



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA**  
**BACHARELADO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS**

**LETÍCIA BRUNA BARROS SOUZA SILVA**

**CRESCIMENTO ECONÔMICO, MÁ ALOCAÇÃO E PRODUTIVIDADE:**  
**Uma análise a partir da reciclagem de bens intermediários**

**SERRA TALHADA**  
**2024**

LETÍCIA BRUNA BARROS SOUZA SILVA

**CRESCIMENTO ECONÔMICO, MÁ ALOCAÇÃO E PRODUTIVIDADE:**

Uma análise a partir da reciclagem de bens intermediários

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Ciências Econômicas como requisito para obtenção do título de Bacharela em Ciências Econômicas pela Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

Orientador: Prof. Dr. Kleyton José da Silva Pereira de Siqueira

SERRA TALHADA  
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Bibliotecário(a): Suely Manzi – CRB-4 809

S586c Silva, Letícia Bruna Barros Souza.  
Crescimento econômico, má alocação e  
produtividade:: uma análise a partir da reciclagem  
de bens intermediários / Letícia Bruna Barros Souza  
Silva. – Serra Talhada, 2025.  
52 f.

Orientador(a): Kleyton José da Silva Pereira de  
Siqueira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) –  
Universidade Federal Rural de Pernambuco,  
Unidade Acadêmica Serra Talhada - UAST,  
Bacharelado em Ciências Econômicas, Serra  
Talhada, BR-PE, 2025.

Inclui referências.

1. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.). 2.  
Produtividade. 3. Desenvolvimento sustentável. 4.  
Alocação de recursos 5. Sustentabilidade ambiental.  
I. Siqueira, Kleyton José da Silva Pereira de, orient.  
II. Título

CDD 330

LETÍCIA BRUNA BARROS SOUZA SILVA

CRESCIMENTO ECONÔMICO, MÁ ALOCAÇÃO E PRODUTIVIDADE:  
Uma análise a partir da reciclagem de bens intermediários

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Ciências Econômicas como requisito para obtenção do título de Bacharela em Ciências Econômicas pela Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

Orientador: Prof. Dr. Kleyton José da Silva Pereira de Siqueira

Banca Examinadora

---

Orientador: Prof. Dr. Kleyton José da Silva Pereira de Siqueira  
Conselho Administrativo de Defesa Econômica – (CADE) / Unidade Acadêmica de Serra Talhada da Universidade Federal Rural de Pernambuco – ( UAST – UFRPE)

---

Examinador: Prof. Dr. Sergiany da Silva Lima  
Unidade Acadêmica de Serra Talhada da Universidade Federal Rural de Pernambuco – (UAST – UFRPE)

---

Examinador: Prof. Dr. Diego Pitta de Jesus  
Unidade Acadêmica de Serra Talhada da Universidade Federal Rural de Pernambuco – (UAST – UFRPE)

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo amor incondicional, pelos valores e pelo apoio em cada passo desta caminhada; aos meus irmãos, por serem companheiros de vida e inspiração constante; e aos meus avós, que com sua sabedoria e carinho me ensinaram a importância de sonhar grande e perseverar. Cada conquista minha carrega um pouco de vocês.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, que me concedeu forças, saúde e sabedoria para superar os desafios ao longo desta jornada. Sua presença foi constante, guiando-me a cada passo e inspirando-me a continuar, mesmo diante das dificuldades.

À minha mãe, Edlaine, meu maior exemplo de amor, resiliência e dedicação. Sua fé em mim, apoio incondicional e palavras de incentivo foram essenciais para que eu pudesse chegar até aqui. Aos meus irmãos, Arthur e Antônio, por estarem sempre ao meu lado, compartilhando alegrias, desafios e momentos inesquecíveis. Aos meus avós, Maria das Graças e Manoel Cassiano, e aos meus tios, Edilane, Elaine e Erlan, por todo o amor, orações e apoio que sempre me fortaleceram. Ao meu pai, Márcio, à minha madrastra, Ana Carolina, ao meu pai de criação, Sidnei, e ao meu padrasto, Rinaldo, por todo o suporte, ensinamentos e carinho ao longo desta caminhada. Sua presença e apoio foram fundamentais para minha formação como pessoa e para a conclusão desta etapa tão importante. Às minhas primas, Rayanne, Ana Cristina, Larissa Cristina, Melissa Gabrielly e Nicolle Sophia, por todo o carinho, apoio e alegria que sempre trouxeram para minha vida. Sou imensamente grata por cada uma de vocês, por estarem sempre presentes, oferecendo palavras de apoio e momentos de felicidade. Aos demais familiares, que de alguma forma contribuíram com palavras de incentivo, gestos de carinho e apoio nos momentos mais difíceis, meu sincero agradecimento.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Kleyton José da Silva Pereira de Siqueira, expresso minha gratidão por sua presença constante durante todo o processo. Obrigada por tirar minhas dúvidas, acreditar no meu potencial e, acima de tudo, por me dar a oportunidade de participar de seus projetos. Sua orientação e confiança foram determinantes para a realização deste trabalho e para o meu crescimento acadêmico e profissional. À professora de matemática do ensino médio, Andrea da Silva Santos Leite, que me fez apaixonar pela matemática e despertar meu interesse por essa disciplina. Seu jeito de ensinar e sua paciência me ajudaram a enxergar a matemática de uma forma diferente, o que foi fundamental para minha trajetória ao longo do curso. Sou imensamente grata por ter cruzado meu caminho e influenciado positivamente minha vida acadêmica. Aos professores do curso, Dra. Cláudia César, Dr. Felipe Reis, Dr. Arley Bezerra, Dr. Sergiany Lima, Dr. Diego Pitta, Dr. Rodrigo Dugnani, Dr. Francisco José, Dr. Antônio Apolinário, Ma. Keila Sonalle e Ma. Loraine Meneses, meu agradecimento por compartilharem seus conhecimentos, orientarem e contribuírem para o meu aprendizado ao longo da trajetória acadêmica. Suas aulas, ensinamentos e exemplos foram fundamentais para minha formação e para o desenvolvimento deste trabalho. Aos professores da banca examinadora, Prof. Dr.

Sergiany Lima e Prof. Dr. Diego Pitta, agradeço por dedicarem seu tempo, conhecimento e experiência para analisar este trabalho. Suas contribuições, críticas e sugestões foram extremamente valiosas para o aprimoramento deste estudo e para o meu desenvolvimento acadêmico.

Aos amigos, André Elias, Keliane Mendes, Andréia Sintia, Ana Cristina, Maria Luiza, Vanessa Pereira, Cleydson Alan, Maria Helena, Matheus Lima, Matheus Rodrigues, Maiara Menezes, Luciana Ferraz e Luana Maria, que sempre estiveram ao meu lado, oferecendo apoio, conselhos e momentos de descontração. A amizade de vocês foi um pilar importante nesta jornada, e sou muito grata por cada um de vocês.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meu mais sincero agradecimento.

## RESUMO

Este estudo analisa os impactos da má alocação de recursos na economia brasileira e investiga como a reciclagem pode melhorar a eficiência produtiva, o crescimento econômico e a sustentabilidade ambiental. Utilizando o modelo de crescimento econômico com preocupações ambientais desenvolvido por Siqueira (2024), baseado na estrutura de Jones (2013) e adaptado com dados da matriz de insumo-produto de 2017, foram construídos cenários contrafactuais para simular os efeitos da reutilização de bens intermediários no processo produtivo. Esses cenários consideraram taxas de reciclagem de 5% e 10%, introduzindo choques de produtividade que foram analisados em relação ao estado estacionário da economia brasileira em 2017. No cenário com 5% de reciclagem, a produção aumentou 20,61% e a TFP cresceu 10,13%. Já no cenário de 10%, os ganhos foram ainda mais expressivos, com aumentos de 43,05% na produção e 20,24% na TFP. Ambos os cenários demonstraram crescimento sustentável sem pressionar significativamente o meio ambiente. Os resultados destacam a relevância de políticas públicas voltadas à integração da reciclagem no sistema produtivo, evidenciando seu potencial para impulsionar o crescimento econômico e promover a sustentabilidade ambiental de longo prazo.

**Palavras-chave:** reciclagem; eficiência produtiva; crescimento sustentável; má alocação de recursos; sustentabilidade ambiental.

## ABSTRACT

This study analyzes the impacts of resource misallocation in the Brazilian economy and investigates how recycling can enhance productive efficiency, economic growth, and environmental sustainability. Using the economic growth model with environmental concerns developed by Siqueira (2024), based on the framework of Jones (2013) and calibrated with data from the 2017 input-output matrix, counterfactual scenarios were constructed to simulate the effects of reusing intermediate goods in the production process. These scenarios considered recycling rates of 5% and 10%, introducing productivity shocks analyzed in relation to the Brazilian economy's steady-state in 2017. In the scenario with a 5% recycling rate, production increased by 20.61%, and TFP grew by 10.13%. In the 10% recycling scenario, the gains were even more significant, with production increasing by 43.05% and TFP by 20.24%. Both scenarios demonstrated sustainable growth without placing significant pressure on the environment. The results underscore the importance of public policies aimed at integrating recycling into the production system, highlighting its potential to drive economic growth and promote long-term environmental sustainability.

**Keywords:** recycling; productive efficiency; sustainable growth; resource misallocation; environmental sustainability.

## SUMÁRIO

|              |                                                                            |           |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO.....</b>                                                     | <b>9</b>  |
| <b>2</b>     | <b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>                                          | <b>11</b> |
| <b>3</b>     | <b>METODOLOGIA.....</b>                                                    | <b>23</b> |
| 3.1          | MODELO TEÓRICO .....                                                       | 24        |
| <b>3.1.1</b> | <b>Família Representativa .....</b>                                        | <b>24</b> |
| <b>3.1.2</b> | <b>Firma Representativa .....</b>                                          | <b>25</b> |
| <b>3.1.3</b> | <b>Equilíbrio Competitivo.....</b>                                         | <b>26</b> |
| <b>3.1.4</b> | <b>Estado Estacionário .....</b>                                           | <b>28</b> |
| <b>3.1.5</b> | <b>Reutilização de bens intermediários ou Reciclagem de Recursos .....</b> | <b>29</b> |
| 3.2          | CALIBRAGEM DO MODELO .....                                                 | 30        |
| <b>4</b>     | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                                         | <b>34</b> |
| 4.1          | PRIMEIRA SIMULAÇÃO.....                                                    | 37        |
| 4.2          | SEGUNDA SIMULAÇÃO.....                                                     | 42        |
| <b>5</b>     | <b>CONCLUSÃO .....</b>                                                     | <b>48</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

As disparidades de crescimento econômico entre os países são um dos maiores desafios da economia moderna. Compreender por que algumas nações alcançam níveis elevados de riqueza, enquanto outras permanecem em condições de pobreza, é uma questão central para economistas e formuladores de políticas. Em um estudo pioneiro sobre esse tema, Solow (1956) analisou as diferenças de renda *per capita*, enfatizando a acumulação de capital físico, as taxas de poupança e o crescimento populacional como fatores-chave. Todavia, os estudiosos do tema entenderam que, apesar de importante, o trabalho de Solow (1956) não era capaz de encerrar a discussão. Pelo contrário, consideram o trabalho do autor um marco na literatura que abriu novos caminhos para a discussão sobre crescimento econômico e diferenças de renda.

Lucas (1988), por exemplo, analisa o modelo de Solow e propõe a inclusão do capital humano como um elemento essencial para a produção. Mankiw, Romer e Weil (1992) reforçam essa ideia, mostrando como a acumulação de capital humano pode alterar a dinâmica entre capital físico, crescimento populacional e renda *per capita*. Já Coe e Helpman (1995) argumentam que a produtividade é um fator crucial para essa discussão e propõem que não é apenas o capital humano interno ao país que eleva a produtividade e a renda. Eles discutem como a P&D de parceiros comerciais também impacta significativamente a produtividade. É válido notar que, apesar de este estudo também abordar questões relacionadas ao capital humano, ao discutir políticas de P&D, ele coloca a produtividade como fator central da análise. Esse marco temporal na literatura estabelece um maior interesse sobre a produtividade, os fatores que podem afetá-la e como isso influencia as economias no que tange à renda e ao crescimento econômico.

Nesse mesmo sentido, Klenow e Rodríguez-Clare (1997) argumentam que, embora o capital físico e humano sejam importantes para aumentar a renda e o crescimento econômico, o crescimento da Produtividade Total dos Fatores (PTF) é o principal fator que explica as diferenças internacionais de renda. De acordo com os autores, países que melhoram sua PTF de maneira eficaz experimentam maior crescimento econômico. Para expandir essa discussão, o trabalho de Restuccia e Rogerson (2008) destaca a importância da alocação eficiente de capital físico e humano entre produtores, ressaltando que distorções políticas podem causar má alocação de recursos e reduzir a produtividade. De forma semelhante, Hsieh e Klenow (2009) e Restuccia (2013) apontam que a má distribuição de recursos entre firmas é uma causa importante para a baixa produtividade em países pobres, impactando negativamente o

crescimento econômico. Banerjee e Moll (2010) destacam que a má alocação de recursos é uma barreira ao desenvolvimento, sendo causada por ineficiências no mercado.

Também partindo da hipótese de que a má alocação de recursos é responsável pelas disparidades de renda, Jones (2011) argumenta que a má alocação de insumos intermediários prejudica a produtividade agregada, mas que melhorar essa alocação pode aumentar a eficiência econômica. No cenário nacional, Vasconcelos (2017) analisa a má alocação no setor manufatureiro brasileiro e estima que uma realocação eficiente poderia aumentar o crescimento do Brasil em 110%. Enquanto isso, Barros Jr. et al. (2023) analisam a má alocação de talentos no Brasil, especialmente entre professores. Os autores estimam que, ao eliminar barreiras no mercado de trabalho, o PIB brasileiro poderia aumentar até 87,85%.

Partindo da discussão presente na literatura, que aponta que a desigualdade de renda entre países é afetada por variações na produtividade agregada, este trabalho tem como objetivo central estudar a alocação de recursos no Brasil com dados setoriais da matriz de insumo-produto e quantificar os ganhos de produtividade e renda resultantes da introdução da reciclagem no processo produtivo. Ou seja, mensurar quais seriam os ganhos de produtividade e renda caso o país adotasse uma política de reutilização de recursos em nível de bens intermediários.

Assim, este trabalho tem como objetivo geral identificar a magnitude das perdas de produtividade e renda da economia brasileira relacionadas à má alocação de recursos, partindo do pressuposto de que existe um desperdício de recursos no consumo de bens intermediários. Além disso, os objetivos específicos são: i) mensurar a má alocação na economia brasileira; ii) avaliar o impacto da reutilização de recursos sobre a produtividade; e iii) quantificar os ganhos macroeconômicos, ambientais e de bem-estar associados a reciclagem.

Para alcançar os objetivos citados, a metodologia deste trabalho baseia-se nos modelos de Jones (2013) e Siqueira (2024). A estrutura teórica de Jones (2013) introduz a discussão sobre como a alocação de bens intermediários afeta a produtividade. Já o modelo de Siqueira (2024) inclui discussões sobre o bem-estar das famílias e a reciclagem, mostrando como a reutilização de bens de consumo intermediário pode impactar não apenas a produtividade e a renda, mas também o bem-estar das famílias. Além disso, o modelo teórico de Siqueira (2024) inova ao inserir uma discussão sobre como o aumento da produtividade, decorrente da reutilização de recursos provenientes da reciclagem, pode preservar o meio ambiente e contribuir para a sustentabilidade ambiental.

Mais especificamente, este trabalho utilizará os dados da matriz de insumo-produto de 2017 do NEREUS USP para calibrar o modelo de Siqueira (2024), criando um cenário

contrafactual da economia brasileira que incorpore a reciclagem no processo produtivo. Esse cenário será comparado ao cenário base, permitindo identificar os impactos dessa prática sobre as questões de interesse e alcançar cada um dos objetivos elencados anteriormente.

Essa pesquisa se justifica, primeiramente, pela urgência em compreender e abordar as ineficiências que atravessam a economia brasileira, mensurando os efeitos da má alocação de recursos sobre a produtividade agregada. O estudo também se justifica por sua inovação ao analisar os impactos da introdução da reciclagem no processo produtivo brasileiro. Além disso, a análise descritiva detalhada, realizada com os dados da matriz de insumo-produto, permitirá identificar padrões de alocação de recursos. Esse diagnóstico proporcionará uma visão clara da distribuição de recursos entre setores e agentes econômicos, evidenciando as ineficiências mais pronunciadas.

Por fim, é importante ressaltar que este estudo inova também por meio da abordagem adotada, que permite quantificar os potenciais ganhos de produtividade gerados pela adoção de práticas sustentáveis. Ao estabelecer uma base sólida para comparações significativas entre cenários, o trabalho contribui para a formulação de políticas públicas eficazes, promovendo um crescimento econômico sustentável e gerando ganhos de bem-estar social.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Solow (1956) discute por que diferentes países podem ter diferentes níveis de renda *per capita* e destaca o papel da acumulação de capital físico na explicação desse quadro. O autor aborda que diferenças nas taxas de poupança, crescimento populacional e progresso tecnológico explicam as variações nos níveis de capital dos países e que isso define sua renda. Para ele, elevadas taxas de poupança resultam em níveis mais altos de acumulação de capital, ocasionando o aumento da produção até que o estado estacionário seja alcançado, enquanto elevados índices de crescimento populacional podem impedir o alcance de elevados níveis de renda *per capita*.

Além disso, o trabalho de Solow (1957) evidencia que o crescimento da produção ao longo do tempo não se deve apenas ao aumento dos insumos, mas também a um “resíduo” que ele associa ao progresso tecnológico. Para o autor, o progresso tecnológico é um fator exógeno que aumenta a eficiência com que os fatores de produção são utilizados. Posteriormente, estudiosos se debruçaram sobre tal resíduo, Barro e Sala-i-Martin (2004), por exemplo, afirmam que como o progresso tecnológico não pode ser medido diretamente, ele é calculado indiretamente como um “resíduo”, e dessa forma, após estimar as contribuições do capital e do

trabalho para o crescimento, o que sobrar é atribuído ao progresso tecnológico. Assim, eles argumentam que essa “sobra” é conhecida como resíduo de Solow ou Produtividade Total dos Fatores(PTF).

Com o avanço das discussões sobre crescimento econômico, surgem novas nuances sobre as causas pelas quais algumas economias avançam mais que outras. Neste sentido, Lucas (1988) afirma que o modelo de crescimento de Solow não consegue explicar adequadamente as grandes diferenças de renda e crescimento econômico observadas entre países. Para o autor, as diferenças na acumulação de capital humano explicam melhor as disparidades do que as diferenças na acumulação de capital físico.

Diante desse quadro, objetivando o desenvolvimento de uma teoria mais robusta, que pudesse explicar melhor as disparidades econômicas em nível global, o referido autor desenvolveu uma abordagem alternativa incorporando o capital humano ao modelo de Solow, considerando-o como o nível geral de habilidade de um indivíduo. Dessa forma, a produção passaria a depender não apenas do capital físico e da força de trabalho efetiva, mas também do nível médio de habilidades presente na economia.

Mankiw, Romer e Weil (1992), por sua vez, exploram os efeitos da inclusão do capital humano no modelo de crescimento de Solow e como essa ampliação poderia melhorar a compreensão das diferenças de renda entre países. Os autores demonstram como a introdução da acumulação de capital humano ao modelo poderia alterar substancialmente o impacto estimado da acumulação de capital físico e do crescimento populacional na renda *per capita*. O modelo de Solow ampliado, representa uma contribuição significativa para a literatura de crescimento econômico, uma vez que apresenta uma compreensão mais abrangente das dinâmicas de crescimento econômico.

Posteriormente, Coe e Helpman (1995) desdobram seu trabalho a partir da teoria do desenvolvimento da produtividade impulsionada pela inovação, e defendem que a produtividade de um país não depende apenas do seu desenvolvimento em P&D doméstico, mas também do desenvolvimento de P&D dos seus parceiros comerciais. Os referidos autores determinam em qual nível de produtividade um país depende dos estoques de capital de P&D doméstica e estrangeira, e estimam os efeitos desses estoques de capital na PTF, destacando a relevância da interação com o comércio internacional e a P&D estrangeira. Ademais, esse trabalho apresenta-se como inovador por explicar o crescimento da PTF como um componente do crescimento do produto que não é atribuível à acumulação de insumos.

Klenow e Rodríguez-Clarence (1997) também debatem a relevância da produtividade e do capital físico e humano para explicar as diferenças de renda e dos níveis de crescimento

econômico dos países. Para os referidos autores, o capital físico e humano desempenha um papel relevante no aumento da produtividade e, por conseguinte, no crescimento econômico no longo prazo; no entanto, destacam que o crescimento da PTF é predominantemente responsável pela explicação das disparidades de renda internacional. Assim, os países que conseguem aumentar sua PTF de forma mais rápida e eficaz tendem a apresentar um crescimento econômico mais acelerado e, conseqüentemente, um nível mais alto de renda *per capita*.

Os autores demonstram também que existe uma elevada correlação entre os insumos e produtividade e mostram que a elevação no nível desses recursos está associada a ganhos significativos de eficiência e de produção. Assim, eles sugerem que investimentos em capital físico e humano são essenciais para elevar a produtividade e o crescimento econômico de uma nação.

Trazendo uma discussão focada na produtividade, mas inovando nas discussões associadas, Acemoglu et al. (2001) investigam as causas fundamentais das diferenças de renda entre países, mostrando o impacto das instituições no desenvolvimento econômico. Os autores apresentam como as condições iniciais de mortalidade enfrentadas pelos colonos europeus influenciaram as decisões de assentamento e, por conseguinte, a formação de instituições que se perpetuaram ao longo do tempo, justificando que essas instituições estão diretamente relacionadas aos níveis de produtividades atuais das economias. Eles também salientam a diferença entre colônias de assentamento e de extração, demonstrando como essas diferentes abordagens têm como resultado estruturas institucionais distintas e impactos de longo prazo variados. Ademais, os resultados encontrados pelos autores indicam que as instituições são um determinante essencial na explicação das disparidades de renda *per capita* entre nações e que aumentos substanciais nos níveis de renda *per capita* estão associados a melhorias nas instituições.

Ainda, para compreender por que existem diferenças de renda entre países, Restuccia e Rogerson (2008), além de considerarem a acumulação de capital físico e humano, ressaltam que também é importante compreender como esses recursos são distribuídos entre diferentes produtores. Os autores destacam que não apenas o total de recursos deve ser levado em conta, mas também como esses recursos são alocados e distribuídos entre unidades de produção heterogêneas. Para os referidos autores, políticas que alteram os preços relativos agregados distorcem os preços enfrentados por diferentes produtores, podendo influenciar a alocação de recursos e ter impactos substanciais na produção agregada e na PTF. Além disso, eles argumentam que mesmo em uma economia com tecnologias idênticas entre as unidades de produção, a má alocação de capital devido a distorções de políticas pode resultar em

significativas perdas de produtividade. Esse estudo se apresenta como inovador por trazer uma perspectiva diferente, ressaltando a relevância da alocação de recursos entre empresas na determinação da PTF e da produção agregada.

Nesta mesma linha de discussão, Hsieh e Klenow (2009) abordam as divergências de renda entre países analisando as grandes diferenças na produção por trabalhador, atribuídas em parte às diferenças na PTF. De acordo com Hsieh e Klenow (2009), a má alocação de recursos e as diferenças tecnológicas entre as unidades de produção podem ser fatores que ocasionam diferenças de produtividade. Eles estimam como a má alocação de recursos pode potencialmente reduzir a produtividade agregada de países como China e Índia, usando a produtividade dos Estados Unidos como parâmetro de comparação. Através dos resultados encontrados, os autores afirmam que alcançar a eficiência observada nos Estados Unidos poderia elevar significativamente a PTF das economias chinesa e indiana. Além disso, eles mostram como a deterioração da eficiência alocativa pode ter efeitos negativos na PTF ao longo do tempo, enquanto melhorias podem impulsionar o crescimento econômico.

Segundo Banerjee e Moll (2010), a má alocação de recursos é um fator intrínseco que contribui para o subdesenvolvimento, uma vez que a divisão ineficiente e o uso incorreto dos recursos disponíveis em países em desenvolvimento são conjunturas significativas que afetam a produtividade e o crescimento econômico. Os autores argumentam que a persistência da má alocação é atribuída, em grande parte, à ineficiência do mercado de ativos, onde as empresas bem-sucedidas enfrentam dificuldades para adquirir os ativos necessários para expansão, enquanto as empresas menos sucedidas continuam operando, já que a alternativa de reduzir e investir em mercados de ativos se mostra pouco atraente. Para eles, as empresas de alta produtividade acabam investindo menos do que o necessário em áreas essenciais que promovem o desenvolvimento.

Além disso, Banerjee e Moll (2010) levantam a uma discussão sobre ser ou não possível que a má alocação desapareça ao longo do tempo e como isso poderia acontecer. Os referidos autores desenvolvem uma nova abordagem para o estudo da má alocação de capital e distinguem duas formas: má alocação intensiva e extensiva. Para eles, enquanto a má alocação intensiva se concentra na eficiência relativa da utilização do capital entre agentes já ativos, a má alocação extensiva foca na exclusão de agentes do mercado devido à falta de recursos suficientes para iniciar ou manter operações econômicas viáveis.

A partir dessas definições, eles analisam se a má alocação desaparece ao longo do tempo e inferem que o desaparecimento depende da forma da função de produção e do tipo de má alocação considerada, sendo que a má alocação intensiva tende a desaparecer no longo prazo,

enquanto a má alocação extensiva pode persistir. Os autores sugerem que a menos que ocorra uma falha na convergência para um estado estacionário agregado ou variações significativas nas taxas de juros a longo do prazo, a má alocação intensiva tende a desaparecer rapidamente, uma vez que os agentes ajustam suas decisões de poupança e investimento ao longo do tempo para maximizar seus retornos e, dessa forma corrigindo a má alocação. Eles também apresentam que, com retornos crescentes locais pode-se observar que a má alocação extensiva pode persistir, podendo resultar em uma produção no estacionário que é substancialmente inferior à ótima.

Jones (2011) ressalta a importância da compreensão de como a má alocação de recursos afeta as disparidades de renda entre países. Ele argumenta que ineficiências na distribuição e utilização de recursos dentro das unidades produtivas podem resultar em um desempenho econômico agregado inferior, ou seja, a má alocação de recursos em nível microeconômico resulta em baixa produtividade no nível macroeconômico.

O autor afirma que é possível identificar ineficiências na distribuição de recursos mesmo analisando dados agregados e aborda como os insumos intermediários impactam a produtividade agregada da economia. Dessa forma, ele destaca a relevância dos insumos intermediários e os diferencia dos bens de capital:

“A primeira percepção que surge ao se pensar em bens intermediários é que eles são muito semelhantes ao capital. Na verdade, a única diferença entre bens intermediários e capital é uma questão de temporização de curto prazo: os bens intermediários podem ser instalados mais rapidamente do que o capital e “depreciam” totalmente durante o curso da produção, enquanto o capital leva um pouco mais de tempo para ser instalado e apenas parcialmente se deprecia durante a produção. Do ponto de vista do longo prazo — a perspectiva relevante na maior parte deste documento — os bens intermediários e o capital são essencialmente os mesmos. Em particular, ambos são fatores de produção produzidos. (Jones, 2010, p. 10)”.

Para analisar como os insumos intermediários contribuem para a produtividade agregada, ele desenvolveu um modelo para economias de insumo-produto com o foco em examinar como diferentes setores de uma economia interagem entre si através da produção e uso de insumos intermediários. O referido autor argumenta que a baixa produtividade agregada em uma economia pode ser explicada pela má alocação de bens intermediários em nível micro e demonstra que melhorar a alocação de recursos intermediários pode elevar significativamente a eficiência e a produtividade econômica. Esse trabalho se apresenta como inovador, pois estima o impacto da má alocação de bens intermediários na produtividade agregada através de um modelo de insumo-produto.

Restuccia (2013) destaca que os recursos podem não estar distribuídos de maneira eficiente entre as unidades de produção, o que resultaria em uma PTF mais baixa em países pobres. De acordo com o autor,

“nas economias ricas, está bem estabelecido que a realocação de fatores entre unidades produtivas explica uma grande parte do crescimento da produtividade ao longo do tempo. [...]. Segundo, é amplamente reconhecido que várias políticas e instituições prevalentes em países pobres podem distorcer a alocação de fatores entre unidades produtivas. Isso é o que a literatura geralmente se refere como *misallocation* (má alocação). (Restuccia, 2013, p. 2-3)”.

Diante da perspectiva de que as grandes diferenças na PTF são associadas à má alocação de recursos entre as firmas produtoras, Restuccia (2013) desenvolve um modelo simples de má alocação. O autor analisa como as diferenças de produtividade das unidades produtoras e as distorções na forma de impostos e subsídios podem afetar a alocação de recursos e a produtividade total. A partir de sua construção teórica e de sua análise empírica, ele mostra que em um mercado competitivo sem distorções, os estabelecimentos mais produtivos empregam mais trabalho e produzem mais; no entanto, quando as distorções são introduzidas, essa alocação é prejudicada, ocasionando ineficiências, onde estabelecimentos menos produtivos podem se tornar maiores devido a impostos menores ou subsídios maiores. Neste trabalho o autor conclui que a PTF é afetada de forma negativa pelas distorções, uma vez que a alocação eficiente de recursos passa a ser comprometida ao inserir os impostos/subsídios.

Restuccia e Rogerson (2013) argumentam que, para investigar as causas e os efeitos da má alocação, assim como sua influência na PTF em diferentes países, a literatura de crescimento econômico é dividida em duas principais abordagens: a direta e a indireta. Para eles,

“a essência da abordagem direta é escolher um (ou mais) fatores que se acredita serem fontes empiricamente importantes de má alocação, tentar obter medidas diretas desses fatores e, em seguida, usar um modelo de unidades de produção heterogêneas para avaliar quantitativamente em que medida esses fatores geram má alocação e impactam a PTF agregada. (Restuccia; Rogerson, 2013, p. 2)”.

De acordo com os referidos autores, a abordagem direta permite uma análise mais detalhada e específica das causas individuais de má alocação, objetivando compreender seu efeito quantitativo na economia agregada. Assim, eles destacam a presença de diversos estudos na literatura sobre como impostos específicos sobre propriedade e produção podem distorcer a alocação de recursos entre as unidades de produção, visando estimar numericamente como essas distorções afetam a eficiência econômica e a PTF agregada.

Restuccia e Rogerson (2013), descrevem que a abordagem direta tenta identificar fontes específicas de má alocação, mas destacam que é difícil medir diretamente todas fontes, o que limita a análise completa das contribuições dessas fontes para a má alocação. Diante desse cenário, os autores também descrevem a abordagem indireta como forma de analisar os efeitos da má alocação de recursos na economia. Para eles,

“o ponto de partida para a abordagem indireta é a observação de que quaisquer fatores que criem má alocação podem ser considerados como gerando lacunas nas condições de primeira ordem dos problemas de otimização dos estabelecimentos. Isso sugere que, para algumas questões, pode ser útil focar nas lacunas em vez da fonte subjacente das lacunas (Restuccia; Rogerson, 2013, p. 4)”.

Os autores evidenciam que a abordagem indireta utiliza uma perspectiva agregada para compreender o efeito das distorções na alocação de recursos, sem a necessidade de medir diretamente cada fator isolado que causa essas distorções. Além disso, eles ressaltam que as distorções além de criarem alocações ineficientes, também podem alterar a distribuição de produtividade, elevando os efeitos negativos. Assim, este trabalho se apresenta como importante por destacar a relevância de abordar distorções específicas que causam má alocação de recursos, objetivando melhorar a PTF agregada.

Moll (2014) aborda o problema da má alocação de recursos através da análise das perdas da PTF devido a fricções financeiras. Para o autor, fricções financeiras implicam que a alocação de recursos não é ideal e, além de dificultarem o acesso ao capital e ocasionarem a alocação ineficiente dos insumos produtivos, também resultam em perda de produtividade agregada. Dessa forma, ele desenvolve um modelo que permite uma análise mais direta das perdas da PTF devido a fricções financeiras. O autor utiliza uma função de produção agregada para modelar o PIB e calcula a PTF como uma média ponderada das produtividades individuais das firma, considerando flutuações aleatórias ao longo do tempo que possam afetar essa produtividade.

Além disso, Moll (2014) afirma que os choques de produtividade ao afetarem a produtividade das firmas influenciam diretamente o produto agregado da economia. Para ele, uma melhor alocação de capital impulsionada por menores fricções financeiras pode ampliar os efeitos produtivos dos choques de produtividade, elevando a PTF e, por conseguinte, o produto agregado da economia. O autor também argumenta que os níveis de produto no estado estacionário são determinados pela interação entre os choques de produtividade e a capacidade da economia de alocar os recursos de forma eficiente. Ainda, para ele, a persistência dos choques de produtividade é um fator intrínseco no estado estacionário, e estima como diferentes

níveis de persistência dos choques de produtividade afetam a PTF e o produto agregado. Destarte, o autor conclui que, ao adotar uma estrutura de autofinanciamento, as empresas podem evitar barreiras ocasionadas pelas fricções financeiras, permitindo uma melhor alocação de capital, onde os recursos são direcionados para as unidades mais produtivas.

Da-Rocha et al. (2016) adotam a abordagem indireta e argumentam que as diferenças na PTF são responsáveis pelas disparidades de renda entre países, e enfatizam que a má alocação de recursos desempenha um papel substancial nesse contexto. Para eles, a má alocação de recursos não apenas impacta a produtividade no período atual, mas também tem implicações para o crescimento econômico ao longo do tempo.

Os autores discutem os efeitos das distorções de políticas na alocação de recursos e seus impactos na produtividade agregada e no crescimento econômico, e exploram como diferentes níveis de distorções afetam a eficiência das unidades produtivas individualmente e a produtividade agregada. Assim, eles desenvolvem um modelo para analisar o impacto das distorções e conseguem quantificar os efeitos da má alocação de recursos sobre a PTF, o produto agregado e o PIB *per capita*, compreendendo os efeitos das distorções tanto no curto quanto no longo prazo. Outrossim, enfatizam a importância da distribuição de tamanho das unidades de produção, demonstrando como alterações nessas distribuições afetam as perdas da PTF agregada. Eles discutem como aumentos nas distorções de políticas reduzem a taxa de crescimento da produtividade, o tamanho médio dos estabelecimentos e a PTF agregada.

Ademais, comparando os estudos presentes na literatura de crescimento econômico, Da-Rocha et al. (2016) concluem que nos seus resultados as distorções têm impactos significativamente negativos sobre a PTF, sugerindo que políticas que geram distorções podem reduzir fortemente o desempenho econômico agregado, impactando a eficiência e a alocação de recursos. Este estudo se destaca por comparar seus resultados sobre os efeitos da má alocação com abordagens anteriores presentes na literatura de crescimento econômico.

Dias et al. (2016) investigam se a má alocação de recursos pode ter contribuído para o fraco desempenho econômico de alguns países do sul e periféricos da Europa antes da crise da Eurozona em 2009. Os autores analisam se houve mudanças na eficiência alocativa de Portugal no período de 1996 a 2001 e os impactos dessas mudanças na PTF e no crescimento do PIB. Para isso, eles empregam o modelo de Hsieh e Klenow (2009), expandindo-o para incluir os insumos intermediários. Através do modelo adaptado, os autores estimam os efeitos da má alocação na produtividade e no crescimento econômico, analisando não apenas a má alocação entre setores, mas dentro das indústrias, o que permite uma análise mais detalhada dos problemas enfrentados pela economia portuguesa.

Os referidos autores calculam os ganhos de realocação na economia portuguesa, especificamente focando nos efeitos de remover distorções que afetam a produtividade das empresas. Eles mostram que a produção bruta portuguesa poderia aumentar cerca de 28% em 2011 em relação aos níveis reais se as distorções fossem corrigidas, assim como no setor de serviços, que se elevaria cerca de 38% também em 2011. Os autores demonstram que, no período da amostra, os níveis eficientes de produção bruta da economia sem distorções aumentaram significativamente acima dos níveis reais, indicando que a deterioração na eficiência alocativa pode ter reduzido fortemente o crescimento econômico durante o período estudado. Assim, eles inferem que, se a economia portuguesa tivesse apresentado eficiência alocativa, a produção bruta e o valor agregado poderiam ter sido substancialmente maiores, ressaltando que a má alocação de recursos contribuiu para reduzir o crescimento anual do PIB em cerca de 1,3 pontos percentuais durante o período estudado.

García-Santana et al. (2016) estudam o crescimento econômico espanhol no período de 1994 a 2007 e sugerem que a má alocação de recursos dentro dos setores foi o principal problema que impediu um crescimento mais robusto da produtividade no país durante o período de expansão. De acordo com os autores, a economia espanhola cresceu a uma taxa média de 3,5% ano entre 1995 e 2007 e afirmam que esse crescimento foi baseado na acumulação de fatores em vez de ganhos de produtividade, resultando em uma queda de produtividade, uma vez que o crescimento anual da PTF espanhola foi de -0,7% em comparação aos Estados Unidos e a União Europeia, que apresentaram um crescimento de 0,6% e 0,4%, respectivamente. Segundo os autores, a má alocação de recursos foi identificada como a principal causa do baixo crescimento da produtividade, uma vez que eles encontram uma deterioração da eficiência alocativa entre os setores espanhóis.

Para ilustrar os efeitos da má alocação na economia da Espanha, os autores apresentam cenários contrafactuais, onde a alocação eficiente de recursos é mantida constante no nível de 1995. Eles calculam os ganhos potenciais de PTF através da comparação entre a PTF contrafactual e a PTF real. Dessa forma, os autores evidenciaram que a eficiência alocativa na Espanha diminuiu significativamente ao longo do período estudado, revelando que o crescimento da PTF teria sido substancialmente maior do que é observado na economia real se os recursos tivessem sido alocados de maneira mais eficiente.

Além disso, García-Santana et al. (2016) analisam as fontes específicas que contribuíram para a má alocação entre as unidades produtoras espanholas durante o período estudado, concentrando-se na análise das distorções nos retornos marginais dos fatores de produção e seus impactos na eficiência produtiva agregada. Para isso, eles utilizam o modelo

de Hsieh e Klenow (2009) e calculam os ganhos potenciais de PTF que poderiam ser alcançados se as distorções na alocação de recursos fossem eliminadas. Os autores estimam que tanto a distorção no capital quanto no trabalho são substanciais, já que, a distorção no capital é responsável por cerca de dois terços das perdas totais e a distorção no trabalho é responsável por cerca de um terço das perdas totais ocasionadas pela má alocação em 1995, enquanto a covariância entre elas tem um efeito quase insignificante.

Por fim, os autores também concluem que o aumento da má alocação foi observado em todo o território espanhol, sugerindo que o problema da alocação ineficiente é um fenômeno nacional e não está apenas restrito à algumas regiões específicas. Além disso, acrescentam que os setores que apresentam maior influência do setor público apresentam aumentos na má alocação duas vezes maiores do que os outros setores. Logo, esse trabalho se apresenta como inovador por utilizar diferentes métodos de decomposição e análise para compreender a produtividade e da eficiência alocativa, apresentando de forma detalhada os fatores que influenciam a alocação de recursos na economia da Espanha durante o período analisado de expansão econômica.

Schelkle (2017) menciona a complexidade de determinar se uma alocação de recursos é eficiente na prática e destaca a importância dos produtos marginais dos fatores na determinação da eficiência alocativa. Para o autor, os produtos marginais dos fatores de produção não são observáveis diretamente, tornando complexo o processo de medir quanto um acréscimo adicional de trabalho ou capital contribui para a produção. Diante desse quadro, ele afirma que é possível inferir restrições sobre a alocação de recursos através de observações dos produtos médios e outras variáveis, tornando possível determinar se a alocação de fatores é eficiente ou se há má alocação.

O autor concentra-se em medir a alocação eficiente através de pares de unidades de produção. Para isso, assume a condição de que as funções de produção das unidades sejam homogêneas em relação aos fatores de produção capital e trabalho e introduz cunhas de trabalho e de capital, que são exógenas e representam distorções na alocação de fatores. O autor considera que uma alocação de fatores é eficiente se as cunhas de trabalho e capital forem iguais a 1 para todos os pares se os valores dos produtos marginais não são equalizados se as cunhas não forem iguais a 1 para todos os pares.

Ademais, Schelkle (2017) introduz ao seu trabalho suposições adicionais que são fundamentais para calcular os ganhos potenciais de produção associados à eliminação da má alocação de fatores. Ele assume um modelo de equilíbrio e modela as unidades de produção usando funções Cobb-Douglas com parâmetros específicos que indicam as elasticidades de

produto do capital e do trabalho, estabelecendo limites superiores e inferiores para os ganhos potenciais de produção.

Por fim, ele aplica um teste para verificar se a alocação de capital e trabalho entre 473 indústrias manufatureiras dos Estados Unidos é eficiente. Para isso, o autor restringe a análise a dois cenários com características distintas e analisa os ganhos potenciais ocasionados pela realocação eficiente em ambos. Ele estabelece que o Cenário 1 indica quais conclusões podem ser derivadas dos dados analisados, utilizando apenas pressupostos básicos sobre as funções de produção, sem imposição de restrições adicionais, enquanto o Cenário 2 indica uma tentativa de balancear a generalidade das suposições com as crenças prévias sobre as elasticidades de produção. De acordo com o autor, o teste realizado mostrou que há má alocação dos fatores entre as indústrias estudadas, já que a maioria dos pares de indústrias dos dois cenários foi observada na área de rejeição do teste. Em relação aos ganhos potenciais de produtividade, ele evidencia que, em ambos os cenários, o limite inferior estimado foi cerca de 22% da produção total, enquanto o limite superior no Cenário 1 foi cerca de 1541% e, no Cenário 2, cerca de 64%. Esse trabalho apresenta-se como importante por desenvolver um novo teste para verificar se a alocação de fatores é eficiente e por estabelecer limites para os ganhos potenciais de produção que poderiam ser alcançados por meio de uma realocação eficiente dos fatores.

Vasconcelos (2017) afirma que a má alocação de recursos é um fator importante que pode explicar as diferenças na PTF entre países. O autor constata a existência de má alocação de recursos no nível das empresas no setor manufatureiro brasileiro, utilizando uma abordagem similar à de Hsieh e Klenow (2009), tomando como parâmetro a eficiência alocativa dos Estados Unidos. Ele sugere que variações na alocação agregada de insumos podem ser resultado da má alocação em empresas de baixa tecnologia e constata um crescimento na quantidade de empresas com baixa PTF no Brasil ao longo dos anos.

O autor argumenta que a má alocação diminuiu entre 1996 e 2005 e se elevou nos anos seguintes, sendo 2005 o ano com maior eficiência alocativa. Ele destaca que a melhora no desempenho brasileiro advém dos benefícios da consolidação macroeconômica e das políticas prudentes, mas que uma crise de corrupção em 2005 e a falta de reformas estruturais podem ter levado ao aumento da má alocação de recursos nos anos seguintes. Ele também calcula os efeitos da realocação ótima de recursos e estima que, se os insumos fossem realocados de forma eficiente dentro dos setores, haveria, em média, uma elevação de 110,0% no crescimento agregado do Brasil.

Além disso, Vasconcelos (2017) também analisa como crises econômicas subsequentes impactaram a PTF no setor manufatureiro brasileiro. Ele argumenta que as pequenas empresas

foram mais afetadas pelas crises e apresentaram um aumento na má alocação de insumos. Esse estudo apresenta-se como importante por fornecer uma análise detalhada da má alocação de recursos e seus determinantes no setor manufatureiro brasileiro, além de examinar os efeitos das crises econômicas.

Chen et al. (2021) também discutem a relação entre a má alocação de recursos e a baixa PTF em países em desenvolvimento. Os autores argumentam que os estudos anteriores mostram que as fricções financeiras podem ser uma fonte de má alocação; no entanto, elas têm efeitos relativamente pequenos na PTF agregada. Dessa forma, eles analisam a PTF de forma endógena e introduzem a possibilidade de as empresas investirem para melhorar sua produtividade.

Para o desenvolvimento desse estudo, os autores utilizam dados de empresas chinesas e analisam como as práticas de gestão afetam a produtividade. Eles examinam como a PTF está relacionada às práticas de gestão, usando a proporção de trabalhadores que são gerentes. Dessa forma, eles estimam que, em média, empresas com gerentes contratados apresentam PTF 29,1% maior do que as sem gerentes contratados e que empresas com maiores proporções de gerentes tendem a ter um aumento de 0,7% na PTF. Eles também argumentam que as empresas que enfrentam condições de crédito mais restritivas acabam investindo menos recursos em gestão e, por conseguinte, têm a PTF mais baixa.

Para estimar como as empresas lidam com a persistência das restrições de colateral, Chen et al. (2021) comparam dois modelos, um com a PTF endógena e outro com a PTF exógena, baseando-se na metodologia utilizada nos trabalhos de Buera et al. (2011) e Midrigan e Xu (2014), calibrando-os para corresponderem ao mesmo conjunto de dados. De acordo com os autores,

“a endogeneização da TFP da empresa aumenta quantitativamente a persistência das restrições de colateral. Com a TFP exógena, o canal de autofinanciamento significa que a persistência das restrições de colateral é curta, à medida que as empresas acumulam ativos para expandir seu tamanho até que possam operar em sua escala sem restrições. No entanto, no contexto de TFP endógena, o mecanismo de autofinanciamento é parcialmente compensado: À medida que as empresas acumulam mais ativos e crescem, elas também fazem mudanças que aumentam sua TFP, elevando seu produto marginal do capital (Chen; Habib; Zhu, 2021, p. 15)”.

Para os autores, devido à maior persistência das restrições de colateral, em comparação com os resultados do modelo exógeno, os resultados da endogenização da PTF mostram que empresas de todos os tamanhos estão mais propensas a enfrentar limitações financeiras. Além disso, eles estimam que, ao tornar a PTF endógena, há um aumento de quase duas vezes no efeito de uma restrição de colateral, já que, ao eliminar as restrições de colateral no modelo endógeno, a PTF agregada se eleva em 19,9%, enquanto no modelo exógeno aumenta apenas 10,1%. Esse

trabalho apresenta-se como relevante por abordar a PTF de forma endógena no modelo de restrição de colateral, mostrando um impacto maior e mais persistente das restrições financeiras sobre as empresas com a endogenização.

Barros Jr. et al. (2023) abordam como a má alocação de talentos pode ser um obstáculo para o crescimento econômico brasileiro e analisam seus efeitos nas ocupações de professores e sua contribuição para a formação de capital humano. Os autores constroem um modelo de equilíbrio geral baseado na metodologia desenvolvida por Hsieh et al. (2019) e estimam que, devido às menores barreiras nos mercados de trabalho e educacional nos estados menos desenvolvidos, em média, os professores recebem salários relativamente mais altos do que nos estados de alta renda.

Para estimar os impactos das fricções na economia, os autores assumem que todos os estados brasileiros têm as mesmas fricções que Roraima, que possui o maior Capital Humano de Professores Médio do país. Nesse cenário, o PIB brasileiro aumentaria em 87,85%. Por outro lado, se todas as fricções fossem eliminadas, o PIB cresceria apenas 16,94%. Além disso, eles destacam a existência de convergência absoluta de renda entre os estados de 2003 a 2015 e observam que, durante esse período, a redução das fricções no mercado educacional e o aumento da PTF resultaram em um aumento relativamente alto nos níveis de renda dos estados de baixa renda, enquanto os estados de alta renda tiveram taxas de crescimento mais lentas. Eles também mencionam que o setor agrícola apresentou os maiores níveis de redução de fricções, o que pode ser atribuído ao aumento da escolaridade média dos trabalhadores agrícolas.

Por fim, o trabalho de Barros Jr. et al. (2023) apresenta-se como inovador ao abordar os efeitos das fricções nos mercados de educação e trabalho, além de destacar a contribuição fundamental dos professores no desempenho econômico brasileiro, demonstrando que tornar a profissão de ensino mais atraente pode resultar em um aumento do PIB.

### **3 METODOLOGIA**

Para mensurar os efeitos da má alocação sobre as perdas de produtividade agregada e renda, este estudo utiliza um modelo de crescimento econômico com preocupações ambientais desenvolvido por Siqueira (2024). O autor adapta o modelo de crescimento econômico em economias de insumo-produto originalmente proposto por Jones (2013), que inova ao introduzir uma estrutura algébrica voltada para a análise do crescimento econômico com base em dados intersetoriais. Nesse sentido, este estudo amplia as contribuições ao expandir tal estrutura para

incorporar as escolhas das famílias, integrando elementos dos modelos de crescimento econômico neoclássico, o que permite discutir as implicações de bem-estar. Todavia, a principal extensão da modelagem de Siqueira (2024) é a ideia de como a reutilização de bens de consumo intermediário afeta a produtividade, a renda e até mesmo a sustentabilidade ambiental.

Para discutir os resultados de como mudanças na reutilização de bens intermediários impactam questões relacionadas à produtividade agregada (PTF), renda e sustentabilidade ambiental, utilizou-se o modelo de Siqueira (2024) para simular cenários em que os bens de consumo intermediário são melhor aproveitados na cadeia produtiva dos produtos finais. Foram utilizados dados da matriz de insumo-produto referente ao ano de 2017, elaborada pelo NEREUS-USP (Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo) com base em informações do IBGE, para calibrar o modelo e ajustá-lo de forma a refletir coerentemente os valores da economia brasileira no referido ano.

Uma importante hipótese assumida é que a economia brasileira se encontrava em estado estacionário no ano de 2017 e que choques de produtividade, especificamente oriundos da reutilização de bens de consumo intermediário, são capazes de levá-la a uma trajetória de crescimento de longo prazo até atingir um novo estado de equilíbrio. A partir dessa suposição, será construído um cenário contrafactual em que a reciclagem é integrada ao processo produtivo, ou seja, a economia será submetida a um choque de produtividade derivado da reutilização de bens de consumo intermediário provenientes da reciclagem.

Com isso, será possível realizar uma análise comparativa entre o cenário observado e o contrafactual, permitindo quantificar os ganhos econômicos, de produtividade e, potencialmente, ambientais associados à introdução da reciclagem no sistema econômico.

### 3.1 MODELO TEÓRICO

O modelo teórico aqui desenvolvido segue uma estrutura padrão dos modelos neoclássicos de crescimento econômico sem governo, onde famílias maximizam suas utilidades intertemporais e as firmas atuam em mercados competitivos e são maximizadoras de lucro.

#### 3.1.1 Família Representativa

As famílias são descritas por meio de uma família representativa, que maximiza sua função utilidade, sujeita a uma restrição orçamentária:

$$U = \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t [\ln(C_t) + \phi * \ln(1 - L_t)] \quad (1)$$

$$C_t + K_{t+1} - (1 - \delta) * K_t = w_t * L_t + r_t * K_t \quad (2)$$

Onde  $\beta$  representa o fator de desconto intertemporal,  $\phi$  pondera a importância relativa do lazer. O consumo e o trabalho são representados, respectivamente, por  $C_t$  e  $L_t$ . Enquanto, o estoque de capital, o salário, o retorno do capital e taxa de depreciação são representados, representados por  $K_t$ ,  $w_t$ ,  $r_t$  e  $\delta$ , respectivamente.

A partir do problema das famílias é possível derivar as escolhas ótimas de consumo e oferta de trabalho, como segue:

$$C_{t+1} = [\beta * ((1 - \delta) + r_{t+1})] * C_t \quad (3)$$

$$L_t = 1 - \frac{\phi * C_t}{w_t} \quad (4)$$

### 3.1.2 Firma Representativa

Inspirado no modelo desenvolvido por Jones (2013), este modelo incorpora a ideia de que a produção utiliza capital  $K_t$ , trabalho  $L_t$  e bens intermediários  $X_t$ . Assim, a firma representativa busca maximizar seu lucro escolhendo as demandas por  $K_t$  e  $L_t$ , além de determinar qual parcela da produção será destinada a bens intermediários que serão utilizados no próximo período para produção.

Dessa forma, é possível definir que a produção total  $Q_t$  (equação 5) pode ser destinada ao consumo, ao investimento ou estocada como bens intermediários para ser usada no processo produtivo do próximo período. Dessa forma, assumindo que uma fração constante da produção  $\bar{x} * Q_t$  é utilizado na produção de bens intermediários (equação 6), temos:

$$Q_t = \bar{A} * (K_t^\alpha * L_t^{1-\alpha})^{1-\theta} * X_t^\theta \quad (5)$$

$$X_{t+1} = \bar{x} * Q_t = \bar{x} * \bar{A} * (K_t^\alpha * L_t^{1-\alpha})^{1-\theta} * X_t^\theta \quad (6)$$

Onde  $\alpha$  e  $\theta$  representam, respectivamente, a participação do capital e dos bens intermediários na produção total. É válido destacar que para a produção total,  $\bar{A}$  representa um parâmetro tecnológico e  $X_t$  a demanda por bens intermediários empregados no processo produtivo.

Neste contexto, partindo das equações (5) e (6) pode-se definir o produto da economia como sendo:

$$Y_t = (1 - \bar{x}) * Q_t = (1 - \bar{x}) * \bar{A} * (K_t^\alpha * L_t^{1-\alpha})^{1-\theta} * X_t^\theta \quad (7)$$

Assim, a equação (7) mostra que o Produto Interno Bruto – PIB representa a produção líquida do estoque de bens intermediários, ou seja, a parte da produção total disponível para consumo e investimento, após descontados os bens intermediários. Esta expressão é especialmente útil, uma vez que considerando o estado estacionário, onde não há crescimento econômico, é simples explicitar a solução do modelo, tanto para o PIB, quanto para a TFP, conforme segue:

$$Y_t = TFP * K_t^\alpha * L_t^{1-\alpha} \quad (8)$$

$$TFP = [\bar{A} * (1 - \bar{x})^{1-\theta} * (\bar{x})^\theta]^{\frac{1}{1-\theta}} \quad (9)$$

### 3.1.3 Equilíbrio Competitivo

No equilíbrio competitivo todos os mercados equilibram oferta e demanda, o que permite definir a solução do modelo acima apresentado, encontrando os vetores de preços e de quantidades. Vale destacar as principais equações que garantem o equilíbrio do modelo, ou seja, a relação entre produção total, uso de bens intermediários e produção líquida (PIB); lei do movimento de capitais; relação entre consumo, poupança e investimento; equilíbrio do mercado de trabalho; e retorno do capital.

$$Q_t = Y_t + X_{t+1} = \bar{x} * Q_t + (1 - \bar{x}) * Q_t \quad (10)$$

$$Y_t = PTF * K_t^\alpha * L_t^{1-\alpha} \quad (11)$$

$$TFP = [\bar{A} * (1 - \bar{x})^{1-\theta} * (\bar{x})^\theta]^{\frac{1}{1-\theta}} \quad (12)$$

Nas equações (10), (11) e (12), é definida a parcela da produção que é destinada aos bens intermediários que serão usados no próximo período e a parcela da produção que é destinada a bens e serviços finais que são utilizados para consumo e investimento no período atual, conforme:

$$Y_t = C_t + I_t \quad (13)$$

No que diz respeito ao investimento, ele será utilizado no processo de acumulação de capital. Nas equações a seguir será definida a função de investimento como uma fração da renda, bem como a lei de movimento de capitais.

$$I_t = \bar{s} * Y_t \quad (14)$$

$$K_{t+1} = I_t + (1 - \delta)K_t \quad (15)$$

$$K_{t+1} = \bar{s} * Y_t + (1 - \delta)K_t \quad (16)$$

Por fim, é válido apresentar as condições de equilíbrio dos mercados de trabalho e de capital. Nas equações (17), (18) e (19) são descritas as condições de oferta e demanda por trabalho, e o salário que iguala a produtividade marginal do trabalho. Já na equação (20) é apresentada a taxa de retorno do capital que iguala a produtividade marginal do capital.

$$L_t^d = \frac{(1 - \alpha) * (1 - \theta)}{(1 - \bar{x})} * \frac{Y_t}{w_t} \quad (17)$$

$$L_t^s = 1 - \frac{\phi * C_t}{w_t} \quad (18)$$

$$w_t^* = \frac{(1 - \alpha) * (1 - \theta)}{(1 - \bar{x})} * Y_t + \phi * C_t \quad (19)$$

$$r_t = \frac{\alpha * (1 - \theta)}{(1 - \bar{x})} * \frac{Y_t}{K_t} \quad (20)$$

### 3.1.4 Estado Estacionário

Partindo do pressuposto de que a economia está em estado estacionário, ou seja, não há crescimento econômico. É possível definir o estoque de capital de equilíbrio e as demais variáveis relevantes do modelo. Neste sentido, é importante destacar que todas as variáveis do modelo independem do tempo, quando a economia se encontra em estado estacionário. Dessa forma, a equação a seguir representam esta condição de estacionalidade.

$$Q_t = Q_{t+1} = Q = \bar{A} * (K^\alpha * L^{1-\alpha})^{1-\theta} * X^\theta \quad (21)$$

$$X_t = X_{t+1} = X = \bar{x} Q \quad (22)$$

$$Y_t = Y_{t+1} = Y = (1 - \bar{x}) * Q \quad (23)$$

$$Y = PTF * K^\alpha * L^{1-\alpha} \quad (24)$$

$$K = \bar{s} * Y + (1 - \delta) \quad (25)$$

$$C_{t+1} = C_t = C \quad (26)$$

$$C = (1 - \bar{s}) * Y \quad (27)$$

A partir das equações de estado estacionário, é possível definir o estoque de capital de equilíbrio e consequentemente a renda de equilíbrio e todas as demais variáveis do modelo. Assim, o estoque de capital de equilíbrio do estado estacionário é definido da seguinte forma:

$$K = \left(\frac{\bar{S}}{\delta}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} * (PTF)^{\frac{1}{1-\alpha}} * L \quad (28)$$

### 3.1.5 Reutilização de bens intermediários ou Reciclagem de Recursos

Como referido anteriormente o modelo teórico de Siqueira (2024) amplia as contribuições de Jones (2013) expandindo sua estrutura para incorporar as escolhas das famílias, ou seja, integrando elementos dos modelos de crescimento econômico neoclássico. Isto permite discutir implicações de bem-estar. No entanto, a principal Contribuição da modelagem de Siqueira (2024) é a ideia de como a reutilização de bens de consumo intermediário afeta a produtividade, a renda e até mesmo a sustentabilidade ambiental. Neste sentido, foram inseridas condições estruturais a partir das equações (29) a (32) para que fosse possível capturar as condições em que os recursos poderiam ser reutilizados, bem como definir o mecanismo pelo qual essa reutilização impacta a TFP, o estoque de capital e as demais variáveis do modelo.

Nestes termos, o estoque de bens intermediários do próximo período ( $X_{t+1}$ ) é composta pela parcela da produção no total do período atual ( $Q_t$ ) que será destinada aos bens intermediários que serão usados na produção do próximo período, adicionando os recursos reciclados ( $R_t$ ).

Logo:

$$X_{t+1} = \bar{x}Q_t + R_{t+1} \quad (29)$$

Já no que diz respeito a quantidade de recursos que podem ser reutilizados no próximo período ( $R_{t+1}$ ), é feita uma suposição simplificadora de que uma parcela do que foi produzido no período atual poderá ser reutilizado como bem intermediário no próximo período. Assim, é possível definir ( $R_{t+1}$ ) da seguinte forma:

$$R_{t+1} = \eta * Q_t \quad (30)$$

Onde  $\eta \in (0,1)$  representa a taxa de reutilização de recursos ou taxa de reciclagem. Note que a equação (30) mostra que a reciclagem depende dos bens produzidos no período atual, portanto, um valor maior de  $\eta$  indica que uma maior parcela da produção pode ser reciclada.

Neste contexto, é fácil mostrar que a possibilidade de reutilização de recursos produzidos no tempo  $t$  como bens intermediários em  $t + 1$  impacta explicitamente a produtividade total dos fatores, ampliando a produtividade da economia. Assim, a reutilização de recursos, como por exemplo, através da reciclagem modifica a estrutura da TFP, conforme descrito na equação (31) a seguir.

$$TFP = [\bar{A} * (1 - \bar{x})^{1-\theta} * (\eta + \bar{x})^\theta]^{\frac{1}{1-\theta}} \quad (31)$$

Uma implicação da equação (31) é que o aumento da produtividade causa um ciclo virtuoso na economia, sendo capaz de gerar um processo de crescimento a partir do aumento do estoque de capital, conforme pode ser visto a partir da equação (28). Além disso, o aumento do estoque de capital vai ocasionar um aumento de renda, consumo, investimento e bem-estar, por exemplo. Ou seja, um choque de produtividade advinda da reutilização de recursos leva a economia a uma nova trajetória de crescimento até que haja uma nova convergência para o novo estado estacionário em patamares maiores de renda e das demais variáveis macroeconômicas.

Adicionalmente, incorporando a hipótese de que a reutilização de recursos pode ser poupadora de meio ambiente, é possível calcular como esse processo de reutilização diminui a necessidade de extração de recursos naturais, tornando a economia mais sustentável, sem que seja necessário renunciar a um aumento renda ou a um processo de crescimento econômico. Assim, a equação (32) mostra como quantificar a extração de recursos ambientais ( $E_t$ ) e como essa extração é minimizada pela reutilização de recursos.

$$E_t = \lambda * Q_t - \sigma * R_t \quad (32)$$

Onde  $\lambda$  e  $\sigma$  representam, respectivamente, a taxa de extração de recursos por unidade de produção e a eficiência da reciclagem na redução da extração de recursos.

### 3.2 CALIBRAGEM DO MODELO

A partir do modelo descrito acima serão utilizados dados da matriz de insumo-produto referente ao ano de 2017, construída pelo NEREUS-USP (Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo) a partir de dados do IBGE, para inserir os parâmetros

fixos e definir variáveis exógenas, de forma a capturar o cenário da economia brasileira. Após esta etapa, serão aferidos os resultados e a acurácia do modelo. Em seguida, será inserido o choque de produtividade descrito nas equações 42 e 43 para que seja possível construir o cenário contrafactual e realizadas as análises comparativas. Por fim, serão construídas as discussões que levaram ao cumprimento dos objetivos anteriormente apresentados.

**Quadro 1 – Parâmetros do Modelo**

| <b>Nome da Variável</b>                                | <b>Variável no Modelo</b> | <b>Fontes dos Dados</b>           | <b>Cálculo / Identificação</b>                                                  | <b>Valores em razão do PIB</b> |
|--------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Taxa de desconto intertemporal                         | $\beta$                   | Literatura                        | -                                                                               | 0.917636                       |
| Preferência pelo Lazer                                 | $\Phi$                    | Matriz de Insumo-Produto (NEREUS) | Calculado pela equação 19                                                       | 0.000000                       |
| Depreciação do Capital                                 | $\delta$                  | Literatura                        | -                                                                               | 0.050000                       |
| Participação do capital no PIB                         | $\alpha$                  | Matriz de Insumo-Produto (NEREUS) | Relação entre renda do capital e PIB                                            | 0.484904                       |
| Participação dos bens intermediários na Produção Total | $\Theta$                  | Matriz de Insumo-Produto (NEREUS) | Média da Relação entre consumo intermediário e Produção total entre 2014 e 2018 | 0.496114                       |

|                                                        |           |                                   |                                                |          |
|--------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------|------------------------------------------------|----------|
| Despesa com bens intermediários na Produção Total      | $\bar{x}$ | Matriz de Insumo-Produto (NEREUS) | Relação entre consumo intermediário e Produção | 0.485420 |
| Parâmetro Tecnológico                                  | $\bar{A}$ | -                                 | -                                              | 1.483655 |
| Taxa de Poupança                                       | $\bar{s}$ | Matriz de Insumo-Produto (NEREUS) | Relação entre a Investimento e PIB             | 0.169877 |
| Fração potencial de Recursos Reutilizáveis             | H         | -                                 | -                                              | 0.000000 |
| Fração de recursos extraídos para o processo produtivo | $\lambda$ | -                                 | -                                              | 0.100000 |
| Eficiência da reciclagem na poupança ambiental         | $\sigma$  | -                                 | -                                              | 0.200000 |

Fonte: A autora, 2024.

### Quadro 2 – Variáveis

| Nome da Variável      | Variável no Modelo | Fontes dos Dados                  | Cálculo / Identificação      |
|-----------------------|--------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Produção Total        | $Q$                | Matriz de Insumo-Produto (NEREUS) | Valor da Produção            |
| Produto Interno Bruto | $Y$                | Matriz de Insumo-Produto (NEREUS) | Valor Adicionado Bruto (PIB) |

|                                     |     |                                   |                                                                     |
|-------------------------------------|-----|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Consumo Intermediário               | $X$ | Matriz de Insumo-Produto (NEREUS) | Diferença entre o Valor da Produção e o Valor Adicionado Bruto      |
| Investimento                        | $I$ | Matriz de Insumo-Produto (NEREUS) | Soma da formação bruta de Capital fixo com a Variação de estoques   |
| Consumo de bens finais              | $C$ | Matriz de Insumo-Produto (NEREUS) | Diferença entre o PIB e o Investimento                              |
| Trabalho                            | $L$ | -                                 | Calculado a partir da equação 17                                    |
| Capital                             | $K$ | -                                 | Calculado a partir da equação 28 e pela lei de movimento do capital |
| Salários                            | $w$ | Matriz de Insumo-Produto (NEREUS) | Relação entre a Remuneração do trabalho e o PIB                     |
| Retorno sobre o Capital             | $r$ | -                                 | Calculado a partir da Equação 20                                    |
| Reciclagem/Reutilização de Recursos | $R$ | -                                 | Calculado a partir da Equação 30                                    |

|                                 |     |   |                                  |
|---------------------------------|-----|---|----------------------------------|
| Extração de Recursos Ambientais | $E$ | - | Calculado a partir da Equação 32 |
|---------------------------------|-----|---|----------------------------------|

**Fonte:** A autora, 2024.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao iniciar a apresentação e a discussão dos resultados, cabe lembrar que o principal objetivo desta monografia é identificar a magnitude da perda de produtividade que está associada a má alocação de recursos na economia brasileira. Para tanto, conforme descrito na metodologia, foi utilizado o modelo desenvolvido por Siqueira (2024) a fim de replicar os dados da economia brasileira a partir da estrutura do modelo teórico e simular situações alternativas em que os recursos fossem mais bem alocados. Inicialmente, são feitas suposições de que a economia se encontra em estado estacionário e que existe desperdício de recursos, por não existir uma prática de reutilização de bens de consumo intermediários.

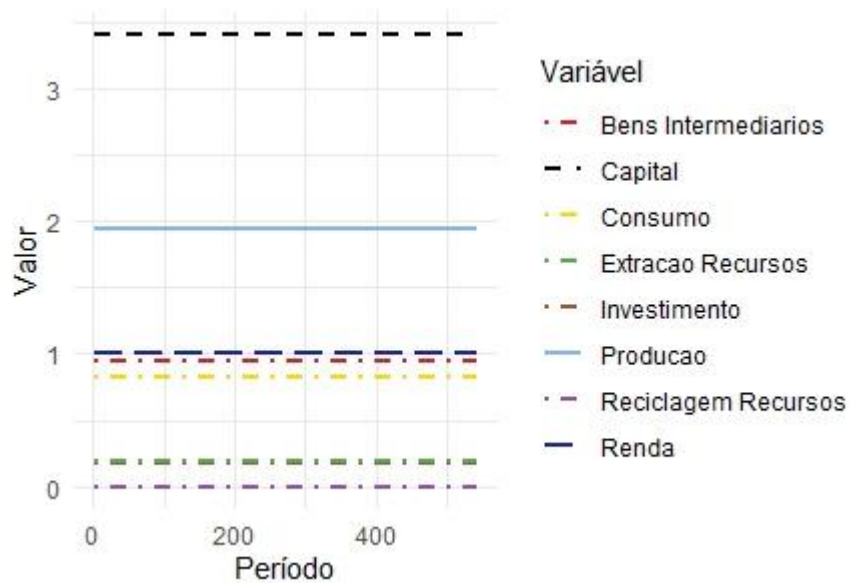
Neste sentido, este estudo avalia como um choque de reciclagem afeta a economia brasileira, explorando os efeitos sobre as principais variáveis macroeconômicas, a sustentabilidade ambiental e sobre os ganhos de produtividade. Ao integrar a reciclagem de insumos intermediários ao processo produtivo, é possível não apenas mitigar impactos ambientais, mas também gerar ganhos econômicos significativos, especialmente em termos de produtividade e eficiência. Para alcançar os objetivos propostos, são realizadas duas simulações com taxas de reciclagem fixadas em 5% e 10% da produção total da economia brasileira. Cada cenário contrafactual é comparado ao estado estacionário inicial, destacando as variações percentuais e os efeitos da reciclagem no curto, médio e longo prazo, ou seja, até que a economia alcance um novo estado estacionário.

Os resultados apresentados na tabela 1 e ilustrados no gráfico 1 mostram que a calibragem do modelo foi bem-sucedida, ou seja, os resultados do modelo replicam com alta precisão a economia brasileira no ano base (2017). Utilizando dados da matriz de insumo-produto para o referido ano, é possível perceber que as variáveis do modelo e os dados da economia real se igualam em todas as variáveis que são possíveis de serem extraídas da matriz. Além disso, os valores calculados para a TFP e para o Estoque de Capital estão fortemente alinhados com dados encontrados na literatura.

**Tabela 1-** Ajuste do Modelo.

| Variável              | Modelo  | Economia Brasileira (ano base) | Fonte                   |
|-----------------------|---------|--------------------------------|-------------------------|
| Renda                 | 1       | 1                              | MIP 2017                |
| Produção              | 1,94335 | 1,94335                        | MIP 2017                |
| Consumo Intermediário | 0,94333 | 0,94333                        | MIP 2017                |
| Consumo Final         | 0,83012 | 0,83012                        | MIP 2017                |
| Investimento          | 0,16988 | 0,16988                        | MIP 2017                |
| Capital               | 3,39755 | 3,70110                        | Literatura <sup>1</sup> |
| Trabalho              | 1       | 1                              | MIP 2017                |
| TFP                   | 0,55263 | 0,55300                        | Literatura <sup>2</sup> |

**Fonte:** A autora, 2024.

**Gráfico 1 -** Ajuste do modelo em estado estacionário.

**Fonte:** A autora, 2024.

No que se refere a TFP, esta variável identifica quanto do potencial produtivo o país está alcançando. Assim, é possível identificar com o modelo de Siqueira (2024) que o Brasil

<sup>1</sup> Freitas (2015): A desoneração da folha de pagamentos: Uma aplicação do modelo de gerações sobrepostas para o Brasil. 2015. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco.

<sup>2</sup> Vasconcelos (2017): Misallocation in the Brazilian manufacturing sector. Brazilian Review of Econometrics, v.32, n. 2, p. 191–232 2017.

alcança apenas 55,26% do seu potencial produtivo. Tal resultado está alinhado ao encontrado por Vasconcelos (2017), quando o autor calcula a TFP da economia brasileira em nível setorial. De acordo com o autor, a perda produtiva do país é extremamente significativa, uma vez que o país poderia ter um ganho de TFP de aproximadamente 80,9%, caso conseguisse sanar todos os seus problemas alocativos.

O resultado aqui encontrado, apesar de impactante, é inferior ao mostrado por Vasconcelos (2017) com dados em nível de firma. Em seu estudo, o autor calcula a TFP com dados setoriais e em nível de firma. Conforme destacado anteriormente, o nível de eficiência alocativa encontrada para dados em nível de setor pelo autor foi de 55,3%, o que permitiria um ganho de 80,83%. Todavia, ao mensurar a TFP em nível de empresa, Vasconcelos (2017) afirma que seria possível mais que dobrar a produtividade da economia brasileira, ou seja, ter um ganho de mais de 100% de produtividade.

Tanto os resultados encontrados por Vasconcelos (2017), quanto os resultados da análise aqui realizada, apontam para uma perda de produtividade significativamente alta na economia brasileira. Esse cenário mostra que seria possível quase dobrar ou até mesmo mais que dobrar a renda da economia do país apenas resolvendo os problemas de alocação de recursos. Todavia, resolver os problemas alocativos de um país não é tarefa trivial e requer identificar as fontes de perdas de produtividade.

A revisão da literatura descrita neste trabalho aponta para fatores como má alocação do capital, má alocação de talentos, má alocação do crédito entre outros. No entanto, apesar de explorar diversas causas e até causas difusas para a má alocação, não existem estudos que verifiquem como a reutilização de recursos pode impactar a TFP. Assim, este trabalho torna-se inovador ao inserir um sistema de reciclagem que permite capturar o efeito da reutilização de recursos sobre a TFP e os potenciais ganhos para a economia brasileira.

A seguir, serão discutidas as simulações descritas acima, ou seja, a simulação de como seria a economia brasileira caso mantivesse uma prática de reciclar 5 ou 10% de tudo que produz e utilizasse esses bens como insumos intermediários. Os resultados dessas simulações mostram um caminho para aumentar a produtividade e identificam uma forma de manter o crescimento econômico de longo prazo preservando a sustentabilidade ambiental. Além disso, pode-se também pensar que os resultados abaixo descritos serão capazes de orientar como seria possível preservar o meio ambiente sem que para isso seja necessário abdicar de renda e bem-estar econômico.

#### 4.1 PRIMEIRA SIMULAÇÃO

A primeira simulação parte do cenário contrafactual em que a reciclagem é introduzida na economia brasileira com uma taxa fixa de 5% da produção total, permitindo o reaproveitamento de bens como insumo intermediários na produção e reduzindo a dependência de recursos extraídos da natureza. Os dados apresentados na Tabela 2 correspondem aos primeiros anos após a introdução do choque de reciclagem na economia, partindo de um estado estacionário inicial.

**Tabela 2** - Impacto do choque no curto prazo na primeira simulação.

| Ano                   | Variáveis       |        |        |        |        |        |            |     |        |
|-----------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|-----|--------|
|                       | Macroeconômicas |        |        |        |        |        | Ambientais |     |        |
|                       | Q               | Y      | C      | I      | K      | X      | R          | R/Q | E      |
| 0                     | 1,9433          | 1,0000 | 0,8301 | 0,1699 | 3,3975 | 0,9433 | 0,0000     | 5   | 0,1943 |
| 1                     | 2,1403          | 1,1013 | 0,8301 | 0,1871 | 3,3975 | 1,0389 | 0,0000     | 5   | 0,2140 |
| 2                     | 2,1455          | 1,1040 | 0,9398 | 0,1876 | 3,4148 | 1,1485 | 0,1070     | 5   | 0,1931 |
| 3                     | 2,1506          | 1,1067 | 0,9414 | 0,1880 | 3,4316 | 1,1512 | 0,1073     | 5   | 0,1936 |
| 4                     | 2,1556          | 1,1092 | 0,9429 | 0,1884 | 3,4480 | 1,1539 | 0,1075     | 5   | 0,1941 |
| 5                     | 2,1605          | 1,1117 | 0,9444 | 0,1889 | 3,4640 | 1,1565 | 0,1078     | 5   | 0,1945 |
| Impacto da Reciclagem | 11,17           | 11,17  | 13,77  | 11,17  | 1,96   | 22,60  | Inf.       | 5   | 0,08   |

**Fonte:** A autora, 2024.

Nos primeiros cinco anos, a reciclagem impulsiona um aumento de 11,17% na produção total, que pode ser destinada ao investimento, ao consumo ou estocada para os próximos anos. O investimento também apresenta uma variação de 11,17% e está alinhado ao aumento da produção, indicando que a parcela dos ganhos reinvestida para reforçar o potencial de crescimento econômico de longo prazo. A renda também apresenta um crescimento acumulado de 11,17%, e o consumo um aumento de 13,77%.

No que se refere aos insumos intermediários, é possível notar que o crescimento é mais acelerado que as demais variáveis, a disponibilidade desses recursos tem um aumento de 22,60%. Tal fato é esperado, uma vez que esse é o canal canalizador dos efeitos diretos da reciclagem sobre a produção. Assim, fica demonstrado que o processo de reciclagem eleva a capacidade produtiva, gerando mais insumos para sustentar a expansão da produção total.

Além disso, o crescimento acumulado de 1,96% no estoque de capital sugere que os ganhos de produtividade tornam desnecessário um aumento proporcional no acúmulo de capital físico. Também é possível notar que a extração de recursos apresenta um pequeno aumento de

0,08%, mesmo diante do crescimento da produção total bastante acentuado, o que indica que a reciclagem é capaz de proteger o meio ambiente, através de uma menor necessidade de extração de recursos naturais.

A Tabela 3 apresenta a evolução das variáveis ao longo de 20 anos, refletindo os efeitos de médio prazo do choque. Durante esse período, a produção apresentou um aumento de 14,23%, com a renda seguindo o mesmo ritmo de crescimento. Esse comportamento sugere que a reciclagem de insumos intermediários não apenas melhora a eficiência produtiva, mas também mantém uma trajetória de crescimento sustentável no médio prazo.

**Tabela 3** - Impactos do choque no médio prazo na primeira simulação.

| Ano                   | Variáveis       |        |        |        |        |        |            |     |        |
|-----------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|-----|--------|
|                       | Macroeconômicas |        |        |        |        |        | Ambientais |     |        |
|                       | Q               | Y      | C      | I      | K      | X      | R          | R/Q | E      |
| 0                     | 1,9433          | 1,0000 | 0,8301 | 0,1699 | 3,3975 | 0,9433 | 0,0000     | 5   | 0,1943 |
| 1                     | 2,1403          | 1,1013 | 0,8301 | 0,1871 | 3,3975 | 1,0389 | 0,0000     | 5   | 0,2140 |
| 2                     | 2,1455          | 1,1040 | 0,9398 | 0,1876 | 3,4148 | 1,1485 | 0,1070     | 5   | 0,1931 |
| 3                     | 2,1506          | 1,1067 | 0,9414 | 0,1880 | 3,4316 | 1,1512 | 0,1073     | 5   | 0,1936 |
| 4                     | 2,1556          | 1,1092 | 0,9429 | 0,1884 | 3,4480 | 1,1539 | 0,1075     | 5   | 0,1941 |
| 5                     | 2,1605          | 1,1117 | 0,9444 | 0,1889 | 3,4640 | 1,1565 | 0,1078     | 5   | 0,1945 |
| .                     | .               | .      | .      | .      | .      | .      | .          | .   | .      |
| .                     | .               | .      | .      | .      | .      | .      | .          | .   | .      |
| .                     | .               | .      | .      | .      | .      | .      | .          | .   | .      |
| 16                    | 2,2063          | 1,1353 | 0,9586 | 0,1929 | 3,6172 | 1,1811 | 0,1101     | 5   | 2,2063 |
| 17                    | 2,2098          | 1,1371 | 0,9597 | 0,1932 | 3,6292 | 1,1830 | 0,1103     | 5   | 2,2098 |
| 18                    | 2,2133          | 1,1389 | 0,9607 | 0,1935 | 3,6409 | 1,1849 | 0,1105     | 5   | 2,2133 |
| 19                    | 2,2166          | 1,1406 | 0,9618 | 0,1938 | 3,6523 | 1,1867 | 0,1107     | 5   | 2,2166 |
| 20                    | 2,2199          | 1,1423 | 0,9628 | 0,1941 | 3,6635 | 1,1884 | 0,1108     | 5   | 2,2199 |
| Impacto da Reciclagem | 14,23           | 14,23  | 15,98  | 14,23  | 7,83   | 25,98  | Inf.       | 5   | 2,83   |

**Fonte:** A autora, 2024.

A trajetória do investimento também acompanha a produção, evidenciando que parte da renda gerada pelo choque é direcionada à expansão da capacidade produtiva. O estoque de capital continua crescendo de forma mais lenta, refletindo uma economia mais eficiente no uso de recursos. Por outro lado, a produção de bens intermediários apresenta um crescimento expressivo de 25,98%, guiado principalmente pela ampliação dos recursos reciclados (11,08%). Além disso, os níveis de extração de recursos crescem marginalmente de 0,1943 no estado estacionário (ano-base) para 2,2199 no vigésimo ano, representando uma variação de 2,83%. Essa variação é significativamente inferior ao aumento de 14,23% na produção, evidenciando

novamente que a reciclagem contribui para o crescimento econômico sem exigir uma ampliação brusca na extração de recursos naturais.

A Tabela 4, a seguir, apresenta os resultados de longo prazo, evidenciando a trajetória das variáveis ao longo de 100 anos. Neste intervalo de tempo a produção registra uma variação de 19,82%, refletindo uma economia em expansão contínua e estável. Esse crescimento é acompanhado por aumentos proporcionais na renda, no consumo e no investimento. O aumento do produto sugere que a economia é capaz de sustentar o crescimento no longo prazo devido a melhorias na alocação de recursos, ou seja, devido ao não desperdício de recursos reutilizáveis.

**Tabela 4** - Impactos do choque no longo prazo na primeira simulação.

| Ano                   | Variáveis       |        |        |        |        |        |            |     |        |
|-----------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|-----|--------|
|                       | Macroeconômicas |        |        |        |        |        | Ambientais |     |        |
|                       | Q               | Y      | C      | I      | K      | X      | R          | R/Q | E      |
| 0                     | 1,9433          | 1,0000 | 0,8301 | 0,1699 | 3,3975 | 0,9433 | 0,0000     | 5   | 0,1943 |
| 1                     | 2,1403          | 1,1013 | 0,8301 | 0,1871 | 3,3975 | 1,0389 | 0,0000     | 5   | 0,2140 |
| 2                     | 2,1455          | 1,1040 | 0,9398 | 0,1876 | 3,4148 | 1,1485 | 0,1070     | 5   | 0,1931 |
| 3                     | 2,1506          | 1,1067 | 0,9414 | 0,1880 | 3,4316 | 1,1512 | 0,1073     | 5   | 0,1936 |
| 4                     | 2,1556          | 1,1092 | 0,9429 | 0,1884 | 3,4480 | 1,1539 | 0,1075     | 5   | 0,1941 |
| 5                     | 2,1605          | 1,1117 | 0,9444 | 0,1889 | 3,4640 | 1,1565 | 0,1078     | 5   | 0,1945 |
| .                     | .               | .      | .      | .      | .      | .      | .          | .   | .      |
| .                     | .               | .      | .      | .      | .      | .      | .          | .   | .      |
| .                     | .               | .      | .      | .      | .      | .      | .          | .   | .      |
| 96                    | 2,3268          | 1,1973 | 0,9959 | 0,2034 | 4,0366 | 1,2458 | 0,1163     | 5   | 0,2094 |
| 97                    | 2,3272          | 1,1976 | 0,9961 | 0,2034 | 4,0381 | 1,2460 | 0,1163     | 5   | 0,2095 |
| 98                    | 2,3277          | 1,1978 | 0,9962 | 0,2035 | 4,0397 | 1,2463 | 0,1164     | 5   | 0,2095 |
| 99                    | 2,3281          | 1,1980 | 0,9963 | 0,2035 | 4,0412 | 1,2465 | 0,1164     | 5   | 0,2095 |
| 100                   | 2,3285          | 1,1982 | 0,9964 | 0,2035 | 4,0426 | 1,2467 | 0,1164     | 5   | 0,2096 |
| Impacto da Reciclagem | 19,82           | 19,82  | 20,04  | 19,82  | 18,99  | 32,16  | Inf.       | 5   | 7,84   |

**Fonte:** A autora, 2024.

Ademais, é possível notar que o menor crescimento do capital em relação ao produto indica que a economia está operando com maior eficiência no uso dos fatores de produção. Já a extração de recursos apresenta uma variação de 7,84%, bem abaixo do crescimento do produto, evidenciando uma desproporcionalidade relativa entre a atividade econômica e as extrações. Esse resultado sugere que a extração de recursos poderia ser significativamente mais alta se não houvesse a reciclagem. Esse quadro é evidenciado pela taxa de variação de 32,16% nos bens intermediários, permitindo que a economia maximize o uso dos insumos já disponíveis.

A Tabela 5 apresenta os dados do novo estado estacionário da economia brasileira, para um choque de 5% de reciclagem. Os dados da tabela mostram que a maioria das variáveis apresentou crescimento superior a 20% em relação ao estado estacionário inicial. O aumento da produção representa um ganho substancial em relação ao estado estacionário anterior, evidenciando que o uso eficiente dos recursos reutilizáveis faz com que a economia seja capaz de expandir sua capacidade produtiva. Conforme pode ser visto na tabela, o consumo agregado no novo estado estacionário (1,0012) supera a renda inicial da economia, mostrando um possível ganho de bem-estar para as famílias. Por sua vez, o investimento estabilizou-se em 0,2061, indicando que a economia poderia manter um nível maior de investimento.

**Tabela 5** - Novo estacionário na primeira simulação.

| Ano                   | Variáveis       |        |        |        |        |        |            |     |        |
|-----------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|-----|--------|
|                       | Macroeconômicas |        |        |        |        |        | Ambientais |     |        |
|                       | Q               | Y      | C      | I      | K      | X      | R          | R/Q | E      |
| 0                     | 1,9433          | 1,0000 | 0,8301 | 0,1699 | 3,3975 | 0,9433 | 0,0000     | 5   | 0,1943 |
| 1                     | 2,1403          | 1,1013 | 0,8301 | 0,1871 | 3,3975 | 1,0389 | 0,0000     | 5   | 0,2140 |
| 2                     | 2,1455          | 1,1040 | 0,9398 | 0,1876 | 3,4148 | 1,1485 | 0,1070     | 5   | 0,1931 |
| 3                     | 2,1506          | 1,1067 | 0,9414 | 0,1880 | 3,4316 | 1,1512 | 0,1073     | 5   | 0,1936 |
| 4                     | 2,1556          | 1,1092 | 0,9429 | 0,1884 | 3,4480 | 1,1539 | 0,1075     | 5   | 0,1941 |
| 5                     | 2,1605          | 1,1117 | 0,9444 | 0,1889 | 3,4640 | 1,1565 | 0,1078     | 5   | 0,1945 |
| .                     | .               | .      | .      | .      | .      | .      | .          | .   | .      |
| .                     | .               | .      | .      | .      | .      | .      | .          | .   | .      |
| .                     | .               | .      | .      | .      | .      | .      | .          | .   | .      |
| 451                   | 2,3439          | 1,2061 | 1,0012 | 0,2049 | 4,0978 | 1,2549 | 0,1172     | 5   | 0,2109 |
| 452                   | 2,3439          | 1,2061 | 1,0012 | 0,2049 | 4,0978 | 1,2549 | 0,1172     | 5   | 0,2109 |
| 453                   | 2,3439          | 1,2061 | 1,0012 | 0,2049 | 4,0978 | 1,2549 | 0,1172     | 5   | 0,2109 |
| 454                   | 2,3439          | 1,2061 | 1,0012 | 0,2049 | 4,0978 | 1,2549 | 0,1172     | 5   | 0,2109 |
| 455                   | 2,3439          | 1,2061 | 1,0012 | 0,2049 | 4,0978 | 1,2549 | 0,1172     | 5   | 0,2109 |
| Impacto da Reciclagem | 20,61           | 20,61  | 20,61  | 20,61  | 20,61  | 33,03  | Inf.       | 5   | 8,55   |

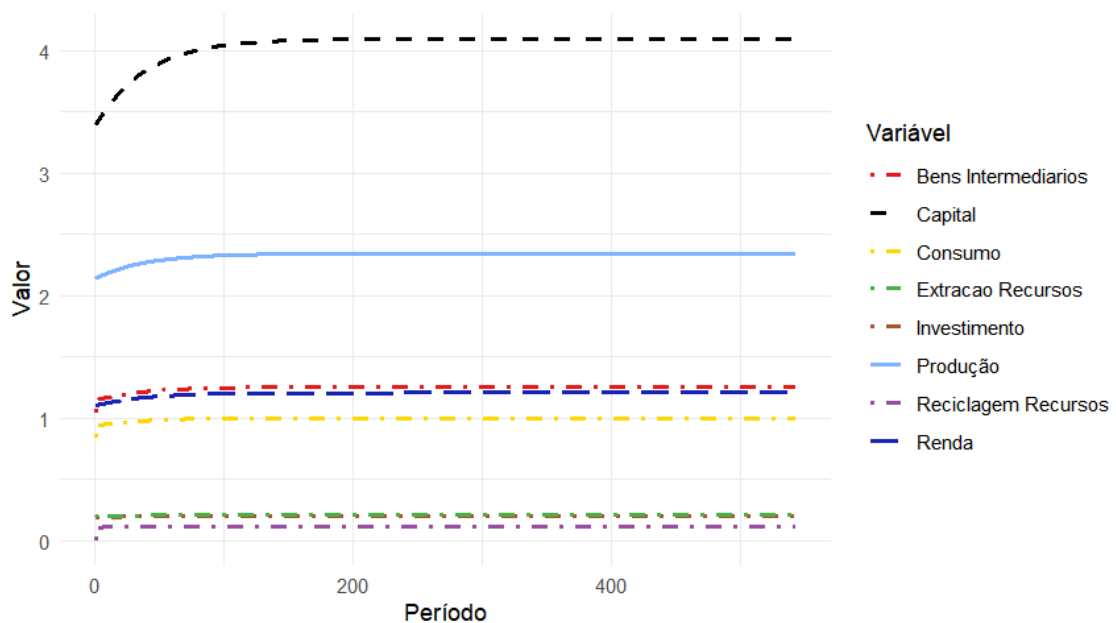
**Fonte:** A autora, 2024.

A quantidade de bens intermediários se estabiliza em 1,2549, o que representa 33,03% de crescimento em relação ao nível inicial. Conforme destacado anteriormente, os resultados dos insumos intermediários capturam bem a ideia teórica do modelo de ser possível reutilizar recursos a partir da reciclagem, transformando os recursos reciclados em insumos intermediários nos períodos de produção seguintes. A Tabela 5 também revela uma evolução acahçada da extração de recursos em relação ao crescimento da economia. Embora a produção e outras variáveis macroeconômicas tenham apresentado ganhos significativos, a estabilidade

nas extrações de recursos indica que a economia pode expandir sua capacidade produtiva sem necessariamente aumentar a extração de recursos naturais. Além disso, se o parâmetro de eficiência ambiental da reciclagem for superior ao usado nestas simulações, é possível que a economia brasileira cresça permitindo reduções na extração de recursos. Nesta situação, seria possível, literalmente, poupar o meio ambiente sem que seja preciso promover renúncias de renda e de crescimento econômico de longo prazo.

O gráfico 2, a seguir, ilustra a trajetória entre o estado estacionário inicial e o novo estado estacionário da economia, considerando o choque de reciclagem. Em outros termos, o gráfico mostra as reações de impulso-resposta para cada uma das variáveis do modelo.

**Gráfico 2 – Trajetória das variáveis na primeira simulação.**



**Fonte:** A autora, 2024.

Vale frisar que a introdução da reciclagem fixada em uma parcela de 5% da produção total leva a um impacto direto na da eficiência produtiva. Como evidenciado pelos dados de curto, médio e longo prazos, houve um crescimento significativo das variáveis produção, renda, consumo e investimento. Além disso, a introdução da reciclagem também reduz a dependência da extração de recursos naturais, permitindo ganhos na renda sem grandes aumentos de agressão ambiental.

Ademais, é possível demonstrar que a má alocação inicial pode ser parcialmente corrigida com a introdução de mecanismos de reutilização de recursos, como a reciclagem. A diferença entre a TFP no estado estacionário inicial e no novo estado estacionário evidencia o impacto reutilização de recursos por meio da reciclagem sobre a produtividade. A partir do modelo de Siqueira (2024) é possível calcular um ganho de eficiência produtiva, com a TFP saindo de 55,26 no resultado de base para 60,86 no modelo contrafactual. Logo, foi possível aferir um aumento de 10,13% na TFP, causado pelo choque de reciclagem de 5% da produção total.

Por fim, é possível mostrar que a reutilização de recursos também aumenta o bem-estar das famílias. Como o modelo incorpora uma família representativa, foi possível calcular a mudança no bem-estar causado pela melhora nas condições macroeconômicas. O aumento auferido foi de 4,24% no bem-estar, isso reflete uma melhoria na vida das famílias, indicando que os ganhos de produtividade não geram apenas aumentos nas quantidades de bens e serviços, mas também permitem um aumento de renda e consumo que culminam em melhoria de bem-estar econômico das famílias.

#### 4.2 SEGUNDA SIMULAÇÃO

A segunda simulação examina um cenário contrafactual da economia brasileira, considerando o impacto de um choque de 10% de reciclagem. O objetivo é acompanhar a trajetória da economia brasileira até o alcance de um novo estado estacionário. Esse choque possibilita analisar as adaptações do sistema produtivo e os ajustes nas variáveis econômicas decorrentes da maior integração da reciclagem como fonte de novos insumos intermediários.

No período de 5 anos, a produção e a renda apresentaram uma trajetória de crescimento semelhante de 22,52% em relação ao ano-base. O uso de bens intermediários reciclados reduziu custos marginais no sistema produtivo, possibilitando um aumento na oferta agregada sem pressionar a extração de recursos naturais. A Tabela 6, a seguir, apresenta os dados da segunda simulação no período dos 5 anos primeiros anos.

**Tabela 6** - Impactos do choque no curto prazo na segunda simulação.

| Ano | Variáveis       |        |        |        |        |        |            |     |        |
|-----|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|-----|--------|
|     | Macroeconômicas |        |        |        |        |        | Ambientais |     |        |
|     | Q               | Y      | C      | I      | K      | X      | R          | R/Q | E      |
| 0   | 1,9433          | 1,0000 | 0,8301 | 0,1699 | 3,3975 | 0,9433 | 0,0000     | 10  | 0,1943 |
| 1   | 2,3369          | 1,2025 | 0,8301 | 0,2043 | 3,3975 | 1,1344 | 0,0000     | 10  | 0,2337 |

(continua)

| Ano                   | Variáveis       |        |        |        |        |        |            |     |        |
|-----------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|-----|--------|
|                       | Macroeconômicas |        |        |        |        |        | Ambientais |     |        |
|                       | Q               | Y      | C      | I      | K      | X      | R          | R/Q | E      |
| 2                     | 2,3484          | 1,2084 | 1,0543 | 0,2053 | 3,4320 | 1,3736 | 0,2337     | 10  | 0,1881 |
| 3                     | 2,3595          | 1,2142 | 1,0577 | 0,2063 | 3,4656 | 1,3802 | 0,2348     | 10  | 0,1890 |
| 4                     | 2,3704          | 1,2197 | 1,0610 | 0,2072 | 3,4986 | 1,3866 | 0,2360     | 10  | 0,1898 |
| 5                     | 2,3809          | 1,2252 | 1,0643 | 0,2081 | 3,5309 | 1,3928 | 0,2370     | 10  | 0,1907 |
| Impacto da Reciclagem | 22,52           | 22,52  | 28,21  | 22,52  | 3,92   | 47,65  | Inf.       | 10  | -1,85  |

Fonte: A autora, 2024.

O consumo apresenta um crescimento relativo mais acelerado com uma variação de 28,21% em relação ao estado estacionário inicial. Já o investimento registra um aumento de 22,52% ao final do período analisado, indicando um maior alinhamento com o aumento da renda. O estoque de capital apresenta uma variação de apenas 3,92% e os bens intermediários expressivos 47,65%, dando um bom insight de como a reciclagem melhora a eficiência alocativa da economia. Por fim, nos cinco primeiros anos é possível esperar uma redução de 0,185% na extração de recursos naturais, o que demonstra que a reciclagem é capaz de sustentar o crescimento econômico no curto prazo reduzindo a necessidade de extração de recursos naturais, impactando positivamente a renda e a preservação ambiental.

Partindo para a análise dos resultados de médio prazo, os dados da Tabela 7, mostram que tanto a produção, quanto a renda, apresentam crescimentos semelhantes ao longo dos primeiros 20 anos. Isso indica um ambiente econômico estável e em expansão. Além disso, a variação percentual similar (29,18%) entre as duas variáveis indica que o aumento na produção é diretamente refletido na geração de renda. Por sua vez, o consumo cresce em um ritmo superior ao da produção, apresentando uma variação de 33%.

**Tabela 7** - Impactos do choque no médio prazo na segunda simulação.

| Ano | Variáveis       |        |        |        |        |        |            |     |        |
|-----|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|-----|--------|
|     | Macroeconômicas |        |        |        |        |        | Ambientais |     |        |
|     | Q               | Y      | C      | I      | K      | X      | R          | R/Q | E      |
| 0   | 1,9433          | 1,0000 | 0,8301 | 0,1699 | 3,3975 | 0,9433 | 0,0000     | 10  | 0,1943 |
| 1   | 2,3369          | 1,2025 | 0,8301 | 0,2043 | 3,3975 | 1,1344 | 0,0000     | 10  | 0,2337 |
| 2   | 2,3484          | 1,2084 | 1,0543 | 0,2053 | 3,4320 | 1,3736 | 0,2337     | 10  | 0,1881 |
| 3   | 2,3595          | 1,2142 | 1,0577 | 0,2063 | 3,4656 | 1,3802 | 0,2348     | 10  | 0,1890 |
| 4   | 2,3704          | 1,2197 | 1,0610 | 0,2072 | 3,4986 | 1,3866 | 0,2360     | 10  | 0,1898 |
| 5   | 2,3809          | 1,2252 | 1,0643 | 0,2081 | 3,5309 | 1,3928 | 0,2370     | 10  | 0,1907 |

(continua)

| Ano                   | Variáveis       |        |        |        |        |        |            |     |        |
|-----------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|-----|--------|
|                       | Macroeconômicas |        |        |        |        |        | Ambientais |     |        |
|                       | Q               | Y      | C      | I      | K      | X      | R          | R/Q | E      |
| .                     | .               | .      | .      | .      | .      | .      | .          | .   | .      |
| 16                    | 2,4807          | 1,2765 | 1,0949 | 0,2169 | 3,8428 | 1,4515 | 0,2473     | 10  | 0,1986 |
| 17                    | 2,4884          | 1,2805 | 1,0973 | 0,2175 | 3,8675 | 1,4560 | 0,2481     | 10  | 0,1992 |
| 18                    | 2,4960          | 1,2844 | 1,0996 | 0,2182 | 3,8917 | 1,4604 | 0,2488     | 10  | 0,1998 |
| 19                    | 2,5033          | 1,2881 | 1,1019 | 0,2188 | 3,9153 | 1,4647 | 0,2496     | 10  | 0,2004 |
| 20                    | 2,5104          | 1,2918 | 1,1041 | 0,2194 | 3,9383 | 1,4689 | 0,2503     | 10  | 0,2009 |
| Impacto da Reciclagem | 29,18           | 29,18  | 33,00  | 29,18  | 15,92  | 55,72  | Inf.       | 10  | 3,39   |

Fonte: A autora, 2024.

A variação percentual de 55,72% nos bens intermediários ao final do período de 20 anos destaca que a reciclagem é um fator importante para a expansão econômica, em contrapartida, a variação de 15,92% do estoque de capital indica que os ganhos de eficiência gerados pela reciclagem reduzem a necessidade de acumulação de novos bens de capital, já que, sem a reciclagem, dado o crescimento da produção, esperava-se um aumento mais forte do estoque de capital.

A Tabela 8 apresenta os resultados da transição entre médio e longo prazo para as variáveis analisadas, um cenário que se estende por um período de 100 anos. Os dados mostram que é possível um aumento sustentado de 41,34% na produção. O investimento e a renda apresentam trajetórias semelhantes à da produção. No que se refere ao crescimento dos insumos intermediários, é notável que ele avança em ritmo mais acelerado que as demais variáveis, chegando a 70,44%. Este resultado é sem dúvidas o principal responsável pela expansão da produção total e enfatiza a possibilidade de crescimento econômico sem depender do aumento proporcional da extração de recursos naturais. Tal fato fica refletido na redução da pressão sobre a extração de recursos naturais, que apresentou um crescimento acumulado de apenas 13,08%.

**Tabela 8** - Impacto do choque no longo prazo na segunda simulação.

| Ano | Variáveis       |        |        |        |        |        |            |     |        |
|-----|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|-----|--------|
|     | Macroeconômicas |        |        |        |        |        | Ambientais |     |        |
|     | Q               | Y      | C      | I      | K      | X      | R          | R/Q | E      |
| 0   | 1,9433          | 1,0000 | 0,8301 | 0,1699 | 3,3975 | 0,9433 | 0,0000     | 10  | 0,1943 |
| 1   | 2,3369          | 1,2025 | 0,8301 | 0,2043 | 3,3975 | 1,1344 | 0,0000     | 10  | 0,2337 |
| 2   | 2,3484          | 1,2084 | 1,0543 | 0,2053 | 3,4320 | 1,3736 | 0,2337     | 10  | 0,1881 |
| 3   | 2,3595          | 1,2142 | 1,0577 | 0,2063 | 3,4656 | 1,3802 | 0,2348     | 10  | 0,1890 |

(continua)

| Ano                   | Variáveis       |        |        |        |        |        |            |     |        |
|-----------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|-----|--------|
|                       | Macroeconômicas |        |        |        |        |        | Ambientais |     |        |
|                       | Q               | Y      | C      | I      | K      | X      | R          | R/Q | E      |
| 4                     | 2,3704          | 1,2197 | 1,0610 | 0,2072 | 3,4986 | 1,3866 | 0,2360     | 10  | 0,1898 |
| 5                     | 2,3809          | 1,2252 | 1,0643 | 0,2081 | 3,5309 | 1,3928 | 0,2370     | 10  | 0,1907 |
| .                     | .               | .      | .      | .      | .      | .      | .          | .   | .      |
| .                     | .               | .      | .      | .      | .      | .      | .          | .   | .      |
| .                     | .               | .      | .      | .      | .      | .      | .          | .   | .      |
| 96                    | 2,7429          | 1,4115 | 1,1760 | 0,2398 | 4,7276 | 1,6057 | 0,2742     | 10  | 0,2195 |
| 97                    | 2,7439          | 1,4120 | 1,1763 | 0,2399 | 4,7310 | 1,6062 | 0,2743     | 10  | 0,2195 |
| 98                    | 2,7448          | 1,4124 | 1,1766 | 0,2399 | 4,7343 | 1,6068 | 0,2744     | 10  | 0,2196 |
| 99                    | 2,7457          | 1,4129 | 1,1769 | 0,2400 | 4,7376 | 1,6073 | 0,2745     | 10  | 0,2197 |
| 100                   | 2,7466          | 1,4134 | 1,1771 | 0,2401 | 4,7407 | 1,6078 | 0,2746     | 10  | 0,2197 |
| Impacto da Reciclagem | 41,34           | 41,34  | 41,80  | 41,33  | 39,53  | 70,44  | Inf.       | 10  | 13,08  |

Fonte: A autora, 2024.

A Tabela 9 apresenta os dados de chegada das variáveis no novo estado estacionário. A estabilização no ano 581 indica que a economia atinge um ponto de equilíbrio, ou seja, um novo estado estacionário, em que os investimentos são apenas suficientes para compensar a depreciação do capital e da reciclagem e manter o nível de produção. Esse período de tempo é superior ao encontrado na simulação 1, o que mostra que quando maior o percentual de reciclagem, maior será o período em que a economia brasileira se manterá em crescimento, antes de sua estagnação em um novo estado estacionário.

**Tabela 9** - Novo estado estacionário na segunda simulação

| Ano | Variáveis       |        |        |        |        |        |            |     |        |
|-----|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|-----|--------|
|     | Macroeconômicas |        |        |        |        |        | Ambientais |     |        |
|     | Q               | Y      | C      | I      | K      | X      | R          | R/Q | E      |
| 0   | 1,9433          | 1,0000 | 0,8301 | 0,1699 | 3,3975 | 0,9433 | 0,0000     | 10  | 0,1943 |
| 1   | 2,3369          | 1,2025 | 0,8301 | 0,2043 | 3,3975 | 1,1344 | 0,0000     | 10  | 0,2337 |
| 2   | 2,3484          | 1,2084 | 1,0543 | 0,2053 | 3,4320 | 1,3736 | 0,2337     | 10  | 0,1881 |
| 3   | 2,3595          | 1,2142 | 1,0577 | 0,2063 | 3,4656 | 1,3802 | 0,2348     | 10  | 0,1890 |
| 4   | 2,3704          | 1,2197 | 1,0610 | 0,2072 | 3,4986 | 1,3866 | 0,2360     | 10  | 0,1898 |
| 5   | 2,3809          | 1,2252 | 1,0643 | 0,2081 | 3,5309 | 1,3928 | 0,2370     | 10  | 0,1907 |
| .   | .               | .      | .      | .      | .      | .      | .          | .   | .      |
| .   | .               | .      | .      | .      | .      | .      | .          | .   | .      |
| .   | .               | .      | .      | .      | .      | .      | .          | .   | .      |
| 581 | 2,7800          | 1,4305 | 1,1875 | 0,2430 | 4,8603 | 1,6275 | 0,2780     | 10  | 0,2224 |
| 582 | 2,7800          | 1,4305 | 1,1875 | 0,2430 | 4,8603 | 1,6205 | 0,2780     | 10  | 0,2224 |

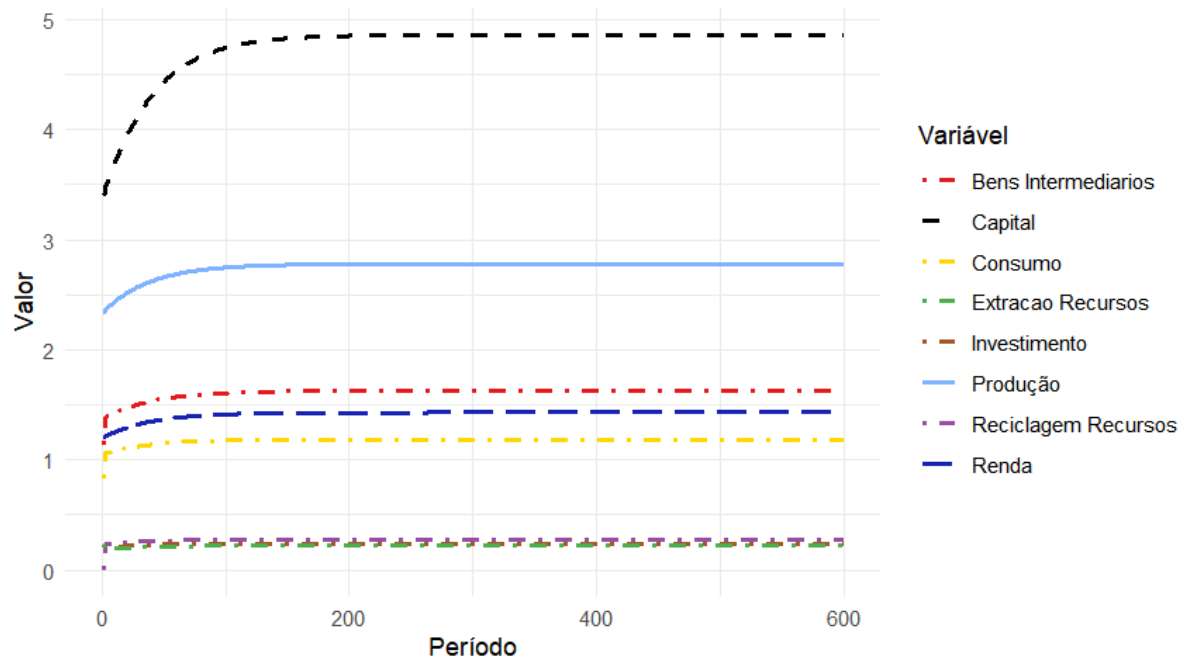
(continua)

| Ano                   | Variáveis       |        |        |        |        |        |            |     |        |
|-----------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|-----|--------|
|                       | Macroeconômicas |        |        |        |        |        | Ambientais |     |        |
|                       | Q               | Y      | C      | I      | K      | X      | R          | R/Q | E      |
| 583                   | 2,7800          | 1,4305 | 1,1875 | 0,2430 | 4,8603 | 1,6205 | 0,2780     | 10  | 0,2224 |
| 584                   | 2,7800          | 1,4305 | 1,1875 | 0,2430 | 4,8603 | 1,6205 | 0,2780     | 10  | 0,2224 |
| 585                   | 2,7800          | 1,4305 | 1,1875 | 0,2430 | 4,8603 | 1,6205 | 0,2780     | 10  | 0,2224 |
| Impacto da Reciclagem | 43,05           | 43,05  | 43,05  | 43,05  | 43,05  | 72,52  | Inf.       | 10  | 14,4   |

**Fonte:** A autora, 2024.

No novo estado estacionário, as variáveis produção, renda, consumo, investimento, e capital crescem de maneira proporcional, com um crescimento acumulado de 43,05%, refletindo uma economia bem balanceada onde o aumento da produção é acompanhado pela geração de renda, que impulsiona o consumo e o investimento. A variável bens intermediários atinge um crescimento acumulado de 72,52%, indicando que o sistema produtivo estabilizou sua capacidade de integrar bens reciclados como insumos.

A extração de recursos naturais, por sua vez, alcançou um equilíbrio sustentável como nível de produção. Esse limite reflete tanto os ganhos tecnológicos quanto os limites físicos e econômicos para reduzir ainda mais a dependência da extração de recursos. Para fins de ilustração e para que fique mais fácil de visualizar, as trajetórias das variáveis do modelo estão plotadas do gráfico 3 a seguir.

**Gráfico 3 - Trajetória das variáveis na segunda simulação.**

**Fonte:** A autora, 2024.

Como pôde ser visto, a inclusão de insumos intermediários reciclados reduz desperdícios e ameniza os impactos ambientais, aumentando a eficiência produtiva de forma sustentável. A segunda simulação demonstra que a integração de bens reciclados no sistema produtivo resultou em um crescimento acumulado de até 43,05% na produção e na renda de longo prazo. Esse ganho reflete a magnitude parcial das perdas causadas pela má alocação de recursos que pode ser corrigida melhorando a reutilização de recursos, uma vez que a reciclagem eliminou essa ineficiência do sistema. Além disso, o aumento de 72,52% no uso de bens intermediários e a estagnação na extração de recursos naturais ilustram a dimensão das perdas evitadas. Portanto, além de reduzir a má alocação de recursos, a reciclagem possibilita o aumento da produção, da renda e do consumo, ao mesmo tempo em que mitiga a pressão sobre os recursos naturais.

Por fim, vale referir que a aplicação de uma taxa de reciclagem de 10% levou a um progresso notável, tanto nos indicadores econômicos, quanto bem-estar. Nesse cenário, a TFP teve um crescimento de 20,24%, indicando um aumento expressivo na eficiência com que os recursos produtivos são utilizados. Além disso, os ganhos de bem-estar alcançaram 8,1%, um valor que representa o dobro do observado em relação ao primeiro caso analisado, evidenciando um impacto ainda mais marcante no bem-estar econômico das famílias.

## 5 CONCLUSÃO

Este estudo teve como principal objetivo avaliar a magnitude das perdas de produtividade na economia brasileira decorrentes da má alocação de recursos e investigar o impacto da reutilização de insumos por meio da reciclagem sobre a eficiência produtiva, o crescimento econômico e a sustentabilidade ambiental. Através do modelo teórico calibrado para a economia brasileira, foi possível simular diferentes cenários de integração de reciclagem, fixando taxas de 5% e 10% da produção total, e comparar os resultados com o estado estacionário inicial.

Os resultados obtidos confirmam que a introdução da reciclagem como mecanismo de reutilização de recursos intermediários não apenas mitiga impactos ambientais, mas também gera ganhos substanciais de produtividade, crescimento econômico e bem-estar das famílias. No primeiro cenário, com uma taxa de reciclagem de 5%, foi identificado um aumento acumulado de 20,61% na produção e na renda de longo prazo, acompanhado por um crescimento de 10,13% na produtividade total dos fatores (TFP) e por uma elevação de 4,24% no bem-estar. Os ganhos ocorreram sem pressões significativas sobre a extração de recursos naturais, indicando uma trajetória sustentável de crescimento econômico.

Na segunda simulação, com uma taxa de reciclagem de 10%, os impactos foram ainda mais expressivos. A produção e a renda apresentaram crescimento acumulado de 43,05%, enquanto a TFP cresceu 20,24%, refletindo melhorias substanciais na eficiência produtiva. Além disso, o consumo aumentou em 41,80%, e o bem-estar das famílias registrou uma elevação de 8,1%, destacando um ganho proporcionalmente maior em relação ao primeiro cenário. Os bens intermediários apresentaram um crescimento acumulado de 72,52%, ilustrando como a reutilização de insumos pode aliviar a pressão sobre a exploração de recursos naturais.

Os resultados obtidos evidenciam que a má alocação de recursos é um fator relevante para a baixa produtividade da economia brasileira. Contudo, as simulações mostram que mecanismos de reciclagem podem corrigir parcialmente essa ineficiência, proporcionando ganhos sustentáveis em termos de crescimento e produtividade. Além disso, as análises reforçam que é possível expandir a capacidade produtiva sem aumentar a pressão sobre os recursos naturais, contribuindo para um desenvolvimento econômico mais equilibrado e ambientalmente responsável.

Finalmente, este trabalho contribui para o debate sobre o impacto da reciclagem na eficiência produtiva e na sustentabilidade econômica, apresentando um modelo teórico e

empírico inovador. As simulações realizadas destacam a importância de políticas públicas voltadas à promoção da reciclagem e à reutilização de recursos como estratégias para mitigar problemas de alocação ineficiente e impulsionar o crescimento sustentável. Assim, os resultados obtidos sugerem que a incorporação de práticas sustentáveis é uma solução viável para reduzir desperdícios, aumentar a produtividade e promover o bem-estar econômico sem comprometer o meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

- ACEMOGLU, Daron; JOHNSON, Simon; ROBINSON, James A. The colonial origins of comparative development: An empirical investigation. **American economic review**, v. 91, n. 5, p. 1369-1401, 2001.
- BANERJEE, A.V.; MOLL, B. Why Does Misallocation Persist? **American Economic Journal: Macroeconomics**, v. 2, n. 1, p. 189–206, 2010.
- BARRO, Robert; SALA-I-MARTIN, Xavier. Economic growth. 2. ed. 2004.
- BARROS JR, Fernando et al. Misallocation of talent, teachers' human capital, and development in Brazil. **Journal of Macroeconomics**, v. 77, p. 103542, 2023.
- CHEN, Chaoran; HABIB, Ashique; ZHU, Xiaodong. **Finance, Endogenous TFP, and Misallocation**. University of Toronto, Department of Economics, 2021.
- COE, David T.; HELPMAN, Elhanan. International r&d spillovers. **European economic review**, v. 39, n. 5, p. 859-887, 1995.
- DA-ROCHA, J. M.; TAVARES, M. M.; RESTUCCIA, D. **Policy Distortions and Aggregate Productivity with Endogenous Establishment-Level Productivity**. University of Toronto, 2016. (Working Paper).
- DIAS, D. A.; MARQUES C. R.; RICHMOND, C. Misallocation and Productivity in the lead up to the Eurozone Crisis. **Journal of Macroeconomics**, v. 49, p. 46–70, 2016.
- FREITAS, Carlos Eduardo; PAES, Nelson Leitão Orientador. **A desoneração da folha de pagamentos: Uma aplicação do modelo de gerações sobrepostas para o Brasil**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco.
- GARCÍA-SANTANA, M.; MORAL-BENITO, E.; PIJOAN-MAS, J.; RAMOS, R. **Growing like Spain: 1995-2007**. 2016. (Working Paper).
- HSIEH, Chang-Tai; KLENOW, Peter J. Misallocation and manufacturing TFP in China and India. **The Quarterly journal of economics**, v. 124, n. 4, p. 1403-1448, 2009.
- ISLAM, N. Growth empirics: a panel data approach. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 110, n. 4, p. 1127-1170, 1995.
- JONES, C. I. **Misallocation, economic growth, and input-output economics**. Cambridge: NBER, jan-2011. (Working Paper 16742).
- KLENOW, P. J.; RODRÍGUEZ-CLARENCE, A. The Neoclassical Revival in Growth Economics: Has It Gone Too Far? In: BERNANKE, B.; ROTEMBERG, J. (Org.). **Macroeconomics Annual NBER**. Cambridge: MIT Press, 1997.
- LUCAS JR, Robert E. On the mechanics of economic development. **Journal of monetary economics**, v. 22, n. 1, p. 3-42, 1988.

MANKIW, N. Gregory; ROMER, David; WEIL, David N. A contribution to the empirics of economic growth. **The quarterly journal of economics**, v. 107, n. 2, p. 407-437, 1992.

MOLL, B. Productivity Losses from Financial Frictions: Can Self-Financing Undo Capital Misallocation? **American Economic Review**, v.104, n. 10, p. 3186–3221, 2014.

RESTUCCIA, Diego et al. Factor misallocation and development. **The New Palgrave Dictionary of Economics, Online Edition**, Eds. Steven N. Durlauf and Lawrence E. Blume, Palgrave Macmillan, 2013.

RESTUCCIA, Diego; ROGERSON, Richard. Misallocation and productivity. **Review of Economic dynamics**, v. 16, n. 1, p. 1-10, 2013.

RESTUCCIA, Diego; ROGERSON, Richard. Policy distortions and aggregate productivity with heterogeneous plants. **Review of Economic Dynamics**, v. 11, p. 707-720, 2008.

SCHELKLE, T. **General methods for measuring factor misallocation**, Department of Economics. Köln, University of Cologne, 2017. (Working Paper).

SIQUEIRA, Kleyton José da Silva Pereira de. *Modelo JK de crescimento econômico*. [S.l.: s.n.], 2024. DOI: 10.13140/RG.2.2.24798.14407. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/386416628\\_Modelo\\_JK\\_de\\_crescimento\\_economic\\_o](https://www.researchgate.net/publication/386416628_Modelo_JK_de_crescimento_economic_o).

SMITH, Adam. **A riqueza das nações investigação sobre sua natureza e suas causas**. Editora Nova Cultural, 1996.

SOLOW, Robert M. A contribution to the theory of economic growth. **The quarterly journal of economics**, v. 70, n. 1, p. 65-94, 1956.

SOLOW, Robert M. Technical change and the aggregate production function. **The review of Economics and Statistics**, v. 39, n. 3, p. 312-320, 1957.

VASCONCELOS, R. Misallocation in the Brazilian manufacturing sector. **Brazilian Review of Econometrics**, v.32, n. 2, p. 191–232 2017.