UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

IMPLEMENTAÇÃO DE UM LEILÃO DUPLO UTILIZANDO AGENTES DE INTELIGÊNCIA ZERO

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

ELIANE MAGALHÃES TELES

Mariana
Junho/2017

ELIANE MAGALHÃES TELES

IMPLEMENTAÇÃO DE UM LEILÃO DUPLO UTILIZANDO AGENTES DE INTELIGÊNCIA ZERO

Monografia apresentada ao curso de Ciências Econômicas do Instituto de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Martin Harry Vargas Barrenechea

Mariana
DEECO / ICSA / UFOP
2017

Catalogação na fonte: Bibliotecário: Essevalter de Sousa - CRB6a. - 1407 - essevalter@sisbin.ufop.br

T269i Teles, Eliane Magalhães
Implementação de um leilão duplo utilizando agentes de Inteligência Zero [recurso eletrônico] : Eliane Magalhães Teles.-Mariana, MG, 2017.
1 CD-ROM; (4 3/4 pol.)+ 1 monografia (56 f. : il., gráfs.)

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Ouro Preto, Instituto de Ciências Sociais Aplicadas. Departamento de Ciências Econômicas DEECO/ICSA/UFOP

1. Economia - Teses. 2. MEM. 3. Mercado de capitais - Teses. 4. Monografia. 5. Leilão duplo. 6. Modelagem baseada em agentes. 7. Agentes de inteligência zero. 8. Mercados artificiais. I.Barrenechea, Martin Harry Vargas. II.Universidade Federal de Ouro Preto - Instituto de Ciências Sociais Aplicadas - Departamento de Ciências Econômicas. III. Título.

CDU: Ed. 2007 -- 330.1
: 15
: 1418410

Eliane Magalhães Teles

Curso de Ciências Econômicas - UFOP

IMPLEMENTAÇÃO DE UM LEILÃO DUPLO UTILIZANDO AGENTES DE INTELIGÊNCIA ZERO.

Trabalho apresentado ao Curso de Ciências Econômicas do Instituto de Ciências Sociais e Aplicadas (ICSA) da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências Econômicas, sob orientação do Prof. Dr. Martin Harry Vargas Barrenechea.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Martin Harry Vargas Barrenechea

Prof.ª Ma. Kamila Gabriela Jacob

Prof. Dr. Victor Maia Senna Delgado

Mariana, 27 de junho de 2017.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, louvo e agradeço a Deus, pela presença em todos os momentos. Quero agradecer: aos meus pais e meu irmão, que sempre me mostraram o valor do estudo e me apoiaram em todos os passos desta caminhada; aos meus avós, que me ensinaram o poder da honestidade e humildade; aos demais familiares e amigos, que me incentivaram e trilharam este caminho comigo; ao orientador Martin Vargas, que com paciência e dedicação me proporcionou amplo crescimento pessoal.

Ademais, gostaria de estender meu agradecimento aos professores Victor Maia Senna Delgado e Kamila Gabriela Jacob, que aceitaram participar da minha banca e todos os demais professores do curso de Ciências Econômicas, que foram fundamentais para a construção do meu saber.

RESUMO

Este trabalho buscou analisar o impacto da modelagem baseada em agentes sobre um mercado de leilão duplo, no qual comerciantes humanos foram substituídos por negociantes de inteligência zero. Procurou-se fazer uma revisão bibliográfica acerca do tema a fim de conhecer as peculiaridades do leilão duplo e investigar mais sobre a atuação de agentes artificiais. Ademais, elaborou-se uma análise de duas variedades de agentes, cujo objetivo era de averiguar as diferenças e semelhanças de tais cenários. Posteriormente, foi feita uma descrição detalhada do modelo a ser implementado no software "NetLogo"[1], considerando todas as características do leilão duplo e dos agentes de inteligência zero. Foi possível elaborar a análise dos resultados, revelando que a atuação dos agentes de zero inteligência, quando submetidos á uma restrição de orçamento, era comparável ao comportamento de agentes humanos.

Palavras-chave: leilão duplo, modelagem baseada em agentes, agentes de inteligência zero, mercados artificiais.

ABSTRACT

This work aimed to analyze the impact of agent-based modeling on a double auction market in which human traders were replaced by zero-intelligence traders. We attempted to make a bibliographical review about the subject in order to know the peculiarities of the double auction and to investigate more about the performance of artificial agents. In addition, an analysis of two varieties of agents was elaborated, whose objective was to ascertain the differences and similarities of such scenarios. Subsequently, a detailed description of the model to be implemented in the "NetLogo"[1] software was made, considering all the characteristics of the double auction and zero-intelligence agents. It was possible to elaborate the analysis of the results, revealing that the performance of the agents of zero-intelligence, when submitted to a budget constraint, it was comparable to the behavior of human agents.

Key-words: double auction, agent-based modeling, zero-intelligence agents, artificial markets.

Sumário

Lista de Figuras 8

Lista de Tabelas 10

Capítulo 1. Introdução 11

Capítulo 2. As variedades do mercado competitivo 16

Capítulo 3. Protocolo ODD do modelo 27

1. Propósito 27
2. Entidades, variáveis de estado e escalas 27
3. Visão geral e sequência dos processos 29
4. Conceitos de Design 30
5. Inicialização 31
6. Submodelos 34

Capítulo 4. Resultados 37

1. Simulações 37
2. Equilíbrio Competitivo 37
3. Eficiência 43

Capítulo 5. Considerações Finais 47

Referências Bibliográficas 50

Apêndice A. Código NetLogo [1] 52

Lista de Figuras

1 Curva de Demanda para Bens Discretos 18

2 Curva de Demanda para Bens Contínuos 19

3 Curva de Oferta para Bens Discretos 20

4 Curva de Oferta para Bens Contínuos 20

5 Equilíbrio Competitivo para Bens Discretos 21

6 Equilíbrio Competitivo para Bens Contínuos 22

7 Função da média de preços para o mercado de Kimbrough [2] 24

8 Função da média de quantidades para o mercado de Kimbrough [2] 24

9 Equilíbrio médio para o mercado de Kimbrough [2] 25

10 Curva de Oferta do Leilão Duplo 32

11 Curva de Demanda do Leilão Duplo 32

12 Equilíbrio Competitivo Teórico 33

13 Esquema de funcionamento das transações 35

14 ZI-U: Série de preços do leilão - Simulações 1 a 6 38

15 ZI-U: Série de preços do leilão - Simulações 31 a 36 38

16 ZI-U: Série de preços do leilão - Simulações 55 a 60 38

17 ZI-U: Distribuição dos desvios padrões dos preços de cada bem para sessenta simulações 39

18 ZI-C: Quantidades negociadas em cada simulação, quantidade de equilíbrio e quantidade média do leilão 39

19 ZI-C: Série de preços do leilão - Simulações 13 a 18 40

20 ZI-C: Série de preços do leilão - Simulações 37 a 42 40

21 ZI-C: Série de preços do leilão - Simulações 49 a 54 41

22 Comerciantes Humanos: Série de preços do leilão - Simulações 19 a 24 41

23 ZI-C: Desvios padrões dos preços de cada bem - Sessenta simulações 42

24 ZI-C: Preço médio em cada simulação, preço do equilíbrio teórico e média das médias de preços 42

25 Rota das médias dos desvios padrões para cada bem 43

26 Comportamento da eficiência no leilão duplo de Gode e Sunder [3] 44

27 ZI-C: Número de ocorrências da Eficiência 45

Lista de Tabelas

1 Variáveis utilizadas para formulação do modelo 28

2 Média e Desvio Padrão da Eficiência 45

CAPíTULO 1

Introdução

Influenciado por uma onda crescente de estudos na área de jogos experimentais, Smith [4] foi um dos pioneiros a formular jogos para verificar a veracidade de algumas hipóteses da teoria neoclássica acerca dos mercados competitivos.

Smith [4] simulou um leilão duplo com uma turma de alunos, na qual parte seria constituída por compradores, que davam lances para adquirir um produto, e a outra parcela seria composta pelos vendedores, aqueles que faziam ofertas a fim de negociar seu bem. Demandantes eram providos de um valor de reserva, que representava a cifra máxima que podia ser gasta na compra do bem, e os vendedores recebiam um valor que simbolizava o custo de produção do bem e, portanto, não podiam comercializá-lo abaixo de tal montante. Sendo assim, os agentes do leilão eram induzidos a obter lucro com as transações.

A partir dos valores de reserva dos compradores, a curva de demanda foi construída e, utilizando os custos dos vendedores, formou-se a curva de oferta. Assim que um produto era negociado, o preço da transação era gravado para averiguar, ao final do experimento, uma possível convergência ao equilíbrio competitivo.

Várias situações adversas foram consideradas por Smith [4], com o propósito de averiguar se o equilíbrio competitivo seria alcançado em todas elas. O autor concluiu que existiam fortes indícios de convergência ao equilíbrio competitivo teórico, desde que não existissem conluios ou demais atos anticompetitivos. Ademais, deslocamentos nas curvas de oferta e demanda causavam mudanças no número de transações, mas o leilão continuava apresentando tal tendência de convergência. O formato das funções de oferta e demanda era um importante fator para analisar a convergência, uma vez que, utilizando como exemplo uma curva oferta perfeitamente elástica, o equilíbrio do mercado em questão seria maior que o equilíbrio competitivo. Leilões em que os vendedores faziam pedidos e os compradores eram impossibilitados de dar lances, a convergência tornava-se mais lenta. Por fim, Smith [4] declarou que a hipótese Walrasiana sobre o ajuste do mercado podia não ser efetiva, confirmando que a hipótese mais adequada era a do excesso de rendimentos, hipóteses essas que são mais profundamente discutidas por Smith [5] .

Smith [5] fez um estudo a fim de analisar mais detalhadamente a convergência ao equilíbrio em leilões duplos e a hipótese de Walras. Para isso, Smith [5] juntou um grupo de pessoas, dividindo-os em compradores e vendedores. Os experimentos foram feitos com 13, 16, e 19 ofertantes com valores de custo iguais e 9 compradores, com valores de reserva também fixo, demonstrando curvas de oferta e demanda perfeitamente elásticas. A estes agentes foi revelado que só poderiam fazer uma transação e que, a cada contrato efetivado, eles ganhariam o lucro da transação mais um valor fixo por terem transacionado, valor este utilizado para estimular as negociações. Devido a diferente quantidade de vendedores e compradores, era esperado que os ofertantes vendessem seu bem ao preço mínimo e garantissem o valor fixo dado por contrato e, desta forma, os compradores se apropriariam de todo o lucro, além do valor fixo dado por negociação feita.

O experimento provou que a motivação dada pela efetivação do contrato surtiu efeitos positivos, uma vez que esta condição permite que os ofertantes ganhem, pelo menos, um valor fixo por negociação. Os compradores detiveram cerca de oitenta por cento do lucro das transações, enquanto os vendedores, que demonstraram certa resistência a lances baixos, ficaram com o restante. Isso mostra que o equilíbrio competitivo tende a ser atingido, mesmo com tais variações na disciplina do mercado.

Smith [5] fez a diferenciação entre as hipóteses Walrasiana (WH) e de rendimentos em excesso (ERH):

> A WH refere-se à hipótese de que o preço tende a cair (subir) a uma taxa que é proporcional ao excesso de oferta e ERH refere-se à hipótese de que o preço tende a cair (subir) a uma taxa proporcional ao excesso de renda econômica a qualquer preço, onde o excesso de renda é medido pela área entre as curvas de oferta e demanda do preço em questão para baixo ou para cima até o preço de equilíbrio. ([5], p. 390).

Deste modo, Smith [5] concluiu que o mercado tendia ao equilíbrio competitivo mesmo com situações adversas. Ademais, Smith [5] constatou, com maior veemência, que a hipótese Walrasiana não se sustenta e, portanto, a hipótese de rendimentos em excesso é mais factível em mercados competitivos.

Smith [6] descreveu a história dos estudos experimentais em laboratório. Segundo ele, ainda que estes estudos fossem tão antigos quanto o próprio estudo dos sistemas de informação na alocação de recursos, os estudos experimentais em laboratório se desenvolveram em paralelo ao estudo

da economia de bem-estar, considerada uma área nova nas ciências econômicas. O autor, numa referência a definição criada por Wilde [7], afirmou:

> Laboratórios microeconômicos são sistemas econômicos da vida real, que são certamente mais ricos, comportamentalmente, do que os sistemas parametrizados em nossas teorias. ([6], p. 923 e 924).

Portanto, os experimentos objetivavam, segundo Smith [6], a reprodução do ambiente microeconômico em laboratório, de tal forma que todos os agentes e instituições pudessem ser gerenciados para que os resultados se aproximassem ao máximo da vida real.

Estimulados pelos experimentos que Smith [4] [5] vinha produzindo, Gode e Sunder [3] inovaram e utilizaram da programação baseada em agentes (ABM)[1] para simular um leilão duplo. Além de experimentos com seres humanos, Gode e Sunder [3] empregaram agentes com zero inteligência (ZI) programados computacionalmente. Esse trabalho foi motivado pela necessidade de averiguar se a convergência ao equilíbrio competitivo de um leilão duplo se derivava da sua própria estrutura ou se era influenciada pela aprendizagem, inteligência ou motivação dos comerciantes humanos.

Foram utilizados compradores e vendedores que receberam, respectivamente, valores de reserva e custos aleatórios. O valor de reserva representava o montante máximo que o demandante podia pagar pelo bem e o custo simbolizava o valor mínimo que os ofertantes exigiam para efetuar uma venda. As curvas de oferta e demanda derivavam, portanto, da ordenação crescente e decrescente, respectivamente, dos valores de custo e reserva. Tal descrição era comum tanto para agentes ZI quanto para comerciantes humanos.

Através da ABM, implementou-se dois tipos de agentes ZI a fim de que seus resultados fossem comparados aos obtidos no leilão duplo composto por comerciantes humanos. Agentes artificiais com restrição orçamentária (ZI-C) eram aqueles que não poderiam obter prejuízos nas negociações, ou seja, compradores deveriam dar lances abaixo do seu valor de reserva e vendedores precisavam ofertar o bem por um valor acima do custo de provê-lo. Comerciantes zero inteligência sem restrição orçamentária (ZI-U) poderiam obter prejuízos nas transações, sendo possível dar lances e ofertas que não respeitavam suas dotações iniciais.

Através desse modelo, Gode e Sunder [3] puderam constatar que a atuação dos agentes ZI-C gerava uma convergência dos preços para o equilíbrio do mercado competitivo, já os agentes ZI-U apresentavam uma grande volatilidade de preços e, portanto, uma tendência de convergência fraca.

[1] Refere-se ao termo em inglês: agent-based modeling

Constatou-se também que a eficiência do mercado ZI-C se aproximava muito da eficiência do leilão com agentes humanos, alcançando cerca de 98 por cento de eficácia, enquanto que os agentes ZI-U obtiveram níveis de eficiência muito abaixo dos comerciantes ZI-C. Concluiu-se que a convergência ao equilíbrio competitivo teórico era resultado da disciplina do mercado, independente das motivações e sentimentos humanos. Mediante tai resultados, Gode e Sunder afirmaram: "a mão invisível de Adam Smith pode ser mais poderosa do que alguns podem ter pensado."[3], página 136.

Não satisfeitos, Gode e Sunder [8] elaboraram um estudo a fim de conhecer os fatores influenciadores das altas eficiências dos agentes ZI-C nos leilões duplos. Para isso, utilizaram os comerciantes ZI-C em modelo de leilão duplo sincronizado, no qual todos os agentes apresentavam seus lances e ofertas antes de fazer um contrato. Desenvolveram uma equação para mensurar a eficiência esperada do modelo e concluíram que o limite inferior da eficiência era de aproximadamente 80 por cento, demonstrando que leilões duplos sincronizados compostos por agentes ZI-C eram sempre muito eficientes e que, portanto, a eficiência de mercados constituídos por tais agentes artificiais dependia apenas de como suas instituições foram criadas.

Gode e Sunder [8] simularam também um leilão duplo contínuo, no qual cada comerciante tinha a chance de apresentar seu lance ou oferta e, a qualquer momento, um comprador podia aceitar a oferta do vendedor ou o ofertante podia acatar o lance do demandante. O limite inferior da eficiência dos leilões duplos contínuos encontrado era 4 por cento menor que o limite inferior dos leilões sincronizados, mas os autores afirmam que isso não implicava que os leilões duplos contínuos eram piores que os sincronizados.

Gode e Sunder em [9] citaram três importantes vantagens do modelo ZI: estudar os efeitos da disciplina de mercado; as regras do comércio determinam as interações entre os comerciantes e, portanto, os mercados artificiais podem descrever agentes baseados em seres humanos de diferentes origens; é simples e de fácil compreensão dos resultados. Ademais, os autores fizeram simulações de agentes ZI com preços não vinculativos, ou seja, os agentes artificiais foram relaxados das restrições de orçamento que lhes eram impostas. Os resultados demonstraram que os comerciantes são capazes de alterar seus comportamentos para compensar os efeitos das mudanças nas regras de mercado, desde que eles já tenham conhecimento sobre o estrutura do mercado anterior.

O objetivo de replicar o leilão duplo através de uma simulação baseada em agentes é comprovar que os resultados obtidos pelos comerciantes artificiais convergem para o equilíbrio competitivo teórico

e, posteriormente, certificar que a eficiência do leilão deriva da sua estrutura e não da aprendizagem, motivação, raciocínio e memória presentes no comportamento humano. A justificativa para tal trabalho é suprimir algumas lacunas deixadas no estudo de Gode e Sunder [3] com a ajuda do pseudo-código apresentado por Kimbrough [2].

Estabelecidas as referências mais importantes para o trabalho, será feita uma breve descrição de duas variedades do mercado competitivo no capítulo 2, detalhando suas características, condições de equilíbrio, bem como semelhanças e diferenças entre elas. O terceiro capítulo apresenta o protocolo ODD[2] do modelo a ser implementado, demonstrando todas as características do leilão duplo e saídas a serem analisadas. No capítulo 4, haverá uma ampla discussão acerca dos resultados obtidos na implementação do mercado artificial.

[2]Criado por um grande grupo de experientes modeladores [10], ODD é uma abreviação para *Overview, Design concepts, and Details* (visão geral, conceitos de design e detalhes) e fornece uma maneira de pensar e descrever problemas de modelagem baseados em agentes.

CAPíTULO 2

As variedades do mercado competitivo

O estudo da concorrência é algo complicado, pois envolve uma coordenação descentralizada de diversas empresas e consumidores. Por esse motivo, a teoria econômica neoclássica convenciona a utilização do caso ideal no estudo do mercado, no qual vendedores e compradores individuais têm pouco poder de alterar os preços, mas agem como se suas decisões não influenciassem o equilíbrio. Isso acontece porque uma economia em tal formato de concorrência pressupõe que há uma grande quantidade de ofertantes e demandantes e, portanto, o preço é determinado pela intersecção da oferta e demanda, tornando-os tomadores de preços.

> Na análise do equilíbrio parcial padrão de competição perfeita, um número de empresas, todas elas capazes de produzir um único bem, no qual cada um é vendido para compradores em troca de uma remuneração monetária. ([11], p. 264).

Existem algumas condições para que o mercado adquira a forma de concorrência perfeita, segundo Nicholson [14]:

- Elevado número de compradores e vendedores;
- Produtos homogêneos;
- As informações sobre o produto são completas e amplamente conhecidas por todos os agentes do mercado;
- Inexistência de barreiras a entrada e a saída do mercado;
- Perfeita mobilidade dos fatores de produção;
- Não há custos de transação dos produtos.

A primeira condição necessária para uma concorrência perfeita envolve a capacidade de produção e consumo do mercado. É preciso que as tanto empresas quanto consumidores sejam pequenos, para que as decisões individuais de produção e consumo não influenciem no preço de equilíbrio do

mercado. Desta forma, uma empresa pode duplicar sua produção ou reduzi-la pela metade sem interferir significativamente no volume total do mercado. O mesmo acontece com o comprador, que pode aumentar ou diminuir sua demanda pelos bens sem que o equilíbrio de preços seja afetado.

Os bens que compõem uma economia perfeitamente competitiva devem apresentar as mesmas características, ou seja, precisam ser homogêneos. Isso faz com que o demandante seja indiferente à empresa que irá comprar o produto. Essa condição diferencia um mercado em concorrência perfeita de um monopólio, uma vez que empresas monopolísticas ofertam bens com qualidade diferenciada e, por esse motivo, levam vantagem na comercialização.

As informações acerca de um mercado em concorrência perfeita são livres e de amplo conhecimento. Essa condição possibilita que os agentes possam se ajustar a quaisquer mudanças que ocorram no mercado. Compradores rapidamente tem conhecimento de alterações nos preços e podem reagir da melhor forma a essa situação; e os vendedores percebem logo quando uma inovação acontece ao produto de um ofertante e podem implementar essa mudança, de forma a manter a característica de produtos homogêneos.

A entrada e saída de empresas num setor econômico é livre. Isso possibilita que, quando um mercado prospera, empresas de outros setores possam migrar e aproveitar das melhores condições do setor. Sendo assim, qualquer unidade produtiva pode entrar numa indústria com lucros positivos e, da mesma forma, pode sair desta quando está obtendo prejuízos.

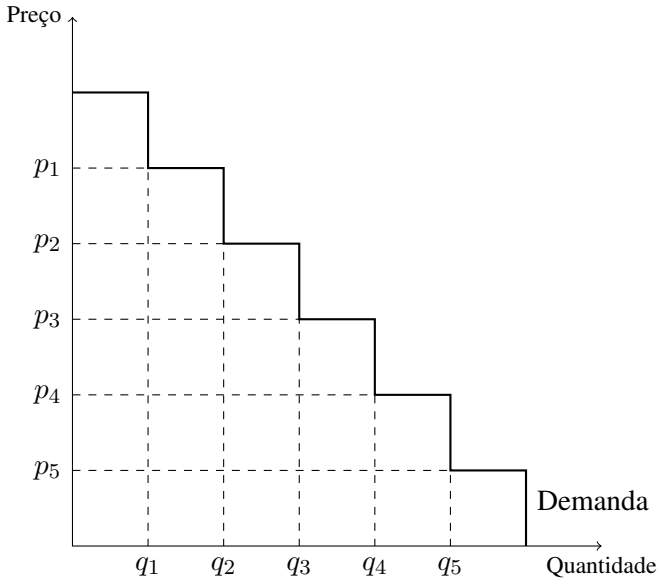
A livre entrada e saída de empresas em uma indústria torna necessária uma perfeita mobilidade dos fatores de produção. As empresas, ao mudarem de setores econômicos, não incorrerão em custos com a mobilidade dos fatores de produção, ou seja, a transição entre as indústrias acontece sem que a empresa tenha gastos com a contratação de novos trabalhadores e matérias-primas. Desta forma, a empresa utiliza os mesmos fatores de produção nos diversos setores que atuar.

Além de todas estas condições, não há custos de transação. Compradores e vendedores não incorrem em nenhum tipo de perda com o comércio dos bens.

Essas condições para ocorrência de um mercado em concorrência perfeita asseguram que a economia não tenha lucro no longo prazo. Isso porque, quando uma indústria está tendo lucros, empresas de outros setores migrarão para participar desses ganhos e, portanto, o preço diminuirá com o aumento da quantidade ofertada, fazendo com que o lucro retorne a ser nulo. Numa indústria com prejuízo, a saída das empresas irá aumentar o preço dos produtos, anulando o prejuízo que outrora incorria. Desta forma, o longo prazo não possibilita que indústrias tenham ganhos ou perdas.

A curva de demanda do mercado em concorrência perfeita demonstra a quantidade do bem q que um consumidor está disposto a comprar a cada nível de preço unitário. Isso significa que os consumidores demonstram através da curva de demanda os valores de reserva máximos que estão dispostos a despender por cada unidade do produto. A quantidade demandada[1] $Q_D(p)$, na maioria dos casos, depende inversamente dos preços p e, portanto, quando o preço do bem aumenta, a quantidade demandada irá diminuir, pois menos consumidores estarão dispostos a adquiri-lo. Desta forma, os valores de reserva V_i dos i compradores são ordenados de forma decrescente, revelando assim a quantidade de bens demandados a cada nível de preço. Simulando uma função de demanda para bens discretos, quando somente quantidades inteiras são comercializadas, temos:

FIGURA 1. Curva de Demanda para Bens Discretos



Fonte: Elaboração própria a partir de Kimbrough [2]

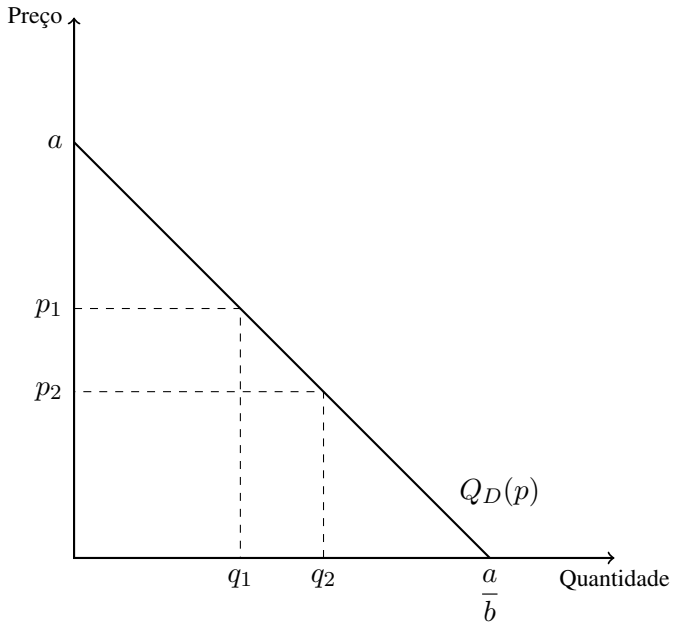
no qual, $p_i \in \mathbb{R}$ com $i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$ e $q_i \in \mathbb{N}$ com $i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$. Desta forma, quando o preço no mercado for p_1, q_1 quantidades serão demandadas, se o preço for p_2, q_2 serão consumidas e assim por diante.

Para bens contínuos, a função de demanda se apresenta de forma linear, visto que quantidades fracionárias podem ser consumidas.

$$Q_D(p) = a - b\ cdotp \tag{1}$$

[1]Nomenclaturas baseadas em Kimbrough [2].

FIGURA 2. Curva de Demanda para Bens Contínuos



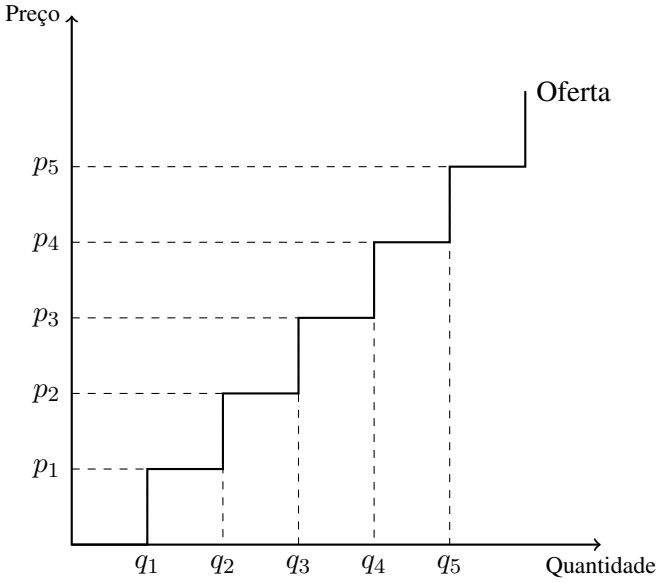
Fonte: Elaboração própria a partir de Kimbrough [2]

Pode-se observar que, quando o preço p_1 é cobrado no mercado, q_1 bens serão demandados, mas, se o preço deflacionar e atingir p_2, a quantidade consumida aumenta para q_2 unidades. Outros fatores também podem afetar a inclinação e posicionamento da curva de demanda, como a renda dos consumidores, a classificação do bem e dos demais bens vendidos no mercado.

A curva de oferta busca mostrar a disposição dos vendedores em ofertar um bem a cada nível de preço unitário. A oferta $Q_S(p)$ de um bem depende proporcionalmente do preço p a ser cobrado, ou seja, quanto mais caro os consumidores estiveram dispostos a pagar, maior será a capacidade e o desejo das empresas de produzir e vender. Desta forma, a curva de oferta é estruturada através da disposição crescente dos valores de custo C_j dos j vendedores, demonstrando a quantidade de bens a serem vendidas para cada nível de preço. Assim, a oferta do mercado, supondo bens discretos (indivisíveis), é apresentada pela figura 3.

no qual, $p_i \in \mathbb{R}$ com $i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$ e $q_i \in \mathbb{N}$ com $i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$. Desta forma, quando o preço no mercado for p_1, q_1 quantidades serão ofertadas, se o preço for p_2, q_2 serão produzidas e assim por diante.

FIGURA 3. Curva de Oferta para Bens Discretos

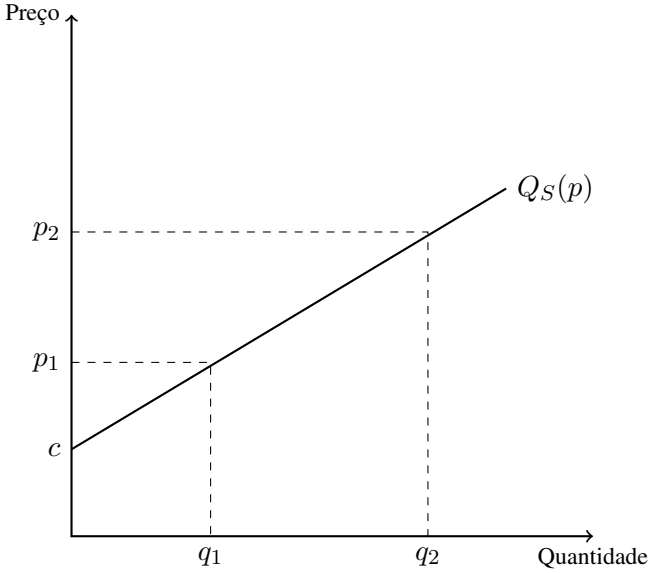


Fonte: Elaboração própria a partir de Kimbrough [2]

Para bens contínuos, a função de oferta assume formato algébrico, conforme a equação 2, e gráfico, de acordo com a figura 4.

$$Q_S(p) = c + d \cdot p \tag{2}$$

FIGURA 4. Curva de Oferta para Bens Contínuos



Fonte: Elaboração própria a partir de Kimbrough [2]

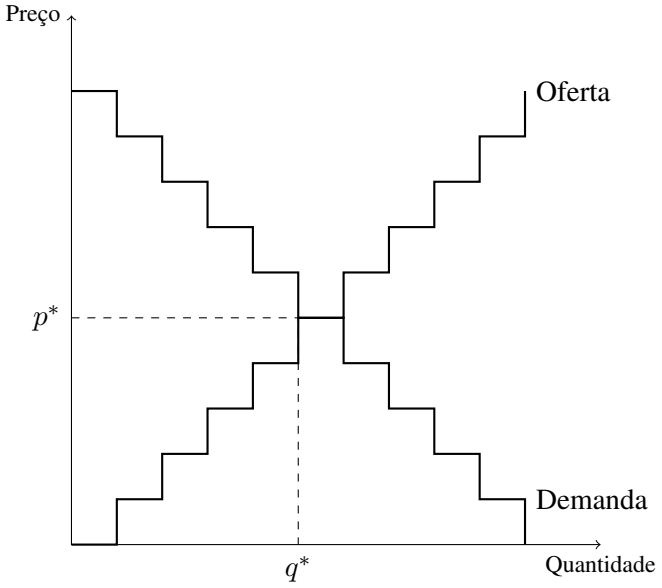
no qual q_1 é a quantidade ofertada quando o preço vigente for p_1 e q_2 é a quantidade fornecida quando o preço for p_2.

O equilíbrio do mercado perfeitamente competitivo é encontrado pela igualdade das curvas de oferta e demanda.

$$Q_S(p) = Q_D(p) \tag{3}$$

Quantidades ofertadas e demandadas dependem de um preço em comum que deve ser encontrado afim de resolver a igualdade descrita na equação (3). Utilizando a a curva de demanda (1) e a função de oferta (2), podemos obter preço p^* e quantidade q^* de equilíbrio, considerando bens discretos:

FIGURA 5. Equilíbrio Competitivo para Bens Discretos



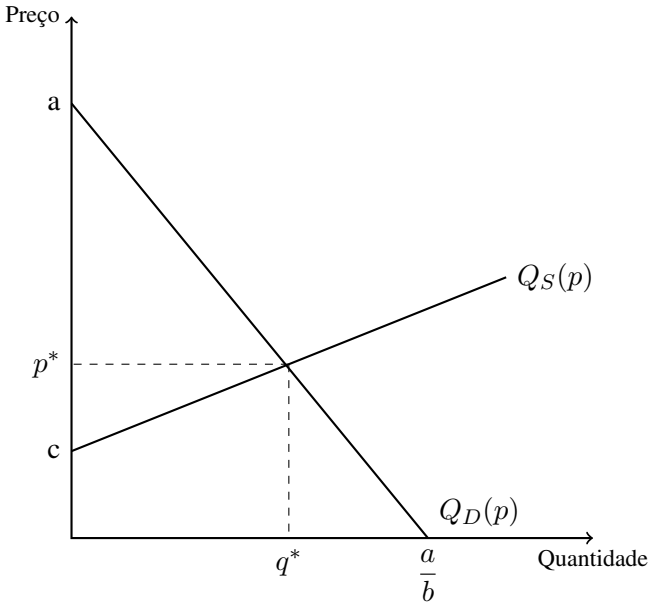
Fonte: Elaboração própria Fonte: Elaboração própria a partir de Kimbrough [2]

Quando se trata de bens contínuos, um tratamento algébrico pode ser feito afim de encontrar o ponto onde a concorrência perfeita encontra o equilíbrio.

$$\begin{aligned} Q_S(p) &= Q_D(p) \\ c + d \cdot p &= a - b \cdot p \\ p^* &= \frac{a-c}{b+d} \\ q^* = c + d \cdot \frac{a-c}{b+d} &= a - b \cdot \frac{a-c}{b+d} = \frac{ad+bc}{b+d} \end{aligned} \tag{4}$$

Geometricamente:

FIGURA 6. Equilíbrio Competitivo para Bens Contínuos



Fonte: Elaboração própria a partir de Kimbrough [2]

O mercado perfeitamente competitivo apresenta preço único, o de equilíbrio, e este será sempre igual ao custo marginal de produção, que é o valor extra de se produzir o último bem. Lucros podem ser obtidos no curto prazo quando as empresas não estiverem conseguindo produzir todas as unidades do bem necessárias para suprimir a demanda, mas serão nulos com o passar do tempo, uma vez que é permitida a livre entrada de empresas na indústria.

A eficiência de Pareto, cujo nome homenageia o economista e sociólogo Viltredo Pareto (1848-1923), diz respeito à situações nas quais não se pode melhorar o bem-estar de uma pessoa sem

piorar o bem-estar de outra, ou seja, é um estado de bem-estar coletivo, segundo Stiglitz [12]. A competição perfeita promove um mercado eficiente no sentido de Pareto, uma vez que todos os vendedores atuam sob as mesmas condições, assim como os compradores, e, portanto, não existe a possibilidade de algum agente ser beneficiado em detrimento de outro.

O equilíbrio competitivo e eficiência de Pareto acontecem simultaneamente caso as políticas econômicas de *"laissez-faire"* sejam adotadas. Tais políticas dizem respeito a uma economia liberal, com mínima interferência do governo. Um Estado que segue as políticas econômicas de *"laissez-faire"* tem que regulamentar os direitos de propriedade dos indivíduos, mas sob nenhuma hipótese deve interferir nos mecanismos do mercado. Esta teoria é reforçada por Adam Smith [13], que defendia a existência de um esforço natural de cada indivíduo em melhorar sua própria condição de forma a levar a sociedade à riqueza e a prosperidade.

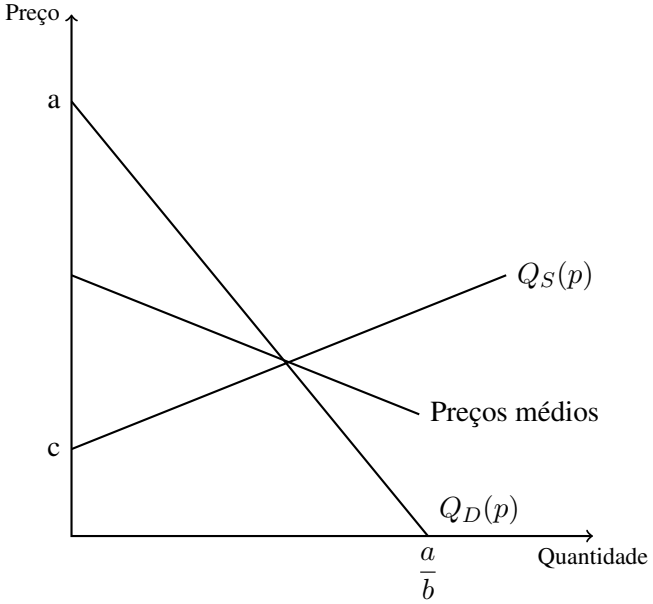
Novamente, como Adam Smith [13] observou, não é o espírito público do padeiro que fornece pão para o consumo dos indivíduos. Os humanos respondem a sinais de mercado ao decidir como alocar seus rendimentos. Deste modo, qualquer intervenção do Estado afetaria o bom funcionamento de um mercado competitivo pois, segundo Nicholson [14], "a loucura das leis humanas, muitas vezes, obstrui suas operações". Portanto, havendo interferência estatal excessiva, o mercado perfeitamente competitivo não funciona e a economia deixa de ser Pareto eficiente. Ainda que esta seja a história contada nos livros de economia sobre os mercados competitivos, é perceptível que ela não descreve a realidade com verossimilhança.

Outra forma de competição é semelhante a anterior, mas permite que os agentes do mercado negociem para encontrar um preço atraente para ambos. Nesse modelo desenvolvido por Kimbrough [2], compradores e vendedores recebem aleatoriamente um preço de reserva, que, para compradores, é o máximo que pode ser despendido na obtenção do bem e, para vendedores, é o mínimo que deve ser cobrado por ele. Assim, escolhe-se aleatoriamente um ofertante e um demandante e estes são levados a negociar com base em seus preços de reserva. Desta forma, compradores tem o estímulo de pagar o mínimo possível, enquanto que vendedores desejam receber um valor maior do que o custo do próprio bem e, a partir dessas premissas, a negociação acontece.

Sabendo que ambos os agentes querem extrair o excedente do outro e que são bons negociadores, existe a tendência de que o preço seja a média entre os valores de reserva dos compradores e vendedores. Dado que a curva de demanda é constituída pelos valores de reserva dos compradores e os custos dos vendedores formam a curva de oferta, pode-se obter a função da média de preços

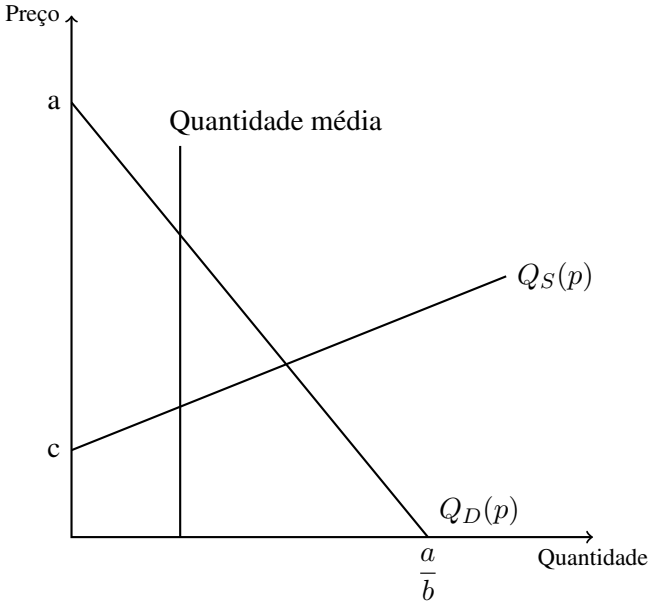
das transações através da figura 2. A quantidade de bens transacionados é obtida da mesma forma, através de uma média da quantidade de equilíbrio do mercado, como se pode observar na figura 2.

FIGURA 7. Função da média de preços para o mercado de Kimbrough [2]



Fonte: Elaboração própria a partir de Kimbrough [2]

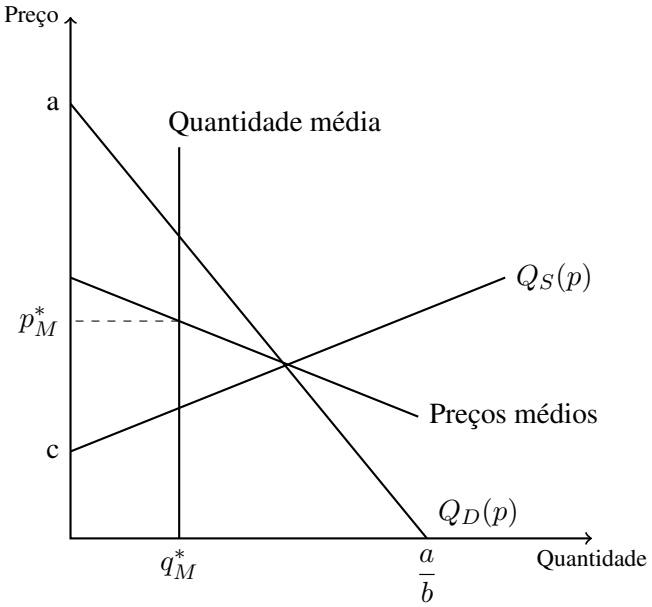
FIGURA 8. Função da média de quantidades para o mercado de Kimbrough [2]



Fonte: Elaboração própria a partir de Kimbrough [2]

Portanto, supondo comportamento racional e boas negociações, pode-se inferir que, na grande maioria das transações feitas sob esse regime de competição, preço e quantidade ficarão sempre próximos do equilíbrio médio de mercado, conforme demonstra a figura 9.

FIGURA 9. Equilíbrio médio para o mercado de Kimbrough [2]



Fonte: Elaboração própria a partir de Kimbrough [2]

no qual p^*_M é o preço médio e q^*_M é a quantidade média. Desta forma, as transações do mercado tenderão a convergir para tal equilíbrio. O preço médio é mais elevado que o preço de equilíbrio do mercado perfeitamente competitivo devido ao fato de que a curva de oferta é mais inelástica que a função de demanda, tornando os vendedores mais resistentes a variações de preços. Portanto, a relação entre o preço médio do modelo de Kimbrough [2] e o preço de equilíbrio teórico do mercado competitivo dependerá das inclinações da oferta e demanda.

Diferentemente do mercado perfeitamente competitivo, o modelo descrito não apresenta preço único, uma vez que em cada negociação um preço é acordado. Existe, entretanto, um ponto em que os preços tendem a convergir, dada a racionalidade e a ânsia de lucro dos comerciantes. Os compradores obtém ganhos na medida em que o preço negociado na transação P seja menor que o preço de reserva V_i do comprador i,ou seja, a diferença $V_i - P$ caracteriza o lucro do demandante i. Os vendedores ganham quando negociam seu bem por um valor mais alto que o custo da produção

do bem. Desta forma, o lucro do ofertante é dado pela diferença $P - C_j$, no qual P é o preço acordado na transação e C_j é o custo do vendedor j. Os ganhos dos comerciantes variam de acordo com as inclinações das funções de oferta e demanda, uma vez que a curva de oferta mais (menos) inelástica que a demanda permite um preço médio maior (menor) que o preço de equilíbrio teórico e, portanto, a apropriação do excedente será maior (menor) para os vendedores.

O mercado competitivo em questão é eficiente no sentido de Pareto, uma vez que não há como melhorar a situação de um agente econômico sem piorar outro. Entretanto, o mercado não é justo, pois os agentes econômicos, ainda que sejam idênticos quando entram no mercado, podem sair das negociações economicamente diferentes. Essa injustiça pode também ser chamada de desigualdade horizontal, que é um determinante essencial do bem-estar, trazendo consigo consequências econômicas e políticas que podem ser muito prejudiciais ao desenvolvimento e, segundo Frances Stewart [15], pode causar inclusive conflitos violentos e diminuição da eficiência na alocação de recursos. Segundo Stewart [15],

> Embora se possa argumentar que a desigualdade vertical é justificada para recompensar o mérito, não há razão para acreditar que existam diferenças de esforço ou de mérito entre grandes grupos de pessoas. ([15], p. 52).

Como se pode notar, a economia competitiva pode assumir diversas estruturas diferentes e os exemplos citados acima provocam uma reflexão acerca dos modelos competitivos em geral. Ainda que o mercado perfeitamente competitivo seja muito descolado da realidade, por apresentar pressupostos fortes, o leilão duplo, que fora implementado por Gode e Sunder [3], ainda é executado nos dias atuais, sendo utilizado, por exemplo, nas bolsas de valores. No capítulo posterior, o mercado de Gode e Sunder [3] será amplamente discutido.

CAPíTULO 3

Protocolo ODD do modelo

1. Propósito

O modelo desenvolvido apoia-se no estudo de Gode e Sunder [3] e pretende substituir comerciantes humanos por agentes de zero inteligência (ZI) no leilão duplo. Para a elaboração do modelo, utilizou-se o pseudo-código[1] de Kimbrough [2] como base para os processos de programação, que serão implementados no *software* NetLogo [1].

O objetivo de replicar o leilão duplo através de uma simulação baseada em agentes é comprovar que os resultados obtidos pelos comerciantes ZI convergem para o equilíbrio competitivo teórico e, posteriormente, certificar que a eficiência do leilão deriva da sua estrutura e não da aprendizagem, motivação ou inteligência humanas. Para atestar que a eficiência alocativa provém da disciplina do mercado, o leilão duplo foi composto por dois tipos de agentes: os ZI-C, que são agentes ZI com restrição orçamentária e, por isso, só podem dar lances menores que o valor de reserva ou, no caso de vendedores, fazer pedidos maiores que o custo do bem; os ZI-U, que são agentes ZI sem restrição orçamentária e, portanto, podem dar lances ou fazer pedidos independente dos valores de reserva ou custos dos bens.

2. Entidades, variáveis de estado e escalas

O modelo baseado no estudo de Gode e Sunder [3] não possui variáveis ambientais e de movimentação dos agentes, pois o interesse em questão é analisar o comportamento do mercado.

[1] Disponível em [2], página 175.

TABELA 1. Variáveis utilizadas para formulação do modelo

Entidades	
Compradores	Variável que define metade dos comerciantes como demandantes de bens.
Vendedores	Variável que define metade dos comerciantes como ofertantes de bens.
Variável para compradores	
Valor de reserva	Valor máximo que o comprador está disposto a pagar por cada bem, escolhido a partir da curva de demanda do mercado.
Variável para vendedores	
Custo	Valor mínimo que o comprador está disposto a ofertar o bem, selecionado a partir da curva de oferta do mercado.

Fonte: Elaboração própria

Conforme descrito, os valores de reserva e custo dos bens são obtidos a partir das curvas de oferta e demanda do mercado. Através dos dados fornecidos por Gode e Sunder [3], é possível auferir os valores de reserva e custo:

$$V = \{30, 50, 70, 90, 110, 130, 150, 170, 190\} \tag{5}$$

$$C = \{20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180\} \tag{6}$$

Posto isso, os compradores recebem aleatoriamente um valor de reserva do conjunto V para cada bem que estiverem dispostos a comprar. Da mesma forma, os vendedores recebem um custo aleatório do conjunto C para cada bem que estiverem propensos a vender.

O tempo de duração do leilão é, segundo Gode e Sunder [3], o período necessário para que as negociações possam ser feitas. Assim sendo, adotou-se que o leilão cessaria quando 500 *ticks*[2] fossem atingidos, uma vez que, feito um teste de sensibilidade, este valor se mostrou suficiente para que os comerciantes fizessem suas transações. Ademais, o leilão também finaliza assim que todos os produtos de posse dos vendedores sejam negociados.

[2]Contador de passos do NetLogo [1].

3. Visão geral e sequência dos processos

- Distribuição de bens: Os nove produtos serão aleatoriamente distribuídos aos seis vendedores, de forma que cada um desdes receba pelo menos um bem para negociar.
- Distribuição das disposições a comprar: Os compradores serão munidos com possibilidades de compra, de forma que haja demanda para todos os bens ofertados. Posto isso, cada comprador será munido com pelo menos uma disposição a comprar, até que exista a possibilidade dos os nove bens serem adquiridos.
- Formação dos lances e pedidos dos comerciantes: Os lances e pedidos de compradores e vendedores dependem diretamente da existência de restrição orçamentária. Quando os agentes possuem restrição orçamentária, (ZI-C), lances e pedido são formados da seguinte forma:

$$P_i^L \sim U(0, V_i) \tag{7}$$

$$P_n^P \sim U(C_n, 200) \tag{8}$$

Já para agentes ZI-U, a formulação de lances e pedidos é desenhada da seguinte forma:

$$P_i^L \sim U(0, 200) \tag{9}$$

$$P_n^P \sim U(0, 200) \tag{10}$$

nos quais, P_i^L é o preço do lance do i-ésimo comprador, P_n^P é o preço do pedido do n-ésimo vendedor, V_i é o valor de reserva do i-ésimo comprador, C_n é o custo do bem do n-ésimo vendedor, 200 é o limite superior definido por Gode e Sunder [3]. Desta forma, lances e pedidos são aleatoriamente selecionados a partir de distribuições uniformes.

- Transações: Os comerciantes são levados a dar lances e fazer pedidos para que as negociações aconteçam. Quando existe um pedido feito, o comprador é levado a analisar seu lance (que só ele tem conhecimento) e, se este for maior que o pedido do vendedor, ele aceita e paga ao ofertante o valor do pedido feito. Se não houver um pedido feito ou lance for menor que este pedido, o comprador divulga seu lance e não faz negociação. Quando existe um lance feito, o vendedor é levado a verificar seu pedido (apenas de seu conhecimento) e, se este for menor que o lance já feito, o vendedor aceita a negociação e seu bem é comercializado pelo valor do lance. Mas, não havendo lance feito ou o pedido seja

maior que o lance, o vendedor anuncia sua oferta e aguarda uma futura negociação. É importante destacar que a diferença da atuação dos agentes ZI-C e ZI-U está na formação do lance, e não no modo como eles transacionam.

4. Conceitos de Design

4.1. Princípios básicos: O modelo explora o leilão duplo, que é amplamente utilizado em todos os tipos de mercados, como bolsas de valores e e-commerce, de acordo com Duffy [16]. Porém, estudos envolvendo simulações com seres humanos tornaram-se inviáveis e desgastantes. Deste modo, o modelo surge da necessidade de obter resultados de forma mais barata e com maiores restrições, diferentemente do que acontecia nas antigas simulações com seres humanos. Além de custosas, as simulações de um leilão com indivíduos tornava-se enviesada, pois, segundo John Duffy em [16], estes são providos de preferências, memória e racionalidade, podendo mudar de estratégias durante o jogo, o que viola seus pressupostos. A simulação baseada em agentes permite uma maior precisão dos dados de recolha e maior controle das informações e dados revelados a indivíduos. Desta forma, agentes de racionalidade limitada são utilizados em uma simulação de leilão duplo afim de comparar seus resultados às simulações reais com seres humanos.

4.2. Emergência: São esperados dois resultados principais: que a imposição de uma restrição orçamentária na modelagem baseada em agentes seja suficiente para que a eficiência do leilão se aproxime da eficiência de um mercado com agentes humanos, demonstrando que os comerciantes ZI não necessitam de aprendizagem, raciocínio, memória e motivação para extrair o máximo possível do excedente das transações; além disso, deseja-se averiguar se haverá uma convergência dos preços do leilão artificial ao equilíbrio competitivo teórico.

4.3. Estocasticidade: Os valores de reserva dos demandantes e custos dos ofertantes são designados a partir das curvas de oferta e demanda. Os lances dos compradores são aleatoriamente escolhidos entre $[0$, valor de reserva$]$ e os pedidos dos vendedores são aleatoriamente definidos no intervalo $[$custo, $200]$, para agentes ZI-C. Tratando-se de comerciantes ZI-U, os lances e pedidos são aleatoriamente selecionados no intervalo $[0, 200]$, não dependendo, portanto, da obtenção de lucros pelos agentes.

O lucro do comprador é obtido pelo valor de reserva, V_i, subtraído do preço da transação, P_i. O

lucro do vendedor é dado pelo preço da transação, P_i, subtraído do custo do bem, C_i. Os bens são distribuídos de maneira aleatória aos vendedores, ou seja, cada vendedor terá a possibilidade de vender pelo menos um produto, podendo estar dotado, portando, com um ou dois bens. Os compradores serão dotados de disposições a comprar, fazendo com que todo comprador tenha pelo menos um valor de reserva para a compra de um bem.

4.4. Agrupações: Existem duas raças no modelo: os compradores que, providos de disposições a comprar, serão demandantes de bens; e os vendedores que ofertarão produtos.

4.5. Estatísticas relevantes:

- Criação da série de preços transacionados: Para cada transação efetivada, o preço acordado é registrado no gráfico das curvas de oferta e demanda, revelando então uma trajetória irregular cujas quebras representam o preço de cada barganha. A série de preços de cada leilão será fundamental para provar a hipótese que os comerciantes ZI conseguem alcançar uma convergência ao equilíbrio competitivo teórico.
- Eficiência: A eficiência do leilão demonstra o desempenho dos agentes frente a apropriação do excedente das transações e se dá pela proporção entre o excedente das transações e o excedente máximo possível no leilão. Este fator será relevante para atestar a suposição que a eficiência alocativa do leilão duplo deriva de sua estrutura, não dependendo de sentimentos e aprendizados humanos.

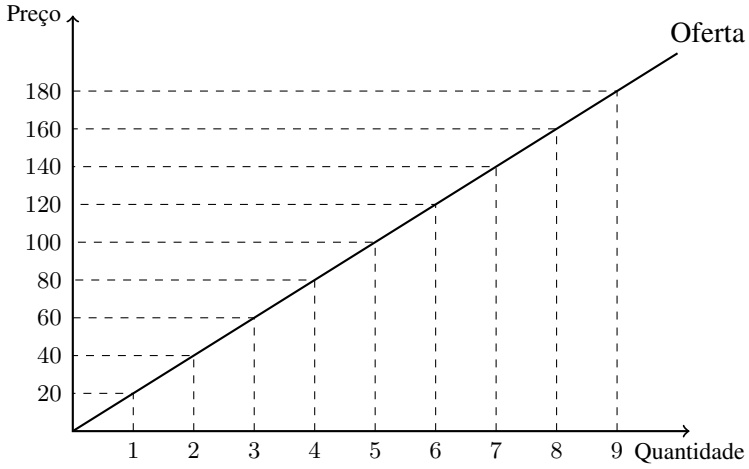
5. Inicialização

O leilão possui dois tipos de agentes: um com restrição orçamentária (ZI-C) e outro sem (ZI-U). Escolhida a estrutura desejada, o modelo é inicializado e conta com 6 compradores, dotados com 9 disposições a comprar, e 6 vendedores, munidos com 9 bens para as possíveis transações, baseado no modelo de Gode e Sunder [3]. As curvas de oferta e demanda do mercado podem ser traçadas, da seguinte forma:

$$Q^S = \frac{1}{20}P \tag{11}$$

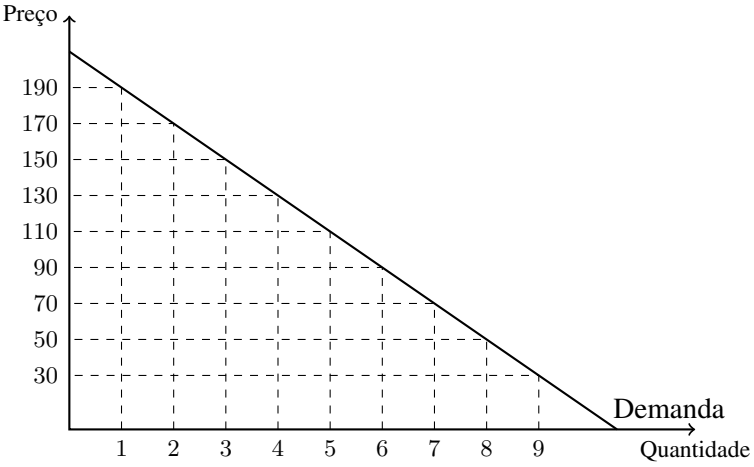
$$Q^D = 10.5 - \frac{1}{20}P \tag{12}$$

FIGURA 10. Curva de Oferta do Leilão Duplo



Fonte: Elaboração própria

FIGURA 11. Curva de Demanda do Leilão Duplo



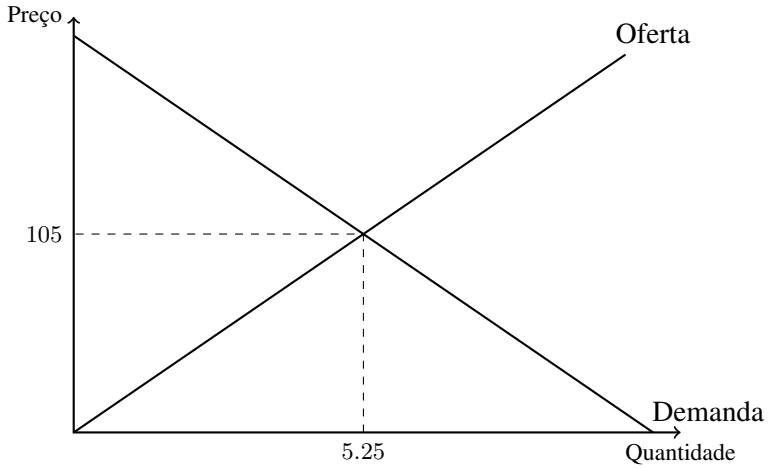
Fonte: Elaboração própria

A curva de demanda demonstra, então, a quantidade de bens que os compradores estão dispostos a adquirir nos diversos níveis de preço. Já a curva de oferta exprime a porção de bens que os vendedores pretendem barganhar dado os níveis de preços.

Conforme demonstrado na figura, os valores de reserva serão aleatoriamente designados aos compradores de forma que cada um dos números do conjunto $\{30, 50, 70, 90, 110, 130, 150, 170, 190\}$ seja dado a um comprador para uma possível transação. De forma semelhante, os custos serão aleatoriamente designados a cada vendedor a partir do conjunto $\{20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180\}$. Cada comerciante terá pelo menos um valor de reserva ou custo para a transação de um bem.

Desta forma, o equilíbrio competitivo teórico se dará para quantidade e preço respectivamente iguais a 5.25 e 105, conforme ilustrado na figura 12.

FIGURA 12. Equilíbrio Competitivo Teórico



Fonte: Elaboração própria

O excedente das transações deve ser iniciado em 0, assim como o número de bens transacionados. O maior lance deve se iniciar em 0 e o menor pedido começa no limite superior, fixado em 200, de acordo com Gode e Sunder [3]. Isso acontece porque a intuição de um leilão duplo é que os pedidos decresçam e os lances aumentem até que uma transação seja efetivada. Todos os comerciantes estreiam no modelo sem terem feito nenhum lance ou pedido.

É necessário que o excedente máximo do mercado seja calculado, para que, posteriormente, seja possível obter a eficiência alocativa do leilão. Para a determinação do excedente máximo, deve-se calcular a área situada entre a curva de demanda e a curva de oferta até o ponto de equilíbrio, da seguinte forma:

$$E_{max} = \sum_{q=0}^{q_{(equi)}} (V_q - C_q), \qquad q \in \mathbb{N}, q \in [0, q_{(equi)}]$$

$$E_{max} = \sum_{q=1}^{q=5} (V_q - C_q) \tag{13}$$

$$E_{max} = 450$$

nos quais, E_{max} é o excedente máximo, V_q é o valor de reserva para a quantidade q, C_q é o valor do custo para a quantidade q, $q_{(equi)}$ é a quantidade inteira antecessora do equilíbrio.

6. Submodelos

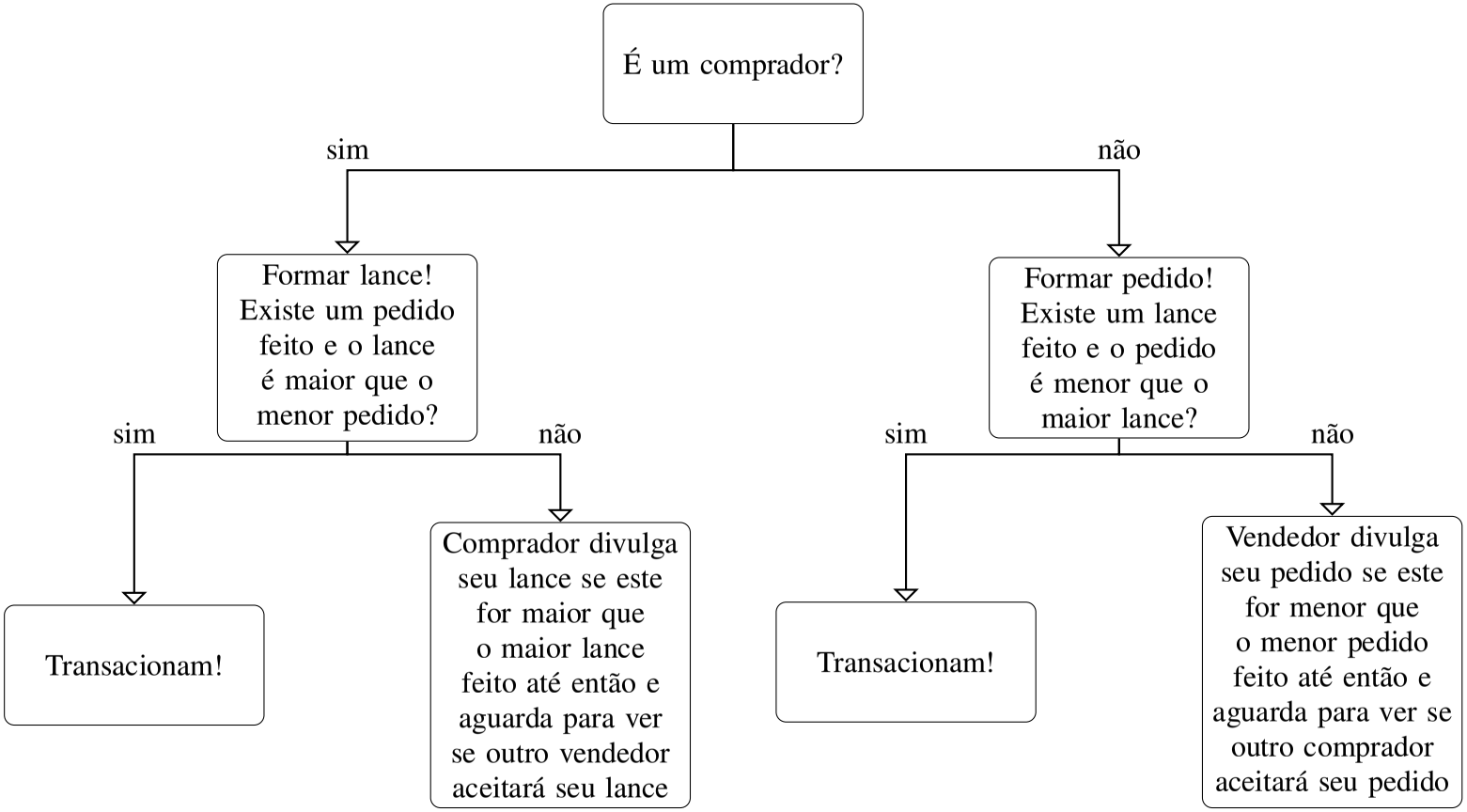
Transações: No início da transação, são definidos como 0: lance, pedido e preço da transação. Os compradores que possuem bens não transacionados formam seus lances baseado em uma distribuição uniforme da seguinte forma: quando os agentes adquirem a forma ZI-C, os lances são aleatoriamente escolhidos no intervalo $[0,$ valor de reserva$]$, já quando se trata de compradores ZI-U, os lances podem assumir qualquer valor do intervalo $[0, 200]$. Formado o lance, o comprador irá analisar se há algum pedido feito e, quando seu lance for maior que o menor pedido, o comprador irá aceitar a oferta do vendedor e a transação será efetivada com o preço do menor pedido. Caso não haja um pedido feito ou seu lance seja menor que o pedido mais baixo, o comprador será levado a divulgar seu lance, somente se seu lance for maior que os lances feitos até então.

Os vendedores que têm bens não barganhados formam seus pedidos com base em distribuições uniformes: no caso de agentes ZI-C, os pedidos são aleatoriamente escolhidos no intervalo $[$custo$, 200]$ e, se os agentes forem ZI-U, os pedidos assumem qualquer valor no intervalo $[0, 200]$. Após os pedidos serem formados, o vendedor irá analisar se há algum lance feito e, quando seu pedido for menor que o maior lance, o vendedor irá aceitar o lance do comprador e o preço da transação será o maior lance. Caso não haja um lance feito ou seu pedido seja maior que o lance mais alto, o vendedor será levado a divulgar seu pedido, caso este seja menor que os pedidos feitos até então.

Assim, demandante e ofertante envolvidos na transação atualizam seus status, demonstrando que já comercializaram um bem. Com a barganha feita, calcula-se o excedente gerado pela transação através da subtração do valor de reserva do comprador pelo valor do custo do vendedor, ambos envolvidos na transação em questão. A eficiência exprime a proporção que o excedente gerado pelas transações representa sobre o excedente total do leilão.

Com a transação feita, o preço acordado nela é registrado no gráfico da oferta e demanda e o processo da negociação recomeça até que o tempo ou o número de bens máximos sejam atingidos. Todo este processo é resumido pela figura 13, que sintetiza o esquema de funcionamento das negociações no leilão duplo.

FIGURA 13. Esquema de funcionamento das transações



Fonte: Elaboração própria

Cálculo do excedente da transação: O excedente da transação é calculado levando em conta o valor de reserva e custo dos comerciantes que de fato transacionaram.

$$E_{trans} = \sum_{l=0}^{l_{final}} (V_l - P + P - C_l), \qquad l \in \mathbb{N}, l \in [0, l_{(final)}] \tag{14}$$

Portanto,

$$E_{trans} = \sum_{l=0}^{l_{final}} (V_l - C_l), \qquad l \in \mathbb{N}, l \in [0, l_{(final)}] \tag{15}$$

nos quais, E_{trans} é o excedente gerado na transação, l_{final} é a quantidade final de bens comercializados no leilão, V_l e C_l são, respectivamente, valor de reserva e custo dos comerciantes que de fato negociaram e P é o preço acordado em cada transação.

Cálculo da eficiência: A eficiência é calculada pela proporção do excedente das transações (E_{trans}) pelo excedente máximo do mercado (E_{max}), posteriormente multiplicado por 100.

$$Eficiencia = \frac{E_{trans}}{E_{max}} \times 100 \tag{16}$$

Portanto, a eficiência se situa no intervalo $[0, 100]$ e, quando adquire valores próximos a 0, significa que os agentes não estão se apropriando de grande parte do lucro do mercado e, logo, é um mercado pouco eficiente. Quando a eficiência alcança valores mais próximos de 100, infere-se que os comerciantes estão se apropriando de uma grande parcela do excedente de mercado, gerando então uma eficiência alta no leilão.

CAPíTULO 4

Resultados

1. Simulações

O modelo foi elaborado no *software* NetLogo [1], que é uma linguagem de programação para estudar e implementar modelos baseados em agentes. Railsback e Grimm [17], introduzem de forma prática a modelagem baseada em agentes (ABM) através de tal programa. Para eles, o *software* "claramente se distingue como a melhor plataforma para iniciantes e mesmo para muitos modelos científicos sérios.".

Foram feitas 120 simulações do leilão duplo a fim de observar os preços das negociações e a eficiência alocativa. Do total de simulações, metade foi elaborada para verificar a atuação dos comerciantes ZI-C e o restante foi produzido para analisar os agentes ZI-U. Todas as simulações foram feitas sem variar os parâmetros, a única diferença, portanto, era o tipo de agente que comporia o leilão.

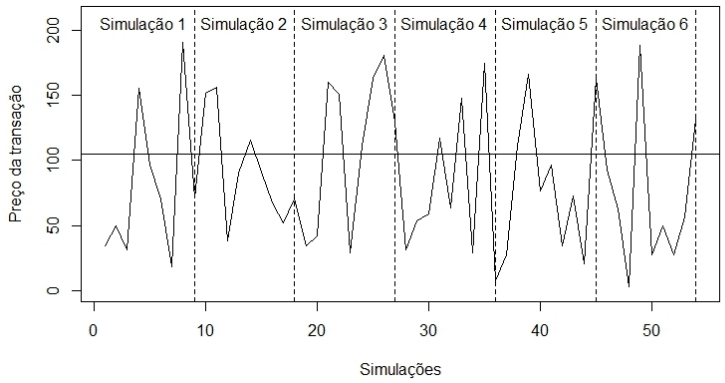
2. Equilíbrio Competitivo

Os agentes ZI-U, devido a inexistência de restrição orçamentária, comercializaram todos os bens que lhes foram disponibilizados. Este fato já era esperado, visto que tais agentes podiam fazer lances e pedidos aleatórios, independente de suas dotações iniciais (valores de reserva e custos). Os preços acordados nas transações não apresentaram nenhum padrão de convergência, como é possível verificar nas figuras 14, 15 e 16, que descrevem a série dos preços para 18 simulações aleatórias. Todas as demais experiências apresentam a mesma ausência de padrão.

Apesar de oscilarem em torno do preço de equilíbrio, não há uma tendência de convergência. Para existir tal aproximação, é preciso que a distribuição dos desvios padrões de cada bem transacionado seja decrescente, demonstrando que os últimos bens são transacionados a preços mais próximos do preço de equilíbrio.

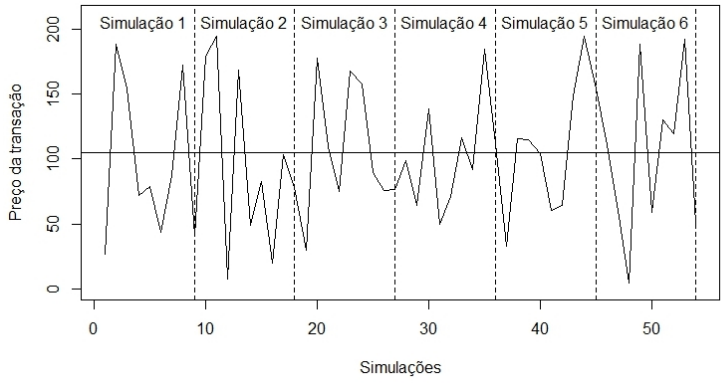
Através da figura 17, que exprime os desvios padrões dos preços para cada bem, pode-se perceber

FIGURA 14. ZI-U: Série de preços do leilão - Simulações 1 a 6



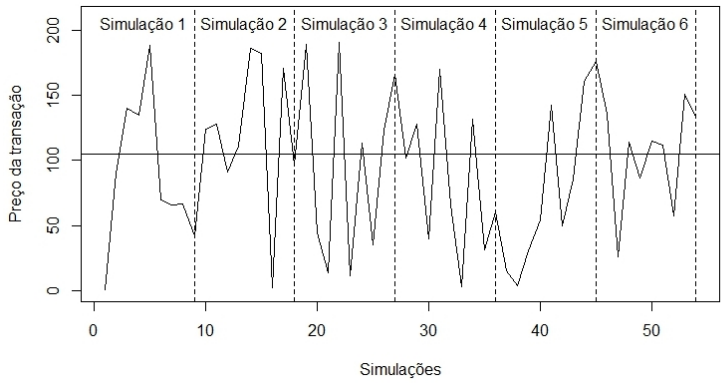
Fonte: Elaboração própria

FIGURA 15. ZI-U: Série de preços do leilão - Simulações 31 a 36



Fonte: Elaboração própria

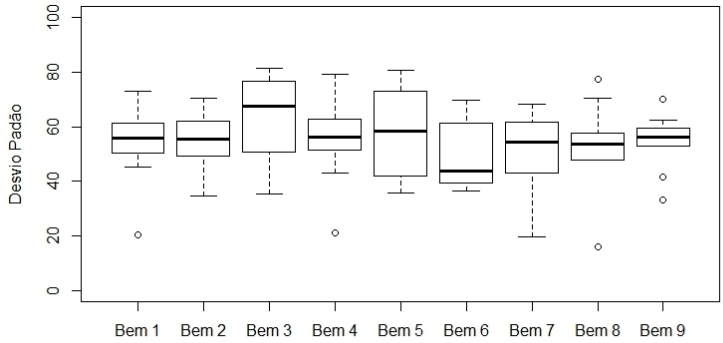
FIGURA 16. ZI-U: Série de preços do leilão - Simulações 55 a 60



Fonte: Elaboração própria

a ausência de convergência, visto que a distribuição dos desvios padrões por cada bem apresenta um padrão pouco sistemático.

FIGURA 17. ZI-U: Distribuição dos desvios padrões dos preços de cada bem para sessenta simulações

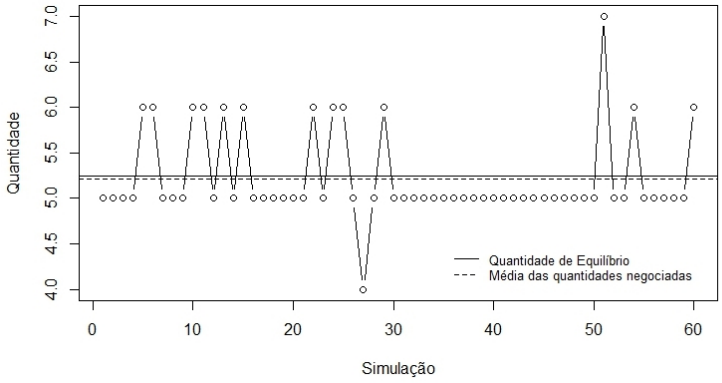


Fonte: Elaboração própria

Portanto, é possível concluir que a ausência de disciplina no mercado para os comerciantes ZI-U, caracterizada pela falta da restrição orçamentária, gerou um distanciamento do equilíbrio competitivo teórico, uma vez que não houve convergência de preços e quantidades.

O leilão composto por negociantes ZI-C, aqueles que possuíam uma restrição no orçamento, obteve um volume médio de transações muito próximo do equilíbrio competitivo, conforme demonstra a figura 18. Tais comerciantes transacionaram, em média, 5.2166 bens nas 60 simulações, revelando uma pequena variância da quantidade do equilíbrio teórico, que era de 5.25 bens.

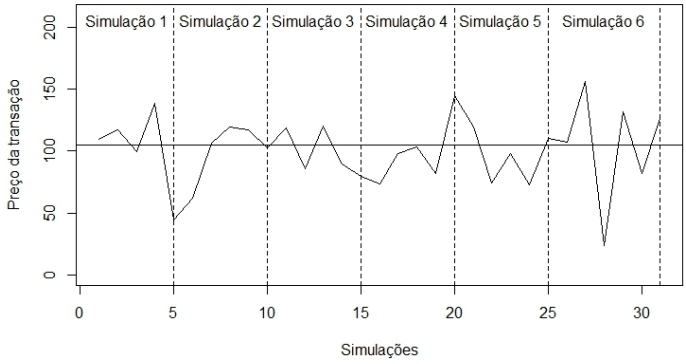
FIGURA 18. ZI-C: Quantidades negociadas em cada simulação, quantidade de equilíbrio e quantidade média do leilão



Fonte: Elaboração própria

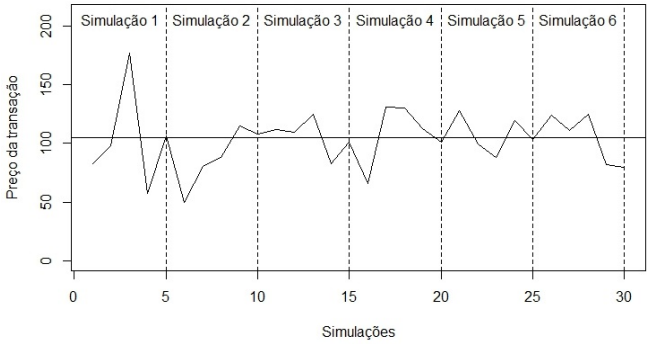
Com relação aos preços das negociações, pode-se inferir: a série dos preços nos atesta que os comerciantes ZI-C são desprovidos de aprendizagem e memória, uma vez que, em todas as simulações, a volatilidade de preços das primeiras transações é maior que a dispersão dos preços das últimas barganhas. Este fato pode ser evidenciado pelas figuras 19, 20 e 21 que exibem as séries de preços dos agentes ZI-C para dezoito simulações. Em um leilão duplo constituído com agentes humanos, a volatilidade de preços é decrescente enquanto as simulações forem feitas sem alterar as dotações iniciais, como é possível visualizar na figura 22, proveniente de Gode e Sunder [3]. Isso porque um ser humano, motivado pelo lucro, se lembra das simulações anteriores e aprende com elas, de forma a tentar extrair um excedente maior na simulação posterior. A vista disso, pode-se afirmar que o agente ZI-C efetivamente não possui nenhum tipo de inteligência ou comportamento maximizador.

FIGURA 19. ZI-C: Série de preços do leilão - Simulações 13 a 18



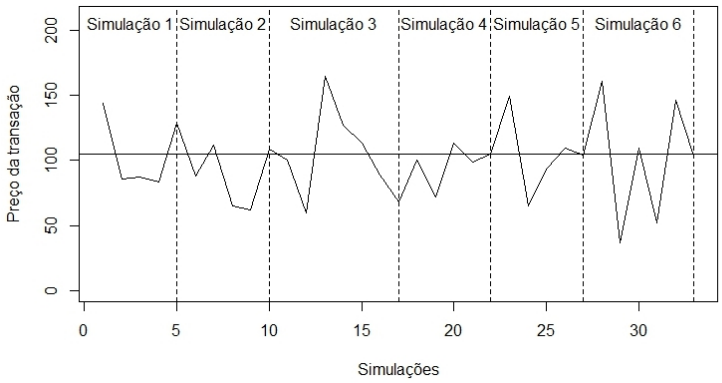
Fonte: Elaboração própria

FIGURA 20. ZI-C: Série de preços do leilão - Simulações 37 a 42



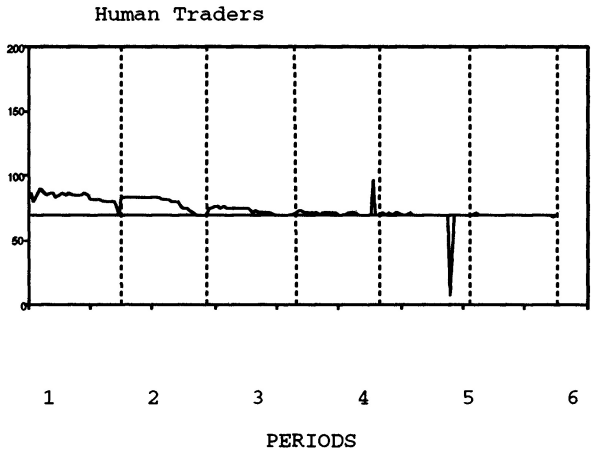
Fonte: Elaboração própria

FIGURA 21. ZI-C: Série de preços do leilão - Simulações 49 a 54



Fonte: Elaboração própria

FIGURA 22. Comerciantes Humanos: Série de preços do leilão - Simulações 19 a 24

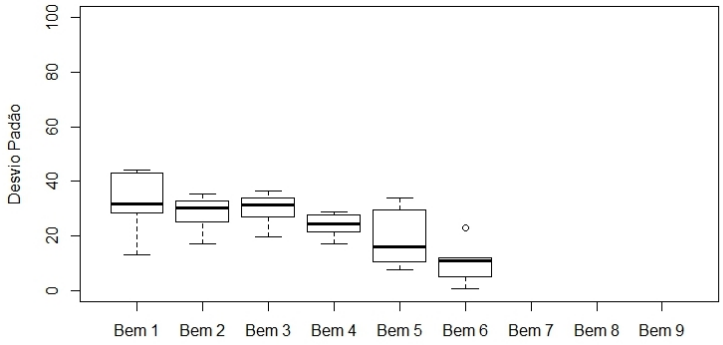


Fonte: Gode e Sunder [3], página 125

Outro fato essencial que deve ser destacado é a tendência dos preços convergirem ao equilíbrio teórico. Essa interpretação é possível através da análise da figura 23, que expõe os desvios padrões dos preços para cada bem transacionado durante as 60 simulações. De acordo com tal gráfico, é notável que os agentes ZI-C negociam seus bens por preços cada vez menores em uma mesma simulação, ou seja, mais próximo do preço equilíbrio teórico. A figura 24 demonstra a trajetória da média dos preços para as 60 simulações, assim como o preço de equilíbrio e a média das médias de preços. O preço médio dos leilões duplos encontrado foi de 103.4364, enquanto o preço de equilíbrio teórico era 105. Portanto, pode-se afirmar que houve convergência para a média dos

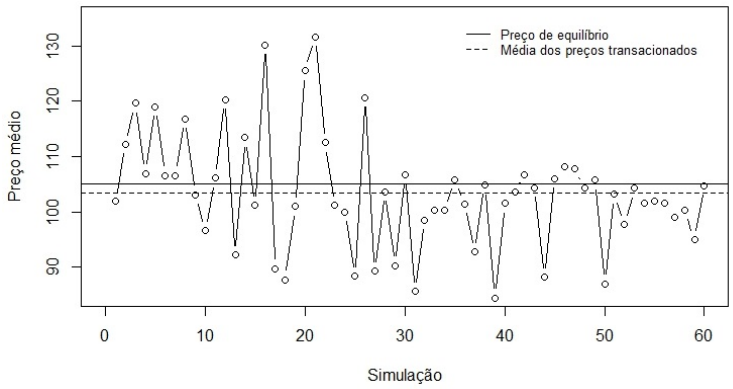
preços, demonstrando assim que a disciplina do mercado fez comerciantes ZI-C atuarem de maneira semelhante a agentes humanos, mesmo sem apresentarem memória ou aprendizagem.

FIGURA 23. ZI-C: Desvios padrões dos preços de cada bem - Sessenta simulações



Fonte: Elaboração própria

FIGURA 24. ZI-C: Preço médio em cada simulação, preço do equilíbrio teórico e média das médias de preços

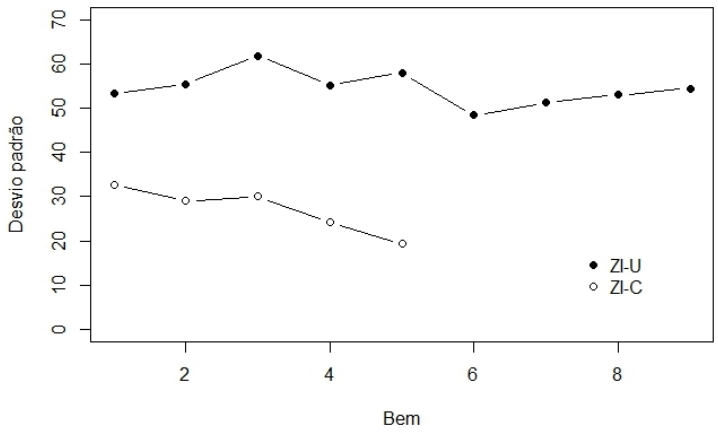


Fonte: Elaboração própria

Ademais, é relevante ressaltar a diferença entre a volatilidade de preços de agentes ZI-U e comerciantes ZI-C. De acordo com a figura 25, é possível perceber que os comerciantes que não possuem restrição orçamentária acordam preços muito distantes da média, não exibindo nenhum padrão sistemático. Já os agentes ZI-C apresentam uma média de desvios padrões menor e com uma tendência clara de convergência. Comerciantes humanos tendem a alcançar uma volatilidade de preços cada vez menor enquanto as simulações forem realizadas com as dotações iniciais

inalteradas, conforme demonstrado na figura 22 de Gode e Sunder [3]. Isso porque tais agentes raciocinam, aprendem, recordam e se motivam. À vista disso, é razoável dizer que a série de preços dos comerciantes ZI-C está mais próxima de negociantes humanos do que dos agentes ZI-U, uma vez que os mercados: com comerciantes ZI-U não convergem, com agentes ZI-C convergem lentamente, e com negociantes humanos convergem rapidamente, segundo Gode e Sunder [3].

FIGURA 25. Rota das médias dos desvios padrões para cada bem



Fonte: Elaboração própria

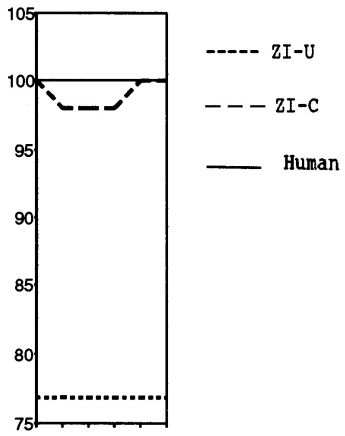
3. Eficiência

Conforme já mencionado, a eficiência alocativa é dada pela porcentagem que o excedente das transações representa sobre o excedente total. Em um leilão constituído por comerciantes humanos, é esperado que a eficiência do mercado se aproxime de 100%, uma vez que tais agentes sempre buscam a maximização do lucro, o que é facilitado pelo uso da memória, racionalidade e aprendizagem. Este fato pode ser atesteado através da figura 26, que retrata as eficiências de seis simulações para um dos experimentos de Gode e Sunder [3]. Porém, para agentes ZI-C e ZI-U, a eficiência não é influenciada pelos comportamentos maximizadores dos comerciantes, visto que tais agentes possuem inteligência zero.

A eficiência do leilão composto por agentes ZI-U é sempre constante quando as dotações iniciais são as mesmas, uma vez que o excedente das transações é invariável. Isso acontece porque, independente do comprador e vendedor que efetivamente realizam uma transação, o excedente das

transações será sempre diferença entre os valores de reserva e os custos, conforme demonstrado na equação 17.

FIGURA 26. Comportamento da eficiência no leilão duplo de Gode e Sunder [3]



Fonte: Gode e Sunder [3], página 132

$$
\begin{aligned}
E_{trans}^{ZI-U} &= \sum_{l=0}^{l_{final}} (V_l - C_l), \qquad l \in \mathbb{N}, l \in [0, l_{(final)}] \\
E_{trans}^{ZI-U} &= 190 + 170 + 150 + 130 + 110 + 90 + 70 + 50 + 30 - \\
&\quad 180 - 160 - 140 - 120 - 100 - 80 - 60 - 40 - 20 \\
E_{trans}^{ZI-U} &= 90
\end{aligned}
\tag{17}
$$

no qual E_{trans}^{ZI-U} representa o excedente das transações dos comerciantes ZI-U. Desta forma, a eficiência do mercado com agentes ZI-U para as dotações iniciais que foram consideradas é de 20%, de acordo com a equação 18.

$$
\begin{aligned}
Eficiencia &= \frac{E_{trans}}{E_{max}} \times 100 \\
Eficiencia &= \frac{90}{450} \times 100 \\
Eficiencia &= 20
\end{aligned}
\tag{18}
$$

Para os comerciantes ZI-C, o excedente das transações vari a de acordo com as dotações inicias dos agentes que de fato transacionaram. A tabela 2 demonstra média e desvio padrão da eficiência para

as 60 simulações feitas.

TABELA 2. Média e Desvio Padrão da Eficiência

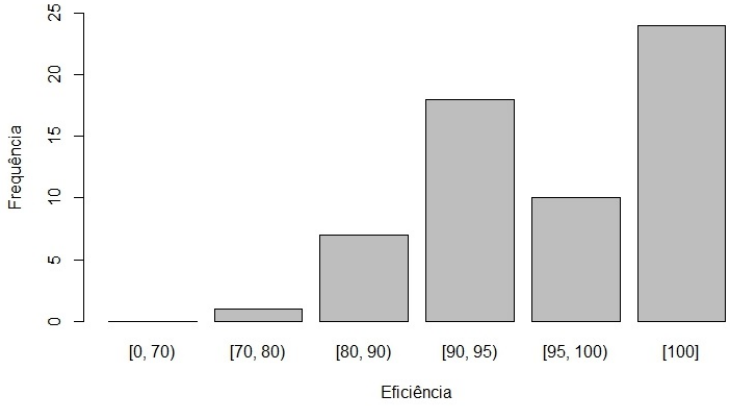
	Média	Desvio Padrão
ZI-C	95.2222	4.99130
ZI-U	20	0

Fonte: Elaboração própria

Importante salientar que, de acordo com a figura 27, em 40% das simulações os agentes extraíram o excedente máximo do leilão, ou seja, foram totalmente eficientes. A eficiência mínima encontrada nas 60 simulações foi de, aproximadamente, 75%, demonstrando que o mercado artificial cujos agentes possuem restrições no orçamento é altamente eficiente.

Inferi-se, portanto, que o leilão duplo composto por agentes ZI-C apresenta uma eficiência média

FIGURA 27. ZI-C: Número de ocorrências da Eficiência



Fonte: Elaboração própria

próxima de 100% e baixa volatilidade, o que corrobora com a ideia de que aprendizagem, memória e demais comportamentos maximizadores do indivíduo não são condições necessárias para que a eficiência alocativa atinja altos níveis. Conforme demonstrado, a eficácia de negociantes ZI-C se aproxima mais do comportamento de agentes humanos do que da atuação dos comerciantes ZI-U. É necessário destacar que tais resultados não significam que a aprendizagem, memória, raciocínio e

motivação humanos são insignificantes, mas que a disciplina do mercado, representada pela restrição orçamentária dos agentes ZI-C, possibilita resultados comparáveis a mercados compostos por comerciantes humanos.

CAPíTULO 5

Considerações Finais

Este trabalho buscou explorar o mercado competitivo na forma de um leilão duplo através da modelagem baseada em agentes. Inspirado no estudo de Gode e Sunder [3], o modelo foi construído a fim de recriar um leilão duplo utilizando agentes de zero inteligência com e sem restrições no orçamento. O objetivo de tal implementação era saber se os resultados alcançados por comerciantes ZI eram comparáveis á atuação de agentes humanos, através da análise da convergência ao equilíbrio competitivo teórico e da eficiência alocativa do leilão. No primeiro capítulo, foi elaborada uma breve revisão bibliográfica, apresentando as principais referências acerca do tema explorado pelo trabalho.

No segundo capítulo, foram apresentadas algumas características do mercado competitivo através da análise de duas de suas variedades: o mercado competitivo teórico, ensinado nos livros de microeconomia; e um mercado competitivo explorado por Kimbrough [2]. Para cada formato de competição, foram demonstradas suas características principais, bem como as condições do equilíbrio competitivo e diferenças entre tais mercados.

O capítulo 3 contém um detalhamento do modelo, expondo informações como propósito, variáveis, conceitos de design, sequência dos processos e demais dados para a implementação do leilão duplo. Ademais, foram construídas as curvas de oferta e demanda do mercado e, por meio delas, apresentou-se quantidade e preço de equilíbrio teórico, aquele obtido pela igualdade entre tais curvas. Através da descrição do ODD, foi possível construir a sistemática do leilão duplo através da modelagem baseada em agentes cujos objetivos eram comprovar as hipóteses: comerciantes zero inteligência, quando submetidos á restrição de orçamento, alcançam uma convergência ao preço de equilíbrio teórico; a disciplina do mercado é capaz de elevar a eficiência alocativa a patamares muito próximos de mercados com agentes humanos.

As repercussões de tal estudo foram relatadas no capítulo 4. Nele, foi possível analisar os resultados das simulações de forma a responder tais hipóteses levantadas no capítulo 3. Através de investigações gráficas, foi comprovada a suposição de que os comerciantes, quando submetidos a uma restrição orçamentária, fazem os preços do leilão duplo convergirem ao preço de equilíbrio

teórico. A diferença entre as eficiências dos comerciantes ZI-C e ZI-U foi grande, de tal forma que a atuação do agente ZI-C para obtenção do excedente das transações é mais próxima de comerciantes humanos do que dos negociantes ZI-U.

Portanto, é crível afirmar que a disciplina do mercado representada pela restrição no orçamento dos comerciantes possibilita que o leilão duplo alcance resultados comparáveis ao comportamento de seres humanos, ainda que não possuam aprendizagem, motivação, memória e raciocínio. Tais resultados corroboram com a análise de Gode e Sunder [3] e, conforme afirmaram os autores, "a mão invisível de Adam Smith pode ser mais poderosa do que alguns podem ter pensado."[3], página 136.

Assim, este trabalho contribui para reforçar a importância da utilização de modelagem baseada em agentes para simular o leilão duplo através do *software* NetLogo [1]. John Duffy [16] afirma:

> Estes (experimentos baseados em agentes) incluem custos mais baixos, uma vez que menos experimentadores são necessários, uma maior precisão dos dados de recolha e maior controle das informações e dados revelados a indivíduos. Talvez o mais importante, a informatização permite mais repetições de um tratamento experimental do que é possível com papel e lápis, e com mais repetições, experimentadores podem avaliar com mais precisão se o comportamento dos jogadores muda com a experiência. ([16], p. 951).

Existem referências que propõem a continuidade do estudo do leilão duplo através da modelagem baseada em agentes. Trabalhos de Cliff [18], Cliff e Bruten [19] [20] [21], Gjerstad [22] e Liang, Xueying e Guangyu [23] criticam os resultados obtidos por Gode e Sunder [3] e sugerem a utilização de agentes artificiais com um certo nível de aprendizagem.

Cliff [18] e Cliff e Bruten [19] [20] [21] afirmaram que zero inteligência não era suficiente para que leilões duplos computacionais se comparassem a leilões compostos por agentes humanos. A crítica não foi direcionada a conclusão de Gode e Sunder [3] de que a eficiência dos leilões não derivava de motivação, aprendizagem e inteligência dos agentes de mercado. O que foi colocado em discussão era a tendência de convergência ao equilíbrio dos mercados compostos por comerciantes ZI-C, uma vez que Gode e Sunder [3] utilizaram em seus estudos somente curvas de oferta e demanda simétricas.

Para provar tal teoria, os autores simularam um mercado com agentes ZI-C e diferentes esquemas de oferta e demanda. Deste modo, Cliff [18] e Cliff e Bruten [19] [20] [21] demonstraram que a convergência ao equilíbrio não é sempre alcançada e, portanto, mais do que zero inteligência é necessária para que os leilões duplos constituídos por agentes ZI-C se comparem aos leilões com

comerciantes humanos.

Ademais, Cliff [18] e Cliff e Bruten [19] [20] [21] introduziram os agentes de zero inteligência "mais"(ZI-P)[1] nos leilões duplos contínuos. Tais agentes são mais inteligentes que os comerciantes ZI-C e têm resultados mais aproximados aos negociantes humanos.

Os agentes ZI-P possuem técnicas de aprendizagem, permitindo que eles ajustem seus lances ou pedidos através da observação dos negócios efetuados por outros agentes. Esta forma de ajuste se assemelha ao comportamento dos seres humanos nos mercados reais.

Steven Gjerstad [22] simulou outra forma de aprendizagem aos agentes de zero inteligência, que utilizam crenças para obter melhores ganhos. No modelo, os vendedores tinham uma crença de que seus pedidos seriam aceitos, assim como os compradores, que também acreditavam que seus lances seriam acatados. A escolha de um agente, portanto, dependia inteiramente das suas crenças e dos custos ou valores de reserva que só o próprio comerciante tinha acesso. Desta forma, os comerciantes agiam de forma a maximizar seu próprio excedente esperado, resultando na convergência ao equilíbrio competitivo e altas taxas de eficiência alocativa no leilão duplo.

Li Liang, Wang Xueying e Cheng Guangyu [23] relataram sobre o mistério de como um mercado de leilão duplo convergia ao equilíbrio competitivo simplesmente por causa da disciplina do mercado. Para eles, o resultado de Gode e Sunder [3] era controverso, apesar de concordarem que os moldes do mercado são verdadeiramente poderosos. Desta forma, o objetivo do artigo em questão centralizou na necessidade de desenvolver um modelo probabilístico para mensurar as chances de transação de cada comerciante.

Em conformidade com tais estudos, pode-se perceber que o trabalho de Gode e Sunder [3] é relativamente simples, mas gerou repercussões muito importantes para as pesquisas de mercados artificiais. A quantidade de referências demonstra a relevância do estudo dos mercados através da modelagem baseada em agentes, o que instiga a continuidade do trabalho.

[1] ZI-P: Comerciantes com zero inteligência *plus*, possuem certo nível de aprendizagem.

Referências Bibliográficas

[1] Uri Wilensky. (1999). *NetLogo*. http://ccl.northwestern.edu/netlogo/. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.

[2] Steven Orla Kimbrough. *Agents, games, and evolution: Strategies at work and play*. CRC Press, 2011.

[3] Dhananjay K Gode and Shyam Sunder. Allocative efficiency of markets with zero-intelligence traders: Market as a partial substitute for individual rationality. *Journal of political economy*, pages 119–137, 1993.

[4] Vernon L Smith. An experimental study of competitive market behavior. *Journal of political economy*, 70(2):111–137, 1962.

[5] Vernon L Smith. Experimental auction markets and the walrasian hypothesis. *Journal of Political Economy*, 73(4):387–393, 1965.

[6] Vernon L Smith. Microeconomic systems as an experimental science. *The American Economic Review*, 72(5):923–955, 1982.

[7] Louis L Wilde. On the use of laboratory experiments in economics. In *Philosophy in Economics*, pages 137–148. Springer, 1981.

[8] Dhananjay K Gode and Shyam Sunder. *Lower Bounds for Efficency of Surplus Extraction in Double Auctions*. Carnegie Mellon University, Graduate School of Industrial Administration, 1993.

[9] Dhananjay K Gode and Shyam Sunder. Double auction dynamics: structural effects of non-binding price controls. *Journal of economic dynamics and control*, 28(9):1707–1731, 2004.

[10] Volker Grimm, Uta Berger, Finn Bastiansen, Sigrunn Eliassen, Vincent Ginot, Jarl Giske, John Goss-Custard, Tamara Grand, Simone K Heinz, Geir Huse, et al. A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological modelling*, 198(1):115–126, 2006.

[11] David M Kreps. *A course in microeconomic theory*, volume 41. JSTOR, 1990.

[12] Joseph E Stiglitz. *Economics of the public sector*. WW Norton, 1988.

[13] Adam Smith and Joseph Shield Nicholson. *An Inquiry Into the Nature and Causes of the Wealth of Nations...* T. Nelson and Sons, 1887.

[14] Walter Nicholson and Christopher Snyder. *Microeconomic theory: Basic principles and extensions*. Nelson Education, 2011.

[15] Frances Stewart. 7. horizontal inequalities. *World social science report, 2016: Challenging inequalities; pathways to a just world*, pages 51 – 54, 2016.

[16] John Duffy. Agent-based models and human subject experiments. *Handbook of computational economics*, 2:949–1011, 2006.

[17] Steven F Railsback and Volker Grimm. *Agent-based and individual-based modeling: a practical introduction*. Princeton university press, 2011.

[18] Dave Cliff. Minimal-intelligence agents for bargaining behaviors in market-based environments. *Hewlett-Packard Labs Technical Reports*, 1997.

[19] Dave Cliff and Janet Bruten. *More than zero intelligence needed for continuous double-auction trading*. Citeseer, 1997.

[20] Dave Cliff, Janet Bruten, et al. Less than human: Simple adaptive trading agents for cda markets. *HP Laboratories Technical Report HPL*, 1997.

[21] Dave Cliff, Janet Bruten, et al. Zero not enough: On the lower limit of agent intelligence for continuous double auction markets. *HP Laboratories Technical Report HPL*, 1997.

[22] Steven Gjerstad and John Dickhaut. Price formation in double auctions. *Games and economic behavior*, 22(1):1–29, 1998.

[23] Li Liang, Wang Xueying, and Cheng Guangyu. Model of the zi-c experiment for double auction system. In *E-Business and E-Government (ICEE), 2011 International Conference on*, pages 1–5. IEEE, 2011.

APÊNDICE A

Código NetLogo [1]

```
breed[bens_a_serem_vendidos bem_a_ser_vendido]
breed[disposicoes_a_comprar diposicao_a_comprar]
breed[transacoes transacao]
disposicoes_a_comprar-own [valor transacionado? preco
                           comprador_1?
                           comprador_2?
                           comprador_3?
                           comprador_4?
                           comprador_5?
                           comprador_6?]
bens_a_serem_vendidos-own [custo transacionado? preco
                           vendedor_1?
                           vendedor_2?
                           vendedor_3?
                           vendedor_4?
                           vendedor_5?
                           vendedor_6?]
transacoes-own [preco]

globals      [produtos
              bem_transacionado
              preco_da_transacao
              maior_lance
              comprador_com_maior_lance
              lance?
              menor_pedido
              vendedor_com_menor_pedido
              pedidio?
              excedente_maximo
              excedente_transacoes
              eficiencia
              compradores
              vendedores]

to setup
ca
create-disposicoes_a_comprar num_disposicoes_a_comprar
create-bens_a_serem_vendidos num_bens_a_serem_vendidos

ask diposicao_a_comprar 0 [set color white
set valor ( 190 )
set transacionado? false
set comprador_1? true ]
ask diposicao_a_comprar 1 [set color white
set valor ( 170 )
set transacionado? false
set comprador_2? true]
ask diposicao_a_comprar 2 [set color white
```

```
set valor ( 150 )
set transacionado? false
set comprador_3? true]
ask diposicao_a_comprar 3 [set color white
set valor ( 130 )
set transacionado? false
set comprador_4? true]
ask diposicao_a_comprar 4 [set color white
set valor ( 110 )
set transacionado? false
set comprador_5? true]
ask diposicao_a_comprar 5 [set color white
set valor ( 90 )
set transacionado? false
set comprador_6? true]
ask diposicao_a_comprar 6 [set color white
set valor ( 70 )
set transacionado? false
set comprador_2? true]
ask diposicao_a_comprar 7 [set color white
set valor ( 50 )
set transacionado? false
set comprador_5? true]
ask diposicao_a_comprar 8 [set color white
set valor ( 30 )
set transacionado? false
set comprador_6? true]
ask bem_a_ser_vendido 9 [set color red
set custo ( 20 )
set transacionado? false
set vendedor_1? true]
ask bem_a_ser_vendido 10[set color red
set custo ( 40 )
set transacionado? false
set vendedor_2? true]
ask bem_a_ser_vendido 11[set color red
set custo ( 60 )
set transacionado? false
set vendedor_3? true]
ask bem_a_ser_vendido 12[set color red
set custo ( 80 )
set transacionado? false
set vendedor_4? true]
ask bem_a_ser_vendido 13[set color red
set custo ( 100 )
set transacionado? false
set vendedor_5? true]
ask bem_a_ser_vendido 14[set color red
set custo ( 120 )
set transacionado? false
set vendedor_6? true]
ask bem_a_ser_vendido 15[set color red
set custo ( 140 )
set transacionado? false
set vendedor_1? true]
ask bem_a_ser_vendido 16[set color red
set custo ( 160 )
set transacionado? false
set vendedor_4? true]
```

```
ask bem_a_ser_vendido 17[set color red
set custo ( 180 )
set transacionado? false
set vendedor_5? true]
set produtos turtles with [breed = disposicoes_a_comprar or
breed = bens_a_serem_vendidos]
set excedente_transacoes 0.0
set bem_transacionado 0
configuracao_inicial
oferta_demanda
calcular_max_excedente
; show date-and-time
reset-timer
reset-ticks
end

to go
transacionar
if bem_transacionado > num_max_bens or ticks >= tempo_maximo
[stop]
;print timer
tick
end

to-report formar_preco_lance
ifelse restricao_orcam
[ report valor - (random-float 1) * (valor) ]
[ report (random-float 1) * (max_valor_comprador) ]
end

to-report formar_preco_pedido
ifelse restricao_orcam
[ report custo + (random-float 1) *
abs ((max_valor_comprador - custo)) ]
[ report (random-float 1) * (max_custo_vendedor) ]
end

to configuracao_inicial
set maior_lance 0.0
set comprador_com_maior_lance nobody
set lance? false
set menor_pedido max_custo_vendedor
set vendedor_com_menor_pedido nobody
set pedidio? false
end

to transacionar
let preco_lance 0
let preco_pedido 0
let preco_da_trans 0
let produtos_sem_trans 0
set preco_da_trans 0.0
set produtos_sem_trans one-of produtos with [transacionado? = false]
if produtos_sem_trans = nobody [stop]
ask produtos_sem_trans
[
ifelse breed = disposicoes_a_comprar
[set preco_lance [formar_preco_lance] of produtos_sem_trans
ifelse pedidio? and (preco_lance > menor_pedido)
```

```
[set preco_da_trans menor_pedido
ask produtos_sem_trans [set transacionado? true
set preco preco_da_trans]
ask vendedor_com_menor_pedido [set transacionado? true
set preco preco_da_trans
set bem_transacionado bem_transacionado + 1]

set preco_da_transacao preco_da_trans
set excedente_transacoes (excedente_transacoes +
[valor] of produtos_sem_trans  -
[custo] of vendedor_com_menor_pedido)

set eficiencia (excedente_transacoes / excedente_maximo ) * 100 ]


[if preco_lance > maior_lance
[set lance? true
set maior_lance preco_lance
set comprador_com_maior_lance produtos_sem_trans]
]
]

[set preco_pedido [formar_preco_pedido] of produtos_sem_trans
ifelse lance? and (maior_lance > preco_pedido)
[set preco_da_trans maior_lance
ask comprador_com_maior_lance [set transacionado? true
set preco preco_da_trans]

ask produtos_sem_trans [set transacionado? true
set preco preco_da_trans
set bem_transacionado bem_transacionado + 1]

set preco_da_transacao preco_da_trans
set excedente_transacoes (excedente_transacoes +
[valor] of comprador_com_maior_lance -
[custo] of produtos_sem_trans)
set eficiencia (excedente_transacoes / excedente_maximo) * 100  ]

[if preco_pedido < menor_pedido
[set pedidio? true
set menor_pedido preco_pedido
set vendedor_com_menor_pedido produtos_sem_trans]]]]
if preco_da_trans > 0.0
[create-transacoes 1 [set preco preco_da_trans]
linha_de_precos
configuracao_inicial]
end

to calcular_max_excedente
set excedente_maximo ( 450 )
end

to oferta_demanda
set-current-plot "Oferta_e_demanda"
set-current-plot-pen "demanda-pen"
plot-pen-up
plotxy 0 210
plot-pen-down
plotxy 10.5 0
```

```
set-current-plot-pen "oferta-pen"
plot-pen-up
plotxy 0 0
plot-pen-down
plotxy 10 200
end

to linha_de_precos
set-current-plot "Oferta_e_demanda"
set-current-plot-pen "preco_trans-pen"
plot preco_da_transacao
end
```