



Ministério da Educação
Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Sociais e Aplicadas - ICSA
Departamento de Ciências Econômicas - DEECO



CONCORRÊNCIA MONOPOLISTA NO COMÉRCIO INTERNACIONAL: ANÁLISE UTILIZANDO MODELOS BASEADOS EM AGENTES

GUSTAVO SANTOS BORGES

Mariana MG
2024

GUSTAVO SANTOS BORGES

CONCORRÊNCIA MONOPOLISTA NO COMÉRCIO INTERNACIONAL: ANÁLISE UTILIZANDO MODELOS BASEADOS EM AGENTES

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau em Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Martin Harry Vargas Barrenechea

Mariana - MG
15 de Fevereiro de 2024

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

B732c Borges, Gustavo Santos.
Concorrência Monopolista no Comércio Internacional [manuscrito]:
análise utilizando modelos baseados em agentes. / Gustavo Santos
Borges. - 2024.
62 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. MARTIN HARRY VARGAS BARRENECHEA.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Instituto de Ciências Sociais Aplicadas. Graduação em Ciências
Econômicas .

1. Aprendizado do computador. 2. Comércio internacional. 3. Modelos matemáticos. I. BARRENECHEA, MARTIN HARRY VARGAS. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 339

Bibliotecário(a) Responsável: Essevalter De Sousa - Bibliotecário Coordenador
CBICSA/SISBIN/UFOP-CRB6a1407



FOLHA DE APROVAÇÃO

Gustavo Santos Borges

Concorrência Monopolista no Comércio Internacional: Análise Utilizando Modelos Baseados em Agentes

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas

Aprovada em 15 de fevereiro de 2024

Membros da banca

Prof. Dr. - Martin Harry Vargas Barrenechea - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. - Heder Carlos de Oliveira - Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. - Luccas Assis Atilio - Universidade Federal de Ouro Preto

Martin Harry Vargas Barrenechea, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 15/02/2024



Documento assinado eletronicamente por **Martin Harry Vargas Barrenechea, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/02/2024, às 17:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0668319** e o código CRC **EB5BC0C7**.

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos aqueles que tornaram possível a realização deste trabalho. O apoio e incentivo da minha família, colegas, professores e servidores da Universidade Federal de Ouro Preto foram fundamentais para o seu sucesso. Dedico um agradecimento especial a cada um deles.

Aos meus pais, que sempre estiveram ao meu lado, apoiando-me em minha jornada pela vida, sou imensamente grato. Agradeço aos amigos e colegas, em especial a República Galinheiro, cuja presença constante tornou os dias mais agradáveis e significativos. Sou grato aos professores que generosamente compartilharam seu conhecimento e aos servidores que estiveram sempre dispostos a prestar auxílio quando necessário. Deixo meu imenso agradecimento ao meu irmão, Gregory Matheus, por todo o suporte e partilha de experiências que fizeram minha jornada até esse momento ser extremamente leve e divertida. Gostaria de agradecer em especial a Ana Alice Marques, por ter me apoiado e ser meu pilar em diversas situações difíceis durante esse trajeto, meu sincero obrigado a você por tudo!

Em particular, gostaria de expressar minha gratidão ao meu orientador, o Prof. Dr. Martin Harry Vargas Barrenechea, por me introduzir ao fascinante campo da modelagem baseada em agentes e por acreditar em meu potencial e capacidade, mesmo nos momentos mais desafiadores. Sua orientação e encorajamento foram inestimáveis para o desenvolvimento deste trabalho.

Novamente, meu sincero agradecimento a todos que contribuíram de alguma forma para o sucesso deste trabalho.

“A educação é a arma mais poderosa que você pode usar para mudar o mundo.”

Nelson Mandela

Resumo

Esta pesquisa apresenta uma análise da concorrência monopolista no contexto do comércio internacional, utilizando modelos baseados em agentes. O objetivo é examinar as implicações da exportação para o desempenho das empresas e a concorrência no mercado internacional. O modelo proposto considera o comportamento adaptativo das empresas por meio de um algoritmo de aprendizado por reforço, levando em consideração os custos fixos e variáveis de exportação, bem como a inovação tecnológica. Por meio de simulações, foram realizadas análises sobre os efeitos da exportação no desempenho das empresas e na concorrência no mercado internacional. O modelo desenvolvido consegue replicar o melhor desempenho dos exportadores, ressaltando a importância dos processos decisórios e da capacidade de aprendizado das empresas na determinação dos efeitos prévios e posteriores à exportação. Sendo assim, os resultados obtidos investigarão se a exportação pode proporcionar prêmios às empresas exportadoras e também se pode aumentar a competição no mercado internacional. Essas descobertas contribuem para a compreensão dos efeitos da exportação na concorrência monopolista e podem auxiliar empresas envolvidas no comércio internacional a tomar decisões estratégicas mais fundamentadas. No geral, este trabalho contribui para uma compreensão mais profunda dos fatores que influenciam o desempenho das empresas no contexto do comércio internacional. Suas descobertas têm relevância tanto para a esfera acadêmica quanto para o mundo empresarial, fornecendo insights valiosos que podem orientar a formulação de estratégias e políticas adequadas para promover a competitividade das empresas no mercado global.

Palavras-chave: Comércio internacional, modelo baseado em agentes, aprendizado por reforço.

Abstract

This research presents a comprehensive analysis of monopolistic competition in the context of international trade, utilizing agent-based models. The aim is to examine the implications of exportation on firm performance and competition in the international market. The proposed model takes into account firm's adaptive behavior through a reinforcement learning algorithm, considering both fixed and variable export costs, as well as technological innovation. Through simulations, extensive analyses were conducted on the effects of exportation on firm performance and competition in the international market. The developed model successfully replicates the superior performance of exporters, highlighting the significance of decision-making processes and firm's learning capacity in determining pre- and post-export effects. Consequently, the obtained results will investigate whether exportation can yield rewards for exporting firms and also if it can increase competition in the international market. These findings contribute to a comprehensive understanding of the effects of exportation on monopolistic competition and can assist companies engaged in international trade in making well-informed strategic decisions. Overall, this study significantly advances the comprehension of the factors influencing firm performance in the context of international trade. Its discoveries hold relevance for both academic and business realms, providing valuable insights that can guide the development of appropriate strategies and policies to foster firm's competitiveness in the global market.

Keywords: International trade, agent-based model, reinforcement learning.

Lista de figuras

Figura 1 – Exemplo da Interface do Usuário na Plataforma NetLogo	25
Figura 2 – Exemplo da Interface do Usuário no software RStudio	26
Figura 3 – Ordem de execução do algoritmo de <i>Q-Learning</i>	28
Figura 4 – Grade de Consumidores e Empresas	32
Figura 5 – Bloco de Códigos para Extensão Q-Learning	33
Figura 6 – Procedimento “go” - Q-learning	34
Figura 7 – Exemplo Q-table nas Simulações*	34
Figura 8 – Diagrama de Fluxo da Simulação	38
Figura 9 – Lucros das Empresas na Simulação*	48

Lista de tabelas

Tabela 1 – Tabela de Regressão Múltipla (Empresas Exportadoras)	45
Tabela 2 – Tabela de Regressão Múltipla (Empresas não Exportadoras)	46

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DEECO	Departamento de Ciências Econômicas
UFOP	Universidade Federal de Ouro Preto
MBA	Modelagem Baseada em Agentes
ABM	Agent-Based Modeling

Lista de símbolos

α	Letra grega Alfa
β	Letra grega Beta
γ	Letra grega Gama
Δ	Letra grega Delta
θ	Letra grega Teta
ω	Letra grega Omega
λ	Letra grega Lambda
ι	Letra grega Iota
Φ	Letra grega Fi
Π	Letra grega Pi
ψ	Letra grega Psi
ρ	Letra grega Rô
\in	Pertence

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
2	FUNDAMENTOS ECONÔMICOS	5
2.1	Teoria da Concorrência Monopolista	5
2.1.1	Implicações Práticas da Concorrência Monopolista no Comércio Inter- nacional	7
2.2	Teoria do Comércio Internacional	9
2.3	Competição e Poder de Mercado	12
2.4	Prêmios do Exportador na Concorrência Monopolista	13
2.5	Benefícios da Exportação na Concorrência Monopolista	14
2.6	Efeito Ex-ante e Efeito Ex-post da Exportação	15
2.7	O Modelo de Melitz e a Análise da Exportação	17
3	ABORDAGENS COMPUTACIONAIS PARA SISTEMAS COMPLEXOS	19
3.1	Modelagem baseada em Agentes	19
3.2	NetLogo: Potencializando a Modelagem Baseada em Agentes	21
3.3	RStudio e Linguagem R: Análise Estatística e Regressão Múltipla	25
4	Q-LEARNING: MODELO DE APRENDIZADO POR REFORÇO	28
4.1	Q-Learning	28
4.1.1	Algoritmo Q-Learning	29
4.1.2	Extensão Q-Learning do NetLogo	32
4.1.3	Aplicações do Q-learning	35
5	MODELO DE SIMULAÇÃO	37
5.1	Preferências dos Consumidores	39
5.2	Empresas	39
5.3	Tecnologia	40
5.4	O Processo de Decisão das Empresas	41
6	RESULTADOS SIMULADOS	43
7	CONCLUSÃO	50
	Referências	52

Anexos	54
ANEXO A – CÓDIGO NETLOGO	55

1 Introdução

A relação entre a exportação e o desempenho das empresas tem sido objeto de estudo em diversas áreas e, evidências empíricas têm indicado que as empresas exportadoras tendem a apresentar um desempenho superior em comparação com as empresas que não exportam. Portanto, essas evidências são sustentadas pelos chamados “*prêmios do exportador*”. Esses prêmios estão associados a características distintas das empresas exportadoras como, maior tamanho, maior intensidade de capital e qualificação, produtividade total dos fatores mais elevada e maior valor agregado por trabalhador (FEENSTRA, 2003; BERNARD et al., 2007; BERNARD; JENSEN; SCHOTT, 2005).

Esses prêmios do exportador podem ser atribuídos ao efeito de auto-seleção, onde apenas as empresas mais competitivas têm a capacidade de ingressar no mercado externo, superando os custos fixos envolvidos (como estabelecer uma rede comercial no exterior, adaptar produtos e serviços aos padrões e preferências estrangeiras, entre outros) e os custos variáveis de exportação, como transporte e seguro de viagem (ROBERTS; TYBOUT, 1997; BERNARD; JENSEN, 2004).

A exportação pode aprimorar o desempenho das empresas por diversas razões: elas podem acessar conhecimento e tecnologias estrangeiras, beneficiando-se dos *spillovers tecnológicos*¹, a exportação pode expandir as oportunidades de vendas e, conseqüentemente, os recursos disponíveis para as empresas, além disso, as empresas exportadoras tendem a se tornar mais inovadoras para sustentar a competitividade internacional (AW; CHUNG; ROBERTS, 2000).

A existência de diferenças entre empresas exportadoras e não exportadoras pode ter impactos significativos no bem-estar tanto em termos estáticos quanto dinâmicos. Por exemplo, ao considerar a possibilidade de que exportadores sejam mais produtivos, a implementação de medidas de liberalização pode resultar em um aumento geral da produtividade. Isso ocorre porque as empresas exportadoras, tanto domésticas quanto estrangeiras, podem reduzir a participação de mercado das empresas menos competitivas que não se envolvem no comércio internacional. Sendo assim, o aumento da produtividade agregada pode levar a uma redução nos preços médios para os consumidores.

Outro ponto a ser considerado é o efeito ex-post do aumento da produtividade quando uma empresa se torna exportadora. Nesse caso, encorajar empresas a entrar em mercados estrangeiros pode ser uma política pública válida, de acordo com (ACEMOGLU, 2008). No entanto, se o benefício de ser exportador for principalmente resultado de um efeito de auto-seleção, políticas governamentais que incentivam a exportação podem ser ineficazes e até mesmo prejudiciais, como apontado por (BERNARD; JENSEN, 1999).

¹ O termo “*spillovers tecnológicos*” refere-se a capacidade das empresas exportadoras em acessar conhecimento e tecnologias estrangeiras, contribuindo para seu aprimoramento e desempenho.

Nesse sentido, o modelo teórico econômico baseado no modelo de (MELITZ, 2003) examina as diferenças entre exportadores e não exportadores utilizando um modelo de competição monopolista que considera a heterogeneidade das empresas em termos de sua produtividade, de acordo com uma distribuição predefinida de produtividade. Ao levar em conta os custos fixos e variáveis associados à exportação, o modelo consegue explicar os prêmios concedidos aos exportadores por meio do efeito de auto-seleção ex-ante: empresas com alta produtividade são capazes de arcar com os custos fixos e variáveis da exportação, o que lhes permite ingressar no mercado internacional.

No entanto, ao considerar uma distribuição predefinida de produtividade das empresas, o modelo de (MELITZ, 2003) não consegue abordar o efeito ex-post. Esse efeito implica um aumento na produtividade das empresas que ingressam no mercado externo, resultando em mudanças na distribuição da produtividade ao longo do tempo. Essas mudanças podem ser analisadas por meio de uma abordagem dinâmica que considera as melhorias de produtividade como endógenas. Portanto, este modelo não aborda o efeito ex-post, que implica um aumento da produtividade para as empresas que entram no mercado externo, alterando a distribuição de produtividade ao longo do tempo. Para lidar com isso, abordagens dinâmicas como os modelos de (COSTANTINI; MELITZ, 2008), (BUSTOS, 2011) e (BURSTEIN; MELITZ, 2011) endogeneizam a dinâmica tecnológica dentro do quadro de (MELITZ, 2003), analisando a interação entre decisões de exportação e inovações em diferentes contextos comerciais internacionais.

Sendo assim, o modelo proposto nesse estudo é baseado em um mercado de competição monopolística que envolve dois países. As empresas enfrentam um custo fixo inicial, um custo unitário de exportação constante, são orientadas pelo lucro e suas decisões são influenciadas por um processo de racionalidade limitada, seguindo um algoritmo de aprendizado por reforço.

As principais escolhas das empresas incluem determinar o preço de venda, a capacidade de produção, o investimento em pesquisa (para inovações de processo que aumentam a produtividade) e a decisão de exportar ou não. Portanto, esse modelo permite capturar a dinâmica evolutiva das empresas ao considerar a interação entre as decisões de exportação e inovação.

O modelo é capaz de reproduzir tanto a seleção inicial de empresas mais produtivas para a exportação (autosseleção ex-ante), quanto os efeitos posteriores ao ingresso no mercado externo (efeitos ex-post). Desta forma, podemos verificar se os resultados nas simulações indicam que o custo fixo de exportação e o processo de aprendizado por reforço das empresas são responsáveis pelo surgimento dos efeitos ex-post, sem assumir a existência de maiores efeitos de difusão de conhecimento para os exportadores.

De fato, o efeito ex-post pode estar associado ao próprio processo de aprendizado das empresas. Aquelas que implementam estratégias de investimento e precificação mais eficientes são as que têm a capacidade de entrar no mercado externo. Uma vez que essas empresas começam a exportar, aproveitando também o aumento das oportunidades de mercado, elas podem continuar a seguir estratégias competitivas bem-sucedidas que as tornaram exportadoras, ampliando ainda

mais a diferença de desempenho em relação às empresas que não exportam.

Além desses argumentos destacados até o presente momento, utilizaremos ferramentas para auxiliar nessa formulação do ambiente e das interações. Portanto, a aprendizagem e o comportamento adaptativo são ferramentas amplamente estudadas nas ciências sociais e econômicas, pois a interação entre os agentes econômicos pode resultar em aprendizado individual e mudanças de comportamentos. No campo da economia, a Teoria dos Jogos e a abordagem computacional têm sido utilizadas para investigar a relação entre aprendizado e comportamento dos agentes econômicos.

Nesse sentido, a modelagem baseada em agentes, que incorpora aspectos como heterogeneidade, autonomia, interações locais e racionalidade limitada, é considerada uma ferramenta adequada para estudar sistemas complexos. Para construir o modelo computacional baseado em agentes, serão consideradas três estruturas fundamentais: um conjunto de agentes com seus atributos e comportamentos, um conjunto de relacionamentos entre agentes e métodos de interação, e o ambiente do modelo, no qual os agentes interagem tanto entre si quanto com o ambiente.

Esses modelos de simulação, denominados Modelagem Baseada em Agentes (MBA), têm como filosofia, a modelagem de sistemas complexos compostos por agentes autônomos e interativos. Essa modelagem é caracterizada por uma abordagem *bottom-up*², adotada a partir dos agentes individuais, permitindo capturar propriedades emergentes. A partir da identificação do comportamento individual, considerando as diferenças existentes no comportamento dos indivíduos, se torna possível explicar o comportamento global emergente dos comportamentos individuais (ABAR et al., 2017).

De acordo com (MACAL; NORTH, 2014), o comportamento dos agentes sofre influência tanto do ambiente, decorrente da interação com os demais agentes, quanto das regras de comportamento introduzidas no modelo. Existem uma coleção de características que podem ser incorporadas ao modelo de simulação como, por exemplo, informações assimétricas, incerteza, interação estratégica, normas sociais, custos de transação, externalidades e até mesmo o processo de aprendizagem.

No que concerne a aprendizagem, alguns algoritmos de aprendizagem por reforço têm surgido na literatura com maior frequência, sendo o Reinforcement Learning e o Q-learning os mais utilizados para analisar sistemas complexos. Esses algoritmos são incorporados aos modelos de simulação com o objetivo de fazer com que o agente responda estrategicamente aos estímulos gerados por meio da interação com os demais agentes e com o ambiente. Sendo assim, a aprendizagem por reforço torna a representação mais realista e proporciona melhores resultados. O processo adaptativo que compõe os algoritmos de aprendizagem por reforço, consiste em um ciclo de ações que se repetem e são alimentadas com novas informações, obtidas ao longo das rodadas de simulação, que respaldam o agente no processo de tomada de decisão, tornando-o

² O termo “*bottom-up*” refere-se a uma abordagem ou método que começa a partir de elementos individuais ou detalhes específicos e, constrói a partir deles uma compreensão mais ampla ou uma estrutura mais complexa.

mais preciso.

Em cenários que envolvam agentes tomadores de decisão em situações de conflito, a aprendizagem se torna uma valiosa aliada na captação de resultados mais realistas. É de conhecimento que o acesso dos indivíduos a um conjunto de informações sobre os demais e sobre o ambiente torna possível que eles adotem comportamento estratégico, tendo em vista que quanto maior a quantidade de informação disponível, melhor ele pode se postar estrategicamente para a sua tomada de decisão (RINGLER; KELES; FICHTNER, 2016).

O objetivo deste estudo é apresentar um modelo que analisa a heterogeneidade das empresas como resultado da combinação dinâmica das decisões de exportação e inovação. Para isso, o modelo adotará uma abordagem baseada em agentes, que considera o comportamento adaptativo das empresas por meio de um algoritmo de aprendizado por reforço. No início das simulações, todas as empresas têm o mesmo nível de produtividade e tamanho. No entanto, por meio de escolhas e interações entre as empresas, ocorre a diferenciação dos níveis de produtividade ao longo do tempo. Com isso, o modelo será construído em um contexto de mercado de competição monopolista entre dois países, levando em consideração os custos fixos e variáveis de exportação.

Esta pesquisa está estruturada da seguinte forma: além desta seção introdutória, temos na seção 2, uma revisão dos fundamentos econômicos, desempenho das empresas, concorrência monopolística e teorias do comércio internacional, abordando estudos empíricos e teóricos relevantes sobre o tema. Na seção 3, é apresentada ferramentas que serão utilizadas nas abordagens computacionais para sistemas complexos. A seção 4 apresenta o modelo de aprendizado por reforço utilizado neste estudo. Em seguida, na seção 5, é descrito o modelo proposto, detalhando as principais variáveis, suposições e equações. Na seção 6, são discutidas as análises das simulações realizadas e suas implicações. Por fim, a seção 7 apresenta conclusões deste estudo e possíveis direções para futuras pesquisas.

2 Fundamentos Econômicos

2.1 Teoria da Concorrência Monopolista

A Teoria da Concorrência Monopolista é um importante ramo da teoria econômica que se concentra no estudo do comportamento das empresas em mercados caracterizados por uma forma intermediária entre o monopólio puro e a concorrência perfeita. Ela foi desenvolvida como uma alternativa à teoria tradicional de monopólio e concorrência perfeita, a fim de explicar as características e o funcionamento dos mercados onde produtos diferenciados são ofertados por várias empresas.

Esse conceito foi inicialmente proposto pelo economista americano Edward H. Chamberlin, em seu livro “*The Theory of Monopolistic Competition*”, publicado em 1933, e posteriormente ampliado por Joan Robinson em “*The Economics of Imperfect Competition*”¹. Essa teoria busca explicar como a diferenciação dos produtos influencia o comportamento das empresas e os resultados de mercado. Sendo assim, as principais características da Teoria da Concorrência Monopolista são:

1. **Produtos diferenciados:** A principal característica dos mercados de concorrência monopolista é a existência de produtos diferenciados. Isso significa que as empresas produzem bens ou serviços que, apesar de serem substitutos próximos, possuem diferenças em termos de qualidade, marca, design, embalagem, localização ou outras características que os tornam distintos aos olhos dos consumidores.
2. **Monopólio do produto:** Cada empresa no mercado possui um certo grau de controle sobre o seu produto diferenciado. Embora não seja um monopólio completo, a capacidade de diferenciação permite que as empresas exerçam algum poder de mercado, podendo influenciar os preços e as quantidades produzidas.
3. **Livre entrada e saída:** Ao contrário do monopólio puro, onde a entrada de novas empresas é dificultada ou impossível e, da concorrência perfeita, onde as barreiras à entrada são mínimas, a concorrência monopolista permite que novas empresas entrem no mercado. No entanto, devido à diferenciação dos produtos, as empresas estabelecidas possuem uma certa vantagem competitiva.
4. **Curva de demanda inclinada:** A curva de demanda enfrentada por uma empresa em um mercado de concorrência monopolista é inclinada, o que significa que a empresa pode aumentar suas vendas ao reduzir o preço, mas também pode elevar seus preços sem perder

¹ ROBINSON, J. The economics of imperfect competition. [S.l.]: Springer, 1969

todos os clientes. Isso ocorre devido à lealdade do consumidor às características específicas do produto que a empresa oferece.

5. **Publicidade e *branding*²**: Dada a concorrência entre produtos diferenciados, as empresas em mercados de concorrência monopolista costumam investir em publicidade e *branding* para destacar as qualidades únicas de seus produtos. Isso pode ajudar a criar uma percepção de valor superior na mente do consumidor.
6. **Competição e lucros normais**: Como existem substitutos próximos no mercado, as empresas competem entre si, o que limita sua capacidade de obter lucros excessivos a longo prazo. No entanto, em curto prazo, as empresas podem obter lucros acima do normal, especialmente se possuírem um produto altamente diferenciado.

Dito isso, a teoria da concorrência monopolista é uma estrutura de mercado que descreve a competição entre empresas que produzem produtos diferenciados e oferece uma perspectiva importante para entender o comportamento das empresas em setores onde a concorrência não é perfeitamente competitiva, mas também não há um monopólio puro.

Na teoria da concorrência monopolista, cada empresa produz um produto que é percebido de maneira única pelos consumidores devido a características como, qualidade, design, embalagem ou serviços adicionais. Essa diferenciação cria uma certa lealdade do consumidor em relação a determinadas marcas ou produtos, permitindo que as empresas cobrem preços mais altos em relação aos custos marginais. Além disso, as empresas competem em termos de marketing e publicidade para atrair os consumidores e aumentar sua participação de mercado.

Portanto, a concorrência monopolista é uma estrutura de mercado na qual várias empresas produzem produtos diferenciados, mas enfrentam uma demanda limitada devido às preferências heterogêneas dos consumidores (FEENSTRA, 2003). Nesse tipo de mercado, cada empresa possui algum poder de mercado, já que os produtos diferenciados criam uma base de consumidores leais. Setores como alimentos, vestuário, eletrônicos e serviços são exemplos comuns em que essa estrutura de mercado é encontrada (BERNARD; JENSEN; SCHOTT, 2005).

Ao contrário de um monopólio puro, existem várias empresas que produzem produtos diferenciados no mercado monopolisticamente competitivo. Cada empresa possui algum poder de mercado, mas esse poder é limitado devido à presença de concorrentes oferecendo produtos similares. Isso significa que as empresas não têm controle total sobre os preços e a quantidade produzida, sendo assim, a concorrência desempenha um papel importante no mercado.

Essa teoria tem implicações significativas para a eficiência econômica e o bem-estar dos consumidores. Por um lado, a diferenciação do produto e a competição baseada em características

² Branding é o conjunto de estratégias e ações utilizadas por uma empresa para construir e fortalecer a identidade de sua marca no mercado. Essa prática visa criar uma conexão emocional com os consumidores, tornando a marca memorável, confiável e preferida em relação aos concorrentes. O branding busca estabelecer uma imagem positiva e distintiva, contribuindo para a diferenciação e reconhecimento da marca. É uma ferramenta essencial para empresas que buscam se destacar em mercados competitivos e construir uma base sólida de clientes fiéis.

distintas podem levar a uma maior diversidade de produtos e atender às preferências individuais dos consumidores, ou seja, isso pode aumentar a satisfação do consumidor e a variedade disponível no mercado e, além disso, a concorrência entre as empresas pode incentivar a inovação e o aprimoramento dos produtos. Entretanto, a presença de poder de mercado e a possibilidade de cobrar preços mais altos do que os custos marginais podem resultar em alocação ineficiente de recursos e menor bem-estar geral. Isso ocorre porque as empresas podem ter incentivos para produzir em quantidades abaixo do nível socialmente ideal para maximizar seus lucros.

Do ponto de vista das políticas públicas, a teoria da concorrência monopolista tem implicações para a regulamentação e a intervenção governamental. A regulação antitruste desempenha um papel importante na prevenção do abuso de poder de mercado e na promoção da concorrência em setores monopolisticamente competitivos. Além disso, políticas que incentivam a concorrência e a inovação, como proteção aos direitos de propriedade intelectual, apoio à pesquisa e desenvolvimento, podem contribuir para melhorar os resultados econômicos em setores com essa estrutura de mercado.

Em suma, a Teoria da Concorrência Monopolista oferece uma análise detalhada e abrangente dos mercados caracterizados pela diferenciação dos produtos, preenchendo o espaço entre o monopólio puro e a concorrência perfeita. Através da compreensão das características fundamentais desse modelo, como a existência de produtos diferenciados, a competição baseada em diferenciais de marca e a influência da publicidade, podemos entender melhor a dinâmica complexa que molda o comportamento das empresas e os resultados de mercado. No entanto, é crucial reconhecer as implicações econômicas e políticas desse cenário, como a necessidade de regulação antitruste para prevenir abusos de poder de mercado e garantir uma competição saudável, além do estímulo à inovação e à diversidade de produtos através de políticas públicas adequadas.

Ao considerar o papel desempenhado pela Teoria da Concorrência Monopolista na compreensão dos mercados modernos, podemos discernir como a diferenciação dos produtos e a lealdade do consumidor impactam não apenas as estratégias empresariais, mas também o bem-estar dos consumidores e a eficiência econômica. Portanto, ao aplicar as lições aprendidas dessa teoria, formuladores de políticas públicas, gestores e empreendedores podem colaborar para promover um ambiente econômico dinâmico e equitativo, onde a competição saudável, a inovação contínua e o atendimento às necessidades dos consumidores sejam prioridades essenciais.

2.1.1 Implicações Práticas da Concorrência Monopolista no Comércio Internacional

Conforme abordado na seção acima, a concorrência monopolista é um conceito econômico que se refere a um tipo de mercado no qual há várias empresas que oferecem produtos ou serviços que são, em certa medida, diferenciados uns dos outros. Nesse tipo de mercado, as empresas têm

algum grau de controle sobre os preços que cobram e, portanto, podem exercer algum poder de mercado. As implicações práticas da concorrência monopolista no comércio internacional são complexas e variadas, afetando tanto as políticas comerciais quanto as regulatórias e o bem-estar dos consumidores.

Desta forma, vale ressaltar algumas das implicações práticas da concorrência monopolista no comércio internacional:

- **Diferenciação de produtos e competição global:** Empresas que operam em um ambiente de concorrência monopolista tendem a se esforçar para diferenciar seus produtos ou serviços por meio de marca, qualidade, design, características exclusivas, etc. Isso pode levar a uma maior diversidade de opções para os consumidores, mas também pode resultar em uma competição baseada em características não relacionadas ao preço.
- **Políticas comerciais e barreiras não tarifárias:** Em um cenário de concorrência monopolista, as empresas muitas vezes buscam proteger suas participações de mercado por meio de estratégias não relacionadas ao preço. Isso pode incluir a busca de proteção regulatória ou lobby governamental para impor barreiras não tarifárias ao comércio, como padrões de qualidade específicos, regulamentos técnicos, ou medidas sanitárias e fitossanitárias. Essas barreiras podem ser usadas para dificultar a entrada de produtos estrangeiros e proteger as empresas locais.
- **Políticas *antitruste*³ e regulamentação:** Para evitar o abuso do poder de mercado por empresas que operam em condições de concorrência monopolista, as políticas antitruste desempenham um papel crucial. Os governos precisam monitorar de perto as práticas comerciais dessas empresas e intervir quando necessário para garantir que a competição seja preservada. Isso pode incluir a aplicação de regulamentações mais rigorosas em setores onde a concorrência é limitada.
- **Bem-estar do consumidor:** A concorrência monopolista pode ter implicações ambíguas para o bem-estar dos consumidores. Por um lado, a diferenciação de produtos pode levar a uma maior variedade de escolha, o que pode ser benéfico. Por outro lado, a falta de concorrência real no preço pode resultar em preços mais altos para produtos diferenciados, prejudicando os consumidores. Portanto, as políticas devem equilibrar a promoção da inovação e da variedade com a proteção dos consumidores contra preços excessivamente altos.
- **Globalização e competição internacional:** Em um mundo globalizado, as empresas que operam em condições de concorrência monopolista frequentemente enfrentam competição

³ As políticas antitruste, também conhecidas como políticas de concorrência ou leis antitruste, são um conjunto de regulamentações e ações governamentais destinadas a promover e manter a concorrência justa e aberta nos mercados econômicos. O termo “antitruste” se origina dos Estados Unidos, onde as primeiras leis antitruste foram promulgadas no final do século XIX para combater o poder excessivo das grandes empresas e trustes que monopolizavam setores inteiros da economia.

não apenas de empresas locais, mas também de empresas estrangeiras. Isso pode levar a pressões adicionais sobre a inovação e a qualidade dos produtos, mas também pode criar desafios para as empresas locais que precisam competir em mercados estrangeiros.

Portanto, a concorrência monopolista no comércio internacional tem implicações complexas para políticas comerciais e regulatórias, bem como para o bem-estar dos consumidores. As políticas governamentais devem ser projetadas para equilibrar os benefícios da inovação e da diversidade de produtos com a necessidade de garantir preços razoáveis e competição justa nos mercados. Isso requer uma abordagem cuidadosa e adaptável, que leve em consideração as características específicas de cada setor e mercado.

2.2 Teoria do Comércio Internacional

A teoria do comércio internacional é uma área crucial da economia que se dedica a entender as razões pelas quais os países se engajam no comércio internacional, bem como os efeitos desse comércio sobre suas economias. Ela fornece insights valiosos para governos, empresas e economistas que buscam compreender e influenciar os padrões globais de comércio. Uma das figuras proeminentes na área da teoria do comércio internacional é Paul Krugman, que contribuiu significativamente para o desenvolvimento e aprimoramento das teorias. Entretanto, vale ressaltar, de forma sucinta, as principais teorias do comércio internacional:

- **Teoria das Vantagens Comparativas de David Ricardo:** Uma das teorias fundamentais do comércio internacional é a teoria das vantagens comparativas, desenvolvida por David Ricardo. Essa teoria argumenta que os países devem se especializar na produção daquilo em que são relativamente mais eficientes e, em seguida, trocar esses bens com outros países. Isso leva a ganhos mútuos no comércio, mesmo que um país seja menos eficiente na produção de todos os bens em comparação com outro.
- **Teoria das Vantagens Absolutas de Adam Smith:** Antes da teoria de Ricardo, Adam Smith propôs a teoria das vantagens absolutas, que argumentava que os países deveriam se especializar na produção daquilo em que são absolutamente melhores, independentemente da eficiência relativa. No entanto, essa teoria foi posteriormente refutada por Ricardo, que introduziu a ideia das vantagens comparativas.
- **Teoria de Heckscher-Ohlin:** Esta teoria, desenvolvida por Eli Heckscher e Bertil Ohlin, sugere que os países tendem a exportar bens que utilizam intensivamente os fatores de produção em que são abundantes e a importar bens que utilizam intensivamente os fatores escassos. Em outras palavras, os recursos de um país, como mão de obra ou capital, influenciam suas vantagens competitivas no comércio internacional.

- **Modelo de Competição Monopolística de Paul Krugman:** Paul Krugman contribuiu significativamente para a teoria do comércio internacional com seu modelo de competição monopolística. Ele introduziu a ideia de que as empresas produzem bens diferenciados e enfrentam concorrência imperfeita. Isso tem implicações importantes para o comércio, uma vez que as empresas podem ganhar vantagem competitiva através da inovação e da diferenciação de produtos.
- **Teoria de Novo Comércio de Paul Krugman:** Krugman também desenvolveu a teoria de novo comércio, que enfatiza a importância das economias de escala na produção de bens. Essa teoria sugere que os países podem se especializar na produção de bens específicos devido às economias de escala, mesmo que não tenham vantagens comparativas tradicionais.

Sendo assim, iremos utilizar as contribuições do autor Paul Krugman, para análise desta secção. Professor da Universidade de Princeton e colunista do *The New York Times*, recebeu o Prêmio Nobel de Economia em 2008 em virtude de suas contribuições para os estudos da economia internacional e da nova geografia da atividade econômica.

Tradicionalmente, o comércio internacional tem sido explicado com base em diferenças no acesso tecnológico, oferta de mão de obra e capital. Essa abordagem clássica argumenta que essas diferenças são responsáveis pelo fato de alguns países exportarem produtos agrícolas, enquanto outros exportam produtos industriais. No entanto, ela não consegue explicar por que um mesmo país pode importar e exportar o mesmo produto, questionando a validade dessas diferenças como determinantes do comércio internacional.

Para compreender os novos padrões do comércio internacional, Krugman identificou que o tamanho de um mercado pode conferir vantagens a um país em suas relações comerciais com outros. No entanto, seu estudo, (KRUGMAN, 1980), introduziu novas premissas que explicam o comércio internacional. Krugman associa a economia de escala, que é comum em muitos mercados, a comportamentos de mercado não competitivos e demonstra como uma lógica monopolista pode afetar o comércio internacional. Nesse contexto, o autor incorpora ao seu modelo os seguintes elementos: competição imperfeita, economia de escala e a possibilidade de diferenciação de produtos.

A competição imperfeita ocorre quando os consumidores não determinam o preço do produto por meio da lei da oferta e da procura. Em seu extremo, isso leva a um mercado monopolista, onde apenas um fornecedor oferta um determinado bem. No entanto, o monopolista ainda deve considerar seu poder sobre o preço, levando em conta a demanda dos consumidores e a quantidade disponibilizada no mercado.

A economia de escala, por outro lado, refere-se a como os custos de uma empresa variam conjunta e exclusivamente com sua produção. Existem dois principais tipos de economia de escala: interna, onde os custos diminuem à medida que a produção aumenta devido a fatores

internos da empresa; e externa, onde os custos diminuem à medida que a produção aumenta devido a preços mais baixos de insumos comprados em grandes quantidades.

Krugman também argumenta que outros fatores influenciam a economia de escala, como a localização geográfica das empresas e a relação entre economia de escala e transporte de produtos. Empresas localizadas em áreas mais densamente povoadas têm vantagens competitivas, pois reduzem custos e oferecem preços mais baixos aos consumidores.

Para a economia de escala funcionar, é necessário uma alta demanda e a especialização na produção de um determinado bem. Globalmente, cada país ou região tende a se especializar em setores específicos, resultando em comércio interindustrial. Em uma economia fechada, a economia de escala é inviável devido à impossibilidade de especialização em todos os setores.

Com o avanço do comércio e da globalização no século XX, houve uma especialização profunda em uma pequena variedade de bens diferenciados a custos médios baixos, levando ao comércio intra-industrial. Isso ocorre entre países com estruturas econômicas semelhantes, resultando em menor impacto na redistribuição de renda.

Krugman argumenta que, a partir do século XX, os países passaram a praticar preços mais baixos em seus produtos de exportação, conhecido como “*dumping*”⁴, para obter vantagem competitiva. Reconhecer essa prática, juntamente com outras imperfeições no comércio internacional, permitiu a Krugman uma compreensão mais precisa das relações comerciais contemporâneas.

A abordagem abrangente às teorias do comércio internacional apresentadas, desde as clássicas vantagens comparativas e absolutas até as contribuições inovadoras de Paul Krugman, destaca a evolução do pensamento econômico nessa área. As teorias tradicionais explicam o comércio com base em diferenças tecnológicas e de recursos, enquanto Krugman introduziu conceitos como competição imperfeita, economia de escala e diferenciação de produtos para explicar os padrões contemporâneos do comércio global.

Seu trabalho revolucionário não apenas desafiou as ideias convencionais da década de 1970, mas também proporcionou uma compreensão mais precisa das complexas relações comerciais na era da globalização, enfatizando a importância da competição imperfeita e da inovação na dinâmica do comércio internacional. Isso proporcionou uma nova maneira de entender os efeitos da globalização e do livre-comércio no mundo contemporâneo.

⁴ Prática comercial na qual uma empresa ou país vende produtos no mercado internacional a preços inferiores aos custos de produção ou aos preços praticados em seu próprio mercado doméstico. O objetivo pode ser eliminar concorrentes locais, conquistar uma fatia maior do mercado estrangeiro ou simplesmente se livrar de excesso de estoque. Essa prática é considerada desleal no comércio internacional, prejudicando a concorrência e causando distorções no mercado.

2.3 Competição e Poder de Mercado

A concorrência monopolista no comércio internacional pode ser definida como a situação em que várias empresas competem entre si por uma parcela do mercado global, utilizando a diferenciação de produtos como estratégia principal (BERNARD; JENSEN; SCHOTT, 2005). Nesse modelo, cada empresa busca atrair consumidores com preferências específicas, oferecendo produtos que se distinguem dos concorrentes em termos de características, qualidade, estilo, marca, entre outros atributos. Através dessa diferenciação, as empresas conseguem exercer algum poder de mercado e influenciar os preços e quantidades negociados.

No entanto, é importante ressaltar que o poder de mercado de cada empresa em uma situação de concorrência monopolista é limitado pela presença de outras empresas oferecendo produtos similares no mercado (FEENSTRA, 2003). Apesar das diferenças entre os produtos, ainda existe uma competição pela preferência dos consumidores, o que faz com que as empresas estejam constantemente buscando maneiras de se destacar e conquistar uma fatia maior do mercado.

Uma das maneiras mais comuns de diferenciação de produtos nas transações comerciais internacionais é através de marcas. Empresas de renome internacional, como a Nike, Apple, Coca-Cola, entre outras, investem em estratégias de marketing voltadas para reforçar a identidade e a imagem de suas marcas, criando assim uma percepção de qualidade e status nos consumidores. Essas empresas buscam se posicionar como líderes em seus setores e utilizam o poder de suas marcas para influenciar a demanda pelos seus produtos.

Outro aspecto importante é o papel desempenhado pela inovação tecnológica na competição e no poder de mercado das empresas no comércio internacional. Empresas que investem em pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias geralmente conseguem criar produtos diferenciados, que atendem às demandas específicas dos consumidores e conseguem cobrar preços mais altos por isso. Além disso, essas empresas podem se beneficiar de vantagens competitivas, como patentes e direitos de propriedade intelectual, que dificultam a entrada de novos concorrentes no mercado. Nesta pesquisa o foco será na inovação tecnológica.

No entanto, é importante ressaltar que a concorrência monopolista não implica em uma total ausência de concorrência. As empresas ainda enfrentam a concorrência de outras que oferecem produtos similares ou substitutos próximos, o que limita o poder de fixação de preços e de controle sobre o mercado. Além disso, a entrada de novos concorrentes pode ocorrer caso esses novos concorrentes consigam diferenciar seus produtos o suficiente para atrair a preferência dos consumidores.

Dessa forma, a concorrência monopolista no comércio internacional envolve um equilíbrio tênue entre o poder de mercado das empresas e a competição por parte de outras empresas. As estratégias de diferenciação de produtos, o investimento em marketing e inovação e o fortalecimento de marcas são elementos essenciais para as empresas se destacarem em um cenário de

concorrência global. No entanto, é fundamental que as empresas estejam atentas às mudanças nas preferências dos consumidores e às estratégias dos concorrentes, para poderem se adaptar e se manterem competitivas no mercado internacional (FEENSTRA, 2003).

Em suma, a concorrência monopolista no comércio internacional envolve a competição entre empresas por uma parcela do mercado global através da diferenciação de produtos. O poder de mercado de cada empresa é limitado pela presença de outros concorrentes que oferecem produtos similares. Estratégias de diferenciação, investimento em marketing e inovação tecnológica são cruciais para que as empresas possam se destacar nesse ambiente de competição global e, essas empresas devem estar constantemente atentas ao mercado e às preferências dos consumidores, para se adaptarem e se manterem competitivas no comércio internacional.

2.4 Prêmios do Exportador na Concorrência Monopolista

No contexto da exportação, a teoria da concorrência monopolista pode ser aplicada para analisar os prêmios do exportador. Esses prêmios referem-se aos benefícios adicionais que as empresas obtêm ao ingressar no mercado externo (BERNARD; JENSEN; SCHOTT, 2005). Estudos empíricos têm consistentemente mostrado que empresas exportadoras tendem a ser maiores, mais produtivas e mais intensivas em capital em comparação com empresas que não exportam (ROBERTS; TYBOUT, 1997; AW; CHUNG; ROBERTS, 2000).

Esses prêmios do exportador podem ser explicados pelo efeito de auto-seleção, conforme proposto na teoria (BERNARD; JENSEN; SCHOTT, 2005). De acordo com esse efeito, apenas as empresas mais competitivas conseguem superar os custos fixos e variáveis de exportação e entrar no mercado externo. A competição entre as empresas exportadoras e a preferência dos consumidores por produtos diferenciados criam uma dinâmica em que as empresas mais eficientes têm maior probabilidade de serem bem-sucedidas na exportação (BERNARD; JENSEN; SCHOTT, 2005).

Sendo assim, as empresas que produzem bens diferenciados podem se beneficiar de maiores prêmios do exportador devido à demanda internacional por produtos únicos ou de alta qualidade (KRUGMAN, 1980). Ao exportar, essas empresas podem aproveitar a preferência dos consumidores estrangeiros por produtos diferenciados e, assim, obter um poder de mercado adicional. Esses prêmios do exportador permitem que as empresas obtenham maiores margens de lucro e, portanto, aumentem sua competitividade no mercado internacional.

Além disso, as empresas que exportam têm acesso a um mercado maior do que as empresas que atuam exclusivamente no mercado doméstico. Isso pode permitir que elas obtenham economias de escala e reduzam seus custos de produção (BERNARD; JENSEN; SCHOTT, 2005). Com custos mais baixos, as empresas exportadoras podem oferecer preços mais competitivos e aumentar sua participação no mercado internacional.

No entanto, é importante mencionar que nem todas as empresas que exportam irão obter os prêmios do exportador. A competição no mercado internacional pode ser intensa e as empresas precisam se esforçar para fornecer produtos de alta qualidade, diferenciados e competitivamente precificados para se destacar da concorrência (BERNARD; JENSEN; SCHOTT, 2005).

2.5 Benefícios da Exportação na Concorrência Monopolista

Além dos prêmios do exportador, a exportação traz uma série de benefícios adicionais para as empresas. Ao ingressar em mercados estrangeiros, as empresas têm a oportunidade de acessar conhecimentos e tecnologias estrangeiras, aumentando sua capacidade de inovação e competitividade (BERNARD; JENSEN; SCHOTT, 2005). A expansão para o mercado internacional também pode resultar em maiores oportunidades de vendas e aumento dos recursos disponíveis para as empresas (BERNARD; JENSEN; SCHOTT, 2005).

A concorrência monopolista, uma estruturação de mercado onde várias empresas oferecem produtos ou serviços similares, mas diferenciados o suficiente para serem considerados únicos. Nesse contexto, os benefícios da exportação podem ser significativos para as empresas que operam nesse tipo de indústria, especialmente quando se trata do comércio internacional.

Uma das principais vantagens da exportação na concorrência monopolista é a ampliação do mercado consumidor. Ao exportar seus produtos para outros países, a empresa tem a oportunidade de alcançar um número maior de consumidores, o que pode levar a um aumento nas vendas e na lucratividade. Além disso, ao entrar em novos mercados, a empresa tem a chance de diversificar seus fluxos de receita e reduzir a dependência de um único mercado doméstico, o que pode ser crucial para sua sustentabilidade a longo prazo.

Outro benefício da exportação é a possibilidade de explorar economias de escala. Quando uma empresa aumenta sua produção para atender à demanda externa, ela pode reduzir os custos médios de produção, aproveitando as vantagens de produzir em maior escala. Isso pode resultar em preços mais competitivos e tornar os produtos da empresa mais atraentes para os consumidores estrangeiros, aumentando sua participação no mercado.

Além disso, a exportação na concorrência monopolista pode impulsionar a inovação e o desenvolvimento tecnológico. Ao competir em mercados internacionais, as empresas são encorajadas a buscar constantemente melhorias na qualidade e no desempenho de seus produtos. Isso pode levar a investimentos em pesquisa e desenvolvimento, bem como na aquisição de novas tecnologias, o que, por sua vez, pode aumentar sua vantagem competitiva no mercado doméstico e internacional.

É importante destacar que, embora os benefícios da exportação na concorrência monopolista podem ser significativos, há também a necessidade de considerar os desafios enfrentados nesse processo. Aspectos como os custos de transporte, barreiras comerciais e burocracia adu-

aneira podem afetar a competitividade das empresas no mercado internacional. Portanto, é fundamental que as empresas estejam preparadas para lidar com essas questões e buscar estratégias eficazes para realizar suas operações de exportação de maneira bem-sucedida.

Outro ponto a ser destacado, seria os benefícios da exportação na concorrência monopolista, no que tange a geração de empregos e a melhoria da renda nacional. Quando as empresas exportam seus produtos, elas aumentam sua produção e, conseqüentemente, sua demanda por trabalho. Isso cria trabalhos adicionais, reduzindo a taxa de desemprego e melhorando a renda das pessoas. Além disso, o aumento da renda nacional impulsionado pela exportação pode levar a um aumento no consumo e ao crescimento do mercado interno.

Além disso, a competição monopolista no comércio internacional beneficia os países exportadores, estimulando o crescimento econômico e a eficiência produtiva. A exportação permite que as empresas explorem novos mercados, aumentem sua participação no comércio internacional e aprimorem a eficiência produtiva. Além disso, promove a inovação e o desenvolvimento de novos produtos, gerando empregos e melhorando a renda nacional. Isso, por sua vez, impulsiona o crescimento do mercado interno. Portanto, a exportação desempenha um papel crucial na economia global.

2.6 Efeito Ex-ante e Efeito Ex-post da Exportação

Ao analisar os efeitos da exportação, é importante distinguir entre o efeito ex-ante e o efeito ex-post (MELITZ, 2003). O efeito ex-ante refere-se à capacidade das empresas de se tornarem exportadoras, levando em consideração suas características e habilidades competitivas. Estudos têm demonstrado consistentemente que empresas mais produtivas, maiores e mais eficientes têm maior probabilidade de se tornarem exportadoras (BERNARD et al., 2007)

Sendo assim, o efeito ex-ante da exportação é frequentemente associado ao conceito de auto-seleção e, nesse contexto, as empresas mais competitivas e eficientes têm a capacidade de superar os custos fixos e variáveis associados à exportação, como estabelecer uma rede comercial no exterior, adaptar produtos e serviços aos padrões e preferências estrangeiras, transporte e seguro de viagem. Essas empresas, portanto, têm uma maior probabilidade de entrar no mercado internacional em comparação com suas contrapartes menos competitivas.

As evidências empíricas dos chamados "*prêmios do exportador*" sustentam essa ideia de auto-seleção. Empresas que se tornam exportadoras tendem a apresentar um desempenho superior em relação às empresas que não exportam e esses prêmios do exportador estão associados a características distintas das empresas exportadoras, como maior tamanho, maior intensidade de capital e qualificação, produtividade total dos fatores mais elevada e maior valor agregado por trabalhador (FEENSTRA, 2003; BERNARD et al., 2007; BERNARD; JENSEN; SCHOTT, 2005).

No entanto, segundo (MELITZ, 2003), o efeito ex-post diz respeito ao crescimento da produtividade das empresas após sua entrada no mercado externo. Ou seja, além da capacidade inicial de se tornar exportadora, é essencial analisar o efeito ex-post da exportação pois esse efeito diz respeito aos benefícios e mudanças na produtividade das empresas após sua entrada no mercado externo. Espera-se que as empresas exportadoras se beneficiem do acesso a conhecimentos e tecnologias estrangeiras, o que pode resultar em spillovers tecnológicos, melhorias na qualidade do produto e eficiência operacional.

Embora se espere que as empresas exportadoras se tornem mais inovadoras e produtivas devido à competição e acesso a novos conhecimentos, os resultados empíricos são mistos e dependem de diversos fatores, como o setor de atuação, o tamanho da empresa e o ambiente competitivo (BERNARD; JENSEN, 2004).

Além disso, a exportação pode levar a um aumento das oportunidades de vendas e, conseqüentemente, dos recursos disponíveis para as empresas. Esses recursos adicionais podem ser direcionados para investimentos em inovação e melhorias de produtividade, o que pode sustentar a competitividade internacional das empresas exportadoras (AW; CHUNG; ROBERTS, 2000).

No entanto, os resultados empíricos sobre o efeito ex-post são mistos. Alguns estudos sugerem que as empresas exportadoras se tornam mais inovadoras e produtivas, enquanto outros não encontram evidências conclusivas desse aumento de desempenho. A diferença nos resultados pode estar relacionada a fatores contextuais, como a natureza do setor em que a empresa atua, a intensidade da concorrência no mercado externo e a capacidade da empresa de absorver e aplicar novos conhecimentos.

Um dos desafios para estudar o efeito ex-post é separar os efeitos causais da exportação das características inerentes das empresas. Ou seja, é preciso discernir se o aumento da produtividade é resultado direto da exportação ou se empresas mais produtivas têm maior propensão a se tornarem exportadoras desde o início.

Modelos teóricos, como o desenvolvido por (MELITZ, 2003), têm sido úteis para entender esses efeitos e suas complexas interações. O modelo de Melitz considera a heterogeneidade das empresas em termos de produtividade e explora como as empresas mais produtivas têm vantagens para ingressar no mercado externo.

Outros estudos, como os de (COSTANTINI; MELITZ, 2008) e (BURSTEIN; MELITZ, 2011), endogeneizaram a dinâmica tecnológica e permitiram analisar a interação entre as decisões de exportação e as escolhas inovadoras em cenários de comércio internacional. Essas abordagens têm a vantagem de incorporar a dinâmica evolutiva das empresas e ajudar a explicar tanto o efeito ex-ante quanto o efeito ex-post.

Portanto, é fundamental que pesquisas futuras continuem a investigar os efeitos da exportação, levando em conta tanto o aspecto da seleção inicial das empresas mais produtivas

como as mudanças na produtividade após a entrada no mercado externo. Compreender esses efeitos é crucial para que formuladores de políticas e gestores empresariais tomem decisões mais informadas e desenvolvam estratégias eficazes para impulsionar o crescimento econômico e a competitividade das empresas em um ambiente global cada vez mais dinâmico.

2.7 O Modelo de Melitz e a Análise da Exportação

O modelo de (MELITZ, 2003) é um marco teórico importante para entender a dinâmica das empresas em um contexto de comércio internacional. Ele parte do pressuposto de que as empresas diferem em termos de produtividade e enfrentam custos fixos de entrada no mercado externo. No modelo, as empresas mais produtivas têm uma vantagem competitiva para entrar no mercado internacional, enquanto as menos produtivas optam por atuar apenas no mercado doméstico. Essa auto-seleção ex-ante cria um prêmio para as empresas exportadoras, que tendem a ser mais eficientes e produtivas.

O modelo de Melitz descreve o processo de exportação como um mecanismo de seleção que direciona as empresas mais aptas a atuarem no mercado internacional, enquanto as menos eficientes permanecem voltadas para o mercado interno. Isso resulta em uma distribuição desigual de produtividade entre as empresas exportadoras e não exportadoras.

No entanto, o modelo de Melitz não considera explicitamente os efeitos ex-post da exportação, ou seja, as mudanças na produtividade das empresas após ingressarem no mercado externo. Essa lacuna é importante, uma vez que a exportação pode levar a benefícios adicionais para as empresas, como o acesso a novas tecnologias e conhecimentos, o aumento das oportunidades de vendas e a concorrência internacional. Para explorar o efeito ex-post, é necessária uma abordagem dinâmica que leve em conta as melhorias de produtividade como endógenas ao processo de exportação.

Diversos estudos têm endogeneizado a dinâmica tecnológica no modelo de Melitz para entender melhor os efeitos da exportação ao longo do tempo. A análise do efeito ex-post da exportação requer a construção de modelos computacionais baseados em agentes, que permitam uma análise mais aprofundada da interação dinâmica entre as decisões de exportação e inovação (BERNARD; JENSEN; SCHOTT, 2005). Essa abordagem é importante para entender como a exportação afeta o desempenho das empresas ao longo do tempo, considerando a concorrência monopolista e os benefícios decorrentes da entrada nos mercados internacionais.

(COSTANTINI; MELITZ, 2008) propuseram um modelo que permite analisar a interação entre as decisões de exportação e inovação em diferentes cenários de comércio internacional. Eles incorporam o aprendizado por reforço das empresas, que adaptam suas estratégias competitivas à medida que ganham experiência no mercado externo. Esse modelo demonstra que a exportação e a inovação estão intrinsecamente relacionadas, com a entrada no mercado externo impulsionando a inovação e vice-versa.

Além disso, (BUSTOS, 2011) e (BURSTEIN; MELITZ, 2011) também contribuíram para a análise do efeito ex-post da exportação. Bustos considera a heterogeneidade do tamanho das empresas e a assimetria na distribuição da produtividade para analisar como a exportação afeta a alocação de recursos entre empresas exportadoras e não exportadoras. Seus resultados indicam que a entrada no mercado externo melhora a alocação de recursos e promove a eficiência produtiva.

Por sua vez, Burstein e Melitz focam nos impactos da exportação na economia como um todo, explorando como a exportação afeta o mercado de trabalho e a distribuição de renda. Eles destacam que a entrada no mercado externo tem efeitos positivos na produtividade agregada e no bem-estar geral da sociedade.

Em suma, o modelo de Melitz tem sido fundamental para compreender o efeito ex-ante da exportação e a auto-seleção das empresas mais produtivas para o mercado internacional. No entanto, para uma análise completa da exportação e de seus impactos ao longo do tempo, é necessário endogeneizar a dinâmica tecnológica e considerar os efeitos ex-post da exportação.

As abordagens que incorporam o aprendizado por reforço e consideram a heterogeneidade das empresas têm sido especialmente importantes para entender as complexas interações entre exportação, inovação e desempenho das empresas. Esses estudos são cruciais para orientar políticas públicas e estratégias empresariais que impulsionem o crescimento econômico e a competitividade no cenário global.

3 Abordagens Computacionais para Sistemas Complexos

3.1 Modelagem baseada em Agentes

A Modelagem Baseada em Agentes (MBA ou ABM) representa uma abordagem computacional que envolve a criação de modelos utilizando entidades autônomas denominadas agentes. Esses agentes, possuem a capacidade de interagir, modificar e transformar outras entidades e o ambiente em que estão inseridos. Essas interações são guiadas por regras e condições definidas pelo modelador.

Para compreender a MBA em sua totalidade, é essencial explorar variados conceitos e definições propostos por diferentes autores. Embora alguns autores expressem ideias convergentes, há nuances importantes, especialmente em relação aos níveis de aprofundamento e à diversidade de *softwares* empregados em determinada proposta de pesquisa.

Segundo (WILENSKY; RAND, 2015), a metodologia da Modelagem Baseada em Agentes (MBA), é uma perspectiva relacionada a abordagem computacional que oferece uma estrutura para modelar sistemas complexos, portanto, é um estilo de modelagem no qual a interação entre indivíduos e o ambiente será representada em um *software*¹. Essa abordagem demonstra ser particularmente adequada para modelar sistemas sociais e naturais, pois nos permite considerar e exigir a inclusão de decisões individuais. Sendo assim, a estrutura modular da MBA irá representar cada indivíduo como uma entidade autônoma, podendo ou não depender da existência de outros indivíduos. E, através da interação entre agentes e ambiente, a MBA possibilita gerar dados quantificáveis oferecendo uma perspectiva valiosa sobre fenômenos complexos, seja por meio de gráficos e/ou formas algébricas. Portanto, ao modelar sistemas complexos, a MBA fornece uma perspectiva valiosa sobre os fenômenos do mundo real, permitindo aos pesquisadores estudarem cenários diversificados e suas possíveis consequências.

Ferramentas computacionais, como o programa NetLogo, são frequentemente empregadas na implementação da MBA. Além disso, a aplicação de algoritmos de aprendizado por reforço permite que os agentes aprendam a tomar decisões com base nas recompensas obtidas ao longo do tempo, adicionando uma camada de complexidade e adaptabilidade ao sistema modelado.²

A MBA encontra vastas aplicações em diferentes áreas, como social, econômica, ambiental, biológica e socioambiental. A capacidade de modelar sistemas sociais e naturais, incorporando decisões individuais em contextos mais amplos, destaca-se como uma característica fundamental

¹ Conjunto de programas e instruções que controlam o funcionamento de um computador, permitindo a execução de tarefas e processamento de dados.

² Para melhor compreensão sobre o Aprendizado por Reforço, ler capítulo 4.

dessa abordagem.

Conforme destacado por (BONABEAU, 2002), a MBA é um método poderoso para produzir simulações. Essa abordagem tem demonstrado ser útil em uma ampla variedade de aplicações nos últimos anos. O autor destaca que, na Modelagem Baseada em Agentes, um sistema é modelado por meio de entidades autônomas que possuem a capacidade de tomar decisões, interagir entre si e interagir com o ambiente em que estão inseridas. Essas entidades são chamadas de agentes e, cada agente avalia sua própria situação individualmente para tomar decisões em eventos específicos com base em um determinado conjunto de regras.

A simulação de fenômenos complexos é evidente em práticas como a modelagem de fluxos de tráfego em áreas urbanas, o estudo de dinâmicas populacionais, em ecossistemas e, na análise de comportamento de consumidores em mercados. A MBA proporciona uma visão valiosa desses fenômenos, permitindo a representação realista e dinâmica de cenários diversos. Dessa forma, a MBA se destaca como uma abordagem flexível e poderosa para a compreensão e análise de sistemas complexos em diversas áreas.

Ainda, segundo (WILENSKY; RAND, 2015), a ideia central da Modelagem Baseada em Agentes é que muitos fenômenos do mundo podem ser adequadamente modelados utilizando agentes, um ambiente e uma descrição das interações entre agentes e o ambiente. Através dessa interação, é possível gerar dados e analisar.

A ênfase na valorização das decisões individuais dos agentes é crucial para a compreensão de sistemas complexos, pois estes frequentemente dependem de múltiplas interações e *feedbacks*³. Ao empregar ferramentas computacionais, como o programa NetLogo e algoritmos de aprendizado por reforço, os modeladores podem construir simulações detalhadas que fornecem *insights*⁴ valiosos sobre comportamentos emergentes e padrões sistêmicos. No entanto, é imperativo reconhecer que a MBA não constitui uma solução única, e a escolha da abordagem adequada deve considerar a singularidade de cada sistema.

A Modelagem Baseada em Agentes (MBA ou ABM) se destaca como uma abordagem poderosa e versátil para compreender e analisar sistemas complexos em diversas áreas do conhecimento. Ao criar modelos que utilizam agentes com capacidade de interação, modificação e adaptação ao ambiente, a MBA permite a representação de diversos fenômenos de maneira mais realista e dinâmica. Além disso, a Modelagem Baseada em Agentes continua a ser uma área de estudo em constante evolução, com potencial para aprimorar a compreensão de sistemas complexos e contribuir para a solução de problemas do mundo real. O constante avanço das tecnologias de modelagem e simulação promete manter a MBA como uma ferramenta essencial

³ Informações ou respostas fornecidas a um sistema com base em suas saídas anteriores, descrevendo a resposta do sistema às suas ações. Na MBA, os *feedbacks* referem-se à informação que os agentes recebem do ambiente ou de outras entidades, influenciando suas decisões futuras e contribuindo para a adaptação e aprendizado do sistema ao longo do tempo, especialmente em sistemas complexos.

⁴ Percepções inovadoras e esclarecedoras obtidas por meio de observação ou análise, fornecendo uma compreensão mais clara de situações, problemas ou fenômenos, sendo valiosas para orientar decisões futuras e estratégias.

para a exploração e o avanço do conhecimento em áreas diversas.

Em conclusão, o modelo baseado em agentes foi utilizado nesta pesquisa devido à sua capacidade de capturar a heterogeneidade das empresas como resultado das interações e decisões individuais dos agentes econômicos. A abordagem baseada em agentes permite simular o comportamento adaptativo das empresas, considerando a aprendizagem por reforço e a interação entre elas ao longo do tempo. Essa metodologia é especialmente adequada para estudar sistemas complexos, como a concorrência monopolista no comércio internacional, pois permite modelar a racionalidade limitada, as interações locais e as propriedades emergentes dos agentes econômicos.

Além disso, a modelagem baseada em agentes possibilita uma análise mais detalhada das dinâmicas de mercado, considerando a influência de diferentes variáveis e cenários na tomada de decisão das empresas. Ao incorporar aspectos como heterogeneidade, autonomia e interações entre os agentes, esse tipo de modelo permite explorar de forma mais realista e abrangente os fenômenos econômicos estudados, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada dos processos em análise. Portanto, a escolha do modelo baseado em agentes para a pesquisa, se justifica pela sua capacidade de representar de forma mais fiel e dinâmica as complexas relações e comportamentos observados no contexto da concorrência monopolista no comércio internacional, possibilitando uma análise mais rica e abrangente dos fenômenos econômicos em estudo.

3.2 NetLogo: Potencializando a Modelagem Baseada em Agentes

O NetLogo é uma linguagem de programação e ambiente de desenvolvimento específico para a criação de modelos baseados em agentes. Ele oferece uma interface amigável que permite aos usuários criar, modificar e executar modelos de forma interativa, facilitando a exploração de diferentes cenários e análises de sensibilidade.

Podemos afirmar que, a Modelagem Baseada em Agentes (MBA), é uma abordagem que se alinha perfeitamente com o NetLogo, uma vez que ambos enfatizam a simulação de sistemas complexos a partir da interação entre entidades autônomas. Em outras palavras, uma das ferramentas mais populares para a implementação de modelos baseados em agentes é o NetLogo, uma plataforma de modelagem e simulação desenvolvida no Centro de Modelagem de Sistemas da Northwestern University. Portanto, nessa seção iremos explorar como o NetLogo potencializa a Modelagem Baseada em Agentes.

De acordo com (WILENSKY, 1999), o NetLogo é uma plataforma de modelagem projetada para simular fenômenos programáveis de eventos sociais e naturais. Desenvolvido por Uri Wilensky⁵, seu objetivo principal é modelar sistemas complexos por meio da abordagem de Modelagem Baseada em Agentes. Essa ferramenta permite a criação de modelos que consistem

⁵ Informações sobre autor do software, disponível em: <<https://ccl.northwestern.edu/Uri.shtml>>

em diversos agentes, cada um exibindo comportamentos distintos.

Os pesquisadores (RAILSBACK; GRIMM, 2019) também afirmam que o NetLogo é uma plataforma específica para Modelagem Baseada em Agentes. Essa plataforma oferece uma abordagem conceitual, uma linguagem de programação de alto nível, interfaces gráficas e experimentos de simulação automatizados. O NetLogo é amplamente utilizado para criar modelos em larga escala. Sendo assim, conforme discutido por (RAILSBACK; GRIMM, 2019), os agentes são entidades individuais e autônomas que geralmente interagem localmente com outros agentes e com o ambiente.

Neste presente estudo, esses agentes são representados por empresas e consumidores que buscam alcançar um objetivo específico. Cada agente é único, apresentando características como localização, reservas de recursos e preferências. A interação local refere-se ao fato de que os agentes, *patches* (consumidores) e *turtles* (empresas), interagem dentro de um espaço toroidal denominado *mundo*. Segundo, (PRISMA, 2010), as *turtles* são agentes que se movem no mundo. O mundo é bidimensional e está dividido numa grelha de *patches*. Cada *patch* é um pedaço quadrado de “terreno” sobre o qual as *turtles* podem movimentar-se. O observador não tem localização e, pode ser imaginado como o Criador que modela e contempla o mundo formado pelas *turtles* e pelos *patches*.

“Um agente é um indivíduo sintético, autônomo, munido de um conjunto de características e regras que governam o seu comportamento e com a capacidade de tomar decisões. Os agentes interagem entre si e com o meio-ambiente obedecendo a um conjunto de regras. Os agentes são flexíveis e têm a capacidade de aprenderem e de adaptarem o seu comportamento baseados na experiência. Tal requer alguma forma de memória. Os agentes podem ainda ter regras para mudar as suas regras de comportamento”. (PRISMA, 2010, pág.3)

A autonomia dos agentes significa que eles agem independentemente uns dos outros, buscando seus próprios objetivos. Por exemplo, nesse presente estudo, os consumidores buscam melhores preços e, as empresas buscam obter lucros mantendo-se competitivas a cada ciclo. Conforme (RAILSBACK; GRIMM, 2019) destaca, como resultado, os agentes exibem comportamento adaptativo, ou seja, ajustam seu comportamento com base nas condições atuais de si mesmos, de outros agentes e do ambiente em que estão inseridos.

Por exemplo, algumas das vantagens da utilização do NetLogo na modelagem baseada em agentes seria a interação dinâmica, que facilita a compreensão dos resultados, ou seja, o *software* tem capacidade de oferecer interação dinâmica com os modelos durante a sua execução. Isso significa que os usuários podem observar a simulação em andamento e interagir com os agentes e elementos do modelo em tempo real.

Essa interatividade dinâmica, é uma ferramenta valiosa para compreender os resultados das simulações. Quando os modelos estão em execução, os agentes interagem entre si e com o ambiente virtual, produzindo comportamentos emergentes. Através da interação direta com

o modelo, os usuários podem observar esses comportamentos emergentes, identificar padrões complexos e entender como as ações individuais dos agentes contribuem para os resultados globais. Essa abordagem tangível e visual ajuda a construir uma compreensão mais profunda dos fenômenos em estudo, tornando os resultados das simulações mais acessíveis e interpretáveis.

Outra vantagem notável do NetLogo na MBA, é a capacidade de conduzir análises de sensibilidade de forma eficaz. Os modelos de MBA geralmente incluem uma variedade de parâmetros e regras que governam o comportamento dos agentes e influenciam os resultados da simulação. Através da modificação desses parâmetros e regras, os usuários podem explorar como o modelo responde a diferentes condições.

Essa análise de sensibilidade é essencial para compreender a influência relativa de diferentes variáveis nos resultados. Ao ajustar os parâmetros e observar as mudanças resultantes nos padrões emergentes, os pesquisadores podem identificar quais variáveis têm maior impacto e compreender a sensibilidade do modelo a diferentes condições. Isso não apenas ajuda a refinar o modelo, mas também fornece *insights* valiosos sobre o sistema em estudo e suas dinâmicas subjacentes.

Além disso, uma das vantagens mais promissoras do NetLogo na MBA, seria a capacidade de realizar experimentações virtuais antes de implementar estratégias no mundo real. Isso é particularmente relevante em campos como economia e gestão de recursos naturais, nos quais as decisões podem ter impactos significativos e de longo prazo.

Com o NetLogo, os usuários podem testar diferentes estratégias, políticas e intervenções em um ambiente virtual. Isso permite avaliar os resultados potenciais de cada abordagem e entender como o sistema reage a diferentes cenários. A tomada de decisões informada é fortalecida à medida que os usuários podem explorar os desdobramentos prováveis de suas escolhas, minimizando riscos e maximizando o sucesso das decisões implementadas.

Entretanto, vale destacar que existem considerações e desafios, por exemplo, a validação e calibração dos modelos baseados em agentes podem ser complexos e sensíveis aos parâmetros, ou seja, essas configurações são desafios importantes para garantir que os resultados sejam confiáveis e realistas. Além disso, às vezes, comportamentos emergentes nos modelos podem ser difíceis de compreender e explicar, tornando necessário o uso de técnicas de análise adicionais.

Dito isso, a modelagem baseada em agentes no NetLogo é um processo iterativo e criativo que envolve os seguintes passos (WILENSKY, 1999):

1. **Identificação do Problema:** O primeiro passo é identificar o fenômeno complexo que se pretende estudar ou simular. Pode ser a propagação de uma epidemia, a dinâmica de uma economia, a evolução de um ecossistema, entre outros.
2. **Formulação do Modelo:** Nesta etapa, os elementos essenciais do fenômeno são abstraídos para construir um modelo conceitual. Os agentes, seus atributos e as regras de interação

são definidos.

3. **Implementação do Modelo:** Com o modelo conceitual em mãos, o próximo passo é a implementação no NetLogo. Os agentes são criados, suas características definidas e as regras de interação programadas utilizando a linguagem de blocos⁶.
4. **Experimentação e Validação:** Após a implementação, o modelo é executado e testado em diferentes cenários. Os resultados são comparados com dados empíricos, quando disponíveis, para validar a fidelidade do modelo.
5. **Análise dos Resultados:** Durante a execução do modelo, a interface gráfica do NetLogo permite a observação e análise do comportamento dos agentes e dos padrões emergentes. Diferentes cenários podem ser explorados para entender o impacto de diferentes variáveis no sistema.

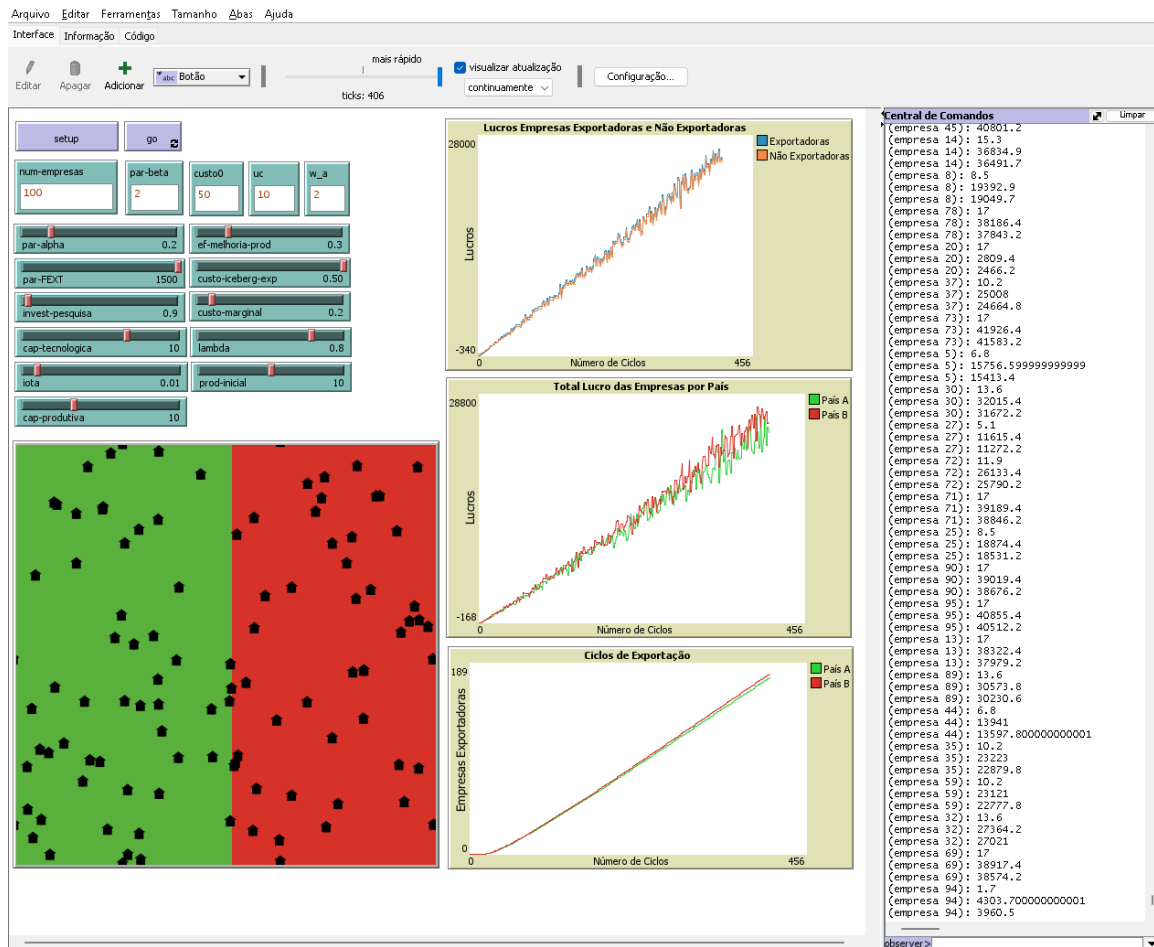
O NetLogo transcende as expectativas no quesito de uma ferramenta poderosa e acessível para a criação e análise de modelos baseados em agentes. Sua capacidade de combinar de forma única uma linguagem de programação intuitiva, uma interface gráfica interativa e uma abstração eficiente de modelos conceituais o torna um ativo inigualável, adequado tanto para pesquisadores experientes quanto para estudantes que ingressam na empolgante área da modelagem baseada em agentes.

Por meio do NetLogo, o modelo sugere padrões emergentes e a compreensão de fenômenos complexos se tornam tangíveis e sua capacidade de permitir a interação em tempo real com os modelos em execução, facilita a compreensão dos resultados e a identificação de tendências imprevistas que emergem da interação entre agentes autônomos.

Em um cenário em constante evolução, a utilização do NetLogo está destinada a continuar a impulsionar a pesquisa científica e a exploração de sistemas complexos. O papel do NetLogo como facilitador da Modelagem Baseada em Agentes é indiscutível, fornecendo uma plataforma que empodera os pesquisadores e profissionais a compreender a complexidade subjacente aos sistemas, a tomar decisões embasadas e explorar uma ampla gama de cenários. Conseqüentemente, o NetLogo não apenas enriquece o nosso entendimento do mundo complexo ao nosso redor, mas também estabelece um padrão inspirador para a simulação e modelagem de sistemas do mundo real.

⁶ A “linguagem de blocos” ou “linguagem de blocos visuais” é uma forma de programação que utiliza blocos gráficos para representar comandos e operações, em vez de código textual convencional. Essa abordagem é frequentemente empregada em ambientes de programação visual, como o NetLogo, tornando a criação de algoritmos e scripts mais acessível e intuitiva, especialmente para iniciantes. Os blocos são projetados para encaixar-se de forma lógica e seguir uma sequência coerente de execução, tornando o processo de programação menos propenso a erros de sintaxe e mais focado na compreensão dos conceitos e lógica subjacentes. Essa abordagem contribui significativamente para a popularização da programação, ampliando o acesso ao conhecimento computacional e incentivando a criatividade na resolução de problemas.

Figura 1 – Exemplo da Interface do Usuário na Plataforma NetLogo



Fonte: Elaboração do autor a partir da interface da plataforma NetLogo (BORGES, 2024)

3.3 RStudio e Linguagem R: Análise Estatística e Regressão Múltipla

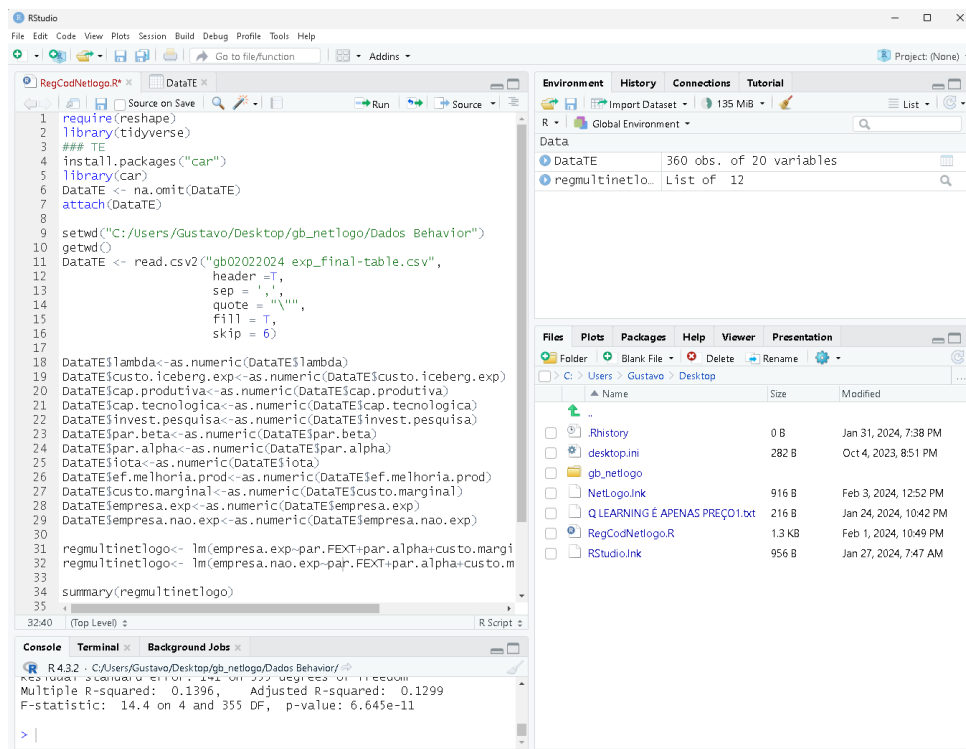
Após a implementação da Modelagem Baseada em Agentes (MBA) utilizando o NetLogo e a aplicação de algoritmos de aprendizado por reforço, como o Q-learning, surge a necessidade de uma análise estatística mais aprofundada para compreender o impacto das decisões dos agentes nos resultados do modelo. Nesse contexto, a utilização do RStudio e da linguagem R se torna fundamental para realizar análises estatísticas e regressões que ajudarão a elucidar os padrões observados.

O RStudio é um ambiente integrado de desenvolvimento para a linguagem de programação R. A linguagem R é amplamente reconhecida por sua flexibilidade e poder estatístico, sendo uma escolha ideal para analisar dados complexos e realizar modelagem estatística. Ao incorporar o RStudio em nosso processo de pesquisa, podemos realizar análises detalhadas e exploratórias, além de aplicar técnicas avançadas de regressão.

Após a execução do modelo baseado em agentes, podemos coletar dados relevantes, como

o lucro médio das empresas exportadoras e não exportadoras em diferentes cenários simulados. Esses dados tornam-se a base para a análise estatística, permitindo-nos entender como as decisões dos agentes afetam diretamente os resultados econômicos. A linguagem R, com suas bibliotecas estatísticas robustas, nos possibilita realizar análises de tendências, identificar correlações e, principalmente, conduzir análises de regressão.

Figura 2 – Exemplo da Interface do Usuário no software RStudio



Fonte: Elaboração do autor a partir da interface da plataforma RStudio (BORGES, 2024)

A análise de regressão no R permite modelar a relação entre variáveis independentes (parâmetros do modelo, por exemplo) e uma variável dependente (lucro médio das empresas). Ao realizar a regressão, podemos quantificar o impacto de cada variável independente nos resultados observados, identificando quais parâmetros do modelo têm uma influência mais significativa sobre o desempenho econômico simulado.

Após as iterações no NetLogo, utilizando o Q-learning, os dados coletados podem ser aplicados no RStudio para análises de regressões múltiplas. Neste contexto, focaremos na compreensão dos efeitos de parâmetros específicos sobre o lucro médio das empresas, diferenciando entre aquelas que exportam e as que não exportam.

A regressão múltipla no RStudio é uma técnica estatística poderosa para explorar as relações entre variáveis dependentes e múltiplas variáveis independentes. Ao analisar como os parâmetros influenciam o lucro médio, considerando a condição exportadora, obtemos esclarecimentos valiosos sobre o impacto das decisões dos agentes no contexto estudado.

Contudo, é importante destacar que a integração do RStudio e da linguagem R não apenas

oferece uma análise estatística rigorosa, mas também promove a transparência e a replicabilidade da pesquisa. Ao documentar cada passo da análise, desde a importação dos dados até a interpretação dos resultados, garantimos a validade e a robustez do processo.

Em síntese, a complementação da Modelagem Baseada em Agentes, implementada no NetLogo, o aprendizado por reforço em conjunto com o RStudio e a linguagem R, proporciona uma abordagem abrangente e holística na compreensão de sistemas complexos. Ao unir a simulação computacional, o aprendizado por reforço e a análise estatística, temos em mãos uma poderosa ferramenta para explorar, entender e explicar fenômenos complexos de maneira mais completa e embasada.

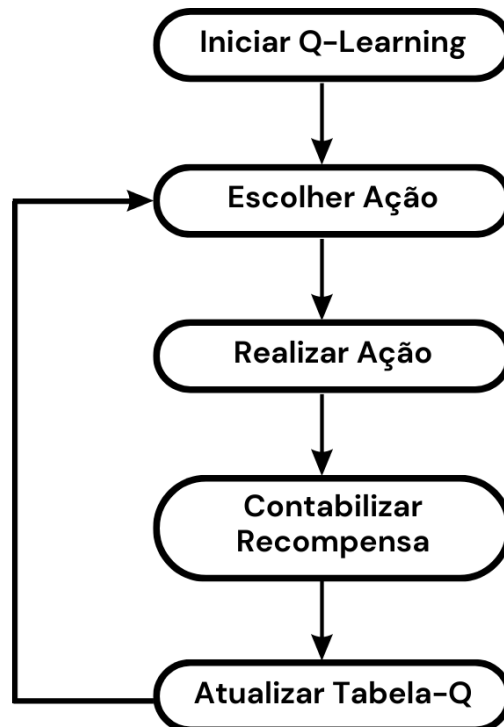
4 Q-learning: Modelo de Aprendizado por Reforço

4.1 Q-Learning

Antes de mais nada, um dos principais algoritmos de aprendizagem por reforço, encontrados na literatura, é denominado Q-Learning. A aprendizagem por reforço recebe esse nome por ser baseada em informações que são reforçadas a cada rodada de simulação, atribuindo maior força aos posicionamentos que devem ser adotados em cada situação. Ou seja, o algoritmo Q-Learning, é atualizado com base em estados e ações que compõem a função Q-valor, atualizada a cada rodada de simulação, sendo assim responsável por direcionar o comportamento do agente.

A Figura 3, apresenta a sequência lógica de execução do algoritmo Q-Learning que tem como ponto central a tabela-Q, composta pelos valores de recompensas correspondentes a cada combinação de estados e ações.

Figura 3 – Ordem de execução do algoritmo de *Q-Learning*



Fonte: Elaboração do autor a partir das informações de execução do algoritmo (BORGES, 2024)

Por conseguinte, a aprendizagem por reforço é um campo fascinante e fundamental na inteligência artificial, que visa capacitar agentes autônomos a tomar decisões sequenciais em ambientes complexos e incertos. Nesse contexto, o Q-learning emerge como uma técnica poderosa

e versátil, permitindo que máquinas aprendam ações ótimas através da exploração e interação direta com seu ambiente.

Nesta secção, exploraremos o conceito de Q-learning, seus princípios fundamentais e como essa abordagem tem sido aplicada com sucesso em diversas áreas, desde jogos até robótica e sistemas de controle. Ao compreendermos o Q-learning, estaremos diante de uma ferramenta valiosa para a construção de agentes inteligentes capazes de aprender e tomar decisões de maneira eficaz em cenários do mundo real.

Sendo assim, utilizaremos o algoritmo Q-learning¹ para modelar o comportamento de aprendizado das empresas em uma concorrência monopolista no comércio internacional usando o aprendizado por reforço. O Q-Learning é um modelo de comportamento de agentes originalmente desenvolvido na área de inteligência artificial (WALTMAN; KAYMAK, 2008).

O modelo é baseado em duas premissas, primeiramente, para cada estratégia possível, assume-se que um agente se lembra de um valor que indica o desempenho dessa estratégia. Esse valor, chamado de valor-Q, é determinado com base na experiência passada do agente com a estratégia. Basicamente, o valor-Q de uma estratégia é calculado como uma média ponderada dos resultados obtidos pela estratégia no passado, onde os resultados mais recentes recebem maior peso.

A segunda premissa do aprendizado por reforço afirma que, com base nos valores Q, um agente escolhe probabilisticamente qual ação jogar. Um modelo logit² é usado para descrever o comportamento de escolha do agente. As premissas feitas pelo aprendizado por reforço também podem ser encontradas em outros modelos de aprendizado por reforço. Sendo assim, o aprendizado por reforço se diferencia de outros modelos de aprendizado por reforço por combinar esses dois elementos em um único modelo (WALTMAN; KAYMAK, 2008).

4.1.1 Algoritmo Q-Learning

O Q-learning foi introduzido por Chris Watkins em 1989 em sua tese de doutorado intitulada “Learning from Delayed Rewards”³. O algoritmo é baseado no conceito de Q-values, que representam o retorno esperado que um agente receberá ao realizar uma ação específica em um determinado estado. Os valores Q são atualizados iterativamente, levando em consideração a recompensa imediata recebida e o valor Q máximo alcançável a partir do próximo estado.

Segundo, (BAZZANELLA; SANTOS, 2021), o algoritmo Q-Learning é uma técnica de aprendizado por reforço que permite que um agente aprenda a tomar decisões em um ambiente desconhecido. Ele é usado em simulações baseadas em agentes para permitir que os agentes

¹ O termo Q-Learning, utilizado em inglês, corresponde ao conceito de “aprendizado por reforço” em português.

² O modelo Logit é uma técnica estatística utilizada para modelar a probabilidade de ocorrência de um evento binário, ou seja, um evento que pode ter apenas dois resultados possíveis (por exemplo, sucesso ou fracasso, presença ou ausência). O modelo Logit é frequentemente usado em áreas como econometria, ciências sociais e pesquisa de mercado.

³ WATKINS, C. J. C. H. Learning from delayed rewards. King’s College, Cambridge United Kingdom, 1989.

aprendam a tomar ações que maximizem uma recompensa ao longo do tempo. Isso é útil em cenários onde o ambiente é complexo e dinâmico, e as ações dos agentes afetam o ambiente e outros agentes. Ou seja, esse algoritmo é uma das técnicas mais populares para aprendizado por reforço em simulações baseadas em agentes.

O Q-learning, é um algoritmo popular de aprendizado por reforço que permite que um agente aprenda as políticas ideais em um ambiente desconhecido por meio de tentativa e erro. É uma forma de aprendizado de diferença temporal, onde o agente atualiza sua função de valor de ação com base no estado atual e nas recompensas recebidas.

O algoritmo consiste em algumas etapas. No início do processo de aprendizado, o agente inicializa uma Q-table, que é uma tabela de consulta que armazena os valores-Q para cada par estado-ação. Inicialmente, os valores Q são definidos como valores arbitrários ou zeros. O agente então começa a explorar o ambiente e a tomar ações com base em seu estado atual. Ele atualiza os valores Q após cada ação usando a seguinte fórmula (4.1). A ideia principal por trás do Q-learning é aprender uma função de valor de ação, denotada por $Q(s, a)$, que representa a utilidade esperada de realizar ação 'a' em um estado 's'. A partir dessa função, o agente pode escolher as ações mais vantajosas para maximizar suas recompensas futuras.

O primeiro passo consiste em inicializar a tabela de valores Q , denotada como $Q(s, a)$, para todos os possíveis pares de estados 's' e ações 'a'. Essa tabela representa a utilidade esperada de executar uma ação 'a' em um estado 's' e será atualizada continuamente durante o processo de aprendizado. A tabela Q inicia com valores arbitrários, e à medida que o agente interage com o ambiente, esses valores serão refinados para refletir melhores estimativas de recompensas.

Em seguida, o agente começa o processo observando o estado atual, 's', em que se encontra no ambiente. Esse estado é uma representação da situação em que o agente está imerso e contém informações relevantes para tomar decisões. Com base na política de seleção, o agente escolhe uma ação 'a' para o estado 's'. Inicialmente, a política de seleção pode ser definida como aleatória para explorar diferentes opções. À medida que o algoritmo progride, a política de seleção deve ser ajustada para favorecer estratégias mais orientadas à exploração, buscando otimizar as ações tomadas em diferentes estados.

Portanto, a tomada de ação e observação da recompensa, será quando o agente executa a ação 'a' no estado 's' e observa a recompensa 'r' resultante, bem como o novo estado 's'' para o qual a ação levou. Essa interação com o ambiente é crucial para o aprendizado, pois permite ao agente entender como suas ações influenciam o ambiente e quais recompensas são obtidas. Após observar a recompensa 'r' e o novo estado 's'', o agente atualiza o valor Q para o estado anterior 's' com base na seguinte fórmula:

$$Q(s, a) = (1 - \alpha) Q(s, a) + \alpha(r + \gamma \max_{a'}(Q(s', a')))$$
 (4.1)

onde, α é a taxa de aprendizado, que determina a rapidez com que o agente atualiza seus

valores Q , valores mais altos significam aprendizado mais rápido. O fator de desconto, γ , é o parâmetro que modela o peso das recompensas futuras em relação às recompensas imediatas. Valores próximos a 1 indicam que o agente valoriza altamente as recompensas futuras (nas simulações $\alpha = 1$ e $\gamma = 0.9$).

Por conseguinte, $\max(Q(s', a'))$ representa o valor máximo de Q para todas as possíveis ações ' a ' no novo estado ' s '. Essa atualização é essencial para a convergência do algoritmo e permite que o agente refine suas estimativas de recompensas para ações específicas em estados específicos.

O agente define o estado atual para o novo estado ' s ' e repete o processo a partir da escolha da ação. Esse ciclo continua até que o agente alcance um estado terminal, onde a iteração termina. O algoritmo Q-learning continua a iterar e atualizar os valores Q até que a tabela alcance valores ótimos, refletindo a melhor estratégia para obter as maiores recompensas em diferentes estados. A convergência pode levar várias iterações, mas ao final desse processo, o agente terá aprendido uma política que maximiza suas recompensas no ambiente.

Sendo assim, no aprendizado por reforço, o agente interage com o ambiente em etapas de tempo. A cada etapa, o agente observa o estado atual do ambiente, seleciona uma ação entre as possíveis, executa essa ação, recebe uma recompensa (ou punição, que é uma recompensa negativa), e o ambiente transita para um novo estado. O objetivo do agente é desenvolver uma política, que consiste em uma estratégia que mapeia estados para ações, visando maximizar a soma das recompensas ao longo do tempo. Em outras palavras, o agente aprende por meio da experiência, experimentando diferentes ações e avaliando as recompensas ou punições resultantes. Portanto, é necessário identificar quais ações resultam em recompensas positivas e quais em recompensas negativas e, isso requer uma exploração ativa do ambiente e uma busca por estratégias que conduzam a resultados mais favoráveis.

Em síntese, a investigação detalhada do algoritmo Q-Learning e do aprendizado por reforço revela não apenas a sua aplicabilidade em ambientes complexos e dinâmicos, mas também o seu potencial para resolver uma variedade de problemas em diversas áreas. A capacidade do agente de aprender por meio da experiência, adaptando suas ações com base nos resultados obtidos, destaca a flexibilidade e eficácia dessa abordagem. O Q-Learning, ao permitir que o agente desenvolva políticas ótimas para maximizar as recompensas ao longo do tempo, destaca-se como uma ferramenta essencial no arsenal da inteligência artificial. A contínua evolução e aplicação dessas técnicas prometem não apenas avanços significativos na pesquisa acadêmica, mas também soluções práticas para desafios do mundo real em áreas tão diversas quanto robótica, jogos, finanças e saúde. Assim, a compreensão e exploração contínua do Q-Learning e do aprendizado por reforço representam uma valiosa contribuição para o desenvolvimento da inteligência artificial e para a resolução de problemas complexos em nossa sociedade em constante evolução.

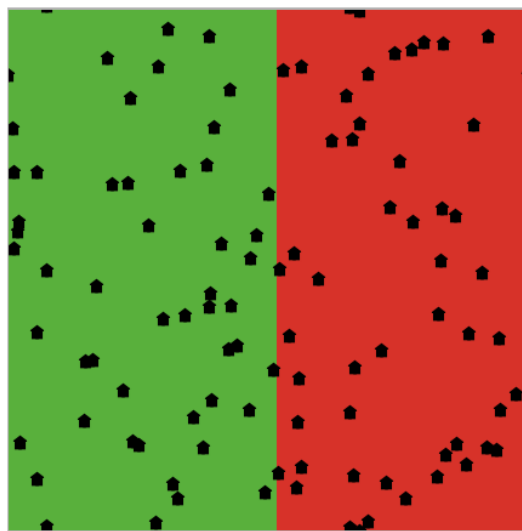
4.1.2 Extensão Q-Learning do NetLogo

Uma extensão no NetLogo é um módulo que amplia as capacidades da linguagem de programação com comandos e recursos adicionais. Essa extensão oferece comandos adicionais no NetLogo para especificar diversos elementos do Q-Learning, como estados, ações, recompensas, políticas de seleção de ação, critérios de término de episódio, procedimentos de reinicialização de episódio, taxa de aprendizado e fator de desconto. Além disso, a extensão também fornece comandos para executar o algoritmo Q-Learning quando o agente precisa agir e aprender. Essa extensão, denominada Extensão Q-Learning, pode ser instalada por meio do Gerenciador de Extensões do NetLogo, e sua documentação está disponível online.

Para exemplificar o funcionamento da extensão Q-Learning, utilizamos a simulação proposta neste estudo, conforme demonstrado na Figura 4. Nesse contexto, a grade como um todo representa os consumidores do modelo, sendo que cada empresa é representada pelo ícone "house". Além disso, a grade é dividida em dois países, país A em verde e país B em vermelho. O objetivo das empresas é aprender a estabelecer o preço ideal para maximizar as vendas e, conseqüentemente, os lucros. Cada empresa pode definir seu preço considerando um conjunto de valores disponíveis. Os consumidores escolhem as empresas com base na localização na grade e no preço dos produtos oferecidos, dando preferência às empresas mais próximas e com preços mais baixos.

A cada episódio de aprendizado, as empresas definem seus preços, e as vendas são contabilizadas para determinar se houve lucro ou prejuízo. Se uma empresa obtém lucro e mantém seu patrimônio líquido acima de zero, ela permanece na simulação. No entanto, se uma empresa sofre prejuízo e seu patrimônio se torna negativo, ela é removida do modelo e substituída por uma nova empresa para competir.

Figura 4 – Grade de Consumidores e Empresas



Fonte: Elaboração do autor a partir da interface da plataforma NetLogo (BORGES, 2024)

Portanto, o código-fonte do NetLogo desenvolvido com a extensão Q-Learning para as simulações propostas nesse estudo é parcialmente mostrado na figura abaixo. O procedimento de configuração é onde a simulação vai ser preparada. O bloco “ask” solicita que todos os agentes “Empresas”, executem alguns comandos fornecidos pela extensão Q-Learning para configurar o algoritmo Q-Learning. Esses comandos serão descritos a seguir.

Figura 5 – Bloco de Códigos para Extensão Q-Learning

```

110 ;;Algoritmo Q-learning
111 ask empresas [
112   qlearningextension:state-def ["preco"]
113   (qlearningextension:actions [escolha-1.7] [escolha-3.4] [escolha-5.1] [escolha-6.8] [escolha-8.5]
114   [escolha-10.2] [escolha-11.9] [escolha-13.6] [escolha-15.3] [escolha-17.0])
115   qlearningextension:reward [lucroFunc]
116   qlearningextension:end-episode [isEndState] resetEpisode
117   qlearningextension:action-selection "e-greedy" [0.5 0.08]
118   qlearningextension:learning-rate 1 ;;Taxa de aprendizado
119   qlearningextension:discount-factor 0.9 ;;Fator de desconto
120   set lista-lucro []
121   set lista-lmedio-exp []
122   set lista-lmedio-nao-exp []
123 ]

```

Fonte: Elaboração do autor a partir da interface de comandos do NetLogo (BORGES, 2024)

O comando *qlearningextension:state-def*, especifica a representação do estado. Este comando recebe como argumento uma lista de variáveis de agente (atributos) cujos valores caracterizam um estado. Nessa simulação, o estado é caracterizado pelo preço. Para determinar as ações consideradas pelo algoritmo Q-Learning, a extensão fornece o comando *qlearningextension:actions*. Este comando recebe como argumento uma lista de procedimentos do NetLogo, cada um correspondendo a uma ação que o agente pode executar. Na simulação, o procedimento que determina o conjunto de ações, são implementados para que os agentes escolham seus preços a cada episódio.

Para especificar a recompensa recebida pelo agente sempre que ele age, o algoritmo fornece o comando *qlearningextension:reward*. O desenvolvedor só precisa informar o procedimento que calcula e retorna o valor da recompensa, nessa simulação temos o lucro total e os lucros médios. Em seguida, temos o *qlearningextension:end-episode*, comando usado para configurar o procedimento para acabar um episódio e iniciar o próximo. Para especificar a taxa de aprendizado e o fator de desconto, a extensão fornece os comandos *qlearningextension:learning-rate* e *qlearningextension:discount-factor*, respectivamente.

A extensão fornece duas políticas de seleção de ação: aleatória-normal e epsilon-greedy. Ambas selecionam uma ação aleatoriamente com uma determinada probabilidade. No entanto, na política epsilon-greedy (utilizada na simulação), essa probabilidade é periodicamente reduzida por um fator, como descrito anteriormente na Seção 4.1.1. Para especificar a política de seleção de ação, a extensão fornece o comando *qlearningextension:action-selection*, que recebe como argumento o nome da política e uma lista com seus parâmetros.

Após configurar a extensão e criar os blocos de comandos para cada situação, conforme

Figura 6 – Procedimento “go” - Q-learning

```

148   tick
149   ;;Inicializa o algoritmo Q-learning
150   ask empresas [
151     qlearningextension:learning
152     (qlearningextension:learning true)
153     print(qlearningextension:get-qtable)
154   ]
155

```

Fonte: Elaboração do autor a partir da interface de comandos do NetLogo (BORGES, 2024)

explicado anteriormente, precisamos iniciar o procedimento “go” (figura 6). Esse procedimento será onde o comportamento dos agentes “Empresas” é implementado. A extensão fornece dois comandos para ativar o algoritmo Q-Learning. O comando `qlearningextension:learning` faz com que o agente escolha e execute uma ação de acordo com a política de seleção. O comando `qlearningextension:learning true` faz com que o agente observe o novo estado e a recompensa recebida, e atualize a tabela Q, conforme descrito anteriormente na Seção 4.1.1. Como pode ser visto, ao usar os comandos fornecidos pela extensão, um desenvolvedor não precisa implementar o algoritmo Q-Learning do zero. No entanto, vale ressaltar que todos os procedimentos para que a extensão funcione da forma adequada, precisa ser configurada nos seus respectivos blocos.

Por último, é configurado o comando `print(qlearningextension:getq-table)`, para que possamos visualizar na interface do Netlogo as tabelas Q de cada empresa sendo atualizada a cada ciclo que a simulação executa. Abaixo demonstramos um exemplo de como essa tabela se comporta.

Figura 7 – Exemplo Q-table nas Simulações*

```

Old state: 5.1
Old qlist: List(0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 33897.8054, 0.0, 0.0, 0.0, 137056.726446546, 31062.7868)
new state reward: 37057.799999999996
new State: 15.3
new state best action: 122464.38827394001
new QList: List(0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 33897.8054, 0.0, 0.0, 0.0, 147275.74944654602, 31062.7868)epsilon: 0.5
----- Q-Table -----
6.8 -> 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 2301.02
15.3 -> 0.0 / 22448.1354 / 0.0 / 0.0 / 6461.43 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 122464.38827394001
10.2 -> 0.0 / 0.0 / 135602.45380189142 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0
3.4 -> 0.0 / 14298.704179999999 / 106143.32363340002 / 0.0 / 0.0 / 5233.799999999999 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0
8.5 -> 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 52171.207308 / 0.0 / 0.0 / 20049.006 / 0.0
17.0 -> 0.0 / 1225.2 / 0.0 / 609.8 / -151.8 / 0.0 / 124865.42527006002 / 13130.651999999998 / 0.0 / 0.0
11.9 -> 0.0 / 0.0 / 108655.5836334 / 0.0 / 0.0 / 59383.462373999995 / 0.0 / 0.0 / 76147.269474 / 0.0
5.1 -> 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 33897.8054 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 147275.74944654602 / 31062.7868
0.0 -> 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / -151.8
13.6 -> 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 0.0 / 18350.706000000002 / 0.0
-----

```

Fonte: Elaboração do autor a partir da central de comandos do NetLogo (BORGES, 2024)

*Exemplo de uma empresa em um ciclo aleatório dentro da simulação

Em conclusão, a utilização da extensão Q-Learning no NetLogo proporciona uma maneira eficiente de implementar e executar o algoritmo Q-Learning em simulações baseadas em agentes. Esta extensão expande as capacidades do NetLogo, fornecendo comandos adicionais para especificar elementos cruciais do Q-Learning, como estados, ações, recompensas e polí-

ticas de seleção de ação. Além disso, ela simplifica o processo de configuração do algoritmo, permitindo que os desenvolvedores se concentrem mais na lógica específica de sua simulação. O objetivo nessa seção foi demonstrar como a extensão Q-Learning pode ser aplicada em um modelo de simulação que representa a interação entre empresas e consumidores em um mercado competitivo. Ao seguir os passos fornecidos e configurar adequadamente os procedimentos dentro do modelo, os desenvolvedores podem aproveitar os benefícios do Q-Learning sem a necessidade de implementar o algoritmo do zero.

No entanto, é crucial destacar que a configuração correta dos procedimentos é essencial para o funcionamento adequado da extensão. Sendo assim, é correto afirmar que, a extensão Q-Learning oferece uma poderosa ferramenta para explorar e entender fenômenos complexos através da modelagem e simulação baseada em agentes dentro do ambiente NetLogo.

4.1.3 Aplicações do Q-learning

O Q-learning é uma técnica de aprendizado por reforço amplamente utilizada na área de inteligência artificial e aprendizado de máquina. Ele se destaca por sua capacidade de aprender ações sequenciais em ambientes complexos, tomando decisões ótimas com base em experiências passadas. As aplicações do Q-learning são diversas e têm contribuído significativamente tanto para o meio acadêmico quanto empresarial.

Portanto, o algoritmo Q-learning, encontrou inúmeras aplicações em vários campos, incluindo robótica, jogos, gerenciamento de recursos, saúde, problemas de otimização, entre outros. No campo da robótica, o Q-learning pode ser usado para treinar robôs autônomos para navegar em ambientes complexos.

Além disso, o algoritmo também tem sido usado em jogos, particularmente na área de agentes de jogos baseados em aprendizado por reforço. Por exemplo, no jogo de xadrez, o Q-learning pode ser aplicado para treinar um agente para fazer jogadas ótimas com base no estado atual do tabuleiro.

O Q-learning também pode ser aplicado para resolver problemas de otimização. Por exemplo, no campo de roteamento de rede, o Q-learning pode ser usado para encontrar o caminho mais eficiente para a transmissão de dados. Ao atualizar os valores Q com base na qualidade do serviço recebido e na latência do caminho, o algoritmo pode aprender a selecionar a melhor rota para transmissão de dados.

Além dos exemplos mencionados até o presente momento, temos o algoritmo Q-learning, atuando também na esfera empresarial. Por exemplo, os sistemas de recomendação desempenham um papel crucial na personalização de serviços e produtos. O Q-learning pode ser empregado para melhorar a precisão das recomendações, levando em consideração as preferências e o histórico do usuário. Isso beneficia empresas de comércio eletrônico, streaming de conteúdo e publicidade digital, aumentando a satisfação do cliente e a eficácia das estratégias de marketing.

As empresas também conseguem explorar através dessa ferramenta o gerenciamento de recursos, onde, empresas podem aplicar o algoritmo para otimizar o gerenciamento de recursos, como energia, transporte e logística. Ele permite a tomada de decisões inteligentes em tempo real para maximizar a eficiência operacional, reduzir custos e minimizar o desperdício.

Por fim, na área da saúde, o Q-learning tem sido usado para personalizar tratamentos médicos com base no histórico do paciente. Ele ajuda a determinar o melhor plano de tratamento, ajustando-o continuamente com base nos resultados observados. Isso pode levar a tratamentos mais eficazes e menos invasivos, beneficiando pacientes e profissionais de saúde.

Sendo assim, as principais contribuições dessas aplicações do Q-learning para o meio acadêmico e empresarial incluem:

- **Inovação tecnológica:** O Q-learning impulsiona a inovação tecnológica, incentivando a pesquisa e o desenvolvimento de algoritmos mais avançados e eficazes.
- **Eficiência operacional:** Empresas que aplicam o Q-learning podem melhorar significativamente sua eficiência operacional, economizando tempo e recursos.
- **Tomada de decisão inteligente:** Tanto no meio acadêmico quanto empresarial, o Q-learning capacita a tomada de decisões mais inteligentes e informadas, resultando em melhores resultados.
- **Personalização de serviços:** O uso do Q-learning em sistemas de recomendação e tratamentos personalizados melhora a experiência do usuário e a satisfação do cliente, aumentando a fidelização e os lucros.

Portanto, o Q-learning é um poderoso algoritmo de aprendizado por reforço que permite aos agentes aprender políticas ótimas em ambientes desconhecidos. Baseia-se no conceito de valores Q , que são atualizados iterativamente usando as recompensas recebidas e o valor Q máximo alcançável a partir do próximo estado. O Q-learning encontrou aplicações em robótica, jogos e problemas de otimização. Ele tem sido usado para treinar robôs autônomos, criar agentes de jogo com desempenho sobre-humano e otimizar protocolos de roteamento de rede. O Q-learning continua a ser uma área ativa de pesquisa, com esforços contínuos para melhorar sua eficiência e desempenho.

5 Modelo de Simulação

Para atingir objetivo proposto neste estudo, uma sequência de etapas foram utilizadas, iniciando pela modelagem do projeto, seguido pelos elementos que compõem a simulação dos agentes, implementação e finalizando nos próximos capítulos com as análises dos resultados obtidos e as conclusões advindas desses processos.

Por conseguinte, a concorrência monopolista é um modelo econômico que envolve a presença de empresas que produzem variedades diferentes de um mesmo produto e competem entre si no mercado¹. Nesta pesquisa, esse tipo de concorrência é representado por meio de um modelo baseado em agentes, no qual as empresas de diferentes países competem produzindo diversas variedades do mesmo produto. Essas variedades são fornecidas a um número fixo de consumidores, distribuídos igualmente nos dois países, enquanto as empresas domésticas comercializam apenas internamente, as empresas exportadoras vendem seus produtos tanto em seu país de origem quanto no outro país.

Nesse contexto, a presente pesquisa utiliza o protocolo NetLogo (WILENSKY; RAND, 2015) e o modelo de *Q-learning*, como base para o processo de tomada de decisão das empresas. O modelo de aprendizado por reforço é empregado para que as empresas possam tomar decisões de forma autônoma e adaptativa.

As simulações têm início com empresas homogêneas produzindo diferentes variedades do produto. À medida que as empresas interagem e tomam decisões, ocorre uma diferenciação de desempenho entre elas. Essas interações são indiretas e resultam principalmente da competição por participação de mercado.

Em cada ciclo de simulação, os consumidores expressam sua demanda, o que determina os lucros e o patrimônio líquido das empresas. Empresas com patrimônio líquido negativo deixam o mercado, enquanto uma nova empresa ingressa no modelo para ocupar o lugar dessa empresa que saiu do mercado. O processo de aprendizagem permite que as empresas sobreviventes tomem decisões operacionais relacionadas a investimentos em capacidade produtiva, esforço de pesquisa, escolha de exportação e preço de venda. Após tomar essas decisões, cada empresa fornece uma oferta de seus produtos e um novo ciclo de simulação se inicia.

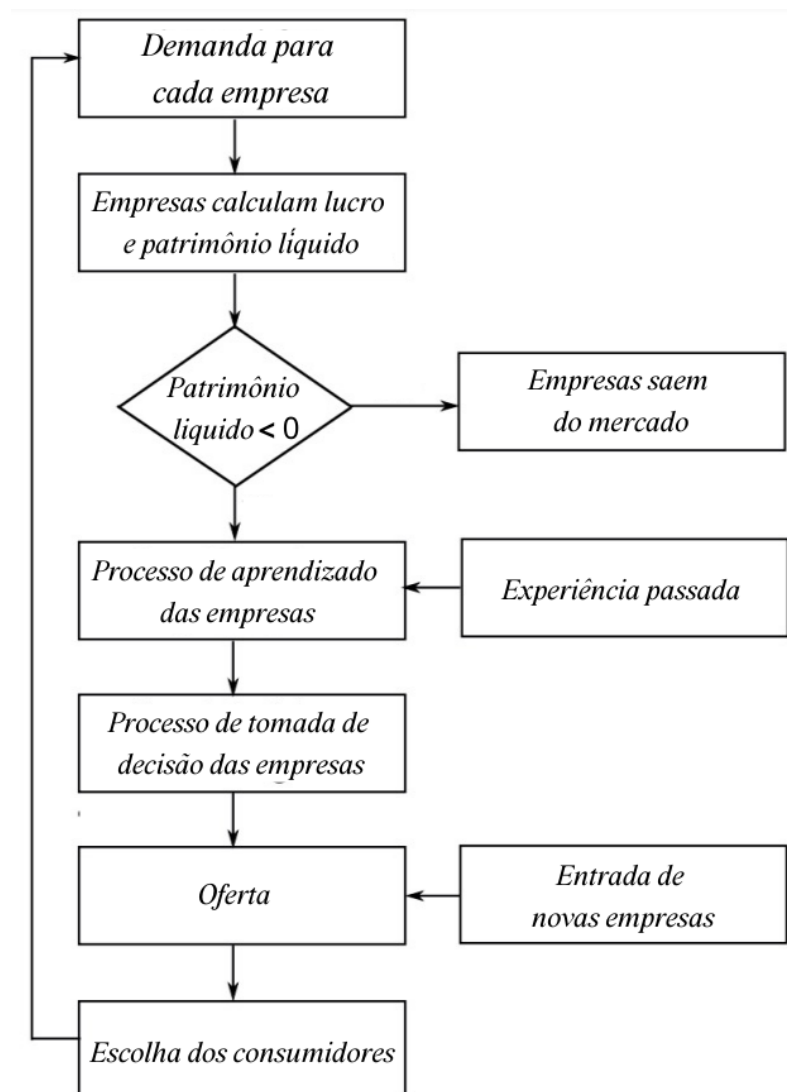
O modelo considera tanto os agentes econômicos (*consumidores e empresas*) quanto estabelece pressupostos estilizados sobre a dinâmica tecnológica e o processo de tomada de decisão das empresas. As simulações começam com empresas homogêneas, mas à medida que ocorrem as interações e as empresas tomam decisões, há um processo de diferenciação de desempenho. Sendo assim, essas interações entre as empresas são indiretas, uma vez que são resultado da competição por participação no mercado.

¹ Para uma análise mais aprofundada sobre esse tema, ver Capítulo 2.

Em síntese, o modelo desenvolvido nas simulações de concorrência monopolista se baseia em agentes econômicos que representam consumidores e empresas. As empresas competem produzindo diferentes variedades do mesmo produto em um mercado internacional e, o processo de tomada de decisão das empresas é fundamentado em um modelo de aprendizado por reforço, no qual as empresas sobreviventes tomam decisões operacionais em relação a investimentos, esforço de pesquisa, exportação e preço de venda. Portanto, as simulações permitem analisar as dinâmicas de competição e diferenciação de desempenho entre as empresas ao longo do tempo.

De acordo com a figura a seguir, conseguimos visualizar as etapas, descritas acima, em relação ao estudo proposto.

Figura 8 – Diagrama de Fluxo da Simulação



Fonte: Elaboração do autor a partir das informações descritas no modelo (BORGES, 2024)

5.1 Preferências dos Consumidores

A preferência dos consumidores é ordenada de acordo com a seguinte função:

$$PC = \left(\frac{1}{p^\alpha}\right)\left(\frac{1}{d^\beta}\right) \quad (5.1)$$

onde, p é igual o preço do bem e d seria a distância quadrada entre o consumidor e a empresa produtora do bem específico. Os coeficientes (α e β) fornecem a importância do preço e da variedade nas preferências dos consumidores. Diferenças na distância entre empresas e consumidores dão, em conjunto, o resultado de “preferência pela variedade”, que é reforçado por diferenças nos coeficientes das preferências dos consumidores (nas simulações, $\alpha \in \{0.2, 0.5, 0.8\}$; $\beta = 2$; $0 < d < 10$ e o preço de reserva dos consumidores é igual a 17).

5.2 Empresas

As empresas produzem uma única variedade do *bem* no mercado buscando aumentar seus lucros e, como suposição simplificadora, produzem o máximo de sua capacidade produtiva.

No ciclo inicial todas as empresas têm as mesmas características.

$$C = F + ucCap + w_aKA \quad (5.2)$$

Os custos de produção são dados por um custo fixo (F), mais os custos variáveis medidos como custo unitário (uc) multiplicado pela capacidade produtiva da empresa (Cap), mais a unidade custo (w_a) referente aos esforços de pesquisa em inovação de processo multiplicado pelo valor do investimento em pesquisa (KA).

É importante reduzir a volatilidade de escolha de preços, pois as empresas podem ter que escolher entre um número relativamente alto de preços e os preços têm fortes efeitos nos resultados das empresas. A função objetivo de preços é dada por:

$$res_{(t-1)} = p_{(t-1)}\left(1 - \frac{Cap_{(t-1)} - h_{(t-1)}}{Cap_{(t-1)}}\right) \quad (5.3)$$

onde, $p_{(t-1)}$ é o preço escolhido em $t-1$. $Cap_{(t-1)}$ é a capacidade produtiva e $h_{(t-1)}$ é o número de bens vendidos ($h_{(t-1)} \leq Cap_{(t-1)}$). Assim, res é dado pelos retornos ponderados pelas vendas sobre a capacidade produtiva total, porque aumentar os preços, por um lado, tem o efeito de aumentar os retornos sobre cada bem, mas, por outro lado, pode reduzir a quantidade total de bens vendidos.

A cada ciclo as empresas vão calcular seus lucros utilizando a função a seguir:

$$II = ph - C \quad (5.4)$$

Sendo assim, as empresas tentam vender seu produto fixando um preço unitário p . Em seguida, h é a quantidade vendida igual ou menor que a quantidade produzida. Em qualquer dos casos, os custos são calculados em relação a quantidade produzida. O lucro é dado pelo valor do bem vendido e o custo de produção. Caso uma empresa tenha patrimônio líquido negativo, essa empresa sai do mercado. O patrimônio líquido (PL) é dado por:

$$PL = \Pi + \rho Cap + \rho_a KA + Mon \quad (5.5)$$

onde, ρ é igual ao preço da capacidade produtiva, ρ_a será equivalente ao preço do capital de inovação e, Mon demonstra a reserva de liquidez da empresa (nas simulações, $\rho = \rho_a = 10$, reserva de liquidez inicial, $Mon = 100$, capacidade produtiva, $Cap = 10$ e, $KA = 10$).

Logo, a função objetivo de exportação é dada pelo lucro:

$$res_{(t-1)} = \Pi_{(t-1)} \quad (5.6)$$

As empresas exportadoras não podem diferenciar as características do produto nos dois mercados (condição de arbitragem): para cada exportador o preço e as variedades oferecidas são as mesmas nos mercados interno e externo. Quando uma empresa começa a exportar tem que pagar uma taxa inicial custo fixo de exportação (FEXT). Além disso, os exportadores pagam custos variáveis (ω), ligeiramente, mais elevados em todas as unidades do bem que produzem (nas simulações $\omega = 0.05$). Portanto, a função de custo no primeiro ciclo, quando uma empresa entra no mercado externo torna-se:

$$C = FEXT + F + (uc + \omega)Cap + w_a KA \quad (5.7)$$

Nos ciclos seguintes, as empresas exportadoras não precisa pagar o custo fixo inicial de exportação (FEXT), ou seja, a função de custos para as empresas que continuam exportando nos ciclos subsequentes a decisão de começar e exportar, será dada por:

$$C = F + (uc + \omega)Cap + w_a KA \quad (5.8)$$

5.3 Tecnologia

As empresas são capazes de fazer inovações de processo incrementais, que reduzem o custo unitário (uc). Em cada ciclo, as empresas escolhem se vão investir em inovação. Quando as empresas investem em inovação, elas pagam (ρ_a) para comprar uma única unidade de capital necessária para inovar ($KA = I$). Além disso, as empresas têm de pagar o custo (w_a) referente a força de trabalho empregado em pesquisas. A probabilidade de inovar, $p(x)$ é dada por (nas simulações, $\lambda = 0.8$ e $KA \in \{0, 1\}$):

$$p(x) = \lambda K A \quad (5.9)$$

Quando ocorre uma inovação, a capacidade tecnológica da empresa inovadora (A) aumenta em ($A_t = A_{t-1} + 1$) e o custo de produção será:

$$uc = k - \iota A \quad (5.10)$$

Sendo assim, k seria o nível de produtividade inicial (empresas não introduziram nenhuma inovação) e, ι é o parâmetro força da inovação (nas simulações, $k=10$ e $\iota=0.01$).

Portanto, a função objetivo da escolha de investimento em pesquisa é dada por:

$$res_{(t-1)} = \frac{\psi(-\Delta uc_{(t-1)}) Cap_{(t-1)} - w_a K A}{\Phi} \quad (5.11)$$

onde, $(-\Delta uc_{(t-1)})$ é o efeito de melhoria da produtividade e $\frac{w_a K A}{\Phi}$ é o custo relativo do esforço inovador, ($\psi = 10$ e $\Phi = 125$), são valores dos parâmetros escolhidos para permitir que o valor esperado da escolha inovadora seja positivo no primeiro ciclo, assumindo para fins de aprendizado que no início das simulações, inovar pode ser visto como uma boa escolha para as empresas.

5.4 O Processo de Decisão das Empresas

Em cada ciclo as empresas escolhem: o preço de venda, o esforço inovativo, o tamanho da capacidade produtiva e se exportam ou não. As escolhas das empresas são independentes e baseiam-se num algoritmo de aprendizagem por reforço (*Q-learning*).

$$Q(s, a) = (1 - \alpha) Q(s, a) + \alpha(r + \gamma \max(Q(s', a'))) \quad (5.12)$$

Além disso, cada ciclo Q é reduzido em uma pequena porcentagem ($\alpha = 0,08$) como esquecimento e, para permitir uma exploração contínua do espaço de ação, há uma pequena probabilidade ($\gamma = 0,5$) de que as escolhas não dependam da experiência passada.

As empresas podem escolher entre um conjunto limitado de preços ($p = 1.7, 3.4, 5.1, 6.8, 8.5, 10.2, 11.9, 13.6, 15.3$ e 17) e, as empresas não podem fixar um preço superior ao preço de reserva do consumidor (o preço de reserva do consumidor é igual a 17). Portanto, dado este limite superior, as empresas não podem estabelecer um preço inferior ao custo marginal (sem condição de *dumping*).

As empresas podem aumentar ou diminuir a sua capacidade produtiva (Cap) em apenas uma unidade em cada ciclo. Além disso, as empresas só podem aumentar a sua capacidade produtiva se tiverem liquidez suficiente (Mon). Em cada ciclo, se uma empresa tiver recursos

suficientes, ela poderá optar por investir ou não em esforço inovador, comprando uma unidade de KA pelo preço ρ_a e pagando um custo variável (w_a). O esforço inovador é avaliado considerando a diferença entre o efeito de melhoria da produtividade do esforço inovador (se houver) e o seu custo. E, todas as empresas que entram no mercado externo pagam um custo inicial fixo irrecuperável,

6 Resultados Simulados

Este capítulo apresenta uma análise dos resultados obtidos utilizando o modelo de simulação proposto para investigar a dinâmica da concorrência monopolística no mercado internacional. Conforme mencionado anteriormente, o estudo baseia-se no modelo de agentes econômicas, onde as empresas competem produzindo diferentes variedades do mesmo produto em um cenário internacional, sempre visando o lucro e, os consumidores tem suas preferências de consumo orientadas pelo menor preço. Os resultados obtidos por meio do modelo de simulação baseado em agentes proporcionaram compreensões valiosas sobre a dinâmica da concorrência monopolista no comércio internacional e, ainda nesta seção, analisaremos os resultados à luz dos fundamentos teóricos discutidos anteriormente.

Deste modo, foi conduzida uma análise de regressão múltipla abrangendo tanto as empresas que se tornaram exportadoras quanto aquelas que permaneceram no mercado interno. Essa análise foi focada no último ciclo da simulação, uma vez que ao longo dos períodos as empresas tomaram decisões cruciais, como investir em capacidade tecnológica para reduzir custos de produção. Sendo assim, no último ciclo, as empresas que se tornaram exportadoras mantiveram essa condição, enquanto aquelas que continuaram domésticas (vendendo apenas no país de origem), não puderam arcar com os custos iniciais e fixos de exportação.

O objetivo foi avaliar o impacto dos principais parâmetros nessa fase final da simulação. Posteriormente, examinaremos os resultados das regressões para identificar eventuais disparidades entre as empresas exportadoras e as não exportadoras, além de compreender se houve um ganho em exportar e competir em um mercado estrangeiro.

Essencialmente, nas simulações, as empresas estão orientadas para uma maximização dos lucros e ganhar mais participação de mercado. Para se tornar exportadora, uma empresa precisa arcar com um custo inicial de exportação (cobrado apenas uma vez, no momento em que inicia as exportações) e um custo fixo de exportação a cada período subsequente. Além disso, as empresas têm a opção de investir em pesquisa para aprimorar sua capacidade tecnológica e reduzir os custos marginais de produção. Vale ressaltar que as empresas exportadoras tendem a ter uma inclinação maior para investir em tecnologia, uma vez que a presença no mercado estrangeiro proporciona acesso a novas tecnologias. No entanto, as empresas que não exportam também têm a capacidade de aumentar sua capacidade tecnológica.

Portanto, a seguinte equação de regressão múltipla foi utilizada para ambas as empresas afim de auferir os resultados para a análise geral.

$$Y_{ij} = \beta_1 + \beta_2 FEXT_{ij} + \beta_3 \alpha_{ij} + \beta_4 \omega_{ij} + e_{ij} \quad (6.1)$$

onde, Y = lucro médio das empresas, β é o vetor dos parâmetros estimados, i representa o número de repetições no modelo, j são as combinações executadas, $FEXT$ é custo inicial de exportação, α (Alpha) é o parâmetro que influencia a preferência do consumidor em relação ao preço de determinada empresa e, ω (Ômega) (custo iceberg de exportação) é o parâmetro pertencente a função de custos fixos de exportação, custeado por todas as empresas que se tornaram exportadoras e que precisam pagar esse custo a cada ciclo da simulação para se manterem exportando. Todos esses parâmetros estão em função da variável dependente (lucro médio das empresas, exportadoras ou não exportadoras).

A partir de diferentes simulações com os mesmos parâmetros isola-se um painel de empresas, composto por todas as empresas nos últimos ciclos de cada simulação, quando o número de empresas no mercado começa a estabilizar, concebendo este período como um período de quase-equilíbrio. É utilizado esse painel para lidar com as características individuais das empresas ($268 < \text{ciclos} < 270$). Os resultados empíricos são abordados ainda nessa seção e visam abordar: se houve um melhor desempenho dos exportadores, preferência dos consumidores e o impacto do custo iceberg de exportação (parâmetro que impacta no custo fixo de exportação).

Os dados de simulação são analisados implementando regressões de efeitos combinados, estas regressões não fornecem qualquer explicação causal, apenas tentam determinar se as empresas exportadoras têm um desempenho melhor do que as empresas que não exportam. As regressões têm como variáveis independentes medidas de desempenho: custo de exportação, custo iceberg de exportação e preferência dos consumidores. E, têm como variável dependente o lucro médio das empresas exportadoras e não exportadoras.

A tabela 1 apresentada os resultados de regressões múltiplas realizadas para analisar os efeitos de diferentes variáveis no lucro médio das empresas exportadoras. Inicialmente, coeficiente estimado para $\log(FEXT)$, é de -0.043 e indica que é estatisticamente significativo a um nível de significância de 1%. Por tanto, a variação de 1% no $\log(FEXT)$ vai variar negativamente um pouco mais de 4% na exportação. Isso sugere que o custo de exportação tem um impacto negativo e significativo nos lucros das empresas exportadoras, quanto maior o custo de exportação, menor é o lucro. Essa métrica corrobora com a realidade, pois ao torna-se exportadora as empresas tem custos maiores para adentrarem em um outro mercado, impactando diretamente em seus lucros. Esse parâmetro demonstra que temos uma relação inversa entre o lucro médio e o custo inicial de exportação, o que causa uma barreira a entrada para as empresas que querem se tornar exportadoras.

Em seguida, o coeficiente $\log(Alpha)$, estimado em 0.007, não é estatisticamente significativo. Isso indica que a preferência dos consumidores em relação ao preço não tem um efeito significativo no lucro das empresas exportadoras. Porém, podemos investigar a força do parâmetro em questão com o modelo proposto, os consumidores são fundamentais para que as empresas maximizem seus lucros. Ou seja, se os consumidores tem uma maior preferência de consumo por empresas exportadoras em relação aquelas que não exportam, as exportadoras terão

Tabela 1 – Tabela de Regressão Múltipla (Empresas Exportadoras)

	<i>Variável Dependente:</i>
	log(Empresa.EXP)
log(FEXT)	-0.043*** (0.005)
log(Alpha)	0.007 (0.005)
log(Omega)	0.011** (0.005)
Constante	7.987*** (0.034)
Observations	270
R ²	0.244
Adjusted R ²	0.235
Residual Std. Error	0.036 (df = 266)
F Statistic	28.593*** (df = 3; 266)

Nota: *p < 0.1 ; **p < 0.05 ; ***p < 0.01

uma maior quantidade de vendas ao longo da simulação e, conseqüentemente um maior lucro.

Por último, o coeficiente estimado para $\log(\hat{\Omega})$ é 0.011, e é estatisticamente significativo a um nível de significância de 5%. Isso sugere que o custo iceberg de exportação, tem um impacto positivo e significativo nos lucros das empresas exportadoras. Esse parâmetro pode ser interpretado como uma barreira à entrada de empresas no mercado internacional, representando custos adicionais para empresas que decidem se tornar exportadoras e permanecer operando internacionalmente. Essa barreira dificulta a entrada de novas empresas, já que implica custos extras a serem superados para competir com as já estabelecidas. Portanto, um coeficiente positivo para $\log(\hat{\Omega})$, indica que um aumento nos custos fixos de exportação está associado a um aumento no lucro médio das empresas exportadoras, sugerindo que essas barreiras podem conferir vantagem competitiva às empresas já presentes no mercado internacional.

O coeficiente estimado para a *constante*, é 7.987 e, este coeficiente é estatisticamente significativo a um nível de significância de 1%. O número de observações é 270 e temos um indicativo que mesmo com as outras variáveis controladas, há um lucro médio significativo para as empresas exportadoras. Também temos o R^2 no valor de 0.244, o que demonstra que aproximadamente 24.4% da variabilidade no logaritmo do lucro das empresas exportadoras é explicada pelas variáveis independentes no modelo. Por fim, o *F-statistic* é 28.593, com 266 graus de liberdade. Este valor alto do *F-statistic*, juntamente com um *p-valor* praticamente zero,

sugere que o modelo como um todo é estatisticamente significativo.

Tabela 2 – Tabela de Regressão Múltipla (Empresas não Exportadoras)

<i>Variável Dependente:</i>	
log(Empresa.nao.EXP)	
log(FEXT)	0.004 (0.005)
log(Alpha)	0.006 (0.005)
log(Omega)	0.010** (0.005)
Constante	7.528*** (0.033)
Observations	
	270
R ²	
	0.024
Adjusted R ²	
	0.013
Residual Std. Error	
	0.035 (df = 266)
F Statistic	
	2.181* (df = 3; 266)
Nota:	
	*p < 0.1 ; **p < 0.05 ; ***p < 0.01

A Tabela 2 apresenta os resultados de uma regressão linear múltipla em que a variável dependente é o logaritmo do lucro médio das empresas não exportadoras. Portanto, temos que o coeficiente da variável independente $\log(FEXT)$ é estimado em 0.004 e não é estatisticamente significativo. Isso sugere que o custo de exportação não tem um efeito significativo nos lucros das empresas que não exportaram. Esse dado nos fornece uma contribuição que também faz sentido, pois essas empresas não se tornaram exportadoras devido justamente ao fato de não conseguirem custear esse custo inicial de exportação. Diante disso, elas não tiveram o parâmetro FEXT impactante no seu lucro médio, ou seja, diferente das exportadoras que tem uma relação inversa desse parâmetro com o lucro, as não exportadoras não tiveram que arcar com esses custos e por isso sua relação é positiva.

Em seguida, o coeficiente estimado para $\log(Alpha)$ é de 0.006, e também não é estatisticamente significativo. Isso indica que a preferência dos consumidores em relação ao preço não tem um efeito significativo nos lucros das empresas não exportadoras. Porém, da mesma forma que foi explicado esse parâmetro na tabela 1, podemos auferir a força desse parâmetro em relação ao modelo. As empresas não exportadoras tiveram preferências menores de consumo em relação as exportadoras. Isto é, os consumidores tem uma tendencia maior em consumir das empresas que exportam.

Por fim, o coeficiente estimado para $\log(\hat{\Omega})$ é de 0.010 e estatisticamente significativo a um nível de 5%. Isso indica que o custo fixo de exportação tem um impacto positivo e significativo nos lucros das empresas não exportadoras. Essa evidência pode parecer paradoxal à primeira vista, já que essas empresas não estão diretamente envolvidas no processo de exportação. No entanto, essa relação pode ser explicada pelo fato de que o custo fixo de exportação é incorrido no momento em que uma empresa decide se tornar exportadora e iniciar as exportações. Ou seja, mesmo que a empresa posteriormente decida interromper suas atividades de exportação e voltar ao mercado doméstico, esse custo fixo de exportação inicial ainda foi pago, o que afeta os custos totais da empresa. Assim, um coeficiente positivo para $\log(\hat{\Omega})$, sugere que um aumento nos custos fixos de exportação está associado a um aumento no lucro médio das empresas não exportadoras. Isso indica que mesmo empresas que decidiram não se manter no mercado internacional ainda enfrentam os efeitos desses custos fixos iniciais de exportação em seus resultados financeiros. Além disso, podemos analisar que esse custo funciona como uma barreira para as empresas se manterem exportadoras, pois as empresas que optaram pela exportação, mas não conseguiu arcar com os custos fixos de exportação associados, acabaram perdendo sua posição no mercado estrangeiro.

O coeficiente estimado para a *constante* é 7.528, e é estatisticamente significativo a um nível de 1%, ou seja, mesmo com as outras variáveis controladas, há um lucro médio significativo para as empresas não exportadoras. Além disso, O R^2 ajustado é de 0.013, o que indica que as variáveis incluídas no modelo explicam cerca de 1.3% da variabilidade nos lucros das empresas não exportadoras.

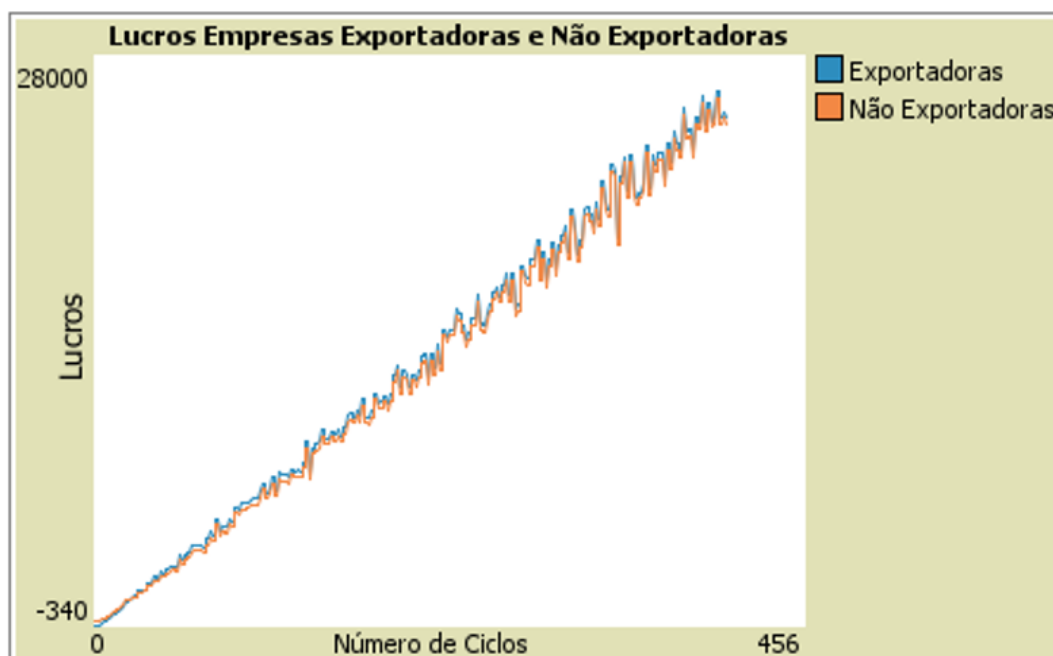
Ao analisar os resultados, observamos que as empresas que se tornaram exportadoras no modelo de simulação mantiveram essa condição devido a decisões estratégicas, como investimentos em capacidade tecnológica para reduzir custos de produção e, esses dados investigados corroboram para a teoria da concorrência monopolista, que enfatiza a importância da inovação e da diferenciação de produtos para a competitividade no comércio internacional. Portanto, a interpretação dos resultados destaca como as interações entre as empresas, buscando por vantagens competitivas e adaptando às condições de mercado refletem os princípios da concorrência monopolista. Além disso, a diferenciação de produtos, a lealdade do consumidor e a busca por eficiência econômica são aspectos fundamentais que emergem tanto nas simulações realizadas quanto nos modelos teóricos.

É possível compreender que as empresas que tomaram as melhores decisões em relação aos preços no início da simulação e, por conseguinte, ingressaram no mercado estrangeiro, conseguiram manter sua posição. Deste modo, tais empresas tornaram-se mais competitivas, conquistando uma parcela maior dos consumidores no mercado como um todo, o que resultou em um aumento dos seus lucros médios. Em contrapartida, aquelas empresas que não conseguiram determinar as estratégias mais adequadas no início da simulação, enfrentaram desafios para cobrir os custos de exportação iniciais e/ou os custos fixos de exportação associados a ela. Isso resultou

em uma limitação na sua capacidade produtiva, restringindo sua presença apenas no país de origem.

Com base nos resultados obtidos e na análise comparativa com a teoria, sugere-se que futuras pesquisas explorem ainda mais a influência de fatores como regulação antitruste, estratégias de marketing e políticas de inovação na dinâmica da concorrência monopolista em um comércio internacional. Essas investigações podem corroborar para um entendimento mais aprofundado dos mecanismos que moldam os mercados globais. Além disso, com a modelagem baseada em agentes e com algoritmos de aprendizagem, é possível modelar cenários onde as empresas possam mitigar erros ao se depararem com a possibilidade de se tornarem exportadoras em um mercado internacional.

Figura 9 – Lucros das Empresas na Simulação*



Fonte: Elaboração do autor a partir da simulação realizada no NetLogo (BORGES, 2024)

Ainda sobre a análise, conforme demonstrado no gráfico exportado da plataforma onde foi realizado as simulações, podemos notar que as empresas exportadoras mesmo pagando o custo inicial de exportação e os custos fixos de exportação, ainda tem lucros relativamente maiores que as empresas que não exportam. Isto se dá ao fato de que ao exportar, as empresas tem uma parcela maior de mercado para captar mais recursos e aumentarem seus lucros. Portanto, as empresas que não conseguiram pagar os custos iniciais de exportação, vão ter seus lucros voltados apenas ao país doméstico e, as empresas que começam a exportar vão ter seus lucros levemente elevados, mesmo pagando um custo fixo de exportação maior a cada período.

Conforme podemos observar ao comparar as tabelas 1 e 2, o custo iceberg de exportação das empresas exportadoras é maior que as empresas não exportadoras, porém, a preferência dos consumidores é maior para as empresas que exportam, ou seja, as empresas exportadoras conse-

guem determinar preços menores e atrair uma parcela maior dos consumidores, possibilitando o ganho de maiores lucros e um maior desempenho em comparação as empresas domésticas. Além disso, as empresas exportadoras conseguem vender seus produtos em diferentes países (origem e estrangeiro), e isso possibilita uma maior parcela de mercado para operar.

Desde modo, podemos auferir algumas explicações e apontamentos. Tanto para empresas exportadoras quanto não exportadoras, o custo iceberg de exportação tem um impacto positivo e significativo nos lucros, portanto esse indicador sugere que existe uma barreira a entrada na exportação, além disso, há evidências de uma dificuldade para as empresas manterem competitivas no âmbito internacional devido a esse custo. A análise demonstra que o custo de exportação tem um impacto significativo apenas nos lucros das empresas exportadoras, o que faz sentido, já que este é um custo específico para as empresas que decidem entrar no mercado internacional. Por conseguinte, não parece haver um efeito significativo da preferência dos consumidores em relação ao preço nos lucros das empresas, mas apesar do parâmetro não ter sido significativo, podemos analisar a força das relações desse parâmetro com o modelo e com as empresas, ou seja, os consumidores tem uma inclinação a consumir das empresas exportadoras e, deste modo, as empresas exportadoras tem um melhor desempenho e maiores lucros.

7 Conclusão

A análise dos resultados obtidos revelou uma série de padrões e tendências que oferecem uma compreensão valiosa sobre a dinâmica da concorrência monopolista. Este modelo baseado em agentes é, em parte, uma tentativa de analisar o melhor desempenho dos exportadores, derivando a heterogeneidade das empresas como o resultado emergente das escolhas e interações das empresas. O modelo é limitado pela simplicidade do algoritmo de tomada de decisão das empresas, que é baseado em um algoritmo básico de aprendizagem por reforço Q-learning.

Além disso, o espaço paramétrico do modelo é grande e apenas os parâmetros mais importantes foram explorados. Diversas mudanças estruturais podem ser implementadas, por exemplo modificando condições de partida, dimensões espaciais e temporais, características de desenvolvimento tecnológico, condições de arbitragem, etc...

Por outro lado, o modelo baseado em agentes apresenta algumas vantagens, por exemplo, a possibilidade de modelar a racionalidade limitada nas escolhas das empresas, concebendo a heterogeneidade das empresas como um resultado emergente da mudança tecnológica endógena, lidando com processos dinâmicos e dependentes do caminho. Além disso, a simplicidade do algoritmo de tomada de decisão das empresas poderia ser vista como uma referência, proporcionando resultados robustos e transparência aos processos de escolha de empresas individuais.

O modelo de simulação é capaz de replicar o melhor desempenho das empresas exportadoras, reproduzindo tanto a autoseleção ex-ante como os efeitos ex-post. No modelo baseado em agentes, a distribuição da produtividade das empresas é endógena, sendo o resultado das escolhas das empresas determinadas por processos de aprendizagem. Consequentemente, nas simulações o prêmio de exportação surge porque as empresas que têm melhor desempenho são capazes de superar o custo fixo de exportar (efeito de auto-seleção) e as empresas exportadoras aumentam o seu desempenho em relação as empresas não exportadoras (efeito ex-post). O efeito ex-post é o resultado do aumento das oportunidades de mercado para o exportador e, ao mesmo tempo, a consequência das características dinâmicas do processo de aprendizagem: as empresas que conseguem superar o custo fixo inicial da exportação são aquelas empresas que fizeram boas escolhas no passado e provavelmente continuarão a fazer boas escolhas no futuro. Além disso, essas empresas conseguem arcar com os custos fixos de exportação, mantendo sua posição no mercado internacional e obtendo maiores resultados ao longo do processo.

Se o efeito ex-post deriva do aumento da transmissão de conhecimentos para os exportadores, incentivar as empresas a exportar poderia resultar no aumento da eficiência agregada. No entanto, as simulações reproduzem o efeito ex-post sem assumir a presença de qualquer repercussão de conhecimento, pelo que o modelo dá empatia à importância dos processos de aprendizagem das empresas e dos custos de exportação na determinação do efeito de melhoria

ex-post. Por estas razões, poderá ser dada maior atenção aos incentivos que levam as empresas a fazer escolhas competitivas virtuosas e reforçadoras que lhes permitam entrar em mercados estrangeiros. Além disso, de acordo com os resultados da simulação, a nível agregado, a redução do custo de exportação aumenta a concorrência, o que leva a níveis mais elevados de produtividade e a preços mais baixos, melhorando o bem-estar dos consumidores.

Finalmente, este modelo poderia ser adaptado para estudar outros tópicos relacionados com o comércio internacional, por exemplo, os efeitos agregados no bem-estar das alterações nos custos de exportação no caso de países não homogêneos com diferenças em capacidades ou dotações tecnológicas. Também poderia ser possível alargar o modelo para lidar com a fragmentação da produção internacional e, portanto, com as escolhas de abastecimento e de investimento estrangeiro. A análise ressalta a importância de considerar outros fatores que podem influenciar os lucros das empresas, além dos parâmetros investigados neste estudo. Isso pode incluir variáveis relacionadas ao mercado, concorrência, políticas governamentais, entre outros. Além disso, uma investigação mais aprofundada sobre as interações entre as variáveis e seus efeitos ao longo do tempo pode fornecer elucidaciones adicionais sobre a dinâmica do mercado.

Referências

- ABAR, S. et al. Agent based modelling and simulation tools: A review of the state-of-art software. *Computer Science Review*, Elsevier, v. 24, p. 13–33, 2017. 3
- ACEMOGLU, D. *Introduction to modern economic growth*. [S.l.]: Princeton university press, 2008. 1
- AW, B. Y.; CHUNG, S.; ROBERTS, M. J. Productivity and turnover in the export market: micro-level evidence from the republic of korea and taiwan (china). *The World Bank Economic Review*, Oxford University Press, v. 14, n. 1, p. 65–90, 2000. 1, 13, 16
- BAZZANELLA, E.; SANTOS, F. Does a q-learning netlogo extension simplify the development of agent-based simulations. 2021. Disponível em: <https://wesaac.ufsc.br/2021/wp-content/uploads/2021/07/Does.a.Q-Learning.NetLogo.Extension.Simplify.the_.Development.of_.Agent-based.Simulations.pdf>. 29
- BERNARD, A. B. et al. J econ perspect. *J. Econ. Perspect.*, v. 21, p. 105, 2007. 1, 15
- BERNARD, A. B.; JENSEN, J. B. Exceptional exporter performance: cause, effect, or both? *Journal of international economics*, Elsevier, v. 47, n. 1, p. 1–25, 1999. 1
- BERNARD, A. B.; JENSEN, J. B. Why some firms export. *The Review of Economics and Statistics*, v. 86, n. 2, 2004. 1, 16
- BERNARD, J.; JENSEN, J. B.; SCHOTT, P. *Importers, exporters, and multinationals: A portrait of firms in the U.S. that trade goods*. [S.l.], 2005. 1, 6, 12, 13, 14, 15, 17
- BONABEAU, E. Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the national academy of sciences*, National Acad Sciences, v. 99, n. suppl_3, p. 7280–7287, 2002. 20
- BURSTEIN, A.; MELITZ, M. J. *Trade liberalization and firm dynamics*. [S.l.], 2011. 2, 16, 18
- BUSTOS, P. Trade liberalization, exports, and technology upgrading: Evidence on the impact of mercosur on argentinian firms. *American economic review*, American Economic Association, v. 101, n. 1, p. 304–340, 2011. 2, 18
- COSTANTINI, J.; MELITZ, M. The dynamics of firm-level adjustment to trade liberalization. *The organization of firms in a global economy*, Harvard University Press Cambridge, MA, v. 4, p. 107–141, 2008. 2, 16, 17
- FEENSTRA, C. R. *Advanced International Trade: Theory and Evidence*. [S.l.]: Princeton University Press, 2003. 1, 6, 12, 13, 15
- KRUGMAN, P. Scale economies, product differentiation, and the pattern of trade. *The American Economic Review*, JSTOR, v. 70, n. 5, p. 950–959, 1980. 10, 13
- MACAL, C.; NORTH, M. Introductory tutorial: Agent-based modeling and simulation. In: *IEEE. Proceedings of the winter simulation conference 2014*. [S.l.], 2014. p. 6–20. 3

MELITZ, M. J. The impact of trade on intra-industry reallocations and aggregate industry productivity. *econometrica*, Wiley Online Library, v. 71, n. 6, p. 1695–1725, 2003. 2, 15, 16, 17

PRISMA. *PRISMA - CFTC, Tutorial de NetLogo*. 2010. <<https://cftc.ciencias.ulisboa.pt/PRISMA/capitulos/netlogo/topico3.php>>. Acesso em 10 de maio de 2023. 22

RAILSBACK, S. F.; GRIMM, V. *Agent-based and individual-based modeling: a practical introduction*. [S.l.]: Princeton university press, 2019. 22

RINGLER, P.; KELES, D.; FICHTNER, W. Agent-based modelling and simulation of smart electricity grids and markets—a literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 57, p. 205–215, 2016. 4

ROBERTS, M. J.; TYBOUT, J. R. The decision to export in colombia: An empirical model of entry with sunk costs. *The american economic review*, JSTOR, p. 545–564, 1997. 1, 13

WALTMAN, L.; KAYMAK, U. Q-learning agents in a cournot oligopoly model. *Journal of Economic Dynamics and Control*, Elsevier, v. 32, n. 10, p. 3275–3293, 2008. 29

WILENSKY, U. *NetLogo*. Evanston, IL: [s.n.], 1999. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling. Northwestern University. Acesso em 11 de maio de 2023. Disponível em: <<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>>. 21, 23

WILENSKY, U.; RAND, W. *An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo*. [S.l.]: Mit Press, 2015. 19, 20, 37

Anexos

ANEXO A – Código NetLogo

```

1 extensions[table qllearningextension]
2 breed [empresas empresa]
3
4
5 ;;Determina par metros para empresas (turtles)
6 empresas-own[
7   preco                ;;Pre o do produto
8   lucro                ;;Lucro das empresas
9   lista-lucro          ;;Lista de lucros das empresas
10  lista-lmedio-exp
11  lista-lmedio-nao-exp
12  lmedio-exp           ;;Lucro m dio exportadoras
13  lmedio-nao-exp       ;;Lucro m dio n o exportadoras
14  custo-producao       ;;Custo de produ o das empresas
15  patrimonio-liquido   ;;Patrimonio liquido das empresas
16  ;cap-produtiva       ;;Capacidade produtiva
17  quantidade-vendida   ;;Quantidade vendida das empresas
18  capital-liquido      ;;Reserva de capital liquido
19  custo0-exportacao    ;;Custo inical de exporta o
20  custo-fixo-exp       ;;Ciclos seguintes das empresas que optaram
   por exportar
21  capacidade-tecnologica ;;N vel inicial de capacidade tecnol gica
22  inovacao-tecnologica ;;Inova o tecnol gica
23  num-per-exp          ;;Per odos de exporta o
24  emp-exportadora      ;;Empresa atende condi o de ser
   exportadora
25  emp-nao-exportadora
26  emp-exportadora?
27
28 ]
29
30
31 ;;Determina par metros para consumidores (patches)
32 patches-own[
33   preferencia
34   valor-preferencia
35 ]
36
37
38 ;;Determina parametros globais (turtles e patches podem acessar)
39 globals[
40   pref                ;;Prefer ncia do consumidor
41   empresa-escolhida   ;;Empresa escolhida pelo consumidor

```

```

42 ;num-empresas ;;N mero de empresa
43 num-novas-empresas
44 ;custo0 ;;Custo inicial
45 ;uc ;;Custo unitario do capital
46 ;w_a ;;Custo variavel de inovacao
47 ;invest-pesquisa ;;Montante de investimento em pesquisa
   varia entre 0 e 1
48 ;custo-marginal ;;Define o pre o como o custo marginal
   m nimo
49 ;ef-melhoria-prod ;;Efeito da melhoria de produtividade do
   esfor o inovativo
50 ;FEXT ;;Custo fixo para come ar a exportar
51 ;custo-iceberg-exp ;;Custos vari veis das exportadoras
   ligeiramente mais elevados por todas as unidades do bem produzido
52 ;prod-inicial ;;N vel de produtividade inicial
53 ;iota ;;Parametro for a de inova o
54 ;lambda ;;Taxa de inova o incremental
55 rho ;;Preco da capacidade produtiva
56 rho_a ;;Pre o do investimento em pesquisa
57 psi ;;N vel de produtividade inicial
58 k
59 delta
60 phi
61 bs-exp
62 lim-preco-reserva ;;Pre o de reserva dos consumidores
63 empresas-pais-A ;;Empresas do pa s A (vermelho)
64 empresas-pais-B ;;Empresas do pa s B (verde)
65 lmedio-pais-A ;;Lucro m dio pa s A (vermelho)
66 lmedio-pais-B ;;Lucro m dio pa s B (verde)
67 conta ;;Contar determinado dado no c digo
68 empresa-exp ;;Empresas que se tornaram exportadoras
69 empresa-nao-exp ;;Empresas que se tornaram exportadoras
70 ]
71
72
73 ;;Iniciliza procedimento de configura es do modelo
74 to setup
75 clear-all
76 set empresa-exp (list)
77 ask patches [
78 ifelse pxcor > 0 [
79 set pcolor red
80 ] [
81 set pcolor green
82 ]
83 ]
84 set rho 10

```

```

85 set rho_a 10
86 set lim-preco-reserva 17
87 set psi 10
88 set phi 125
89 set bs-exp 500
90 create-empresas num-empresas
91 ask empresas [
92   setxy random-xcor random-ycor
93   set shape "house"
94   set color black
95   set capital-liquido 100
96   set emp-exportadora? false
97 ]
98
99 ask empresas [
100   set custo-producao (custo0 + (uc * cap-produtiva) + (w_a * invest-
101     pesquisa))
102   set custo0-exportacao (par-FEXT + custo0 + (uc + custo-iceberg-exp)
103     * (cap-produtiva) + (w_a * invest-pesquisa))
104   set custo-fixo-exp (custo0 + (uc + custo-iceberg-exp) * (cap-
105     produtiva) + (w_a * invest-pesquisa))
106   set patrimonio-liquido (lucro + (rho * cap-produtiva) + (rho_a *
107     invest-pesquisa) + capital-liquido)
108   set lucro ((preco * quantidade-vendida) - custo-producao)
109   set lmedio-exp ((preco * quantidade-vendida) - (custo-producao +
110     custo-fixo-exp))
111   set lmedio-nao-exp ((preco * quantidade-vendida) - custo-producao)
112 ]
113
114 ;; Algoritmo Q-learning
115 ask empresas [
116   qlearningextension:state-def ["preco"]
117   (qlearningextension:actions [escolha-1.7] [escolha-3.4] [escolha
118     -5.1] [escolha-6.8] [escolha-8.5] [escolha-10.2] [escolha-11.9] [
119     escolha-13.6] [escolha-15.3] [escolha-17.0])
120   qlearningextension:reward [lucroFunc]
121   qlearningextension:end-episode [isEndState] resetEpisode
122   qlearningextension:action-selection "e-greedy" [0.5 0.08]
123   qlearningextension:learning-rate 1 ;; Taxa
124     de aprendizado
125   qlearningextension:discount-factor 0.9 ;;
126     Fator de desconto
127   set lista-lucro []
128   set lista-lmedio-exp []
129   set lista-lmedio-nao-exp []
130 ]
131
132

```

```

123 set empresas-pais-A empresas with [pcolor = red]
124 set empresas-pais-B empresas with [pcolor = green]
125 set empresa-exp empresas with [emp-exportadora = true]
126 set empresa-nao-exp empresas with [emp-nao-exportadora = true]
127 set lmedio-pais-A mean [lucro] of empresas-pais-A
128 set lmedio-pais-B mean [lucro] of empresas-pais-B
129 set conta count empresas-pais-A
130 set conta count empresas-pais-B
131 set empresa-exp []
132 set empresa-nao-exp []
133 reset-ticks
134 end
135
136
137 to go
138 tick
139 ;;Inicializa o algoritmo Q-learning
140 ask empresas [
141   qllearningextension:learning
142   (qllearningextension:learning true)
143   print(qllearningextension:get-qtable)
144 ]
145
146 ask empresas [
147   set patrimonio-liquido (lucro + (rho * cap-produtiva) + (rho_a *
148     invest-pesquisa) + capital-liquido)
149   set custo-producao (custo0 + (uc * cap-produtiva) + (w_a * invest-
150     pesquisa))
151   set custo-fixo-exp (custo0 + (uc + custo-iceberg-exp) * (cap-
152     produtiva) + (w_a * invest-pesquisa))
153 ]
154
155 ;;Condição para empresa ser ou não exportadora
156 ask empresas [
157   if not emp-exportadora? and patrimonio-liquido > custo0-exportacao
158   [
159     set emp-exportadora true
160     set patrimonio-liquido patrimonio-liquido - custo-fixo-exp
161     set num-per-exp num-per-exp + 1
162     set lmedio-exp ((preco * quantidade-vendida) - (custo-producao +
163       custo-fixo-exp) + bs-exp)
164     if num-per-exp = 0 [
165       set num-per-exp ticks ;;Grava o primeiro período de
166       exporta o
167     ]
168     set patrimonio-liquido patrimonio-liquido - custo-fixo-exp
169     if patrimonio-liquido < custo-fixo-exp [

```



```

164     set emp-exportadora? false
165     set lmedio-nao-exp ((preco * quantidade-vendida) - custo-
166     producao)
167   ]
168   if patrimonio-liquido < custo-fixo-exp [
169     set emp-exportadora? false ;;Torna a empresa n o exportadora
170   ]
171 ]
172
173 ask empresas [
174   if preco > lim-preco-reserva [set quantidade-vendida 0]
175   if preco < custo-marginal [set preco custo-marginal]
176 ]
177 escolha-empresa
178 investir-em-inovacao
179
180 create-empresas num-novas-empresas
181 let empresas-falidas empresas with [patrimonio-liquido < 0]
182 ask empresas-falidas [die]
183 create-empresas count empresas-falidas [
184   setxy random-xcor random-ycor
185   set shape "house"
186   set color blue
187   set capital-liquido 100
188   set emp-exportadora? false
189   ; Defina os outros atributos iniciais das empresas conforme
190   necess rio
191 ]
192
193 set lmedio-pais-A mean [lucro] of empresas-pais-A
194 set lmedio-pais-B mean [lucro] of empresas-pais-B
195 set empresa-exp mean [lmedio-exp] of empresas
196 set empresa-nao-exp mean [lmedio-nao-exp] of empresas
197 if ticks > 500 [
198   stop
199 ]
200 tick
201 end
202
203
204 to investir-em-inovacao
205   ask empresas [
206     let variacao-lucro 0
207     let nova-capacidade-produtiva cap-produtiva + 1
208     let prob-investimento-pesquisa 0.6

```

```

209   if emp-exportadora? [set prob-investimento-pesquisa 0.8]
210   if capital-liquido >= rho_a + w_a and variacao-lucro > 0 [
211     set cap-produtiva nova-capacidade-produtiva
212     let prob-investimento lambda * random-float 1
213     if random-float 1 < prob-investimento-pesquisa [
214       set invest-pesquisa invest-pesquisa + 1
215       set patrimonio-liquido patrimonio-liquido - w_a ;; Custos do
investimento em pesquisa
216     ]
217     ; Probabilidade de investir em inovaco incremental
218     let prob-inovacao lambda * random-float 1
219     if random-float 1 < prob-inovacao [
220       set capital-liquido capital-liquido - 1
221       set capacidade-tecnologica capacidade-tecnologica + 1
222       set uc (prod-inicial - iota * capacidade-tecnologica)
223       set inovacao-tecnologica ticks
224     ]
225   ]
226 ]
227 end
228
229
230 ;;Inicializa procedimento para determinar preferência do consumidor
231 to preferencia-empresa
232   ask empresas [
233     let distancia (distance patch-here)
234     if distancia < 0.01 [set distancia 0.01]
235     set pref (1 / (preco ^ par-alpha)) * (1 / (distancia ^ par-beta))
236     if pref >= valor-preferencia [
237       set empresa-escolhida who
238       set valor-preferencia pref
239     ]
240   ]
241 end
242
243
244 ;;Inicia procedimento para definir escolha do consumidor pela empresa
245 to escolha-empresa
246   ask patches [
247     set preferencia -1
248     set valor-preferencia 0
249     preferencia-empresa
250     set preferencia empresa-escolhida
251     ask empresa empresa-escolhida [set quantidade-vendida quantidade-
vendida + 1]
252   ]
253 end

```

```
254
255
256 ;;Inicializa procedimento da funcao lucro das empresas
257 to-report lucroFunc
258   set lucro ((preco * quantidade-vendida) - (custo-producao))
259   set lista-lucro lput lucro lista-lucro
260   set lmedio-exp ((preco * quantidade-vendida) - (custo-producao + custo
    -fixo-exp))
261   set lmedio-nao-exp ((preco * quantidade-vendida) - (custo-producao))
262   set lista-lmedio-exp lput lmedio-exp lista-lmedio-exp
263   set lista-lmedio-nao-exp lput lmedio-nao-exp lista-lmedio-nao-exp
264   report lucro
265 end
266
267
268 ;;Inicializa procedimento para escolha de preos das empresas,
    utilizando Q-learning e maximizando o lucro
269 to escolha-1.7
270   set preco 1.7
271 end
272
273 to escolha-3.4
274   set preco 3.4
275 end
276
277 to escolha-5.1
278   set preco 5.1
279 end
280
281 to escolha-6.8
282   set preco 6.8
283 end
284
285 to escolha-8.5
286   set preco 8.5
287 end
288
289 to escolha-10.2
290   set preco 10.2
291 end
292
293 to escolha-11.9
294   set preco 11.9
295 end
296
297 to escolha-13.6
298   set preco 13.6
```

```
299 end
300
301 to escolha-15.3
302   set preco 15.3
303 end
304
305 to escolha-17.0
306   set preco 17.0
307 end
308
309
310 ;;Estado final (finaliza procedimento dos pre os acima)
311 to-report isEndState
312   ifelse ticks > 500 [report true] [report false]
313 end
314
315
316 ;;Reseta epis dios (ciclos)
317 to resetEpisode
318 end
```