ajudaria a compreender a dinâmica de opiniões entre os compradores, bem como a difusão de inovações no mercado.

Outra possibilidade não explorada no modelo, relacionada com a existência de vários mercados e com a difusão de inovação, é a diversificação do produto. A partir daí, podemos pensar em dois outros tipos de relação: vendedor-produto, comprador-produto que podem ser estudadas em uma nova versão ampliada do modelo.

Cabe ressaltar que o fato de escolhermos o NetLogo como plataforma de desenvolvimento, apesar de benéfico do ponto de vista de tempo de programação e tamanho do código, foi extremamente prejudicial do ponto de vista de desempenho e tempo de execução da simulação. Qualquer um dos desenvolvimentos sugeridos acima tornam a utilização de NetLogo inviável. Soma-se a essa questão o problema de escala: será que o mercado se comportará da mesma maneira com 500 compradores ou com 5 milhões de compradores? Dessa forma, sugerimos portar a aplicação para uma plataforma mais robusta e paralelizável, usando, por exemplo, como linguagem de programação o Python.

Do aspecto de análise de resultados, o desempenho da aplicação em NetLogo foi um limitador importante. A sugestão aqui seria utilizar o software estatístico R em conjunto com Python o que permitiria uma gama de análises muito maior do que a realizada.

Para nos aprofundarmos nas relações entre os diversos tipos de agentes e na forma pela qual eles se adaptam e alteram seu comportamento sugerimos um estudo aprofundado de teoria dos jogos e inteligência artificial (em especial aprendizado de máquina) além do nível que foi desenvolvido neste trabalho.

Lembramos ainda, que estas técnicas, em geral, são demandantes de recursos computacionais, especialmente processamento e memória.

Outra área de exploração futura é contrastar os resultados obtidos do modelo com modelos econométricos conhecidos. Este estudo permite validar o modelo confrontando-o com resultados já estabelecidos e, também, permite identificar o que o modelo traz de novo ao conhecimento.

De uma forma geral, os desenvolvimentos sugeridos apontam para uma simplificação ainda maior do modelo por um lado e um foco mais intenso nas relações entre os agentes por outro. É interessante considerar que o foco principal do modelo atual é preço e que os desenvolvimentos sugeridos acabam tratando outros dois temas de marketing: produto e promoção. Fica faltando praça, que também pode ser um objeto de estudo futuro (note que também podemos definir uma relação vendedor-cidade / comprador-cidade e tratar das questões de distribuição e ponto de venda). Para que possamos estender o estudo nesta direção é necessária uma análise muito profunda dos resultados do modelo atual, bem como a utilização de uma linguagem de programação adequada para este novo desafio. Consideramos este estudo um primeiro passo nessa direção.

6. Referências

- Anderson, P. W., Arrow, K. J., & Pines, D. (1988). *The Economy as an Evolving Complex System*. Westview Press.
- Bettencourt, L. (2013). Complexity Explorer: *Guest Spot*. Disponível em: <http://www.complexityexplorer.org/online-courses/1/segments/269>. Acesso em 2/6/2013
- Bradley, L. (2013). Complexity Explorer: *Guest Spot*. Disponível em: <http://www.complexityexplorer.org/online-courses/1/segments/75>. Acesso em 2/6/2013
- Cravens, D. W., & Piercy, N. F. (2007). *Marketing estratégico* (Oitava ed.). São Paulo, São Paulo, Brasil: McGrall-Hill.
- Crutchfield, J. (2013). Complexity Explorer: *Guest Spot*. Disponível em: <http://www.complexityexplorer.org/online-courses/1/segments/156>. Acesso em 2/6/2013
- Dixit, A., Skeath, S., & Reiley Jr., D. H. (1999). *Games of Strategy*. Nova York: Norton & Company, Inc.
- Farmer, D. (2013). Complexity Explorer: *Guest Spot*. Disponível em: <http://www.complexityexplorer.org/online-courses/1/segments/234>. Acesso em 2/6/2013
- Forrest, S. (2013). Complexity Explorer: *Guest Spot*. Disponível em: <http://www.complexityexplorer.org/online-courses/1/segments/179>. Acesso em 2/6/2013
- Freitas, G. G. (2003). *Economia e Sistemas Complexos: Interações Sociais, Dinâmicas Emergentes e uma Análise da Difusão da Internet na Cidade de São Paulo*. São Paulo: Dissertação de Mestrado.
- Gilbert, N. (2008). *Agent-based models*. Sage Publications, Inc.
- Gilbert, N., & Troitzsch, K. G. (2005). *Simulation for the social scientist*. Nova York: Open University Press.
- Hall, R. E., & Lieberman, M. (2003). *Microeconomia princípios e aplicações*. São Paulo, SP, Brasil: Pioneira Thomson Learning.
- Hawkins, D. I., Mothersbaugh, D. L., & Best, R. J. (2007). *Comportamento do consumidor: construindo a estratégia de marketing* (Décima ed.). Rio de Janeiro: Elsevier.
- Krakauer, D. (2013). Complexity Explorer: *Guest Spot - David Krakauer*. Disponível em: <http://www.complexityexplorer.org/online-courses/1/segments/16>. Acesso em 2/6/2013

- Lambin, J.-J. (2000). *Marketing Estratégico*. Lisboa, Portugal: McGraw-Hill de Portugal Ltda.
- Landsburg, S. E. (2011). *Price Theory* (Oitava edição ed.). South-western CENGAGE Learning.
- Mandelbrot, B. B., & Hudson, R. L. (2006). *The (mis) behavior of markets* (Primeira Edição ed.). New York, NY, Estados Unidos: Basic Books.
- Miller, J. H., & Page, S. E. (2007). *Complex Adaptive Systems: An introduction to computational models of social life*. Princeton University Press.
- Mitchell, M. (2009). *Complexity: a guided tour*. Oxford: Oxford University Press.
- Moore, C. (2013). Complexity Explorer: *Guest Spot*. Disponível em:
<http://www.complexityexplorer.org/online-courses/1/segments/231>
 Acesso em 2/6/2013
- Newman, M. (2013). Complexity Explorer: *Guest Spot*. Disponível em:
<http://www.complexityexplorer.org/online-courses/1/segments/287>
 Acesso em 2/6/2013
- Page, S. E. (2013). Complexity Explorer: *Guest Spot*. Disponível em:
<http://www.complexityexplorer.org/online-courses/1/segments/253>
 Acesso em 2/6/2013
- Paul Peter, J., & Olson, J. C. (2009). *Comportamento do consumidor e estratégia de marketing* (Oitava ed.). (B. Honorato, Trad.) São Paulo, SP, Brasil: McGraw-Hill Interamericana do Brasil Ltda.
- Popper, K. (1959). *A lógica da pesquisa científica*. Editora da Universidade de São Paulo.
- Prietula, M. J., Carley, K. M., & Grasser, L. (1998). *Simulating Organizations*. Menlo Park, California, EUA: American Association for Artificial Intelligence.
- Principe, J. C., Euliano, N. R., & Lefebvre, C. W. (2000). *Neural and Adaptive Systems - fundamentals through simulations*. New York, NY: John Wiley & Sons.
- Rennard, J.-P. (2007). *The Handbook of Research on Nature-Inspired Computing for Economics and Management*. Hershey, PA: Idea Group Reference.
- Rosenbloom, B. (2002). *Canais de marketing: uma visão gerencial*. São Paulo: Atlas.
- Rundle, J. (2013). Complexity Explorer: *Guest Spot*. Disponível em:
<http://www.complexityexplorer.org/online-courses/1/segments/154>
 Acesso em 2/6/2013
- Russell, S., & Norvig, P. (1995). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice-Hall.
- Schelling, T. C. (1971). Dynamic Models of Segregation. *Journal of Mathematical Sociology*, pp. 143-186.

- Shimp, T. A. (2009). *Comunicação integrada de marketing: propaganda e promoção* (Sétima ed.). Porto Alegre: Bookman.
- Shone, R. (2002). *Economic Dynamics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sun, R. (2008). *Cognition and multi-agent interaction: from cognitive modeling to social simulation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Weaver, W. (1948). Science and complexity. *American Scientist*, 36, 536-544.
- Weiss, G. (1999). *Multiagent Systems - A modern approach to distributed artificial intelligence*. MIT Press.
- West, G. (2013). Complexity Explorer: *Guest Spot*. Disponível em:
<http://www.complexityexplorer.org/online-courses/1/segments/268>
Acesso em 2/6/2013
- Yanaze, M. H. (2006). *Gestão de Marketing: avanços e aplicações* (2006 ed.). São Paulo, São Paulo, Brasil: Saraiva.

7. Glossário

Alocação de recursos	Principal problema da microeconomia que trata da distribuição (ou alocação) de recursos escassos
Custo de oportunidade	Custo de uma escolha em função de deixarmos de realizar outras escolhas
Emergência	É a forma pela qual surgem padrões sofisticados a partir de um conjunto interações simples
Emergência da segunda ordem	Emergência de primeira ordem são padrões que surgem das interações entre os componentes de sistemas complexos. A emergência de segunda ordem refere-se a padrões e estruturas formadas a partir de interação dos componentes do sistemas com as estruturas geradas pela emergência de primeira ordem. Isso é uma característica de sistemas sociais. Não ocorre em sistemas físicos ou biológicos.
Espaço de fases	É uma representação abstrata de todas as possíveis configurações de um sistema.
Estratégia	São alternativas (linha de ações) disponíveis aos agentes.
Feedback	Feedback ou retroalimentação é um processo pelo qual parte de um sinal de saída de um sistema é injetado em sua entrada. O mecanismo de feedback é de extrema importância para a criação de mecanismos autoregulados.
Feedback negativo	Retroalimentação que atenua uma parte do sinal de saída e transfere-o para entrada
Feedback positivo	Retroalimentação que amplifica uma parte do sinal de saída e transfere-o para entrada
Fractais	Conjuntos matemáticos que apresentam a propriedade de terem dimensão fracionária. Fractais possuem estruturas auto-semelhantes (invariantes à escala)
GPL	General Public License – Um dos tipos de licenças utilizados em software livre (de código aberto).
Invariância na escala	Significa ser semelhante nas diversas escalas. A estrutura é a mesma quando observamos de perto ou de longe.
Lei de potência	São funções da forma $f(x) = ax^k$ Leis de potência apresentam a propriedade de invariância em relação a escala
Multinível	Fenômenos multinível exibem estruturas aglomeradas (clusters) ou hierárquicas

Sistema aberto	Sistemas que trocam informação, energia e matéria com o meio ambiente
Sistema dinâmico	Sistemas cujas propriedades variam no tempo
Teoria do equilíbrio geral	Ramo da teoria microeconômica que busca dar uma explicação global da produção, oferta, consumo, demanda e formação de preço em uma economia com um ou vários mercados.
Teoria dos jogos	O estudo de modelos matemáticos de conflito e cooperação entre tomadores de decisão racionais

Apêndice A – o primeiro modelo

Objetivo

Propor um modelo simples que permita simular oferta e demanda de um mercado genérico.

Hipóteses:

- O mercado é um oligopólio
- O mercado é um varejo (B2C)

Segundo Paul Peter & Olson (2009)⁶⁹, os consumidores possuem diversos níveis de conhecimento sobre um produto, variando do mais abstrato ao mais concreto. São eles:

- Classe de produto
- Espécie de produto
- Marca
- Modelo

O modelo de mercado proposto considera um mercado de apenas uma classe de produto. Entende-se que neste mercado estarão presentes espécies e marcas de produtos concorrentes e substitutos.

Modelo proposto

O modelo proposto possui três componentes principais.

Componentes

- Vendedores (empresas varejistas)
- Compradores (consumidor pessoa física)
- Mercado

Mercado

Para definirmos um mercado, Hall e Lieberman (2003)⁷⁰ sugerem que sigamos os seguintes passos:

⁶⁹ Paul Peter, J., & Olson, J. C. (2009). Comportamento do consumidor e estratégia de marketing (Oitava ed.). (B. Honorato, Trad.) São Paulo, SP, Brasil: McGraw-Hill Interamericana do Brasil Ltda.

1- Caracterização do mercado

- a. Decidir qual mercado melhor atende o objeto da análise e identificar os tomadores de decisão (compradores e vendedores) que interagem neste mercado

2- Identificação de metas e restrições

- a. Identificar as metas que os tomadores de decisão procuram cumprir e as restrições com as quais se deparam para atingi-las

3- Encontrar o equilíbrio

- a. Descrever as condições necessárias para o equilíbrio no mercado e um método para determinar este equilíbrio

4- O que acontece quando as coisas mudam:

- a. Explorar como eventos ou políticas governamentais afetam o equilíbrio de mercado

O mercado possui algumas variáveis que tem como objetivo definir o macro ambiente onde os vendedores e os compradores irão interagir. O mercado possui os seguintes parâmetros:

- NV – Número de agentes vendedores
- NC – Número de agentes compradores
- C – Custo de aquisição do produto pelos vendedores
- CX – Caixa inicial dos vendedores
- CI – Probabilidade de compra impulsiva
- FU - Função de utilidade marginal.
- VFU – Variação da função de utilidade marginal.

NV- Número de agentes vendedores é simplesmente o número de vendedores que estarão inicialmente concorrendo entre si no mercado. O número de vendedores pode variar ao longo do tempo, já que as empresas podem falir e deixar o mercado. Para efeito de simplificação, não consideramos, até o momento, novos entrantes.

⁷⁰ Hall, R. E., & Lieberman, M. (2003). Microeconomia princípios e aplicações. São Paulo, SP, Brasil: Pioneira Thomson Learning.

NC- Número de agentes compradores é o número de consumidores existentes no mercado. Este número é fixo ao longo da simulação.

C- Custo de aquisição do produto pelos vendedores. É quanto cada vendedor deve pagar para adquirir uma unidade de produto (classe de produto). Inicialmente, para simplificação, todas as empresas compram o produto do fabricante a um mesmo preço fixo.

CX- Caixa inicial dos vendedores. Trata-se do caixa inicial que cada empresa possui. Inicialmente, o caixa é igual para todas as empresas.

CI- Probabilidade de compra impulsiva. Trata-se da probabilidade de compra de um produto por um consumidor no caso do consumidor não realizar uma análise de custo benefício.

FU – Função de utilidade marginal. Trata-se de uma função decrescente que exprime que cada nova unidade adquirida do produto possui uma utilidade menor que a anterior. Sabe-se que esta função é particular de cada indivíduo, ou agente no caso do modelo proposto. Para efeito de simplificação tornamos a função de utilidade marginal uma característica macro de mercado e acrescentamos uma variação desta função (VFU) para distribuir entre os consumidores esta característica segundo uma distribuição normal.

Vendedores (empresas)

São empresas varejistas que vendem um único produto e o adquirem a um preço comum (C – custo de aquisição do produto). As empresas também possuem estoque infinito, ou seja, nunca deixarão de atender um cliente por falta de produto. As empresas possuem um caixa (CX) que é inicialmente igual para todos os agentes.

Os vendedores tem uma das seguintes metas:

- Maximizar a participação no mercado
- Maximizar o lucro
- Maximizar o valor para o acionista

Inicialmente, para efeito de simplificação, todas as empresas têm como meta maximizar sua participação no mercado. Um dos aspectos que se pretende aprofundar é em que condições uma empresa pode alterar a sua meta e como se comporta um mercado com empresas em diferentes níveis de maturidade e, portanto, diferentes metas.

Os vendedores têm de tomar duas decisões:

- Qual o lucro desejado - L
- Quanto deseja investir em comunicação/distribuição (único custo da empresa, além da aquisição do produto) – K

Lambin (2000)⁷¹ recomenda utilizar o modelo ADBUDG de Little (1970) e o modelo BRANDAID de Little (1979), para descrever a participação do mercado estimado pela empresa em função do investimento em comunicação.

O modelo ADBUDG considera que o gerente de marketing de nossa empresa seja capaz de responder as seguintes questões:

1. Qual o nível atual de despesa publicitária a favor da marca?
2. Qual seria a participação de mercado se o orçamento de comunicação fosse reduzido à zero?
3. Qual seria a participação de mercado se o orçamento de comunicação fosse elevado ao máximo (nível de saturação)?
4. Qual seria a participação de mercado se o orçamento de comunicação fosse reduzido à metade?
5. Qual seria a participação de mercado caso o orçamento de comunicação fosse elevado em 50%?

Como base nas respostas das 5 questões acima, construímos a seguinte função resposta:

$$Qdm(t) = Qdm(min) + [Qdm(max) - Qdm(min)] \frac{Pub^\gamma}{\delta + Pub^\gamma}$$

⁷¹ Lambin, J.-J. (2000). Marketing Estratégico. Lisboa, Portugal: McGraw-Hill de Portugal Ltda.

- $Q_{dm}(t)$ = Participação de mercado inicial (participação de mercado) – o mesmo que (V)
- $Q_{dm}(\min)$ = Participação de mercado mínima esperada sem qualquer publicidade ou ação de comunicação
- $Q_{dm}(\max)$ = Participação de mercado máxima esperada se o esforço publicitário for máximo (atingindo o nível de saturação)
- Pub = Despesas de comunicação efetivas (corrigidas para a quantidade publicitária). Ou seja, o mesmo que (K)
- $Gama$ = Coeficiente de sensibilidade da função resposta
- Δ = Constante

A publicidade efetiva é determinada da seguinte forma:

$$Pub(t) = \{eficácia\ de\ mídia(t).eficácia\ do\ tema(t).Pub(t)\}$$

No modelo proposto, consideraremos a eficácia de mídia e a eficácia do tema sempre iguais a 1 para todas as empresas. Neste momento, o objetivo da empresa é definir o investimento que deve ser feito em comunicação e para isso ela deve estimar o quanto irá ganhar ou perder de participação no mercado em função do investimento. A questão de uma empresa ser mais ou menos eficiente em mídia e tema não é relevante para essa questão. No aprimoramento deste modelo utilizaremos a eficácia de mídia e a eficácia do tema para introduzir uma variação na participação de mercado resultante.

Portanto, podemos desconsiderar a equação acima e utilizar a primeira equação para calcular o investimento em comunicação da empresa;

Como determinamos $Q_{dm}(\min)$ e $Q_{dm}(\max)$?

$Q_{dm}(\min)$, participação no mercado mínima, é igual $1/NV$. Ou seja, consideramos que a participação de mercado mínima é igual para todas as empresas. Consideremos que onde não há propaganda e os produtos são iguais, o limite é uma concorrência perfeita em que o mercado é dividido igualmente entre o número de vendedores.

No outro extremo, Qdm (max) é o limite em que a participação de uma empresa no mercado é tão grande que a característica do mercado passa a ser monopolística. O CADE (Conselho Administrativo de Defesa Econômica) não estabelece um parâmetro de participação de mercado máximo em que uma empresa passaria, por exemplo, a ser regulada. O que existe é um valor mínimo para que operações de concentração econômica sejam analisadas pelo CADE. Este valor é de 400 milhões de reais. Devemos, portanto, buscar em outras fontes, um parâmetro para estabelecer Qdm (max).

Gama e delta serão definidos para todo o mercado. Uma sugestão de trabalho de pesquisa futuro é identificar ou desenvolver formas adequadas de estabelecer estes parâmetros, bem como outras funções que relacionam publicidade e comunicação com participação de mercado.

Nesta simulação, o investimento em comunicação K significa tanto comunicação quanto distribuição. Isto é, o comprador tomou conhecimento da oferta do vendedor (comunicação) e pode adquirir o produto sem custo de frete, deslocamento ou envio (distribuição).

Para tomar as decisões de quanto destinar a comunicação (K) e a lucro (L), a empresa utiliza as seguintes regras.

1. O lucro deve ser tal, que dada a quantidade de vendas prevista (V) = participação de mercado x tamanho do mercado o caixa deve ser suficiente para suportar 50% das vendas durante 3 rodadas consecutivas considerando que a participação de mercado se manterá estável nessas rodadas.
 - a. O lucro não pode ser negativo, mas pode ser zero
 - b. O conceito em que a regra acima foi baseada é o instinto de sobrevivência. Dado que a empresa que ficar com caixa inferior a zero sai do mercado, as empresas devem praticar uma margem de segurança para evitar que isso aconteça.
2. Inicialmente, o objetivo da empresa é maximizar a participação de mercado, portanto, o lucro deve ser sacrificado em detrimento de k e restrito a condição estabelecida na regra 1 (instinto de sobrevivência)

Sabendo que o consumidor, uma vez atingido pela comunicação e distribuição (K) se pautará pelo preço para decidir comprar, a empresa procura minimizar o preço final praticado.

Dessa forma, utilizando a equação do modelo ADBUDG de Little (1970), a empresa relaciona participação de mercado a investimento em comunicação (K), além disso, ela está limitada pelas regras de preservação de caixa e lucro devido a seu instinto de sobrevivência e deseja minimizar o preço final do produto sabendo que este é um fator definitivo na decisão de compra do consumidor. Dessa forma, a empresa define L, K e P. Lembrando que estas quantidades estão relacionadas pela equação abaixo, onde V é a quantidade de produtos vendida.

$$P = (C.V + L + K)/V$$

V é definido da seguinte forma:

- Se for a primeira rodada (N=1) V = número de consumidores / número de vendedores (mais uma vez, estamos considerando o limite de concorrência perfeita). Não existia mercado, publicidade, ou concorrência antes da rodada 1.
- Se for a segunda rodada, $V = V(N=1)$
- Se for a terceira rodada, $V = \text{reta } [V(1), V(2)]$
- A partir da quarta rodada, V = participação de mercado estimada pelo ADBUDG (K) x tamanho do mercado (constante).

O preço que a empresa praticará no mercado será:

$$P = (C.V + L + K)/V$$

O preço é o custo de aquisição unitário vezes o número de produtos vendidos (estimado) + lucro desejado + o custo de comunicação/distribuição. Tudo isso dividido pelo número de produtos vendidos (estimado)

Valores iniciais de L e K?

A empresa inicia com L sendo um valor aleatório entre 5% e 10% (distribuição normal).

A empresa inicia com K sendo um valor aleatório entre 0% e 20% (distribuição normal).

Após as vendas é computada a participação de mercado de cada empresa, bem como o número percentual de compradores que não adquiriu o produto. A essa informação é aplicado um erro de 5% para mais ou para menos e é disponibilizada para cada empresa.

Nota: O erro aleatório é calculado de forma independente para cada empresa

Finalmente, o caixa da empresa é atualizado.

Regra de decisão:

- Se a empresa está perdendo participação no mercado ela reduz o preço, reduz L e aumenta K. Ou seja, tenta atingir mais compradores e vender mais.
- Se a empresa está ganhando participação no mercado ela:
 - Aumenta K
 - Reduz, mantém ou aumenta L
 - Isso é calculado em função de um caixa mínimo (instinto de sobrevivência)
 - Define-se o preço

Nesta primeira versão, o caixa da empresa participa do processo apenas como condição de contorno para preservação e sobrevivência da empresa.

Quando o caixa atualizado da empresa é negativo, a empresa pede concordata e deixa o mercado.

Compradores

O comprador possui uma renda [RE] que é distribuída entre os agentes segundo uma distribuição de Pareto (ABC).

Utilizaremos algumas distribuições reais para testar o modelo:

- Distribuição Normal
- IBGE (Brasil) por quartis.
- Outros países.
 - Comparar países com maior e menor concentração de distribuição de renda. Para isso utilizaremos o índice de Gini

Para adotar o produto de um vendedor, o agente deve fazer uma análise de custo x benefício.

O custo para o comprador é simplesmente o preço do produto (P).

Antes de avaliar o benefício, o comprador escolhe entre os vendedores que o atingiram, o que lhe oferece o menor preço (já que os produtos são iguais).

O benefício é avaliado com base em dois parâmetros (utilidade do produto [UP] e taxa de influência social [IS])

A utilidade do produto varia de 0 a 1 e é distribuída entre os agentes segundo uma curva normal. A utilidade do produto para um determinado agente varia segundo uma curva de utilidade, na qual, cada unidade adicional de produto a ser adquirida possui uma utilidade adicional menor que a anterior (Utilidade Marginal Decrescente). Esta curva é uma informação do ambiente e é configurada para o mercado em questão.

A taxa de influência social varia de 0 a 1 e é distribuída segundo uma curva normal.

AP é definido como a proporção de compradores que adotaram o produto

R é um ruído introduzido, dado que o comprador nunca sabe exatamente a utilidade do produto. A proporção de compradores que já adotaram e sua taxa

de influência social tendem, também, a variar. Este ruído é uma variação de mais ou menos 5% sobre o benefício calculado.

O benefício [B] varia de 0% a 100% e é calculado da seguinte forma:

$$B = (UP[q] + IS \times AP) / 2 \times R$$

Quanto maior for a relação entre a renda e o preço do produto, menor será a importância que o comprador dará à análise de custo x benefício e maior será a probabilidade de compra por impulso. A probabilidade do comprador efetuar uma análise custo benefício está esboçada no gráfico abaixo.

Basicamente, se o produto a ser comprado é 10% ou mais da renda do comprador, ele fará análise custo benefício em 99% das vezes. Caso o produto seja 1% ou menos da renda do comprador, ele realizará análise custo benefício em 1% das vezes. (este comportamento é o mesmo para todos os agentes compradores).

Caso a compra seja impulsiva, o agente comprará o produto CI% das vezes e não comprará (1-CI)% das vezes.

A análise custo x benefício é feita da seguinte forma:

Se $B \geq P/RE$, então a decisão é adquirir o produto.

Imediatamente após o ato da compra o benefício percebido é reduzido segundo a função de utilidade marginal decrescente. Ou seja, o benefício de uma segunda aquisição é menor em relação ao da primeira aquisição.

Questões a serem discutidas:

- Este mercado deve ou não atingir equilíbrio?
- Quais são as condições para que ele chegue a equilíbrio?
- O que acontece quando as coisas mudam?
- O marketing afeta o ceteris paribus da microeconomia?

Desenvolvimentos futuros

Desenvolver uma curva de investimento em comunicação/distribuição versus compradores atingidos, mais realista e adequada do que o modelo ADBUDG de Little (1970).

Aprimorar o modelo de decisão das empresas vendedoras considerando a posição de caixa e utilizando técnicas de inteligência artificial.

Aprimorar o modelo de decisão dos compradores, uma vez que o modelo atual não funciona para bens (produtos) cujo valor é superior a renda do comprador.

Permitir a possibilidade de múltiplos modelos/marcas no mercado de forma que a empresa vendedora possa decidir qual ou quais modelos/marcas vender e o

comprador pode avaliar o benefício de modelos/marcas diferentes em função das características de cada um.

Apêndice B – código fonte do primeiro modelo

breed [empresas empresa]

breed [consumidores consumidor]

globals [

participacao_inicial

emp

con

]

empresas-own [

caixa

estoque

part_mercado_projetada

part_mercado_real

unidades_vendidas

preco_produto

]

consumidores-own [

renda

influencia_social

utilidade_produto

]

to setup

clear-all

set emp []

set con []

set participacao_inicial 1 / numero_empresas

create-consumidores numero_consumidores [

set color blue

set xcor random-xcor

set ycor random-ycor

set shape "person"

set renda random-normal renda_media 2

```
set influencia_social random-normal 1 1  
  
set utilidade_produto random-normal 1 1  
  
]
```

```
let a numero_consumidores - 1  
  
while [a >= 0] [  
  
set con lput (consumidor a) con  
  
set a a - 1  
  
]
```

```
create-ordered-empresas numero_empresas [  
  
;;fd 10  
  
;;set color white  
  
set xcor random-xcor  
  
set ycor 0  
  
set shape "circle"  
  
set caixa caixa_inicial  
  
set estoque estoque_inicial  
  
set part_mercado_real participacao_inicial  
  
]
```

```
set a numero_empresas + numero_consumidores - 1
```

```
while [a >= numero_consumidores] [
```

```
set emp lput (empresa a) emp
```

```
set a a - 1
```

```
]
```

```
reset-ticks
```

```
end
```

```
to go
```

```
decide-estrategia
```

```
imp-mercado
```

```
reacao-consumidor
```

```

tick

end

to decide-estrategia

let ruido 0

ask empresas [

  set ruido (random (10) + 95) / 100

  let investimento_max 0

  ;; Calcula o lucro mínimo

  let lucro_minimo 3 * custo_de_aquisicao_do_produto * (unidades_vendidas -
estoque) - caixa

  if lucro_minimo < 0 [set lucro_minimo 0]

  ;; Calcula o investimento máximo em publicidade

  let b ( 1 - saturacao_publicidade + part_mercado_real * ruido - caixa +
custo_de_aquisicao_do_produto * part_mercado_real * ruido)

  let c custo_de_aquisicao_do_produto * part_mercado_real * ruido - caixa

  let investimento_1 (- b + sqrt(b ^ 2 - 4 * c)) / 2

  let investimento_2 (b + sqrt(b ^ 2 - 4 * c)) / 2

  ifelse investimento_1 > investimento_2

```

```
[set investimento_max investimento_1]
```

```
[set investimento_max investimento_2]
```

```
;; Calcula o correspondente número de unidades vendidas máxima esperada
```

```
let V_max numero_consumidores * (part_mercado_real * ruido +  
(saturacao_publicidade - part_mercado_real * ruido) * investimento_max / (1 +  
investimento_max))
```

```
;; Calcula o preço
```

```
set preco_produto (custo_de_aquisicao_do_produto * V_max +  
investimento_max + lucro_minimo)
```

```
set part_mercado_projetada V_max
```

```
]
```

```
end
```

```
to imp-mercado
```

```
let a 0
```

```
let c 0
```

```

let m 0

let p 0

let cor 0

clear-links

foreach emp [

  set m ?

  ask m [set p part_mercado_real set cor color ]


  foreach con [

    set c ?

    set a random numero_consumidores

    if a < p [ ask m [create-link-with c [set color cor]]]

  ]

]

end

to reacao-consumidor

```

```

let cor 0

let ag 0

let beneficio 0

let ap 1

let preco 0

;;clear-patches

foreach emp [ ask ? [ set unidades_vendidas 0]]

foreach con [

  ask ? [ set ag min-one-of link-neighbors [preco_produto] set cor color]

  if ag != nobody [

    ask ag [

      set cor color

      set preco preco_produto

    ]

    ask ? [

      set beneficio (utilidade_produto + influencia_social * ap) / 2 * (random (7) +
97) / 100

      if beneficio >= (preco / renda) [

        set pcolor cor

        set utilidade_produto utilidade_produto * 0.99

        ask ag [

          set caixa caixa + preco_produto

```



```

        set estoque estoque - 1

        set unidades_vendidas unidades_vendidas + 1
    ]

]

]

]

]

    foreach emp [ ask ? [set part_mercado_real unidades_vendidas /
numero_consumidores]]

end

```


Apêndice C – código fonte do segundo modelo

breed [compradores comprador]

breed [vendedores vendedor]

undirected-link-breed [conexoes conexao]

undirected-link-breed [conexoes-a conexao-a]

undirected-link-breed [ligacoes-v ligacao-v]

globals [

; custo_de_desistir ;10

; custo_de_acesso ;1

; custo_de_busca ;1

reducao_fidelidade ;1

pc

pv

taxa_renovacao

transacao

]

compradores-own[

remuneracao

caixa

preco_c

pec ;payoff estrategia do comprador

limiar

obj

felicidade

]

vendedores-own [

caixa

caixa_inicial

preco_v

preco_v_t-1

mkt_share

posicao_preco

qtd_v

qtd_v_t-1

; qtd

alfa

beta

```
gama
delta
condicao
estrategia
step1
step2
zeta1
zeta2
pos
custo_de_operacao
]
```

```
conexoes-own [
    fidelidade
]
```

```
conexoes-a-own [
    fidelidade
]
```

```
to setup
```

```
  clear-all
```

```
  ; set custo_de_desistir 100
```

```
  ; set custo_de_acesso 10
```

```
  ; set custo_de_busca 50
```

```
  set transacao 0
```

```
  ask patches [set pcolor black]
```

```
  ask n-of numero_vendedores patches with [not any? turtles-here]
```

```
  [sprout-vendedores 1 [
```

```
    set color yellow
```

```
    set shape "flag"
```

```
    set preco_v random 31 + 10
```

```
    set caixa random-normal 250000 25000
```

```
    set qtd_v 1
```

```
    set estrategia [10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10  
80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80
```

```

10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10
80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80
10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10
80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80
10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80]

```

```

set alfa random (41) / 100 ;set alfa .2

```

```

set beta random (41) / 100 ;set beta .2

```

```

set gama random (61) / 100 ;set gama .3

```

```

set delta random (41) / 100 ;set delta .2

```

```

set step1 random (21) / 100 ;set step1 .11

```

```

set step2 random (11) / 100 ;set step2 .03

```

```

set zeta1 random (11) / 100 ;set zeta1 .05

```

```

set zeta2 random (41) / 100 ;set zeta2 .2

```

```

set pos 0

```

```

set custo_de_operacao random-normal custo_operacao_m_vendedor
(variacao_custo_operacao * custo_operacao_m_vendedor)

```

```

]

```

```

]

```

```

ask vendedores [

```

```

create-ligacoes-v-with n-of 2 (other vendedores) [

```

```

set color lime ]]

```

```

ask n-of numero_compradores patches with [not any? turtles-here]

[sprout-compradores 1 [

  set color violet

  set shape "dot"

  set      remuneracao      random-normal      renda_media_comprador
(variacao_renda_media_comprador * renda_media_comprador)

  set caixa random-normal 600 60

  set preco_c 1 + random (remuneracao * 2)

  set pec [1667 1667 1667 1667 1666 1666]

  set limiar (random-normal 100 21) / 100

  set obj true

  set felicidade 0

]

]

```

```

ask compradores [

  create-conexoes-with n-of conexoes_com_vendedores vendedores ]

```

```

ask conexoes [

  set fidelidade 1

```


]

ask links [hide-link]

```
; set-current-directory "c:\\dados"

; file-open "myfile-1.txt"

; file-write "conexoes"

; file-write "compradores"

; file-write "vendedores"

; file-write "estrategia-1"

; file-write "estrategia-2"

; file-write "estrategia-3"

; file-write "estrategia-4"

; file-write "estrategia-5"

; file-write "estrategia-6"

; file-write "preco_C"

; file-write "preco_V"

; file-write "caixa_C"

; file-write "caixa_V"

; file-write "tx_renovacao"

; file-write "comprou"

; file-write "N_comprou"
```

```
; file-write "felicidade"
```

```
; file-write "qtd_v"
```

```
; file-print " "
```

```
reset-ticks
```

```
end
```

```
to go
```

```
atualiza_vendedores
```

```
forma_preco_compradores
```

```
morre
```

```
; file-write count conexoes
```

```
; file-write count compradores
```

```
; file-write count vendedores
```

```
; file-write sum [item 0 pec] of compradores
```

```
; file-write sum [item 1 pec] of compradores
```

```
; file-write sum [item 2 pec] of compradores
```

```
; file-write sum [item 3 pec] of compradores  
  
; file-write sum [item 4 pec] of compradores  
  
; file-write sum [item 5 pec] of compradores  
  
; file-write sum [preco_c] of compradores  
  
; file-write sum [preco_v] of vendedores  
  
; file-write sum [caixa] of compradores  
  
; file-write sum [caixa] of vendedores  
  
; file-write taxa_renovacao  
  
; file-write count compradores with [obj = true]  
  
; file-write count compradores with [obj = false]  
  
; file-write sum [felicidade] of compradores  
  
; file-write sum [qtd_v] of vendedores  
  
; file-print " "
```

tick

if ticks > 10000 [file-close stop]

end

to atualiza_vendedores

ask vendedores [

if caixa = 0 [set caixa .1]

if preco_v = 0 [set preco_v .1]

if qtd_v = 0 [set qtd_v .1]

if caixa_inicial = 0 [set caixa_inicial caixa]

if preco_v_t-1 = 0 [set preco_v_t-1 preco_v]

if qtd_v_t-1 = 0 [set qtd_v_t-1 qtd_v]

let ganho (caixa - caixa_inicial) / caixa_inicial

let temp item condicao estrategia

let temp2 item (condicao + 1) estrategia

if (ganho < zeta1 and pos = 1) [set estrategia replace-item condicao
estrategia (temp * .9)]

if (ganho > zeta2 and pos = 2) [set estrategia replace-item condicao
estrategia (temp2 * .9)]

if (ganho < zeta1 and pos = 2) [set estrategia replace-item condicao
estrategia (temp2 * 1.1)]

if (ganho > zeta2 and pos = 1) [set estrategia replace-item condicao
estrategia (temp * 1.1)]

```

let a 0

let b 0

let c 0

let d 0

let var_preco (preco_v - preco_v_t-1) / preco_v_t-1

let var_qtd (qtd_v - qtd_v_t-1) / qtd_v_t-1

set mkt_share (count compradores - qtd_v) / (count compradores)

let p_concorrente (sum [preco_v] of ligacao-v-neighbors / (1 + count ligacao-
v-neighbors))

set posicao_preco (preco_v - p_concorrente) / (1 + p_concorrente)


if var_preco < (- alfa) [ set a 1 ] ;houve queda no preco de venda de alfa por
cento

if var_preco > alfa [ set a 2 ] ;houve aumento no preco de venda de alfa por
cento

if var_qtd < (- beta) [set b 1] ;houve queda na quantidade vendida de beta
por cento

if var_qtd > beta [set b 2] ;houve aumento na quantidade vendida de beta por
cento

if mkt_share < gama [set c 1] ;market share inferior a gama por cento

if mkt_share > (1 - gama) [set c 2] ;market share superior a gama por cento

if posicao_preco < (- delta) [set d 1] ;preco abaixo do concorrente em delta
por cento

```

```
if posicao_preco > delta [set d 2] ;preco acima do concorrente em delta por
cento
```

```
set condicao (a + b * 3 + c * 9 + d * 27) * 2
```

```
set pos 0
```

```
let escolha random 101
```

```
if escolha <= item condicao estrategia [ set preco_v preco_v * (1 - step2) set
pos 1 ]
```

```
if escolha >= item (condicao + 1) estrategia [ set preco_v preco_v * (1 +
step1) set pos 2 ]
```

```
; if caixa < renda_media_comprador [set preco_v renda_media_comprador *
.5]
```

```
if preco_v > 1E99 [set preco_v 1E99]
```

```
set qtd_v 0
```

```
set caixa_inicial caixa
```

```
set preco_v_t-1 preco_v
```

```
set qtd_v_t-1 qtd_v
```

```
set caixa caixa - custo_de_operacao
```

```
;; show custo_de_operacao
```

```
]
```

```
end
```

to forma_preco_compradores

ask compradores [

let j []

let i 0

foreach pec [

set i i + ?

set j lput i j

]

set caixa caixa + remuneracao

set obj false

set shape "dot"

primeira_escolha

if obj = true [set shape "star"]

if obj = false [

set i random (10000) + 1

if i <= item 0 j [estrategia_1]

if (i <= item 1 j) and (i > item 0 j) [estrategia_2]

if (i <= item 2 j) and (i > item 1 j) [estrategia_3]

```
    if (i <= item 3 j) and (i > item 2 j) [estrategia_4]
    if (i <= item 4 j) and (i > item 3 j) [estrategia_5]
    if (i <= item 5 j) and (i > item 4 j) [estrategia_6]
  ]
```

```
clear_vendedores
```

```
if caixa < 0 [set caixa 0 set felicidade felicidade - 50]
```

```
ajusta_pec
```

```
]
```

```
ask conexoes-a [set breed conexoes]
```

```
end
```

```
to primeira_escolha
```

```
  let a who
```

```
  set pc preco_c
```

```
  carefully [
```



```

ask one-of my-links with-max [fidelidade] [
  set breed conexoes-a
  ask other-end [
    let b who
    negociar a b
  ]
]
] [set shape "bug"]
end

```

```

to negociar [a b]
  set pv preco_v
  ask comprador a [set pc preco_c ]

```

```

ifelse pv <= pc [
  set transacao transacao + 1
  ask comprador a [

    set caixa caixa - pv

    set obj true
  ]
]

```

set preco_c pv * 1

set felicidade felicidade + 1

]

set caixa caixa + pv

set qtd_v qtd_v + 1

ask link-with comprador a [set fidelidade fidelidade + 1]

]

[

ask link-with comprador a [set fidelidade fidelidade - 1]

]

end

to paga_mais_caro

let a who

```

ask comprador a [
  set pc preco_c * (1 + limiar)

  carefully [
    ask one-of conexao-a-neighbors with-min[preco_v] [
      let b who
      negociar a b
    ]
  ] [set shape"bug"]
]

```

end

to acessa_vendedores

```

set pc preco_c

let a who

if any? conexao-neighbors with [preco_v <= pc] [
  ask one-of conexao-neighbors with-min [preco_v] [
    let b who
    negociar a b
  ]
]

```

```

    ask my-conexoes [set breed conexoes-a]

]

end

to busca_vendedores

    let a who

    if count my-links < count vendedores [

        ask one-of vendedores with [not (link-neighbor? comprador a)] [

            let b who

            create-conexao-a-with myself [

                set fidelidade 1

                hide-link]

            negociar a b

        ]

    ]

end

to clear_vendedores

    let cont_1 count my-links with [fidelidade < -5]

    if (cont_1 > 1) [ ask one-of my-links with-min [fidelidade] [die]]

```

end

to estrategia_1

;; tenta pagar mais caro --> tenta acessar a rede --> busca vendedores

set color red

if obj = false [

 paga_mais_caro

 if obj = false [

 acessa_vendedores

 set caixa caixa - custo_de_acesso * count(my-conexoes) / 2

 if obj = false [

 busca_vendedores

 set caixa caixa - custo_de_busca

]]

ifelse obj = false [

 set caixa caixa - custo_de_desistir

 set preco_c preco_c + custo_de_desistir / 2

 set felicidade felicidade - 20

 atualiza_pec 1 false]

[atualiza_pec 1 true]

end

to estrategia_2

;; tenta pagar mais caro --> busca vendedores --> acessa a rede

set color lime

if obj = false [

 paga_mais_caro

 if obj = false [

 busca_vendedores

 set caixa caixa - custo_de_busca

 if obj = false [

 acessa_vendedores

 set caixa caixa - custo_de_acesso * count(my-conexoes) / 2

]]

ifelse obj = false [

 set caixa caixa - custo_de_desistir

 set preco_c preco_c + custo_de_desistir / 2

 set felicidade felicidade - 20

 atualiza_pec 2 false]

 [atualiza_pec 2 true]

end

to estrategia_3

;; tenta acessar a rede --> pagar mais caro --> busca vendedores

set color cyan

if obj = false [

 acessa_vendedores

 set caixa caixa - custo_de_acesso * count(my-conexoes) / 2

 if obj = false [

 paga_mais_caro

 set caixa caixa - custo_de_acesso

 if obj = false [

 busca_vendedores

 set caixa caixa - custo_de_busca

]]

ifelse obj = false [

 set caixa caixa - custo_de_desistir

 set preco_c preco_c + custo_de_desistir / 2

 set felicidade felicidade - 20

 atualiza_pec 3 false]

[atualiza_pec 3 true]

end

to estrategia_4

;; tenta acessar a rede --> busca vendedores --> paga_mais_caro

set color gray

if obj = false [

 acessa_vendedores

 set caixa caixa - custo_de_acesso * count(my-conexoes) / 2

 if obj = false [

 busca_vendedores

 set caixa caixa - custo_de_busca

 if obj = false [

 paga_mais_caro

 set caixa caixa - custo_de_acesso

]]

ifelse obj = false [

 set caixa caixa - custo_de_desistir

 set preco_c preco_c + custo_de_desistir / 2

 set felicidade felicidade - 20

 atualiza_pec 4 false]

[atualiza_pec 4 true]

end

to estrategia_5

;; tenta buscar vendedores --> paga_mais_caro --> acessar a rede

set color blue

if obj = false [

busca_vendedores

set caixa caixa - custo_de_busca

if obj = false [

paga_mais_caro

set caixa caixa - custo_de_acesso

if obj = false [

acessa_vendedores

set caixa caixa - custo_de_acesso * count(my-conexoes) / 2

]]]

ifelse obj = false [

set caixa caixa - custo_de_desistir

set preco_c preco_c + custo_de_desistir / 2

set felicidade felicidade - 20

atualiza_pec 5 false]

[atualiza_pec 5 true]

end

to estrategia_6

;; tenta buscar vendedores --> acessar a rede --> pagar mais caro

set color pink

if obj = false [

busca_vendedores

set caixa caixa - custo_de_busca

if obj = false [

acessa_vendedores

set caixa caixa - custo_de_acesso * count (my-conexoes) / 2

if obj = false [

paga_mais_caro

set caixa caixa - custo_de_acesso

]]]

set felicidade felicidade + 1

ifelse obj = false [

set caixa caixa - custo_de_desistir

set preco_c preco_c + custo_de_desistir / 2

set felicidade felicidade - 20

atualiza_pec 6 false]

[atualiza_pec 6 true]

end

to morre

let a 0

set taxa_renovacao count compradores with [felicidade < -100]

ask compradores with [felicidade < felicidade_limite] [

if renova_comprador [

ask one-of patches with [not any? turtles-here] [

let i random (101) / 100

if i <= 1 [

sprout-compradores 1 [

set color white

set shape "dot"

set remuneracao random-normal renda_media_comprador
(variacao_renda_media_comprador * renda_media_comprador)

set caixa random-normal 600 60

set preco_c 1 + random (remuneracao * 2)

set pec [1667 1667 1667 1667 1666 1666]

set limiar (random-normal 100 21) / 100

set obj true

```

set felicidade 0

ifelse count vendedores < conexoes_com_vendedores [set a count
vendedores][set a conexoes_com_vendedores]

create-conexoes-with n-of a vendedores [hide-link]

]]]]

if morte_comprador [ die]

]

ask vendedores with [caixa < .1] [

if renova_vendedor [

ask one-of patches with [not any? turtles-here] [

let i random (101) / 100

if i <= 1 [

sprout-vendedores 1 [

set color yellow

set shape "flag"

set preco_v random 31 + 10

set caixa random-normal 3000 100

set qtd_v 1

set estrategia [10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10
80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80

```

10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10
80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80
10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10
80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80
10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80 10 80]

set alfa random (41) / 100 ;set alfa .2

set beta random (41) / 100 ;set beta .2

set gama random (61) / 100 ;set gama .3

set delta random (41) / 100 ;set delta .2

set step1 random (21) / 100 ;set step1 .11

set step2 random (11) / 100 ;set step2 .03

set zeta1 random (11) / 100 ;set zeta1 .05

set zeta2 random (41) / 100 ;set zeta2 .2

set pos 0

create-ligacoes-v-with n-of 2 (other vendedores) [

set color lime

hide-link]

]]]]

if morte_vendedor [die]

]

end

to atualiza_pec[est f]

```
let a 0
```

```
let b 0
```

```
ifelse f [ set a 1750 set b -350][ set a -1750 set b 350]
```

```
set pec replace-item 0 pec (item 0 pec + b)
```

```
set pec replace-item 1 pec (item 1 pec + b)
```

```
set pec replace-item 2 pec (item 2 pec + b)
```

```
set pec replace-item 3 pec (item 3 pec + b)
```

```
set pec replace-item 4 pec (item 4 pec + b)
```

```
set pec replace-item 5 pec (item 5 pec + b)
```

```
set pec replace-item (est - 1) pec (item (est - 1) pec - b + a)
```

```
end
```

```
to ajusta_pec
```

```
let a 0
```

```
let i 5
```

```
while [i >= 0] [
```

```
if item i pec < 0 [
```

```
set a (item i pec) / -5
```

```
set pec replace-item 0 pec (item 0 pec + a)
```

```
set pec replace-item 1 pec (item 1 pec + a)
```

```
    set pec replace-item 2 pec (item 2 pec + a)

    set pec replace-item 3 pec (item 3 pec + a)

    set pec replace-item 4 pec (item 4 pec + a)

    set pec replace-item 5 pec (item 5 pec + a)

    set pec replace-item i pec 0

]

set i i - 1

]

end
```