

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional
Faculdade de Ciências Econômicas
Programa de Pós-Graduação em Economia

TIAGO ARRUDA LINS

RECURSOS NATURAIS E POLÍTICAS MACROECONÔMICAS:
uma análise teórica

Belo Horizonte

2025

Tiago Arruda Lins

RECURSOS NATURAIS E POLÍTICAS MACROECONÔMICAS: uma
análise teórica

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício José Misso

Coorientador: Prof. Dr. Leonardo Costa Ribeiro

Belo Horizonte

2025

Ficha Catalográfica

L759r
2025 Lins, Tiago Arruda.
Recursos naturais e políticas macroeconômicas [manuscrito]: uma
análise teórica / Tiago Arruda Lins. – 2025.
1 v.: il., gráf.

Orientador: Fabrício José Missio.
Coorientador: Leonardo Costa Ribeiro.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais,
Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional.
Inclui bibliografia e apêndices.

1. Recursos naturais - Conservação - Teses. 2. Macroeconomia -
Teses. 3. Economia - Teses. I. Missio, Fabrício José.. II. Ribeiro,
Leonardo Costa. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de
Desenvolvimento e Planejamento Regional. IV. Título.

CDD: 333.7

Elaborada pela Biblioteca da FACE/UFMG – 53/2025
Adriana Kelly Rodrigues - CRB6 2572



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

RECURSOS NATURAIS E POLÍTICAS MACROECONÔMICAS: UMA ANÁLISE TEÓRICA

TIAGO ARRUDA LINS

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia vinte e dois de abril de dois mil e vinte e cinco, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Prof. Fabrício José Missio (Orientador) (Cedeplar/FACE/UFMG)

Prof. Leonardo Costa Ribeiro (Coorientador) (Cedeplar/FACE/UFMG)

Prof. Rafael Saulo Marques Ribeiro (Cedeplar/FACE/UFMG)

Prof. Wallace Marcelino Pereira (UFPA)

Belo Horizonte, 22 de abril de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Saulo Marques Ribeiro, Coordenador(a) de curso de pós-graduação**, em 23/04/2025, às 14:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leonardo Costa Ribeiro, Professor do Magistério Superior**, em 23/04/2025, às 16:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fabricio Jose Missio, Professor do Magistério Superior**, em 24/04/2025, às 15:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Wallace Marcelino Pereira, Usuário Externo**, em 07/05/2025, às 19:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site



https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 4151211 e o código CRC **18D1C799**.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a mainha, Lúcia de Fátima de Arruda Lins, a painho, Diniz José de Albuquerque Lins, a Tio Ró, Rodrigo de Arruda Luna, a Cacá, Ana Carolina Arruda Lins e a Gu, Gustavo Arruda Lins. Agradeço também a Vantuil Miranda, Geralda de Oliveira e Luciléia de Oliveira Miranda. São minha família que me formam como ser humano. Em especial, lembro de Seu Louro, José Paiva de Luna, meu avô que viveu comigo até os meus 18 anos e me incentivou a lidar bem com a dificuldade de aprender a tocar os instrumentos da vida.

Ao professor Fabrício J. Missio, orientador do trabalho, que foi minha referência primeira nessa empreitada acadêmica. Sou muito grato pela amizade que tem me presenteado, que em vários momentos consolou minhas angústias juvenis.

Ao professor Leonardo Costa Ribeiro, coorientador, que tem a cautela e precisão matemática que poucos têm, com uma didática calma e extremamente elegante. Mente de onde saiu fator de conversão.

À professora Ana Hermeto.

Ao professor Anderson Tadeu.

À professora Clara Brenck.

Ao professor Juan Pablo.

Ao professor Lucas Carvalho.

Ao professor Marco Crocco.

Ao professor Marco Flávio Resende.

À professora Mariângela Furlan.

À professora Mônica Viegas.

Ao professor Rafael Ribeiro, membro interno da banca que avaliou questões fundamentais.

Aos professores do Cedeplar como um todo, ainda os que não pude ter mais atividades conjuntamente, também muito obrigado.

Ao professor Wallace M. Pereira, membro externo da banca de defesa que muito contribuiu com inúmeros comentários sugestivos.

Aos meus amigos que listarei o máximo de nomes durante as palavras seguintes. Aícia Isaias, Ana Paula, André Sounas, Beatriz Barros, Bruno Prado, Ciro Lopes, Davi Gomes, Diogo Gama, Eric Serbinenko, Estevam, Esther Maria, Ezequiel, Felipe Paderzini, Felipe Pureza, Gabriel Nobre, Guilherme Perobelli, Helena, Humphrey, Iago, Ingrid, Italo, João Augusto, João Paulo, João Pedro, Juan, Juliana de Deus, Mariana, Maria Luiza Assis, Maria Luisa da outra turma, Matheus Reis, Olga Hianni, Paulo Estevão, Raquel Aquino, Rodrigo, Samara, Taís Terra, Thaís Ruas, Thaís Oliveira, Thaís Ribeiro, Tomás, Vicente, Vinícius, Vitor Marinho e Vitória Ayala. Obrigado por existirem. Para os íntimos, amo vocês, obrigado por tudo e todo momento que passaram e, por antecipação, passarão comigo. Vocês são o ambiente de aspiração e inspiração que eu precisava para desenvolver este trabalho. Que deu trabalho.

E por último, pois é na verdade primeira, agradeço a Vanderléia que é minha parceira de cotidiano, a mulher brilhante que me inspira aprendizado e me expira carinho e afeto.

Devíamos admitir a natureza como uma imensa multidão de formas, incluindo cada pedaço de nós, que somos parte de tudo” – Ailton Krenak

“.

RESUMO

Esta dissertação tem como objetivo incorporar explicitamente o estoque de recursos naturais ao modelo canônico IS-LM-BP e analisar os impactos dessa integração nas políticas macroeconômicas. Por meio de um modelo o IS-LM-BP modificado, o trabalho apresenta o estoque de natureza como uma variável exógena vinculada à disposição da renda. A chamada intensidade-ambiente é estabelecida como um mecanismo de transmissão da atividade econômica, representando a quantidade de recurso natural transformado em produto por nível de produção. A fundamentação teórica baseia-se nos modelos IS-LM-BP e IS-LM-EE, incorporando as perspectivas de Heyes (2000), Lawn (2003) e Daly (1991) sobre degradação ambiental e biocentrismo na Economia. Esses elementos ampliam o modelo tradicional ao integrar componentes ecológicos na oferta e demanda econômicas. Com isso, o estudo propõe que políticas macroeconômicas incluam conceitos ecológicos para explicar cenários de crescimento econômico. Nessa linha, os principais resultados do exercício teórico destacam a intensidade-ambiente como fator determinante da velocidade de alcance dos objetivos da política macroeconômica e desastres naturais como choques exógenos na demanda. A dissertação busca preencher uma lacuna na literatura econômica ao considerar, explicitamente, o Ecossistema como uma entidade macroeconômica interligada aos mercados convencionais. A pesquisa abre caminho para políticas mais conscientes e ambientalmente sustentáveis, incentivando debates e estudos futuros sobre a relação entre Macroeconomia e Ecologia.

Palavras-chave: recursos naturais; políticas macroeconômicas; intensidade-ambiente; degradação; propensão marginal a degradar.

ABSTRACT

The objective of this dissertation is to incorporate the stock of natural resources into the canonical IS-LM-BP model and analyze the impacts of this integration on macroeconomic policies. Through a modified IS-LM-BP model, the study introduces the stock of nature as an exogenous variable linked to income disposition. The concept of environmental intensity is established as the transmission mechanism inherent to economic activity, representing the amount of natural resources transformed into products per level of production. The theoretical framework is based on the IS-LM-BP and IS-LM-EE models, integrating the perspectives of Heyes (2000), Lawn (2003), and Daly (1991) on environmental degradation and biocentrism in Economics. These elements expand the traditional model by incorporating ecological components into economic supply and demand. Building on this foundation, this study proposes that macroeconomic policies should include ecological concepts to explain scenarios of economic growth. In this context, the key findings of the theoretical exercise highlights the environmental intensity as a determinant of aggregate demand elasticity and nature's recomposition as an autonomous component. These insights elucidate scenarios of environment-intensive growth and natural disasters as exogenous shocks to demand. The dissertation aims to address a gap in economic literature by considering the ecosystem as a macroeconomic entity interconnected with conventional markets. The research opens pathways for more conscious and environmentally sustainable policies, fostering discussions and future studies on the relationship between Macroeconomics and Ecology.

Key-words: natural resources; macroeconomic policies; environment-intensity; degradation; marginal propensity to degenerate.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Economia e Ecosistema.....	22
Figura 2: fluxo da renda que incorpora o mercado de recursos naturais.....	29

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curvas de Equilíbrio Ecológico	38
Gráfico 2: Plano IS-LM-EE.....	39
Gráfico 3: Degradação e intensidade ambiente	46
Gráfico 4: Política Fiscal Expansionista (ΔG).....	52
Gráfico 5: Política Fiscal Contracionista (ΔT)	53
Gráfico 6: Política Monetária Expansionista.....	55
Gráfico 7: Política de desvalorização cambial com perfeita mobilidade de capitais	58

LISTA DE SÍMBOLOS

Y_{At}	Produto antropocêntrico real no tempo t
Y_{Bt}	Produto biocêntrico real no tempo t
i_t	Taxa de juros nominal em t
r_t	Taxa de juros real em t
θ_t	Taxa de câmbio real
N_t	Fluxo do estoque de natureza no tempo t
N_0	Fluxo do estoque de natureza no tempo 0
β	Preço da unidade de estoque de natureza
c	Propensão marginal a consumir
e	Componente de escala industrial da intensidade-ambiente
v	Coefficiente tecnológico da intensidade-ambiente
e/v	Razão de intensidade-ambiente
$C_{t,0}$	Fluxo do estoque de bens e serviços consumidos no tempo $t, 0$
$I_{t,0}$	Fluxo do estoque de bens e serviços de investimento no tempo $t, 0$
$G_{t,0}$	Fluxo do estoque de bens e serviços de Governo no tempo $t, 0$
$X_{t,0}$	Fluxo do estoque de bens e serviços exportados no tempo $t, 0$
$M_{t,0}$	Fluxo do estoque de bens e serviços importados no tempo $t, 0$
I_1	Sensibilidade do investimento à taxa de juros
X_1	Sensibilidade das exportações à renda estrangeira
Z_1	Sensibilidade das importações à renda interna; propensão marginal a importar
X_2	Sensibilidade das exportações à taxa de câmbio real
Z_2	Sensibilidade das importações à taxa de câmbio real

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BP	Balança de Pagamentos (Balance of Payments)
EN	Estoque de Natureza
EE	Equilíbrio Ecológico (Environmental Equilibrium)
IGP	Índice Geral de Preços
IRN	Índice de Riqueza Natural
IRNN	Índice de Riqueza Natural Nacional
IPCA	Índice de Preços ao Consumidor Amplo
IS	Investment Saving
LM	Liquidity Money
PIB	Produto Interno Bruto
SCN	Sistemas de Contas Nacionais

SUMÁRIO

1. Introdução	14
2. Biocentrismo e Antropocentrismo na economia	21
2.1. Estoque de natureza (e. N.)	24
2.2. Precificação (<i>valuation</i>)	25
2.3. Produto antropocêntrico e produto biocêntrico	27
2.4. Intensidade-ambiente	30
2.5. Substitutividade e complementaridade	31
3. Modelo-base.....	33
3.1. O modelo is-lm-ee	35
4. Um mercado de bens e serviços ecológicos.	42
4.1. Produto e consumo biocêntricos, degradação marginal e intensidadeambiente	43
4.2. A curva IS ecológica.....	47
5. Efeitos de Variações Nas Políticas Macroeconômicas	50
5.1. Política fiscal	51
5.2. Política monetária	54
5.3. Política cambial	56
6. Conclusão	59
7. Referências.....	64
8. Apêndice 1 - Demonstrações	67
9. Apêndice 2 – Exercício Empírico	83

1. Introdução

O principal objetivo desta dissertação é desenvolver uma análise macroeconômica que consiga integrar o papel dos recursos naturais no seu escopo. Para tanto, o trabalho apresenta um modelo de crescimento macroeconômico fundamentado na utilização de recursos naturais, estruturado em um sistema linear e tomando como referência o tradicional modelo IS-LM-BP. Sendo um ensaio teórico, ele se encontra, por natureza, incompleto.

Nesta nova abordagem, introduzimos o modelo IS-LM-EE, que representa uma versão ecológica do IS-LM. Esta adaptação considera uma curva de equilíbrio ecológico (EE) e incorpora conceitos relacionados ao uso dos estoques de recursos naturais, permitindo a inclusão (se desejável for) de ações ambientalmente sustentáveis na análise macroeconômica. Assim, o modelo revisitado oferece uma perspectiva mais robusta e abrangente ao incorporar as complexas interações entre economia e meio ambiente, oferecendo uma ferramenta analítica para avaliar o impacto de práticas sustentáveis no crescimento econômico de curto prazo.

Os resultados obtidos oferecem uma ampla gama de cenários em relação ao crescimento e à retração econômica, que podem ocorrer de forma acelerada ou desacelerada. Isso depende significativamente da rapidez com que os recursos naturais disponíveis são utilizados em âmbito nacional. Neste contexto, a análise se concentra especificamente nos efeitos das políticas macroeconômicas que influenciam o uso desses recursos naturais.

Portanto, entende-se que a análise (modelo econômico) assume um papel fundamental como uma ferramenta teórica, capaz de enriquecer o pensamento econômico ao integrar de forma coerente as questões ambientais com o desenvolvimento econômico. Ele pode, assim, auxiliar na formulação de estratégias que considerem tanto a sustentabilidade ambiental quanto o crescimento econômico, oferecendo uma visão integrada que pode guiar a elaboração de políticas mais eficazes e ambientalmente sustentáveis.

Dessa forma, pretende-se avançar em uma compreensão mais abrangente das interações complexas entre economia e meio ambiente, destacando a necessidade de balanço entre exploração de recursos e preservação ambiental para assegurar um desenvolvimento econômico robusto e ambientalmente sustentável no longo prazo.

A tentativa de integrar a Natureza no estudo da Macroeconomia surge da percepção de que geralmente se dá pouca ênfase aos recursos naturais como recursos fundamentais a produção. Tradicionalmente, a economia tem focado na acumulação de Capital e Trabalho como principais motores de crescimento, com a “Terra” (como proxy dos recursos naturais)

sendo vista como um dado invariável e prontamente disponível. A literatura econômica tradicionalmente expressa a função de oferta na forma de $f(K, L)$, onde K representa o Capital e L o Trabalho.

Esta abordagem negligencia a complexa influência que os recursos naturais têm sobre o desenvolvimento econômico. É neste ponto que o presente trabalho busca atuar, propondo uma redefinição de como incluir a Natureza na análise. No contexto específico do trabalho, vamos admitir que a produção depende dos recursos naturais, ou seja, vamos admitir a função $f(K, L, N)$, como uma ferramenta analítica para a Macroeconomia.

A construção de uma análise macroeconômica ambiental pode ser fundamentada na distinção entre ações biocêntricas e antropocêntricas (DALY, 1991). As ações biocêntricas reconhecem o valor intrínseco dos ecossistemas, contemplando o bem-estar de todos os habitats e seres vivos, além do ser humano. As ações antropocêntricas, por outro lado, priorizam a satisfação das necessidades humanas, com foco na intensificação do uso da terra para formar capital que poupa trabalho. Essa distinção permite classificar os produtos gerados pela economia como biocêntricos ou antropocêntricos, indicando os diferentes impactos que cada tipo pode ter sobre o ecossistema.

A produção de bens — sejam eles antropocêntricos ou biocêntricos — consome certa quantidade de recursos naturais, como o petróleo extraído para fabricação de plásticos ou a destinação de áreas para reservas ambientais, ecológicas. Formas de transformar mais ou menos recurso natural em produto antropocêntrico ou biocêntrico. De modo que a fabricação de plásticos pode ser apropriada pela categoria antropocêntrica, visto que não preserva as características essenciais do petróleo. Enquanto, por outro lado, a formação de reservas ambientais transforma menos o estoque de natureza e o preza por mantê-lo intacto, utilizando-o pela característica inerente do ecossistema ali existente.

A intensidade pelo qual a economia usa um ambiente representa a taxa de redução do estoque natural ao longo do tempo por unidade de produto¹. Observe que a contraface do consumo é a perda da oportunidade de se ter um produto biocêntrico e suas propriedades naturais em detrimento de bem com propriedade antropocêntrica (resultado da transformação humana). Assim, a primeira construção que devemos ter em mente é que, quando utilizarmos a

¹ Definimos como *degradação* a redução desse estoque de natureza ao longo do tempo e a intensidade-ambiente como a *degradação marginal do produto* ou *propensão marginal a degradar*.

ideia de ações biocêntricas, é necessário relaxar a hipótese microeconômica das firmas de 'free disposal' (MAS-COLELL et al., 1995, p. 131). Isso ocorre porque há uma perda na oferta de recursos naturais para cada unidade de recurso antropocêntrico demandada.

Com essa premissa em mente, iniciamos esta dissertação explorando como essa reconceptualização impacta o debate global sobre "Sustentabilidade". Mais especificamente, a dissertação começa por revisitar este debate, destacando a importância de diferenciar entre decisões econômicas de natureza antropocêntrica e biocêntrica (capítulo 2). O texto, inicialmente, introduz o tema, estabelecendo as bases conceituais necessárias para uma compreensão aprofundada do assunto.

O debate ambiental tem ficado cada vez mais no centro das construções de análise político-econômica global. O Painel Intergovernamental de Mudança Climática apresenta que os impactos são inequivocamente causados por atividades humanas, e que ocorrem principalmente via emissões de gases efeito estufa, ou GEE (CALVIN et al., 2023). Os impactos, porém, contemplam o aumento da temperatura média do planeta, o conjunto de eventos climáticos que causam perdas irreversíveis à estrutura econômica, que geram insegurança alimentar, insegurança hídrica, mortalidade em massa de espécies terrestres e marítimas, entre muitos outros. Em resposta, os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) são o instrumento de orientação ao combate à mudança climática. Os ODS têm ganhado cada vez mais relevância nos debates entre formuladores de políticas para que se faça a chamada *transição ecológica*, ou *verde*.

A Organização das Nações Unidas (ONU) define 17 objetivos² muitos deles com uma ligação direta com a ciência econômica. Dentre eles estão a “fome zero e agricultura sustentável”, “água potável e saneamento”, “energia limpa e acessível”, “cidades e comunidades sustentáveis”, “consumo e produção responsáveis”, “ação contra a mudança global do clima”, “vida na água e vida terrestre”, entre outros. No cerne da questão está o desafio de garantir o abastecimento sustentável de comida, água e energia dentro de uma estrutura de produção e consumo que priorize a responsabilidade ambiental. Este contexto requer uma abordagem econômica que considere especificidades além do conhecimento individual e destaque a importância de instituições multilaterais, como a ONU, na gestão de acordos internacionais.

² Sobre o trabalho da ONU para alcançá-los, acessar: [Nações Unidas – Brasil - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil](#).

Os ODS têm metas até 2030 e apresentam conceitos como *sustentabilidade*, *universalidade*, *eficiência* e *responsabilidade*. A universalidade, em particular, se destaca como um dos desafios mais complexos, exigindo o alinhamento de interesses de todas as culturas do planeta em um único contexto compartilhado. Dada a vastidão deste desafio, esta dissertação não se propõe a explorar essa dimensão. Quanto à responsabilidade, há um intenso debate em curso sobre justiça climática, especialmente a disputa entre o norte e o sul globais sobre quem deve arcar com os custos do aquecimento global (DAFERMOS, 2023). Esta questão transcende as limitações da economia e, portanto, também fica fora do alcance deste trabalho. O estudo, no entanto, concentra-se nas dimensões de sustentabilidade e eficiência, que são fundamentais no campo da ciência econômica. Dentro deste escopo, buscamos aprofundar o entendimento de como estas questões podem ser integradas na análise dos efeitos das políticas macroeconômicas.

Dentro do universo econômico, a eficiência é frequentemente considerada uma capacidade técnica que se almeja em qualquer contexto — seja econômico ou ambiental. Esta busca por otimização, embora universal, possui nuances distintas dependendo dos conjuntos de produto e insumo envolvidos. No fundo, eficiência relaciona-se diretamente com a proporção entre insumos utilizados e produtos gerados. No entanto, cabe perguntar: "Eficiência para quê?". Essa é uma questão crucial ao discutir a finalidade e o impacto ambiental do que é produzido, uma vez que a correta escolha dos insumos é essencial para avaliar o papel da eficiência em um contexto mais amplo.

Por outro lado, a sustentabilidade é frequentemente destacada como um termo central no debate ambiental, sendo por vezes erroneamente vista como sinônimo de responsabilidade ambiental absoluta. É vital reconhecer que, enquanto sustentabilidade implica em práticas que suportam longos prazos, ela não automaticamente garante uma responsabilidade ambiental integral. Assim, ao focar na relação entre eficiência e sustentabilidade neste estudo, procuramos diferenciar essas complexas interações, explorando como podem ser equilibradas para promover um desenvolvimento econômico ambientalmente mais harmonioso.

Em 1987, a Comissão Brundtland das Nações Unidas o definiu *sustentabilidade* como “atender às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades”³. “Atender às necessidades” é o problema primeiro da ciência econômica: alocar tantos recursos quaisquer entre quaisquer fins alternativos de

³ Disponível em: [United Nations – Academic Impact – Sustainability](#).

interesse. O comprometimento com as gerações futuras é o problema da alocação temporal, do conflito geracional. Então, sustentabilidade seria resolver o problema conflituoso das gerações sobrepostas? Sustentabilidade seria encontrar o ótimo de Pareto intergeracional?

Através dessas considerações, observa-se que o conceito de sustentabilidade, conforme definido pelas Nações Unidas, se assemelha a uma definição de equilíbrio de Pareto, tanto de maneira internacional quanto intergeracional. No entanto, essa definição carrega a ambição desafiadora de atender a todas as necessidades de todas as nações em todo tempo histórico, tornando-se, assim, irrealista em sua totalidade.

Em outras palavras, essa abordagem do equilíbrio pressupõe a plena disponibilidade e alocação ótima dos fatores de produção, sem, contudo, incorporar de forma explícita considerações ecológicas significativas nas decisões econômicas dos agentes. Esta busca pelo equilíbrio é uma tentativa clássica de harmonia, que, embora teoricamente influente, falha em lidar com as complexas e crescentes demandas do contexto ambiental atual.

Assim, mesmo ao considerar equilíbrios dinâmicos ou trajetórias de equilíbrio, os pontos de compensação exata entre necessidades e disponibilidade não passam de referências para avaliar o posicionamento real das economias – e não propriamente o alvo de análise. Isto é, o equilíbrio não é algo estático, único e imutável, mas uma ferramenta de tomada de decisão. Ora, se isso acontece, então toda análise de equilíbrio apresenta um dilema, pois submete as gerações à subjetividade dessas decisões, que são influenciadas por uma miríade de fatores e condicionamentos históricos que se transportam de uma geração para outra. Essas transferências intergeracionais, muitas vezes, ocorrem sob uma 'memória' limitada, ou, inversamente, tão sobrecarregada de informações que concentra poder excessivo em detrimento de outras.

Um aspecto frequentemente desconsiderado é o ciclo intrínseco das fontes e dos resíduos gerados por cada geração, que precisa lidar com os legados das gerações anteriores ou preparar o terreno para as futuras. Atualmente, este tema tem ganhado destaque no debate sobre sustentabilidade, destacando dois principais desafios: como enfrentar os impactos climáticos resultantes do sistema socioeconômico pós-Revolução Industrial e a necessidade de gerenciar as sobras de uma estrutura construída ao longo do tempo, dentro de um sistema que, essencialmente, pouco evoluiu desde aquele período.

Neste contexto, Decker e Wohar (2012) introduzem distinções cruciais entre “sustentabilidade forte” e “sustentabilidade fraca”. O conceito de sustentabilidade forte refere-se à situação em que a disponibilidade de recursos – seja na forma de natureza, capital ou

trabalho – permanece constante entre as gerações, garantindo uma continuidade robusta da capacidade de suportar as necessidades futuras. Por outro lado, a sustentabilidade fraca descreve cenários onde a disponibilidade de recursos varia significativamente de uma geração para outra, comprometendo a estabilidade intergeracional.

A “sustentabilidade” não deve ser vista como o objetivo primeiro ou último de uma transição ecológica. Esta visão, muitas vezes, ignora as medidas de utilização dos recursos naturais, bem como ignora a dependência crítica do contexto econômico em que se insere, um problema que parece subestimado no debate ambiental. A maneira como o contexto é definido irá inevitavelmente determinar os instrumentos que serão utilizados.

Portanto, a capacidade de se sustentar, quando dissociada de uma especificidade ambiental, tende a se tornar apenas um sinônimo de equilíbrio econômico, o que pouco contribui para o avanço do debate político-econômico ecológico. Em vista disso, é crucial refletir sobre o cenário ambiental contemporâneo e considerar a necessidade de uma reconfiguração sistemática para a transição ecológica. Esta reconfiguração deve reconhecer os desequilíbrios: o primeiro, inevitável, como resultado das forças econômicas e sociais atuais; e o segundo, necessário, como um catalisador para uma transição eficaz e duradoura.

Para que equilíbrio econômico tenha caráter ambiental, deve-se conter na análise e no discurso o universo biológico — no caso, o meio ambiente, a ecologia, o ecossistema. Apenas atividades econômicas *ambientalmente sustentáveis* ou *ecológicas* pretendem, exclusivamente, alcançar algum estado de *equilíbrio ambiental/ecológico*⁴ que considera a Natureza e suas ciências diante do ser humano. Enquanto não se introduzir variáveis e parâmetros de ações ambientalmente sustentáveis e suas particularidades do discurso econômico ambiental nos modelos econômicos *mainstream* de análise político-econômico-social global, a economia terá um escopo limitado de contribuição para o processo de transição ecológica.

Em outras palavras, existe uma lacuna importante no debate ambiental: a falta de reconhecimento da especificidade ambiental no contexto econômico. Quando a sustentabilidade é discutida sem referência explícita ao meio ambiente, torna-se um sinônimo de equilíbrio econômico. Para que o conceito de sustentabilidade seja efetivamente ambiental, é necessário que o universo de análise inclua o ecossistema, a ecologia e o meio ambiente.

⁴ Ao longo da construção serão utilizados os termos “equilíbrio ambiental” ou “equilíbrio ecológico” que, para este trabalho, possuem o mesmo significado; ambos sustentados por uma necessidade de atender a manutenção dos recursos disponibilizados pelo, e essenciais ao, ecossistema.

Apenas atividades econômicas ambientalmente sustentáveis ou ecológicas visam alcançar o estado de equilíbrio ambiental/ecológico. Portanto, ao incorporar, ainda que preliminarmente, variáveis e parâmetros de ações ambientalmente sustentáveis nos modelos econômicos de análise político-econômico-social, este trabalho abre um caminho promissor para que a economia contribua de forma significativa ao processo de transição ecológica.

Em seguida, a dissertação detalha a metodologia que sustenta o modelo proposto, que busca integrar o Meio Ambiente à Macroeconomia (capítulo 3). Este modelo apresenta um sistema linear no qual as noções de antropocentrismo e biocentrismo são incorporadas como elementos centrais.

Finalmente, a dissertação explora alguns possíveis efeitos dos parâmetros ecológicos introduzidos na dinâmica das políticas macroeconômicas (capítulos 4 e 5). Essa análise proporciona insights sobre como diferentes abordagens de sustentabilidade podem influenciar o crescimento econômico e oferece uma perspectiva crítica sobre a integração das práticas ambientais nas decisões econômicas.

Dentro deste contexto, este trabalho procura fazer uma contribuição na área de Economia Ecológica ou Ambiental. De modo que se volte a pensar na Natureza como algo limitado, não supérfluo, necessário e fundamental como tema de dedicação científica e política, pois determina o modelo de cultura de determinada sociedade, conseqüentemente o modelo da economia. A economia é essencialmente a otimização de recursos, os naturais são o atual foco do problema global. Este trabalho propõe uma maneira de pensar matematicamente alguns raciocínios que podem ajudar a compreender o debate macroeconômico ambiental global.

2. Biocentrismo e Antropocentrismo na economia

A explícita preocupação ambiental ou ecológica não é um tema novo, mas ainda pouco presente ou ocupa pouco espaço nos currículos dos cursos básicos de economia. Nos cursos de pós-graduação, o tema tem ganhado relevância nas salas de aula e mesas de congressos.

O estudo da economia ambiental geralmente está associado à análise das externalidades, como a incorporação dos 'custos ambientais' nos preços das empresas, escassez de recursos, pragas, doenças e choques que influenciam os incentivos, geram crises e aumentam os custos para os indivíduos. Do tanto que se possa conhecer sobre os seres humanos no ecossistema, explicitar a preocupação ambiental nas atividades econômicas do saber não deve ser fácil para qualquer uma delas.

De maneira que tratar Recursos Naturais e tratar Meio Ambiente são coisas distintas. Recursos naturais são os elementos do Ecossistema. Meio ambiente é o próprio Ecossistema. Os recursos naturais são matéria antiga de estudo da economia. E são, eles, o conteúdo, o produto em si, das mercadorias transportadas no sistema. Tratar de meio ambiente, por outro lado, é compreender a forma sistemática em que são transportadas.

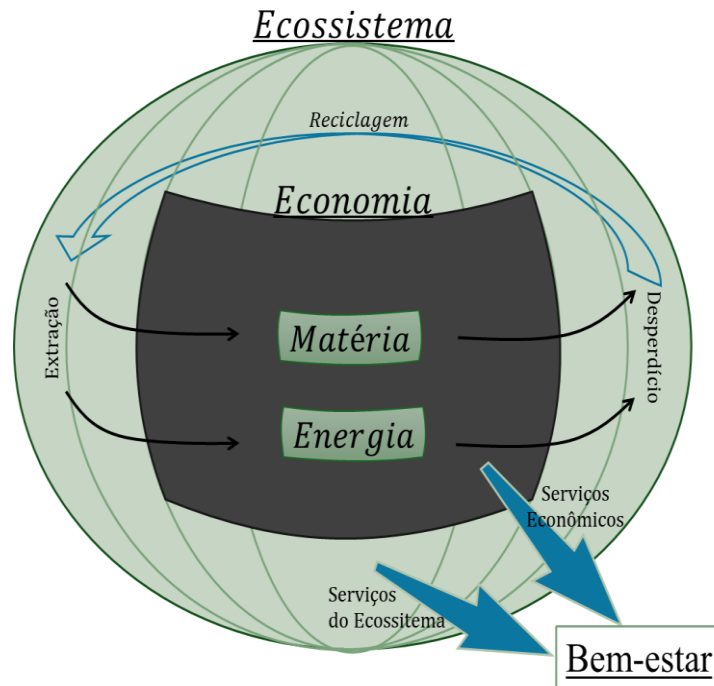
Herman Daly, nesse sentido, foi um dos expoentes da “economia ecológica” que sugeriu explicitamente a existência de uma lacuna de conhecimento dada pela conexão entre a macroeconomia e o meio ambiente. Numa tentativa de incorporar conceitos da biologia ao conhecimento econômico; ainda que mais uma vez das ciências da natureza. Para o autor, a Macroeconomia Ambiental preocupa-se em compreender qual é a escala ótima para a economia humana dentro do ecossistema. Esse é o seu objeto fundamental de estudo.

A economia é vista como um sistema antropocêntrico que atua como um subconjunto dentro do ecossistema biocêntrico (DALY, 1991). A *escala antropocêntrica*, a economia, que extrai, utiliza, coleta e incorpora elementos (sejam eles matéria ou energia) do ecossistema, e depois retorna, desperdiça ou descarta elementos modificados de volta ao ecossistema, visando obter bem-estar através de bens ou serviços provenientes de ambos os universos. A *escala biocêntrica* reconhece o valor intrínseco das coisas e dos seres da natureza independente de seu valor instrumental para os seres humanos.

A Figura 1 ilustra essa ideia de que a economia, representada pela parte em cinza escuro, é um subconjunto do ecossistema, mostrado na parte em verde claro. As relações entre esses dois conjuntos são numerosas, refletindo todas as ações humanas — particularmente as econômicas — em relação ao ambiente. Na figura, são destacados apenas a extração,

transformação, desperdício e reciclagem de matéria e energia. No entanto, é importante ressaltar que essas interações incluem qualquer matéria e energia, e qualquer relação ou ação associada a elas, como mitigação, adaptação, recuperação, construção, destruição, entre outras.

Figura 1: Economia e Ecosistema



Fonte: Adaptado do livro “*Ecological Economics: Principles and Applications*” (DALY; FARLEY, 2004, p.18).

O desafio da economia aplicada à temática ambiental está, também, em mapear algumas dessas ações humanas ambientais sobre elementos da natureza e propor formas de medir seus efeitos macroeconômicos. Interpretá-las como um corpo ordenado de análise real (LAGES LIMA, 2007). Procurá-las nas informações econômicas disponíveis numa perspectiva, por exemplo, como a área em cinza escuro (economia) pode expandir ou retrair em relação à área em verde (ecossistema); entender se o ecossistema está se expandindo ou encolhendo, e o quanto ele consegue sustentar a escala da economia. É passar a explicitar no mundo a preocupação ecológica e estruturar analiticamente modelos de decisão que forneçam boas ações ambientalmente sustentáveis.

Neste ponto, ao abordar política econômica e social, essa dissertação comete seu primeiro e maior erro reconhecido. Ao adotar as perspectivas biocêntrica e antropocêntrica de Daly (1991), acabamos por reforçar a visão criticada por Ailton Krenak. O pensador krenak

brasileiro faz críticas contundentes e pertinentes às “civilizações” ou "humanidades" que insistem em se separar da natureza, como se fossem entidades distintas e exclusivas, quando se é tudo uma coisa só.

A noção de antropocentrismo e biocentrismo perpetua a falsa noção de exclusividade do ser humano em relação à utilização do ecossistema. Essa falsa exclusividade implica no que pode ser elucidado pelo fenômeno da *tautologia cognoscitiva*, conforme descrito por Maturana e Varela (1995). Esses autores esclarecem a impossibilidade de o ser humano explicar a natureza como se estivesse separado dela; o homem nunca pode ser um observador externo ao ecossistema. A modelagem de uma racionalidade macroeconômica é mais uma tautologia cognoscitiva.

Não obstante, mesmo reconhecendo as limitações da análise que estamos propondo, optamos por adotar essa divisão entre o ser humano e a natureza sugerida por Herman Daly e outros pesquisadores. Esta abordagem é comumente utilizada nas ciências naturais e até por uma inerente consciência humana que se propõe a diferenciar-se dos seres evoluindo como tal. Talvez, por isso, termos como antropocentrismo e biocentrismo são frequentemente empregados para explicar fenômenos da natureza. Em particular, aqui esses conceitos são aplicados à economia para analisar e descrever fenômenos macroeconômicos relacionados à natureza.

Estamos interessados na transformação de elementos biocêntricos em elementos antropocêntricos, enfatizando o uso de bens e serviços da natureza para fins humanos. Nesse contexto, a discussão sobre a macroeconomia e sua relação com a natureza se torna ainda mais relevante. Temos evidências claras de que recursos naturais transformados geram cenários ambientais que impactam profundamente o bem-estar humano. Rejeitos de mineração que destruíram comunidades em Mariana e Brumadinho. Realidades alarmantes de um imenso lixão de plástico no Oceano Pacífico (LEBRETON et al., 2018) e o crescente descarte de roupas no Deserto do Atacama (2024). Em contrapartida, eventos climáticos devastadores como chuvas torrenciais seguidas de deslizamentos de terra e enchentes em localidades como Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Sul; que destroem comunidades. De modo que a reciprocidade também é verdadeira e a Natureza também tem efeitos sobre as estruturas antropocêntricas. Efeitos que alteram profundamente a vida econômica, a produtividade e o bem-estar.

Esses desafios nos impulsionam a reavaliar eventos históricos sob uma nova perspectiva macroeconômica que prioriza políticas ambientalmente sustentáveis. Na história econômica do Brasil, há diversos exemplos de quando essa integração não foi respeitada. A

mineração na região de Serra Pelada ou das Munas Gerais desde o século XVIII. A construção da rodovia Transamazônica como um canal de escoamento para novas extrações. Uma busca incessante por recursos naturais para manutenção de uma escala antropocêntrica até então crescente.

Portanto, a relevância dos temas abordados neste trabalho depende de como os leitores percebem e interpretam essas complexas interações entre economia e ambiente nos múltiplos universos de aplicação. Nosso objetivo é enfatizar a urgência de construir políticas que integrem uma visão holística da economia, respeitando os limites do nosso ecossistema. Para dar continuidade a esta discussão, é vital avançarmos na construção de conceitos-chave, conforme explorado na análise a seguir.

2.1. Estoque de Natureza (E. N.)

Quando tentamos compreender o que é uma variável ambiental, há diversos aspectos a serem considerados. Esta seção aborda alguns dos elementos naturais que são levados em conta na análise econômica.

Atualmente, a principal medida utilizada para avaliar o impacto das atividades macroeconômicas no meio ambiente é a quantidade de emissão de gases de efeito estufa (GEE). No entanto, também podem ser considerados outros fatores, como o desperdício de alimentos (CRUZ et al., 2021), a busca por “amenidades” ambientais que influenciam a função de utilidade (DESMET e ROSSI-HANSBERG, 2024), práticas de reciclagem que diminuem as emissões de GEE (SILVESTRIM et al., 2022) e os desafios de financiamento para a biodiversidade e serviços ambientais (FLAMMER et al., 2023). Porém, a variável ambiental não é necessariamente o recurso natural; este trabalho trabalha com o estoque de recursos naturais.

A definição do que pode ser considerado um elemento natural, porém, varia entre os sistemas de análise. De modo que o **estoque de natureza (N)** deve ser considerado o insumo fundamental do processo produtivo, o recurso natural. Trata-se do estoque de uma commodity chamada “natureza” disponível, limitada, precificada e utilizada de maneiras distintas por diferentes sistemas econômicos (DALY, 1991; DALY; FARLEY, 2004; HEYES, 2000; LAWN, 2003). E tal commodity pode incorporar qualquer elemento da natureza: terra, especiarias, minerais, alimento, energia, combustível, uma paisagem, a disponibilidade de

jazidas pedras, metais preciosos, fontes de água, nascentes de rios e tudo que se puder imaginar como essencialmente natural.

Consideramos um estoque composto por elementos da natureza que são passíveis de transformação antropocêntrica, estabelecendo uma relação de balanço patrimonial entre a economia e o ecossistema. Isso implica a existência de ativos e passivos, direitos e responsabilidades sobre os elementos da natureza; todos gerados pela utilização de recursos naturais para a oferta de bens e serviços antropocêntricos. Daly e Farley (2004) discutem o conceito de capital natural: um estoque que fornece um fluxo de serviços e recursos naturais.

No entanto, para evitar a limitação à ideia de fator produtivo — uma vez que se trata não apenas do fator terra ou energia, por exemplo, mas também de bens de consumo, serviços e insumos produtivos biocêntricos —, adotaremos, ao longo deste trabalho, o termo "estoque de natureza".

Além disso, é crucial assumir a hipótese de que a inexistência de um estoque natural resulta em zero bem-estar (DALY e FARLEY, 2004). Essa condição de não nulidade é fundamental para a construção de um modelo teórico consistente. Os recursos naturais são vistos como essenciais para o bem-estar, apesar de não serem suficientes por si só. Nesse contexto, os agentes econômicos compartilham recursos naturais, incorrendo em custos de oportunidade, para alcançar um determinado nível de bem-estar, sendo capazes de trocar esses recursos a preços determinados.

2.2. Precificação (*valuation*)

A economia mundial atual é organizada através de um sistema de *preço*, com moeda numérica estabelecida. Dentro desse contexto, a tarefa de precificar o estoque de recursos naturais é uma parte intrínseca da análise de um sistema que se pauta na definição de preços.

Concebido no mercado, através das ofertas e demandas, o preço é uma medida das preferências relativas em determinado momento. O preço funciona como um indicador de valor, abarcando valor de uso, de troca, especulativo e de transação, ou qualquer outro valor aplicável. O sistema de preços, portanto, define as preferências dos agentes econômicos para que um bem seja produzido e/ou consumido em determinado instante.

Com base nisso, tomadores de decisão frequentemente recorrem a avaliações de custo-benefício que, ao serem aplicadas a questões ambientais, muitas vezes desconsideram aspectos cruciais do papel dos ecossistemas no sucesso ou fracasso das nações. Há numerosos esforços

para evidenciar a ampla gama de valores potenciais dos serviços dos ecossistemas e fornecer uma primeira estimativa da magnitude relativa dos preços dos serviços ecossistêmicos globais (COSTANZA et al., 1997). Contudo, o "valor percebido dos ecossistemas [ainda] não leva em conta todos os serviços que eles fornecem, e essas compensações [dos agentes em relação ao ecossistema] ocorrem em lugares, tempos e grupos sociais diferentes" (RAIHAN, 2023b).

Atualmente, a economia aborda as compensações das externalidades, como poluição, por meio de mecanismos como o imposto pigouviano. No entanto, o problema reside no fato de que a compensação financeira pela poluição geralmente é destinada a compensar capital e trabalho, beneficiando o poder público que opera dentro do mesmo sistema capitalista degradante. Esse sistema que foca em remunerar seu próprio capital e trabalho — que degradam o meio ambiente — em vez de restaurar os recursos naturais degradados. Como consequência, os fundos são frequentemente reinvestidos nas mesmas práticas, perpetuando o acúmulo de capital e trabalho sem promover a devida recuperação ambiental. Idealmente, a compensação ambiental não deveria apenas remediar uma deficiência nos outros fatores econômicos, pois os recursos naturais são, eles próprios, fatores limitados e essenciais.

A ênfase atual em capital e trabalho, frequentemente à custa dos recursos naturais, revela extremos de escassez ou abundância desses recursos. Em cenários de escassez, como em conflitos por terras, a luta por recursos escassos resulta em competições intensas em consumo de capital humano e tecnológico para manter controle e sustentabilidade mínimas. Essas condições criam desequilíbrios sociais e econômicos significativos. Contrariamente, em contextos de abundância, a inovação se concentra em capital que reduz a carga de trabalho, muitas vezes negligenciando o impacto ambiental.

A civilização capitalista historicamente ocupa regiões de abundância de recursos, promovendo exploração intensiva e, às vezes, insustentável, ignorando sinais persistentes de escassez dos recursos naturais. Relembrando Serra Pelada e a Transamazônica, mas ressaltando agora a Mata Atlântica que resta, hoje, apenas 24% da mata que existia originalmente⁵. Destacando, também, a busca recente por terras raras com empreitadas, inclusive, de expansão territorial sob novas políticas imperialistas do Século XXI. Ou ainda, e é de se admirar com a humanidade, com ambições de exploração extraplanetária e colonialismo espacial, onde se

⁵ Disponível no site da Organização SOS Mata Atlântica: <https://www.sosma.org.br/causas/mata-atlantica>, acessado em 30/04/2025.

busca novos horizontes de recursos para sustentar um modelo de crescimento contínuo sujeitas às cestas de consumo das elites dominantes mundiais.

Diante desse cenário, é crucial desenvolver modelos econômicos que não apenas oscilem entre os extremos de escassez ou abundância, mas também capturem condições intermediárias de utilização do estoque de natureza. Esses modelos devem integrar a complexa relação entre atividades antropocêntricas e recursos naturais, avaliando os custos e benefícios de maneira que equilibrem desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental. Portanto, as medidas de custo-benefício e valor precisam ser aprimoradas para considerar plenamente o impacto das atividades humanas no meio ambiente.

A agenda de pesquisa sobre a valoração de recursos naturais e serviços ecossistêmicos tem avançado significativamente, abordando aspectos como o sequestro de carbono, a conservação e restauração de habitats naturais, e as amenidades, entre outros (DESMET; ROSSI-HANSBERG, 2024; RAIHAN, 2023b; SHRESTHA et al., 2023). Embora esta seção sobre precificação possa expandir-se em uma nova dissertação acerca das diversas economias e seus conceitos de valor, é essencial neste trabalho reconhecer que essa valoração acontece e é uma ação do agente racional. O agente avalia os custos e benefícios de dispor de elementos biocêntricos e antropocêntricos, atribuindo valores a eles e considerando todos os custos de oportunidade associados à escolha entre um e outro.

2.3. Produto antropocêntrico e Produto biocêntrico

Na contabilidade nacional, o PIB de um país ou região reflete a produção de todas as unidades produtoras da economia em um determinado período, calculado a preços de mercado (Feijó et al., 2013). O que é contabilizado como produção econômica são as transações de bens e serviços que possuem valor de mercado (observado ou estimado). Essa valoração monetária permite a agregação de quantidades heterogêneas de bens e serviços. Como os recursos naturais são parte do conteúdo da transação, os elementos da natureza já são, de certa forma, valorizados como unidades de produto pelos agentes no sistema atual.

Para compreender a movimentação dos recursos em uma economia, estudamos o fluxo circular da renda, que representa as transações entre os diversos agentes nos diferentes mercados que compõem a atividade econômica. No entanto, os recursos naturais não são explicitamente mencionados nesse fluxo. Embora de alguma forma estejam presentes no valor

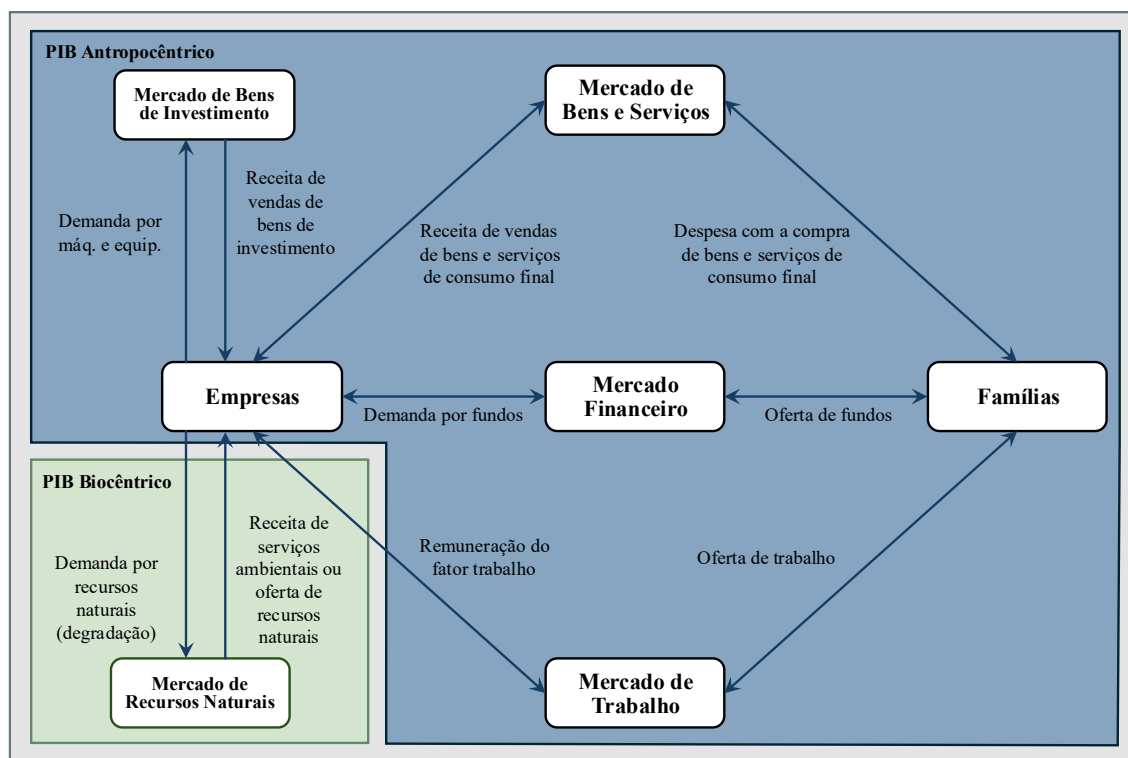
dos bens de consumo, dos fatores de produção ou insumos produtivos, eles são frequentemente ignorados ou não considerados como variáveis relevantes na análise macroeconômica.

Incorporar a ideia de um Mercado de Recursos Naturais ao fluxo circular da renda significa torná-los explícitos, como ilustrado na Figura 2. Pode-se afirmar que toda produção gera uma demanda por recursos naturais, seja como fator de produção (terra) ou como insumo produtivo, fornecidos pelo ecossistema no qual a economia está inserida. É importante considerar que uma parte do produto total de uma economia é, especificamente, recurso natural extraído e transformado, como mostrado na Figura 1, distinguindo-o assim dos demais elementos.

A Figura 2 ilustra o fluxo da renda que incorpora o mercado de recursos naturais, permitindo uma reflexão sobre o valor adicionado de uma economia que também depende da oferta de produtos biocêntricos. Optou-se por considerar o mercado de recursos naturais análogo ao mercado de investimento, como uma decisão da firma para produção de bem-estar. De modo que a firma é quem alcança o recurso natural e o transforma em valor adicionado.

O importante a se destacar e reforçar é que o valor do recurso já está presente no fluxo da renda, respeitando a estrutura da contabilidade nacional. O valor de uma amenidade, de uma vista, de uma paisagem, da disponibilidade de jazidas, fontes de água, nascentes de rios, já são elementos valorados na transferência da renda de uma compra-venda de um terreno qualquer que possua algum desses elementos. Isto é, e empresa tem conhecimento do conteúdo essencialmente natural presente do sistema. De modo que, o consumo, o investimento, os gastos do governo e as exportações líquidas, os componentes da demanda agregada dependem do tamanho de uma economia que abrange tanto a escala antropocêntrica quanto a biocêntrica.

Figura 2: fluxo da renda que incorpora o mercado de recursos naturais



Fonte: elaborado pelo autor, adaptado do livro de Contabilidade Social de Feijó et al. (2013).

A discussão que surge é sobre diferenciar o que é recurso essencialmente natural do que é resultado de exclusivamente trabalho e capital. Pode ser como discernir — ainda que com insuficiente precisão plena de significado — produto, ou resíduo, *orgânico* e *inorgânico*. Em outras palavras: é falar que o produto total de uma economia é igual à soma de produtos antropocêntricos e biocêntricos.

$$Y_{\text{Total}} = Y_{\text{Antropocêntrico}} + Y_{\text{Biocêntrico}} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde o produto antropocêntrico, Y_A , é o valor gerado a partir da combinação de trabalho e capital envolvido no processo produtivo. Enquanto o produto biocêntrico, Y_B , refere-se ao valor intrínseco da natureza gerado pela precificação do estoque de natureza.

Essa hipótese parece razoável, porém inicia um grande desafio de mensuração do que é essencialmente biocêntrico ou antropocêntrico na economia. Quando se define o PIB como “a soma de todos os bens e serviços finais produzidos por um país, estado ou cidade, geralmente

em um ano”⁶, uma visita a uma praia, uma amenidade local, a disponibilidade de um ar de melhor qualidade, a existência de um rio urbano próprio para banho está contabilizado no PIB? E não apenas os serviços associados àquela localidade, mas os serviços do ecossistemas em si (SHRESTHA et al., 2023), isto é, o valor intrínseco do elemento da natureza.

A hipótese a ser considerada é que o produto e o valor agregado são compostos por unidades de valor antropocêntrico e biocêntrico (Daly, 1991). Dessa maneira, para introduzir um ideal ambientalmente sustentável no modelo econômico atual, parece possível, ainda que difícil, separar, na contabilidade do PIB, os fluxos da produção de produtos já manufaturados dos produtos fundamentalmente naturais, dados (produzidos) pela própria natureza e inerentemente valorados pelo agente econômico.

2.4. Intensidade-Ambiente

Esta seção discute brevemente o conceito de intensidade-ambiente proposto na literatura IS-LM-EE, que se refere à parcela do estoque de natureza na produção econômica humana (HEYES, 2000) ou a velocidade em que se utiliza recurso natural por unidade de produto antropocêntrico.

Pode-se pensar na intensidade-ambiente como a parcela da renda que representa o esforço de alocação de algum recurso natural à disposição. Isso envolve a alocação dos estoques naturais disponíveis, considerando que cada produto consome uma quantidade específica de recursos ambientais. É pensar que cada produto exige uma quantidade de ambiente a ser consumida. Portanto, podemos pensar em uma *propensão marginal a degradar*; dado que produzir implica em extrair o estoque ambiental e transformá-lo em bens antropocêntricos, o que resulta na sua degradação.

Diante de uma estrutura produtiva planetária sem precedentes, surge o ponto central da atualidade: o debate político-econômico ambiental sobre o patrimônio líquido de recursos naturais disponíveis à humanidade e a velocidade com que são utilizados. Intensidade-ambiente é essa velocidade. A ideia de intensidade-ambiente, em termos econômicos, parece descrever o custo de oportunidade da transformação do recurso biocêntrico em antropocêntrico, conforme será aprofundado na Seção 4.2.

⁶Definição do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>.

Assim como a propensão marginal a consumir representa a velocidade do consumo por unidade de renda, a intensidade ambiente analisa a velocidade da degradação por unidade de produto antropocêntrico. Esse conceito nos permite refletir sobre as distintas estruturas produtivas que utilizam, de forma variada, o estoque disponível da natureza. Além disso, o debate mercadológico é enriquecido pelo valor das informações bioecológicas, que se mostram cada vez mais essenciais à estabilidade do sistema econômico-social.

Tendo em vista que o produto econômico consiste em parte de recursos naturais, esses recursos são essenciais para todo o processo produtivo. Cada economia, cultura ou sociedade, com determinados elementos biocêntricos em sua vizinhança de controle, estabelece uma relação particular com a Natureza ao redor. No nível microeconômico, cada unidade produtiva decide como utilizar esses recursos, impactando não apenas a produção e os custos, mas também o equilíbrio entre os recursos antropocêntricos e biocêntricos.

A intensidade-ambiente, então, atua como um parâmetro crucial, um canal de transmissão, que conecta decisões econômicas individuais aos impactos na demanda agregada. Essa característica é única para cada economia, refletindo sua relação específica com os recursos naturais.

2.5. Substitutividade e complementaridade

A literatura IS-LM-EE, base teórica deste trabalho explorada mais a fundo na Seção 3.1, expõe que a intensidade-ambiente está intimamente ligada ao custo do capital, especificamente à taxa de juros. Essa ligação é apresentada em duas perspectivas, à luz dos autores Heyes (2000) e Lawn (2003), que discutem, fundamentalmente, o sinal da derivada da intensidade ambiente em relação à taxa de juros.

Heyes (2000) discute um trade-off entre o custo de utilização do capital e a intensidade-ambiente; uma relação de *substitutividade*. De acordo com Heyes, intensidade-ambiente pode ser considerada como “fumaça”. Enquanto práticas intensivas em formação de capital são consideradas “limpas”, as intensivas em ambiente são consideradas “sujas”. Assim, cenários em que a taxa de juros é mais alta, menos capital é formado e mais se usa ambiente. E, quando a taxa de juros é menor, maior a formação de capital, em que se usa menos ambiente, menor é a intensidade-ambiente, gerando possibilidades de práticas mais limpas. É a possibilidade de ambiente e capital serem bens substitutos.

Lawn (2003), por outro lado, questionou essa visão e pensou na complementaridade. Ele interpretou a intensidade-ambiente como o grau de uso de insumos, especialmente energia, no processo produtivo. O percentual mínimo do ambiente necessário de energia por unidade de produto. Segundo o autor, há um ponto mínimo entre a intensidade-ambiente e a formação de capital necessária à produção. À medida que o custo do capital diminui, os insumos são utilizados de maneira mais eficiente, melhorando a produtividade e resultando em uma menor intensidade-ambiente.

A discussão entre complementaridade e substitutividade desempenha um papel crucial na análise do modelo de preferências dos agentes em relação à demanda por recursos naturais em oposição ao capital. Para ilustrar a integração dos recursos naturais em todos os aspectos da vida, podemos recorrer a um exemplo simples: optar por zona urbana e zona rural é uma questão ambiental? Revela-se uma questão de substitutividade. Por outro lado, quantos copos de água se deve ingerir por dia? Complementaridade.

Essas questões refletem a complexidade das interações entre o uso de recursos naturais e a formação de capital. Em se tratando de sociedade capitalista, como se forma o capital diante de valores ambientais? Exigindo, portanto, uma análise cuidadosa e contextualizada para caso a caso. Ambas as hipóteses de substitutividade (Heyes, 2000) e complementaridade (Lawn, 2003), dependendo da aplicação, podem estar corretas.

A partir dessa hipótese sobre a relação entre a utilização de recursos naturais e o custo de capital, a literatura propõe uma nova reta que representa o equilíbrio de um mercado ecológico. Este equilíbrio é definido pela alocação dos recursos naturais no plano $\{Y, R\}$ (produção e taxa de juros, respectivamente) para uma economia fechada. Heyes propõe substitutividade, enquanto Lawn propõe a complementaridade, indicando uma restrição onde formar capital exige, em substituição ou complementaridade, a utilização dos recursos naturais.

3. Modelo-base

Antes de continuar a explorar conceitos ambientais na macroeconomia, é necessário contextualizar com o modelo-base convencional da análise macroeconômica utilizado no trabalho.

O chamado modelo IS-LM, idealizado inicialmente por Hicks em 1937, foi criado como uma sugestão interpretativa da Teoria Geral de Keynes (1936). O modelo se fundamenta nas identidades contábeis da poupança-investimento (Investment-Savings) e da liquidez e quantidade de moeda (Liquidity-Money). O IS-LM ainda é usado como ferramenta de compreensão das políticas macroeconômicas em salas de aula do século XXI. Não obstante, o surgimento da literatura IS-LM-EE nos anos 2000 motivou o estudo deste trabalho.

Anos mais tarde, no início da década de 1960, J. Marcus Fleming e Robert Mundel estenderam independentemente o modelo keynesiano de economia aberta da política macroeconômica para incorporar sistematicamente o papel dos fluxos de capital (BOUGHTON, 2002). O modelo de Mundell-Fleming, conhecido popularmente como modelo IS-LM-BP, é um sistema linear que possui três variáveis endógenas: a produção, a taxa de juros e a taxa de câmbio.

A curva IS representa o equilíbrio no mercado de bens e serviços que atende à demanda descrita pela Matriz de Insumo-Produto. Mais especificamente, ela deriva da seguinte equação:

$$Y_t = C_t(Y_t) + I_t(r_t) + G_t + X_t(Y_t^*, \theta_t) - M_t(Y_t, \theta_t) \quad \text{Equação 2}$$

onde Y_t , cálculo do PIB, numa economia aberta com governo, pela ótica da despesa nos diz que o crescimento da demanda é a soma dos *fluxos* de recursos destinados ao consumo (C_t), ao investimento (I_t), aos gastos do Governo (G_t) aos gastos em exportações líquidas ($X_t - M_t$) que dependem da taxa de câmbio real (θ_t), da renda estrangeira (Y_t^*) e da própria renda interna.

Adicionalmente, a curva LM representa o equilíbrio do mercado monetário. O mercado monetário é uma função cuja oferta de moeda corrente é exogenamente definida pelo Banco Central, e sua demanda depende da taxa de juros e do nível de renda. A dependência negativa à taxa de juros representa a elasticidade da demanda por moeda, que pode ocorrer por motivo transação, a preferência pela liquidez, a antecipação do valor no tempo (M. KEYNES, 1936). A elasticidade-renda da demanda, por sua vez, representa o volume das transações realizadas. Nesse sentido, a curva LM é representada por:

$$\left(\frac{M^s}{P}\right)_t = L(\bar{i}_t, \bar{Y}_t) \quad \text{Equação 3}$$

A curva BP, por sua vez, representa o equilíbrio da balança de pagamentos internacionais. Ela é definida pelo resultado líquido do comércio exterior, i.e. a diferença entre o nível de exportações e importações, $X_t - M_t$, adicionado ao resultado a conta de capital, que toma a forma $\lambda(r_t - r_t^*)$, onde λ é um fator que representa a mobilidade (ou o fluxo) de capitais e $r_t - r_t^*$ a concorrência internacional dos juros reais, dos valores do capital nacional e internacional. A soma entre conta corrente e conta capital, em equilíbrio, é zero:

$$X_t(Y_t^*, \theta_t) - M_t(Y_t, \theta_t) + \lambda(r_t - r_t^*) = 0 \quad \text{Equação 4}$$

As três equações descritas formam um sistema linear com três variáveis endógenas, a produção Y_t , a taxa de juros i_t e a taxa de câmbio θ_t . Com o sistema linear, mudanças nos parâmetros definidos como exógenos afetam as variáveis endógenas, permitindo que a estática e a dinâmica comparativa de eventos pontuais sejam analisadas.

No ano 2000, Anthony Heyes publicou “A proposal for the greening of textbook macro: ‘IS-LM-EE’” incorporando uma nova curva ambiental, de “Equilíbrio Ecológico”, ao modelo IS-LM para uma economia fechada, em substituição à BP. Como veremos na próxima seção, uma curva adicional já implica em bastante complexidade lógica na sucessão das implicações matemáticas de uma equação ambiental. Por isso, na literatura IS-LM-EE pouco se fala sobre economias abertas.

Antes de seguir adiante, o modelo IS-LM-BP é keynesiano porque as análises são conduzidas por mudanças ocorridas na demanda agregada. O cálculo do PIB pela ótica das despesas apresenta componentes (C, I, G, X, M) que orientam o destino da produção. De modo que a oferta da economia é uma variável endógena do modelo representada por Y_t e é levada a alcançar novas posições de demanda.

Antes tarde e não menos importante, duas das três óticas de mensuração do PIB, do produto e da despesa, são consideradas. A análise da política macroeconômica keynesiana convencional se aprofunda nos componentes da demanda agregada identificados pela ótica da despesa.

A oferta, nesse modelo, considera a produção como o resultado da combinação exclusiva de capital (K) e trabalho (L), como uma função $f(K, L)$. Este trabalho, porém,

incorpora uma função $f(K, L, N)$ em que o estoque de natureza (N) depende da formação de capital e trabalho.

O modelo proposto por esse trabalho, porém, não adiciona uma curva ambiental e se mantém na estrutura básica IS-LM-BP para economias abertas. A vantagem de se utilizar o modelo de Mundell-Fleming como estrutura consolidada é que as interpretações dos três mercados podem influenciar e ser influenciadas por parâmetros ambientais incorporados a partir da iniciativa IS-LM-EE de macroeconomia ambiental.

3.1. O modelo IS-LM-EE

Heyes (2000) propôs o modelo IS-LM-EE. Este modelo incorpora uma curva de restrição ambiental, analisando o estoque da "commodity ambiente" ou natureza. O autor introduziu o conceito de Equilíbrio Ambiental (EE), ou Equilíbrio Ecológico, propondo a análise da curva EE, que representa os pontos de estabilidade do estoque ambiental.

Essa definição de equilíbrio ambiental parece, em parte, utilizar-se do que Daly (1991) considerou sendo a estabilidade entre o benefício marginal de expandir a formação de capital bruto e o custo marginal de sacrificar a natureza em detrimento um do outro. O sacrifício ou redução do estoque de unidades de natureza ao longo do tempo define a função de degradação proposta por Heyes (2000). O equilíbrio é alcançado quando a degradação é zero, ou seja, quando o crescimento negativo do estoque é nulo.

A função de degradação é apresentada como uma equação diferencial de primeiro grau, cuja solução é uma função linear, indicando um crescimento constante na demanda por recursos naturais por unidade de produto. Isso forma uma balança entre o que acelera ou desacelera a degradação. O componente de intensidade ambiente e a capacidade de recuperação do próprio estoque de natureza (uma taxa de regeneração).

Na literatura do modelo IS-LM-EE, há um consenso de que a degradação é a primeira derivada negativa do estoque de natureza (CHEN, 2023; DAS et al., 2024; DECKER e WOHR, 2012; HEYES, 2000; LAWN, 2003; MORAES e SERRA, 2011; SIM, 2006; ZHANG, 2018). Heyes (2000) representou a degradação da seguinte forma:

$$-\left(\frac{dN_t}{dt}\right) = e(R, \Lambda)Y_t - sN_t \quad \text{Equação 5}$$

onde N_t ⁷ é o montante estoque de natureza no tempo t e sN_t representa a parte recomposta, regenerada, e s a taxa (ou fator) de recomposição, ou regeneração, do próprio estoque; $e(R, \Lambda)$ é a intensidade-ambiente, que é função do custo de capital (R , a taxa de juros real) e de um parâmetro institucional de regulação, Λ .

A hipótese chave do modelo de Heyes é que $e_R > 0$. Essa derivada representa a substitutividade entre formação de capital e intensidade ambiente.

Lawn (2003), por outro lado, introduz o coeficiente da razão insumo-produto, representando a complementaridade. Para isso, ele primeiro representa a eficiência, analisando como o uso de recursos naturais é proporcional ao capital.

$$E(R, \beta, \gamma) = \frac{\text{energia disponível incorporada no PIB real produzido } (Y)}{\text{energia disponível incorporada como retorno de insumos } (T)} \quad \text{Equação 6}$$

R é o custo do capital. β , Lawn define como “um parâmetro institucional que captura a extensão em que os custos de esgotamento e poluição são suportados pelo usuário do recurso e pelo poluidor”. Isto é, até quando o agente vai até o recurso acabar? Esse parâmetro captura a instituição de um valor para tal, um limite de comportamento. E γ como um parâmetro tecnológico que captura o estado do progresso tecnológico na economia de recursos e na redução da poluição. Uma espécie de poupança de recursos naturais por desenvolvimento da técnica.

Em seguida, o autor faz uma representação análoga à equação de degradação de Heyes (2000), onde a diferença se concentra na intensidade-ambiente, tratada como energia incorporada como insumo. Essa abordagem considera a seguinte forma funcional da degradação:

$$-\left(\frac{dN_t}{dt}\right) = T_t - sN_t \quad \text{Equação 7}$$

Onde T_t é a utilização de insumos. E, como disposto no Apêndice 1, a partir da Equação 6 aplicada à Equação 7, desenvolve-se a Equação 8, que é:

$$-\left(\frac{dN_t}{dt}\right) = \frac{Y_t}{E(R, \beta, \gamma)} - sN_t \quad \text{Equação 8}$$

⁷ Vale informar que Heyes (2000) utiliza a letra E para representar a natureza (environment) e que este trabalho se utilizou da notação de Lawn (2003) por questões, conflitos, restrições alfabéticas para representação matemática.

Cujo fator de intensidade-ambiente é o inverso da eficiência. Por isso, quanto maior a formação de capital, maior a degradação a depender da eficiência da técnica. A eficiência que, por sua vez, também depende do custo do capital, R .

A hipótese chave é que $E_R < 0$, a curva de eficiência é decrescente com o custo do capital. Isso quer dizer que a eficiência aumenta com a com a formação de capital. Redução do custo do capital aumenta eficiência. Caso contrário, aumento do custo de capital reduz a eficiência, que reduz a degradação. Redução ou aumento de eficiência é resultado, também, de aumento ou diminuição da produção por unidade de insumo. Dessa forma, na perspectiva de Lawn, formar capital implica em melhorias tecnológicas.

No contexto da busca pelo Equilíbrio Ecológico (EE), então, ambos os autores discutem como, sob certas condições, é possível identificar uma linha onde a degradação é nula, $-\left(\frac{dN_t}{dt}\right) = 0$, i. e. solucionam a diferencial. Esses cálculos avaliam como variações na taxa de juros influenciam a intensidade ambiental e, conseqüentemente, o uso dos recursos naturais. As derivadas implícitas (ver apêndice) são:

$$\left.\frac{dR}{dY}\right|_{dN/dt=0} = -\frac{e}{e_R \cdot Y} \blacksquare \quad \text{Equação 9}$$

e

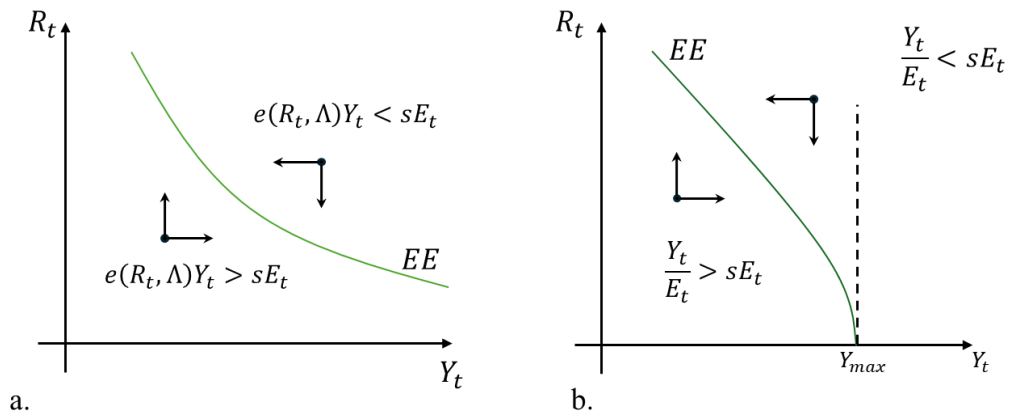
$$\left.\frac{dR}{dY}\right|_{dN/dt=0} = \frac{E}{Y \cdot E_R} \blacksquare \quad \text{Equação 10}$$

Sabendo que, para a Equação 9, $e_R > 0$, e para a Equação 10, $E_R < 0$, ambas as derivadas do custo do capital com relação à atividade econômica em estado de degradação zero (ou $\left.\frac{dR}{dY}\right|_{dN/dt=0}$), são negativas. Isto é, em estado de degradação zero, alterações nas quantidades produzidas são inversas às mudanças do custo do capital. Custo de capital alto freia, e baixo acelera, a atividade econômica. A economia pode se situar em posições não degradantes e a relação custo de capital e produção se mantém, tanto para Lawn quando para Heyes. No modelo IS-LM, no plano $\{R, Y\}$, as derivadas negativas acima resultam em curvas negativamente inclinadas que representam restrições ecológicas com particularidades distintas.

As curvas EE de Heyes e Lawn, ambas destacam a relação inversa entre custo de capital e produção a uma posição de degradação nula. São as curvas de equilíbrio ecológico sustentadas no modelo, enfatizando restrição ambiental e a necessidade de equilíbrio entre

crescimento econômico e conservação ambiental. A ver, o Gráfico 1(a. e b.) expõe o plano $\{Y, R\}$ para cada abordagem dos autores.

Gráfico 1: Curvas de Equilíbrio Ecológico



Fonte: os gráficos 1a. e 1b. foram elaborados pelo autor, adaptados, respectivamente, das curvas de Heyes (2000) e Lawn (2003).

O Gráfico 1a representa uma hipérbole assintótica aos eixos, indicando uma relação inversa simples sem interceptos.

No Gráfico 1b, de modo similar, o zero não está presente, mas eficiências muito pequenas estabelecem um limite de produtividade. No limite em que a eficiência é zero, há a impossibilidade matemática do denominador nulo, por isso existe uma quantidade máxima possível Y_{max} , resultando no limite da eficiência.

Tais curvas são incorporadas ao plano IS-LM para compreendermos o equilíbrio dos dois mercados convencionais da economia restrito à degradação do estoque de natureza. Diante disso, ambos os autores mergulham nos choques das políticas fiscal e monetária sobre o estado de degradação.

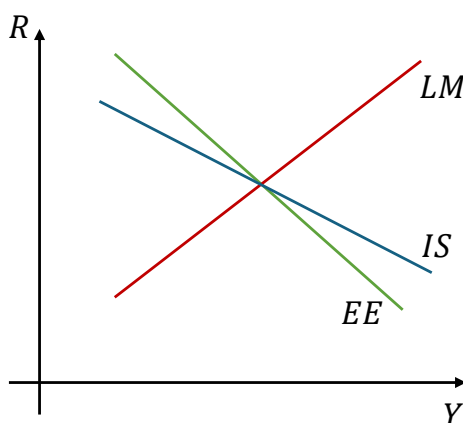
Outro detalhe importante é que, apesar de considerarem hipóteses diferentes para a relação de formar capital e utilizar recurso natural, Heyes e Lawn apresentam cada qual uma reta negativamente inclinada no plano macroeconômico. Decker e Wohar (2012), por outro lado, propõem uma análise da reta EE positivamente inclinada, em alusão à complementaridade de Lawn, da intensidade-ambiente crescente com o capital. Tal abordagem amplia significativamente o escopo de possibilidades para estudar restrições ambientais.

A literatura IS-LM-EE examina, portanto, como a curva EE responde a choques ecológicos e mudanças no equilíbrio ecológico em relação a políticas macroeconômicas

monetária e fiscal. E, até então, não incorporou o mercado internacional. Quanto à BP, Moraes e Serra (2011) analisam a curva EE em comparação com a curva da BP equilibrada, explorando a LM tanto vertical quanto horizontal. Diferente de Zhang et al. (2018) que incorporam o câmbio como variável da combinação linear que pode representar a curva EE.

O Gráfico 2 apresenta uma forma de visualização da vizinhança do ponto de intersecção entre as curvas IS, LM e EE. A maioria dos autores dessa literatura exploram, em grande parte, os impactos das políticas fiscal e monetária em relação ao equilíbrio ecológico. Por exemplo, em vista de um choque expansivo dos gastos do governo, *ceteris paribus*, desloca-se a curva IS para a direita desequilibrando a balança de degradação. O que fazer para alcançar um novo ponto de equilíbrio ecológico?

Gráfico 2: plano IS-LM-EE



Fonte: elaborado pelo autor e “foi desenhado para o caso em que a EE mais inclinada que a IS, o que pode não ser necessariamente verdade” – Heyes, 2000; Lawn, 2003.

Os autores que discutem o modelo IS-LM-EE, em geral, concordam que políticas compensatórias são necessárias para equilibrar o impacto dos choques exógenos, seja monetário ou fiscal. Isto é, se uma política monetária causa degradação ambiental significativa, uma política fiscal deve ser implementada para restaurar o estoque de natureza, e vice-versa. Se a IS é deslocada, a LM deve se deslocar para alcançar um novo equilíbrio na EE (e vice-versa). Essa abordagem é aplicada em casos de "desastres ambientais", sugerindo que ajustes individuais endógenos não são suficientes para mitigar os impactos ambientais, necessitando de intervenções políticas coordenadas.

Sim (2006) é o autor que discute essa possibilidade de ajustes endógenos no modelo. Mas como prever a dimensão correta da política para alcance do equilíbrio ecológico? A não

trivialidade da resposta é o problema apontado pelo autor e, por isso, deve-se incorporar uma noção de ações endogenamente definidas. Ações do agente destinadas à preocupação ecológica.

O autor sugere que ações proativas dos agentes econômicos podem ajudar a alcançar o equilíbrio ecológico. Ele propõe a ideia de um "PIB potencial ecológico" que serve como meta, incentivando agentes a consumir de maneira mais consciente e reduzir a degradação. A noção é que, ao compreender a distância até esse equilíbrio, os agentes ajustem suas ações, contribuindo para uma interação mais sustentável com o meio ambiente.

Zhang et al. (2018) exploram a ideia de equilíbrio ecológico com políticas compensatórias, propondo um instrumento fiscal que cobra pelo abatimento de emissão de carbono por unidade de investimento. Essa abordagem combina o produto, a taxa de juros e o investimento em abatimento de emissão de carbono, que é tratado como uma variável endógena para otimizar a curva EE. O investimento atua como um imposto lump-sum sobre a renda de projetos que emitem gases de efeito estufa, com um teto controlado pelo governo, investimento forçado em abatimento. A ideia é criar incentivos iniciais para destinar recursos a práticas mais sustentáveis, embora a implementação dependa do contexto político. Tal iniciativa exige um entendimento amplo e estratégico das políticas públicas e de seus impactos econômicos e ambientais.

Das et al. (2024) introduzem o conceito de um fator de capacidade de utilização para explicar como o progresso tecnológico é limitado e como políticas macroeconômicas influenciam o crescimento econômico. Eles argumentam que a eficácia das políticas fiscais e monetárias para promover o crescimento verde varia conforme o nível de utilização da capacidade produtiva. Em particular, suas análises se fundamentam na abordagem de Lawn para representar interpretações da capacidade.

A ideia de realocar capital ocioso para investimentos verdes enfrenta desafios, já que nem todo capital pode ser facilmente redirecionado. Isso se deve à falta de coincidência entre a alocação de recursos e as novas atividades pretendidas, além do fato de que o capital ocioso pode não ser prontamente disponível devido a restrições específicas.

Em resumo, a integração do meio ambiente no modelo IS-LM-BP é complexa, mas essencial para entender como as políticas macroeconômicas podem afetar a sustentabilidade ambiental da economia. Na próxima seção, vamos explorar a ideia de um produto biocêntrico e antropocêntrico. Conforme ilustrado na Figura 2, o fluxo de renda integra o mercado de recursos naturais. Ao usar a primeira diferença como uma medida de degradação, essa abordagem é incorporada à curva IS convencional, ampliando o modelo para incluir

considerações ecológicas e promover um equilíbrio entre crescimento econômico e conservação ambiental.

4. Um mercado de bens e serviços ecológicos.

Esta seção atende ao objetivo de propor uma nova interpretação analítica dos recursos naturais, da intensidade ambiental e da degradação na macroeconomia, usando o que podemos chamar de Modelo IS-LM-BP Ecológico.

O modelo assume quatro hipóteses principais:

- i) A oferta é dada pelo Produto Total antropocêntrico ou biocêntrico, sendo mutuamente excludentes, indicando substitutividade entre esses tipos de produto (Equação 1, $Y_T = Y_A + Y_B$, Seções 2.3 e 2.5).
- ii) Diante disso, separa-se, também, um consumo linear à contrapartida demanda pela existência dos dois produtos, antropocêntrico e biocêntrico; dado pela função $C(Y_A, Y_B) = C_0 + c_A Y_A + c_B Y_B$.
- iii) Produto Biocêntrico: É definido pela precificação do estoque de Natureza (Seção 2.1), necessária para converter unidades de estoque em unidades monetárias.
- iv) Relação entre Produtos: Cada unidade de estoque de natureza extraída gera uma quantidade de produto antropocêntrico, influenciada pela intensidade ambiental, degradação marginal ou propensão marginal degradar, conforme discutido na Seção 2.4.

Dessa forma, o modelo cria um sistema para analisar diferentes implicações de políticas macroeconômicas com base nos parâmetros ecológicos estabelecidos.

Conforme proposto, o estoque de natureza altera a disponibilidade do produto total na economia. Uma hipótese adicional é a de não nulidade, sugerindo que zero estoque de natureza resulta em zero bem-estar (DALY e FARLEY, 2004). Ou seja, sem estoque de natureza, a economia pode colapsar. Simplificando: sem natureza, nada existe. Assim, os mercados só existem na presença da natureza.

Neste modelo, em particular, a natureza é incorporada como uma heterogeneidade de produtos, ao mercado de bens e serviços, dada a igualdade imposta em pôr sob equilíbrio a demanda agregada e o produto total (i). De modo que a oferta de produto biocêntrico dependa da demanda por produto antropocêntrico (a ser vista na Seção 4.1).

Para incorporar o mercado monetário, *ceteris paribus*, poderíamos considerar a moeda como um produto ligado à intensidade ambiental ou à degradação marginal do produto, conforme discutido nas Seções 2.4 e 3.3. Nesta perspectiva, a moeda poderia ser vista como

recurso natural, semelhante ao antigo lastro em ouro, embora isso envolva desafios matemáticos ainda mais complexos. Atualmente, a moeda funciona como informação para pagamento de bens ou serviços, tornando a troca de serviços um mecanismo exclusivamente antropocêntrico. O pagamento, nesse sentido, não se configura imediatamente como uma transação de mercadoria. Por isso, o mercado monetário se mantém constante exógeno à utilização dos recursos naturais.

O mercado internacional, por sua vez, poderia incorporar demandas específicas relacionadas ao estoque natural. Contudo, também devido à alta complexidade, este trabalho decidiu não explorar as possibilidades das ideias ecológicas apresentadas no contexto dos mercados monetário e internacional. Como consequência disso, neste modelo, os mercados, exceto o de bens, são influenciados apenas pelo PIB antropocêntrico.

O modelo propõe estudar a degradação por meio da intensidade ambiental do estoque natural, que representa a parte biocêntrica do PIB real. Isso inclui precificar o estoque natural, degradá-lo por unidade de produto antropocêntrico e compará-lo aos outros mercados. O objetivo é compreender a transformação e a natureza por todo o fluxo circular da renda. Esse mecanismo de transmissão entre biocentrismo e antropocentrismo é determinado pela razão de intensidade ambiental e pelo preço relativo entre as duas abordagens.

4.1. Produto e consumo biocêntricos, degradação marginal e intensidade ambiente

O conceito de biocentrismo aplicado ao consumo e ao produto, indica a necessidade de separar o que a Figura 1 chamou de serviços da economia e serviços do ecossistema, que geram bem-estar agregado. Dessa maneira, apresentamos a oferta e a demanda por estoque de natureza.

A oferta do produto biocêntrico é alcançada ao precificar o estoque de recursos fornecidos pela Natureza, exogenamente determinada. Para isso, tem-se a quantidade dada de natureza e o valor associado, fator de conversão de unidade de estoque em unidade monetária, ou seja, o preço em moeda. Assim, o estoque de recursos naturais disponibilizados no período presente, t , é convertido em valor monetário, permitindo a definição do produto natural, ou produto biocêntrico.

O PIB biocêntrico atual, Y_B , é uma função que resulta do preço multiplicado pela quantidade do fluxo do estoque natural disponível no tempo t . Ou seja:

$$Y_{B_t} = \beta N_t \text{ tal que } \beta > 0$$

(Equação 11)

Em que β é o preço da quantidade de natureza, com unidade igual a $\frac{\$}{\text{unid. de } N}$ (unidade monetária por unidade de estoque de natureza), cuja função é exclusivamente precificar a natureza. Assumindo, simplesmente a oferta de recursos naturais utilizáveis.

Sua utilização, por outro lado, é, neste modelo, a primeira diferença negativa do estoque de natureza. De modo que para cada produto antropocêntrico a mais, há degradação. Diferente do que propuseram Heyes (2000) e Lawn (2003), degradação neste trabalho é discreta e apenas considera a parte disponibilizada do estoque. E é marginal, porque é uma variável de fluxo, como todas as outras do modelo IS-LM-BP. Ou seja, tratamos o estoque de natureza como o fluxo de entrada de certa quantidade de elemento natural à disposição da economia para ser utilizada em sua balança de mercado. Quando os autores trabalham com uma equação diferencial, eles incorporam a ideia do fluxo contínuo de entrada e saída do estoque, esse é um fluxo discreto em estática comparativa.

Este modelo, portanto, trabalha com uma equação em diferença. Cujos estoque de produto antropocêntrico aumenta à quanto menor a disponibilização do estoque de natureza ao longo do tempo. A intensidade ambiental reflete a diferença marginal no estoque natural por unidade do produto antropocêntrico. Isto é, o quanto do estoque de natureza disponibilizado em $t = 0$ foi utilizado em t representa na unidade de produto antropocêntrico? Caracterizando, assim, a equação de degradação marginal do produto antropocêntrico, que pode ser expressa na forma:

$$(N_0 - N_t) = \frac{e}{v} Y_{A_t} \quad \text{Equação 12}$$

A Equação 12, em outras palavras, apresenta que uma redução do estoque natural disponibilizado no tempo é uma função crescente do PIB antropocêntrico. O estoque passível de precificação corrente (N_t) pode ser retirado ($-N_t$) do fluxo marginal do estoque de natureza anterior (N_0) e criar, em alguma medida (e/v), unidades de produto antropocêntrico (Y_{A_t}). Ou ainda, é dizer que o PIB antropocêntrico necessita extrair alguma parcela (e/v) do estoque de natureza para ser realizado.

O motivo de a intensidade ambiente ser uma razão com numerador (e) e denominador (v) evidenciados é para manter portas abertas para a discussão da relação entre intensidade ambiente e custo do capital. O numerador da razão é um componente de aceleração da

degradação marginal, e , como um componente de escala, mencionado por Heyes (2000). O denominador é, por conseguinte, um componente que desacelera a intensidade-ambiente, v , relacionado à eficiência técnica no denominador discutida por Lawn (2003). Que, por sua vez, possuem relações distintas com o custo do capital $e_R > 0$ (Heyes, 2000) ou $v_R < 0$ (Lawn, 2003). Uma dinâmica ainda por explorar.

Embora este trabalho não aborde a dependência dos componentes da intensidade ambiental em relação à taxa de juros (discutidos na seção sobre substitutividade e complementaridade), ambos estão relacionados às características específicas de uma economia e sua interação com o meio ambiente. O primeiro componente trata de pensar que o agente econômico escolhe ou ambi da parte da estrutura econômica que promove ações de degradação ambiental, através de ações como a construção de estradas, expansão urbana e emissão de gases de efeito estufa (GEE), conforme mencionado por Heyes (2000). O segundo componente, por outro lado, aborda modelos de atividade econômica que reduzem a intensidade ambiental, tais como a eficiência técnica (Lawn, 2003) ou atividades biocêntricas que exigem a manutenção dos recursos naturais como tal, como a manutenção de paisagens naturais, reservas ambientais e parques de preservação. Ambos os componentes são fundamentais para entender a rapidez com que uma economia pode se mover em direção a um estado onde a degradação marginal zero.

É importante discutir que o estado de degradação marginal zero não implica necessariamente a estabilidade de um sistema ecologicamente equilibrado. *Degradação marginal zero* refere-se apenas ao ponto cuja posição é tal que a produção adicional de um produto antropocêntrico não utiliza além da disponibilização do estoque de natureza do período anterior. Nesse modelo, essa posição só acontece quando $(N_0 - N_t) = 0 \Rightarrow (N_0 = N_t) \Leftrightarrow \frac{e}{v} = 0$. Essa afirmação não implica que o estoque de natureza de uma economia seja zero, muito menos que a degradação em si seja zero, pois cada variável é o dado do fluxo de disponibilização do estoque. E, quando o fluxo de entrada é igual ao fluxo de saída, a degradação é o fluxo de saída, não o resultado da balança, mas uma interrupção do fluxo seguinte (dada a hipótese de não nulidade).

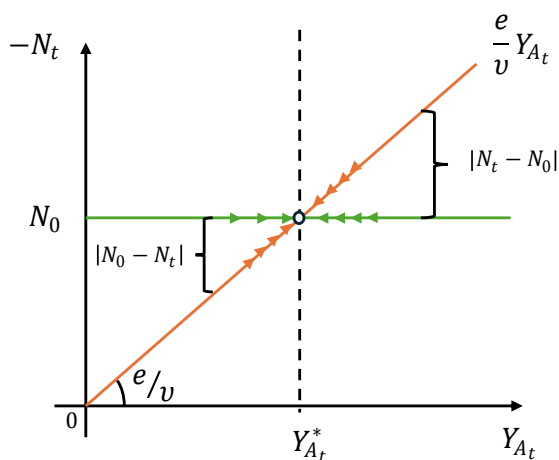
O Gráfico 2, a seguir, apresenta esse conceito. O fluxo de utilização do estoque de natureza em t existe para cada unidade de produto antropocêntrico existente. Ou seja, se existe economia antropocêntrica, ela degrada. Porém, na margem, as possibilidades de crescimento antropocêntrico podem ser consideradas *ecologicamente viáveis* ou *inviáveis*. As viáveis são

posições na reta ascendente que estão abaixo da reta horizontal e à esquerda da reta vertical tracejada. Pontos na reta ascendente acima da reta horizontal, extrapolam a quantidade disponibilizada passível de utilização, portanto, impossíveis de serem concretizadas num primeiro momento.

Tecnicamente, para esta intensidade ambiente (i. e. para esta inclinação da reta ascendente), a região onde a diferença é $|N_t - N_0|$ — ou acima da reta horizontal, à direita da reta vertical $Y_{A_t} = Y_{A_t}^*$ — a economia está ecologicamente inviável; em posição de quantidade de retirada necessária maior que de entrada do estoque de natureza. Isto é, a degradação vai além das possibilidades de recomposição do estoque de natureza exogenamente determinado.

Por outro lado, na região representada pela diferença $|N_0 - N_t|$ — abaixo da reta horizontal e à esquerda da reta vertical — há um saldo positivo de estoque de natureza. A quantidade disponibilizada em $t = 0$ não foi completamente valorada e transformada em t . Uma região que poupa estoque de natureza e que faz sobrar biocentrismo do período anterior, ou posições onde se é ecologicamente viável.

Gráfico 3: degradação e intensidade ambiente



Fonte: elaborado pelo autor.

O $Y_{A_t}^*$ seria, então, o *máximo produto antropocêntrico ecologicamente viável* no tempo corrente, i. e. quando todo o estoque de natureza disponibilizado no período anterior é valorado, a economia o transforma completamente, em t , em produto antropocêntrico. De modo que num cenário posterior, será impossível crescer utilizando recurso natural disponibilizado. O ponto Y_t^* é, portanto, o limite de viabilidade da estrutura antropocêntrica em ser intensiva em ambiente.

Em Y_t^* , a economia valora e transforma, logo degrada, tudo o que foi disponibilizado em $t = 0$, resultando na interrupção do fluxo do recurso disponibilizado em $t + 1$, a não ser

que o fluxo do estoque de natureza medido (em $t = 0$) for exogenamente maior, de modo que a economia seja relativamente menor que o produto total disponibilizado. Enquanto a região ecologicamente inviável reflete níveis mais altos de crescimento do PIB antropocêntrico, a área onde a recomposição ambiental supera a utilização do estoque indica que a produção antropocêntrica consegue ser sustentada pelo fluxo de estoque de natureza disponibilizado exogenamente no período anterior.

Na prática, o modelo é uma estática comparativa do fluxo de entrada em $t = 0$ e saída em t , que torna a nulidade da degradação não uma inexistência dos estoques, mas uma interrupção do fluxo. E isso é resultado da análise em diferença, e não diferencial.

Em resumo, o Gráfico 2 ilustra como a intensidade ambiental pode impactar diretamente o PIB antropocêntrico e, conseqüentemente, o PIB total, através do estoque natural e da intensidade ambiental. Ele serve como um mapa para orientar decisões que integram a balança dos estoques necessários à prosperidade de uma economia, destacando, neste contexto, os recursos naturais.

4.2. A Curva IS ecológica

Esta seção mostra a modificação do mercado de serviços para incorporar comportamentos ecológicos no modelo clássico IS-LM-BP. Ao integrar o estoque de natureza, seu preço, sua degradação e a intensidade ambiental — que desempenha um papel central como mecanismo de transmissão — à curva IS, do tradicional modelo IS-LM-BP. A hipótese de combinar produto antropocêntrico e biocêntrico na formação da oferta e demanda agregadas, marca o início de uma série de implicações matemáticas para o sistema como um todo. Em termos formais:

$$Y_T = Y_A + Y_B = C(Y_A, Y_B) + I + G + X - M \quad \text{Equação 13}$$

A demanda agregada representa a busca por bens e serviços antropocêntricos e biocêntricos. De modo que, Y_T , o PIB total, é expresso como a soma do *PIB antropocêntrico* (Y_A) e *PIB biocêntrico* (Y_B) (Equação 13). E consideramos que haja um consumo de produtos biocêntricos na forma de uma $C(Y_A, Y_B)$, cuja lei de formação é uma função linear múltipla com propensão marginal a consumir bens antropocêntricos ou biocêntricos. Como na forma:

$$C(Y_A, Y_B) = C_0 + c_A Y_A + c_B Y_B \quad \text{Equação 14}$$

Ao incorporar, portanto, as definições de produto biocêntrico e transformação do estoque de natureza em produto antropocêntrico, i. e. juntando ao utilizar o

(Equação 11, da precificação do estoque de natureza, e Equação 12, da degradação marginal do produto antropocêntrico, surge que o PIB biocêntrico depende do PIB antropocêntrico:

$$Y_B = \beta \left(\overbrace{-\frac{e}{v} Y_A + N_0}^{N_t} \right) = -\beta \frac{e}{v} Y_A + \beta N_0 \quad \text{Equação 15}$$

A partir disso, o PIB biocêntrico é uma função linear decrescente do PIB antropocêntrico, conforme discutido na seção anterior. Ao incorporar a Equação 10 à Equação 9, chega-se ao mercado de bens que integra o biocentrismo, dependente das ações antropocêntricas de extração de recursos naturais por unidade de produto antropocêntrico. Anteriormente, o mercado de bens e serviços era definido pela Equação 1, usando uma única definição de produto final. Agora, a classificação antropocêntrica e biocêntrica é integrada ao produto total, estabelecendo uma nova equação que fundamenta a demanda agregada:

$$\overbrace{Y_A + Y_B}^{\text{Oferta}} = \overbrace{C(Y_A, Y_B) + I(r) + G + X - M}^{\text{Demanda}} \quad \text{Equação 16}$$

Os componentes da demanda agregada são mantidos, porém a oferta é alterada para uma composição antropocêntrica e biocêntrica. Não deixando de lembrar da extensa discussão que é a definição de cada produto antropocêntrico e biocêntrico, que pode facilmente transbordar os saberes econômicos, manipulamos também o consumo dependente e ambos para incorporar a definição biocêntrica vista na seção anterior. Na forma:

$$\begin{aligned} C &= C_0 + c_A Y_A + c_B Y_B \\ C &= C_0 + c_A Y_A + c_B \left(\overbrace{-\beta \frac{e}{v} Y_A + \beta N_0}^{\beta N_t} \right) \\ C &= C_0 + c_B \beta N_0 + \left[c_A - c_B \left(\beta \frac{e}{v} \right) \right] Y_A \end{aligned} \quad \text{Equação 17}$$

A Equação 17 apresenta a função consumo considerando a hipótese de degradação marginal do produto antropocêntrico. Dessa forma, o produto agregado, ofertado e demandado, também passa a depender tanto elementos da natureza que inserimos. Tal que, sob as hipóteses de fluxo linear dos componentes da demanda, apresentam a produção antropocêntrica e posições de viabilidade ou inviabilidade ecológica. Substituindo, então, as Equação 15 e Equação 17 na Equação 16, a nova curva IS fica na forma:

$$\overbrace{Y_A - \beta \frac{e}{v} Y_A + \beta N_0}^{Y_B} = C_0 + c_B \beta N_0 + c_A Y_A - c_B \left(\beta \frac{e}{v} \right) Y_A + G + I + X - M$$

$$\begin{aligned}
Y_A - \beta \frac{e}{v} Y_A - c_A Y_A + c_B \left(\beta \frac{e}{v} \right) Y_A &= C_0 + c_B \beta N_0 + G + I + X - M \\
\left[1 - \beta \frac{e}{v} - c_A + c_B \left(\beta \frac{e}{v} \right) \right] Y_A &= C_0 + c_B \beta N_0 + G + I + X - M \\
\left[1 - c_A - (1 - c_B) \left(\beta \frac{e}{v} \right) \right] Y_A &= C_0 + c_B \beta N_0 + G + I + X - M \\
Y_A &= \frac{\overbrace{1}^{\alpha}}{\left[1 - c_A - (1 - c_B) \left(\beta \frac{e}{v} \right) \right]} \left(\overbrace{C_0 + c_B \beta N_0 + G + I + X - M}^A \right)
\end{aligned}$$

Ceteris paribus e manipulando o sistema de modo a identificar o crescimento do PIB antropocêntrico, tem-se a curva IS antropocêntrica.

$$\text{IS: } Y_A = \frac{\overbrace{1}^{\alpha}}{1 - c_A - (1 - c_B) \left(\beta \frac{e}{v} \right)} \cdot [A] \quad \text{Equação 18}$$

A Equação 18 apresenta, portanto, a curva IS ecologicamente modificada com um multiplicador dos gastos autônomos positivo, $\alpha > 0$, modificado pela constante de transformação $\left(\beta \frac{e}{v} \right)$ de estoque de natureza em produto antropocêntrico, composta pelo fator de conversão β e pela razão de intensidade-ambiente (e/v) . Incorporou-se, também, o componente de recomposição do estoque de natureza N_0 aos chamados “componentes autônomos” (A) da demanda agregada. Ressaltando-se, portanto, a parte do que é biocentrismo no produto todo.

Esta equação revela que a elasticidade da demanda por uma economia antropocêntrica pode considerar mais um componente no multiplicador dos gastos, como uma propensão marginal a consumir, porém, no caso, propensão a degradar. Propensão marginal a degradar, que depende da propensão a consumir o produto biocêntrico, do preço do estoque natural e sua utilização por unidade de produto antropocêntrico adicional (intensidade-ambiente). No fundo, uma forma de considerar custos de transformação ambiental no multiplicador da economia.

Com essa modificação, abre-se portas para que se possa identificar mudanças nos componentes da demanda agregada levando em consideração questões ambientais, com parâmetros determinando parte da relação humana com a natureza.

Essas mudanças têm duas implicações: (i) a elasticidade da demanda agregada depende do preço e da velocidade com que a economia utiliza o estoque de natureza por produto

antropocêntrico marginal; e (ii) mudanças exógenas na recomposição dos recursos naturais desloca o estado da economia para situações diferentes de estoque de capital e trabalho.

5. Efeitos de Variações Nas Políticas Macroeconômicas

Esta seção oferece uma análise detalhada das mudanças nos efeitos das políticas fiscal, monetária e cambial, considerando diferentes níveis de intensidade ambiental. É essencial destacar que o objetivo deste trabalho não é questionar as direções dessas políticas macroeconômicas, mas sim discutir como a presença de um elemento adicional no multiplicador, a intensidade ambiental, altera os impactos das políticas voltadas para o produto antropocêntrico. Essa abordagem introduz um novo horizonte analítico ao considerar não apenas fatores econômicos tradicionais, mas também restrições ambientais que influenciam diretamente os resultados econômicos.

As mudanças no multiplicador dos gastos e nos componentes autônomos discutidas na seção 4.3 sobre a Curva IS destacam que: (i) a elasticidade da demanda agregada depende do preço e da rapidez com que a economia utiliza o estoque de natureza por produto antropocêntrico marginal; e (ii) mudanças exógenas na disponibilidade de recursos naturais deslocam o estado da economia para diferentes situações de estoque de capital e trabalho. Essas mudanças são fundamentais para a discussão adicional sobre políticas macroeconômicas neste trabalho.

Lembre-se que a alteração no modelo IS-LM-BP gera um multiplicador ajustado com a propensão marginal à degradação ambiental, impactando praticamente todas as políticas macroeconômicas. Isso ocorre devido às limitações impostas pela elasticidade da demanda agregada antropocêntrica e pela restrição biocêntrica. Assim, a intensidade ambiental, ao influenciar o uso do estoque natural, torna-se um parâmetro crucial para diferenciar os efeitos das políticas.

Nas próximas páginas, exploramos detalhadamente os impactos de cada política macroeconômica diante de diferentes cenários de intensidade ambiental. Serão analisados como políticas fiscais, monetárias e cambiais operam em economias com ampla capacidade de recomposição do estoque de natureza, em contraste com economias em escassez ambiental. O objetivo é discutir como as políticas que incentivam a demanda antropocêntrica podem ser

influenciadas pelas restrições ambientais que foram impostas ao modelo, e como elas podem ajudar no planejamento econômico e na formulação de políticas públicas eficazes.

5.1. Política Fiscal

A política fiscal é geralmente apresentada de duas maneiras: gastos governamentais e política tributária. Neste modelo, os gastos governamentais são considerados autônomos, exógenos e politicamente definidos, independentemente das interações dos agentes econômicos no mercado. Eles estimulam a renda antropocêntrica e remuneram capital e trabalho. Os tributos podem ser caracterizados em impostos *lump sum*, que incide diretamente sobre o montante da renda antropocêntrica, e *alíquotas* sobre a propensão do consumo. Esta seção apresenta mudanças na política fiscal *lump sum* (tanto nos gastos do governo, quanto em impostos sobre a renda) diante dos conceitos ecológicos inseridos no modelo, bem como compreende uma modalidade de alíquota sobre a intensidade ambiente.

A Política Fiscal *lump sum* são os deslocamentos exógenos por mudanças nos interceptos da curva IS. Representados por aumentos no gasto autônomo do Governo, G_0 , ou através de um imposto T sobre a renda destinada ao bem-estar antropocêntrico. Em destaque, pode-se observar na seguinte equação:

$$Y_T = C(Y_T - T) + I(r) + G + X(Y_T^*, \theta) - M(Y_T, \theta) \quad \text{Equação 19}$$

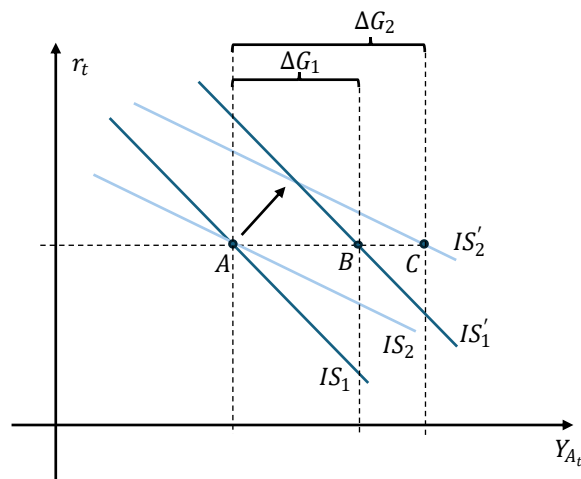
Esses incentivos exógenos de demanda, em particular, não são alterados em si pela degradação marginal do produto. Porém, mudam-se os efeitos da política fiscal defronte aos demais mercados, condicionada à intensidade ambiente. O fato de a intensidade ambiente passar alterar a elasticidade da curva IS é crucial para entender os passos a seguir. A depender das curvas de equilíbrio dos demais mercados, o efeito de uma política fiscal pode mudar para diferentes níveis de degradação marginal.

O Gráfico 5 ilustra os efeitos de uma política fiscal expansionista, a partir de diferentes elasticidades da demanda antropocêntrica. Considerando A , o ponto inicial, tem-se que os pontos B e C que representam pontos de potenciais equilíbrios para diferentes elasticidades (supondo que o equilíbrio ocorra com a mesma taxa de juros). Diz-se “potenciais equilíbrios”, porque depende dos demais mercados. Nesse sentido, saindo de um mesmo ponto A por um

mesmo impulso em G , dependendo da intensidade-ambiente (da elasticidade) e dos demais mercados, evidentemente, o potencial de crescimento antropocêntrico é diferente.

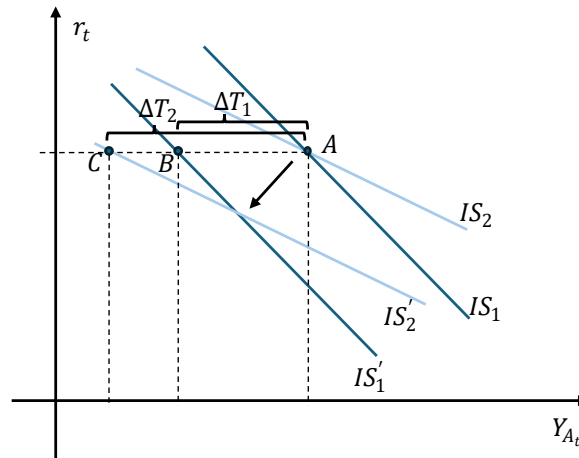
Em economias onde a intensidade ambiental é maior, o potencial de crescimento econômico é mais elevado. Por outro lado, quando a intensidade ambiental é menor, o potencial de crescimento também se reduz. ΔG_1 representa o potencial efeito da política fiscal sobre a renda de uma economia com menor intensidade ambiental comparada a outra cujo efeito é representado por ΔG_2). Mesmo que a distância ortogonal entre as retas IS_1 (lê-se IS com elasticidade 1) e IS'_1 ou IS_2 e IS'_2 seja igual, refletindo o mesmo gasto autônomo do governo, G_0 , o apóstrofo representa isso —, os efeitos potenciais de uma política fiscal sobre o produto variam conforme as elasticidades $\{1,2\}$ que mudam com a intensidade ambiental.

Gráfico 4: Política Fiscal Expansionista



Fonte: elaborado pelo autor.

O Gráfico 6 apresenta a mesma lógica para diferentes efeitos de políticas fiscais de imposto *lump sum* (ΔT_1 e ΔT_2) para diferentes elasticidades (1 e 2) com pontos de equilíbrios possíveis a depender dos demais mercados (pontos A , B e C).

Gráfico 5: Política Fiscal Contracionista (ΔT)

Fonte: elaborado pelo autor.

A política fiscal também pode atuar por meio de alíquotas tributárias, alterando a elasticidade da demanda por bens e serviços, especificamente por meio do mecanismo de intensidade ambiental do produto. Da mesma forma que ocorre com alíquotas sobre o consumo, o mesmo raciocínio pode ser aplicado à degradação marginal, utilizando uma alíquota sobre a razão de intensidade ambiental, conforme destacado na Equação 15 a seguir:

$$\alpha = \frac{1}{\left[1 - c_A - (1 - c_b)\beta \frac{e}{v}(1 - \tau)\right]} \quad \text{Equação 20}$$

Essa abordagem é semelhante ao impacto das alíquotas na propensão ao consumo, pois elas alteram a elasticidade ao influenciar o custo de transformação de valores biocêntricos para antropocêntricos. Essa transformação resulta em uma degradação marginal que é tributada como um valor adicionado, por meio do "selo verde". Diferente do imposto lump sum, como discutido por Zhang (2018), os impostos verdes podem incidir diretamente sobre a intensidade ambiental. Isso pode incluir uma alíquota sobre a velocidade de consumo ambiental — como a emissão de GEE por produto — relacionada à transformação econômica de biocêntrico para antropocêntrico, ou seja, à degradação.

Essa interpretação do modelo pode representar mecanismos de controle social por parte de instituições governamentais, que implementam medidas econômicas acompanhadas de contribuição social. A alíquota sobre a intensidade ambiental, como mecanismo de

identificação de atividade econômica tributável, pode servir como base teórica para políticas fiscais voltadas ao controle de sistemas mais ou menos intensivos no uso ambiental. Portanto, há um amplo espaço para desenvolvimento neste campo de estudo sobre política fiscal ambiental.

5.2. Política Monetária

A política monetária, por sua vez, também sofre efeito da intensidade ambiente através da elasticidade da curva IS. Recapitulando a Equação 3 do mercado monetário da economia:

$$L = gY_A - \varphi i$$

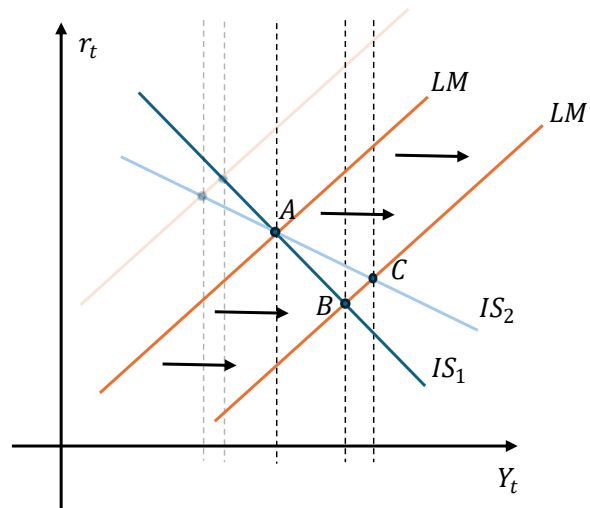
O efeito da política monetária muda para as diferentes inclinações da IS, dada a inclinação da LM, g/φ . Com a elasticidade da curva IS modificada, a política monetária se torna mais eficaz em promover o PIB antropocêntrico quando a intensidade ambiental é alta, e menos eficaz quando essa intensidade é baixa. Isso significa que a possibilidade de crescimento impulsionado pela degradação marginal é uma realidade antropocêntrica estimulada pela política monetária.

Quando a demanda agregada é altamente elástica devido à maior intensidade ambiente, mudanças na taxa de juros, como as promovidas por políticas monetárias expansivas ou restritivas, têm impactos distintos sobre o produto antropocêntrico. Nesse caso, uma redução na taxa de juros tem um efeito maior sobre o produto antropocêntrico para economias com maior intensidade-ambiente. Por outro lado, se a demanda agregada for inelástica, essas alterações na política monetária terão efeitos mais limitados, pois os consumidores e investidores são menos sensíveis às mudanças nos custos de financiamento. Assim, a intensidade ambiente pode tanto potencializar quanto atenuar a eficácia das intervenções monetárias sobre o produto antropocêntrico.

O Gráfico 6 mostra esse comportamento. A mudança do ponto A aos pontos B e C representam as possibilidades de um choque exógeno de liquidez para diferentes níveis de

intensidade ambiente. Do ponto *A* ao *B*, a intensidade ambiente é menor, e do ponto *A* ao *C*, a intensidade ambiente é maior.

Gráfico 6: Política Monetária Expansionista



Fonte: elaborado pelo autor.

Este trabalho não considera a política monetária como um mecanismo direto de intervenção nas ações dos agentes econômicos. Embora historicamente a moeda tenha sido associada a atividades degradantes, como a mineração de metais preciosos, atualmente ela atua como um mecanismo imaterial destinado a estimular a liquidez, remunerando capital e trabalho. No modelo proposto, a política monetária afeta exclusivamente a renda antropocêntrica. Dentro do escopo definido, o estoque de natureza está incorporado ao mercado de bens e serviços, incentivado pela dinâmica monetária.

É possível, no entanto, estabelecer uma conexão entre política monetária e meio ambiente. A relação direta surge do fato de que a degradação está associada ao mercado de bens e serviços, que possui diferentes intensidades no uso de recursos naturais. A política monetária oferece os estímulos de liquidez necessários para a produção.

Indiretamente, podemos considerar a relação entre política monetária e 'economia verde', que busca ações sustentáveis menos intensivas em recursos naturais. Embora a política monetária viabilize investimentos, ela não define os tipos de projetos executados. Por isso, os incentivos ambientais ocorrem no mercado de bens e serviços, mesmo em discussões sobre trade-offs de risco-retorno ou entre riqueza e benefício socioambiental (Flammer et al., 2023; Larcker & Watts, 2020), bem como no contexto macroeconômico (Dafermos, 2023; Dafermos,

Gabor & Michell, 2021; Dafermos, Nikolaidi & Galanis, 2018) que abrange incentivos ao financiamento da transição ecológica⁸.

5.3. Política Cambial

Para tratar de política de valorização ou desvalorização arbitrária da taxa de câmbio, é necessário compreender que ela passa a ser um componente exógeno da demanda agregada. Havendo, portanto, uma modificação na estrutura endógena do sistema. E o que passa a ser endógena é a oferta real de moeda, no lugar do câmbio, que servirá de mercadoria para equilibrar o mercado de divisas ao câmbio fixado.

A análise da política de desvalorização cambial será realizada sob regime câmbio flutuante com perfeita mobilidade de capitais. Uma análise sob regime sem mobilidade de capitais pode ser encontrada no apêndice.

A intuição é que políticas de desvalorização cambial com perfeita mobilidade de capitais geram superávit na balança de pagamentos, aumentando a demanda por moeda nacional que força o banco central a ofertá-la para manter o câmbio desvalorizado. Vale destacar que, devido à perfeita mobilidade de capitais, a Curva BP é horizontal, resultado da paridade da taxa de juros internacional (Gráfico 7: Política de desvalorização cambial com perfeita mobilidade de capitais).

Em um regime de câmbio flutuante com perfeita mobilidade de capitais, uma política de desvalorização cambial busca tornar os produtos nacionais mais competitivos no mercado internacional, estimulando as exportações e desestimulando as importações. Esse efeito, no entanto, pode ser influenciado pela elasticidade da demanda. Se a demanda por produtos

⁸ Apenas 12% dos 135 bancos centrais ao redor do mundo têm mandatos explícitos para promover ou apoiar a 'sustentabilidade' ou o 'crescimento/desenvolvimento sustentável' (Dikau & Volz, 2021). Muitos ainda não incorporam variáveis ambientais em seus mandatos. O Banco Central do Brasil (BCB), por exemplo, tem como mandato principal a estabilidade do sistema de preços e a manutenção do poder de compra, considerada uma função tradicional da autoridade monetária. No entanto, a Agenda BC# Sustentabilidade é uma iniciativa do BCB que busca considerar riscos ambientais à estabilidade financeira, especialmente aqueles associados às mudanças climáticas. Essa agenda prevê a integração de variáveis sustentáveis no processo de tomada de decisões, como a emissão de títulos verdes voltados para ações biocêntricas. É um passo significativo, mas ainda há muito a ser feito.

exportados for altamente elástica, a desvalorização cambial terá um impacto significativo na expansão das exportações e no equilíbrio da balança comercial. Por outro lado, se a demanda for inelástica, os efeitos positivos sobre o volume exportado e o crescimento econômico serão menos expressivos, podendo até ser neutralizados por impactos como a elevação dos preços dos insumos importados. Assim, a elasticidade da demanda é um fator determinante na potencialização ou atenuação dos resultados de uma política de desvalorização cambial.

Nesse contexto, como a intensidade ambiente altera o multiplicador, altera também a elasticidade da demanda. Por isso, o ponto central a ser observado e destacado, portanto, é a comparação das elasticidades da IS. As diferentes inclinações são representadas pelos subíndices 1 e 2 que, por sua vez, representam os diferentes níveis do multiplicador modificado pela intensidade ambiente.

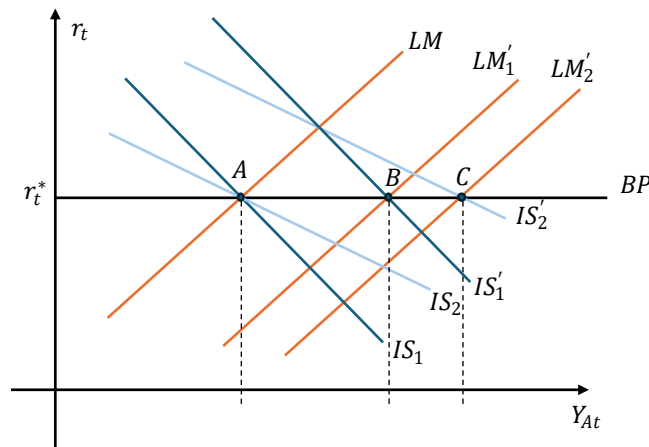
O ponto inicial (*A*) representa uma situação de indiferença entre as elasticidades para um mesmo nível de produção e juros. Os pontos *B* e *C* representam pontos com intensidade ambiente relativa menor (*B*) e relativa maior (*C*). Distintas intensidades-ambiente, portanto, alteram a elasticidade da IS que altera o potencial da política de desvalorização cambial.

No Gráfico 7, o efeito da política, sobre as duas curvas IS e LM, é representado pelo apóstrofo em cada curva, por exemplo, $IS_{1,2}$ e $IS'_{1,2}$. O ponto *B* representa o equilíbrio final da política de desvalorização cambial (seguida da expansão da oferta de moeda) com uma intensidade ambiente relativamente menor (inclinação 1), o equilíbrio entre IS'_1 e LM'_1 (ao nível da taxa de juros internacional). O ponto *C*, analogamente, representa o cenário cuja intensidade ambiente é relativamente maior, apresentada pela interseção entre as curvas IS'_2 e LM'_2 .

A diferenciação entre os equilíbrios representados pelos pontos *B* e *C* destaca como a elasticidade da curva IS pode ser alterada por fatores ambientais, redefinindo a dinâmica entre produção, juros e câmbio. Esse aspecto sublinha a importância de integrar variáveis ambientais aos modelos macroeconômicos tradicionais, ampliando a capacidade analítica de previsões econômicas e políticas públicas.

O exemplo apresentado demonstra que economias com maior intensidade ambiental têm um potencial de crescimento econômico mais elevado em resposta a uma política de desvalorização cambial. Em outras palavras, essas políticas são mais eficazes em economias com maior intensidade ambiental. Isso pode explicar por que países agroexportadores crescem tanto ou até mais do que aqueles com menor disponibilidade biocêntrica e menor capacidade de intensidade ambiental.

Gráfico 7: Política de desvalorização cambial com perfeita mobilidade de capitais



Fonte: elaborado pelo autor.

A análise apresentada evidencia que políticas de desvalorização cambial, quando conduzidas sob um regime de perfeita mobilidade de capitais, podem gerar impactos distintos dependendo da intensidade ambiental da economia em questão. Economias com maior disponibilidade de recursos naturais e maior intensidade ambiente, frequentemente caracterizadas por setores agroexportadores economicamente relevantes, demonstram maior capacidade de crescimento econômico ao adotarem tais políticas. O vínculo entre as políticas e o multiplicador reforça a necessidade de considerar as especificidades estruturais de cada economia ao formular políticas cambiais, especialmente em contextos em que a intensidade ambiental atua como um fator crucial de modificação do multiplicador econômico. Futuras investigações podem aprofundar o estudo dos impactos dessas políticas em economias de alta intensidade ambiental, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias mais sustentáveis e adaptadas às restrições biocêntricas que moldam o crescimento econômico global.

6. Conclusão

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, buscou-se construir uma abordagem teórica que integra a Natureza como elemento crucial nas relações macroeconômicas. O objetivo foi ampliar a literatura IS-LM-EE e as noções tradicionais de política macroeconômica, incorporando dimensões ambientais ao modelo IS-LM-BP, com destaque para a intensidade ambiente e seu papel na determinação dos fluxos necessários de recursos naturais para sustentar a estrutura antropocêntrica. Assim, o trabalho enfatiza que o controle da intensidade ambiental não é apenas uma variável complementar, mas um fator determinante nas relações econômicas modernas.

O ponto de partida foi uma reflexão crítica sobre o termo “sustentabilidade”, amplamente utilizado em discussões ambientais, mas insuficiente, isoladamente, para direcionar soluções eficazes aos problemas ambientais. Embora o termo carregue implicitamente a intenção de preocupação ecológica, sua aplicação na esfera macroeconômica frequentemente dá origem a convenções prejudiciais, tanto para o meio ambiente quanto para o sistema econômico como um todo, porque representam nada mais que uma noção de equilíbrio intergeracional. Por isso, o trabalho defende a expansão do conceito de sustentabilidade, abordando-o em contextos mais específicos, como Sustentabilidade Ambiental, Ecológica ou Biocêntrica, para que se torne uma ferramenta mais robusta e orientadora na formulação de políticas públicas.

Em continuidade, explorou-se as literaturas que fundamentam o trabalho, nomeadamente os modelos IS-LM-BP e IS-LM-EE. Ambos foram utilizados como base teórica para compreender os fenômenos naturais que impactam as estruturas econômicas através da restrição ambiental. Para construir o modelo IS-LM-BP Ecológico, buscou-se preservar as vantagens e desvantagens do modelo original, enquanto incorporou-se a lógica ecológica de degradação e intensidade ambiental do modelo IS-LM-EE de Heyes (2000) e Lawn (2003). Também foi adicionada à análise a perspectiva biocêntrica e antropocêntrica de Daly (1991), integrando os elementos ecológicos na estrutura ofertada e demandada pelo modelo keynesiano tradicional.

A complexidade de categorizar certos insumos, entre os âmbitos antropocêntrico e biocêntrico, foi complementada por uma crítica fundamental ao modelo de separação entre

biocentrismo e antropocentrismo, sustentada por Krenak (2019) e Maturana e Varela (1995). Sob essa ótica, o ser humano é inseparável da Natureza, formando uma unidade indivisível, mesmo que o sistema capitalista vigente insista em tratar o Ecossistema como algo externo. O modelo apresentado, embora aplicado às realidades econômicas atuais, é reconhecido como uma abstração que contrasta com essa interdependência fundamental.

Essa separação, no entanto, é necessária para simplificar a análise, considerando que a atual medida padrão de bem-estar, o PIB, não permite distinguir com clareza o que representa antropocentrismo ou biocentrismo. Essa limitação é uma dificuldade que o trabalho enfatiza, mas que também serve como ponto de partida para implicações e debates sobre como os ganhos e perdas ambientais podem ser incorporados de forma mais robusta à leitura macroeconômica. A conclusão reforça a importância de reavaliar as métricas convencionais e de expandir os modelos econômicos para integrar dimensões ambientais que são essenciais para a sustentabilidade e equilíbrio entre os sistemas humanos e naturais.

Nesse sentido, a dificuldade de categorizar antropocentrismo e biocentrismo dentro do Sistema de Contas Nacionais (SCN) destaca uma limitação importante, mas também abre caminho para implicações relevantes. Ao abordar o tema, foi possível aproximar os conceitos de ganhos e perdas ambientais à leitura macroeconômica, criando um ponto de partida teórico para a formulação de políticas ambientalmente sustentáveis.

A análise da demanda agregada, com enfoque nas preferências dos agentes e na delimitação biocêntrica do bem-estar econômico, representa uma das contribuições significativas deste trabalho. Elementos como localização, terra e amenidades foram discutidos como parâmetros fundamentais da demanda agregada. Nesse contexto, as novas equações do PIB total (como composição do produto antropocêntrico e biocêntrico), da precificação do estoque de natureza e da degradação, e sua aplicação ao modelo IS-LM-BP, oferecem reflexões importantes sobre a interseção entre economia e ecossistema. Esses aspectos não apenas ampliam a compreensão da relação entre intensidade ambiental e crescimento econômico, mas também sugerem intervenções diretas e indiretas que podem reestruturar as decisões dos agentes econômicos diante da noção de estoque de natureza.

Compreender a relação do crescimento econômico com a intensidade ambiente (e a precificação), e o fluxo do EN, é passar a investigar cenários de intervenções, diretas e indiretas, no ecossistema por parte dos agentes econômicos capitalistas e vice-versa. Passar a alterar seus pontos de decisão. Como observar com lentes ampliadas à Natureza para além do Trabalho e

do Capital. Neste sentido, agir com respeito aos recursos naturais, aos resíduos humanos, às trocas, à velocidade das trocas, também são contribuições do trabalho, no sentido que se propõe a preencher a lacuna entre Macroeconomia e Ecologia na literatura econômica. O Ecossistema também pode ser considerado uma entidade macroeconômica, um estoque, que faz parte dos jogos comerciais entre nações. Por isso, a defesa é pelos esforços de conhecer melhor os estoques que formam o Mercado, o Governo e o Ecossistema.

O trabalho buscou ainda preencher a lacuna entre Macroeconomia e Ecologia na literatura econômica, considerando o Ecossistema como uma entidade macroeconômica interligada aos Mercados convencionais. Interpretar as mudanças na elasticidade do produto, sob uma perspectiva de custo-benefício entre antropocentrismo e biocentrismo, foi um exercício desafiador. As derivações do modelo IS-LM-BP, ajustadas para incluir parâmetros ambientais, exigiram rigor matemático e foco analítico para demonstrar os resultados e suas implicações. Essa abordagem destaca que o efeito multiplicador, condicionado à propensão a degradar, possui limites de crescimento diretamente vinculados ao fluxo do estoque de natureza.

O trabalho também incorpora uma reflexão sobre a premissa do *free disposal* destacando como essa ideia impacta a abordagem ambiental. O conceito de *free disposal* pressupõe que os insumos podem estar à disposição da firma sem perdas significativas de produto (MASCOLLELL et al., 1995). Porém, quando o produto da economia valoriza a quantidade disponibilizada do estoque de natureza e ele é transformado em produto antropocêntrico, há uma perda de produto biocêntrico na utilização dos recursos naturais. Por isso, ainda que se possa pensar em valores relativos para o custo-benefício de se ter produto antropocêntrico ou biocêntrico, a utilização do estoque de natureza implica, necessariamente numa perda de produto no período posterior.

Além disso, lacunas identificadas no trabalho apontam para áreas de pesquisa futuras promissoras como o papel do preço (β) no multiplicador econômico. O preço (β), inserido como fator no multiplicador econômico de uma economia keynesiana com preços rígidos no curto prazo, representa o valor dos insumos naturais ainda intactos pela ação humana e revela limites fundamentais do modelo. Alterações em β , na abordagem apresentada, podem redefinir a elasticidade da demanda agregada, podendo gerar problemas fundamentais na estabilidade da demanda agregada.

Outra direção valiosa consiste em analisar os fatores que aceleram (e) ou desaceleram (v) a intensidade ambiental, com base nos insights de Heyes (2000) e Lawn (2003) sobre substitutividade e complementaridade. Essas análises podem permitir uma compreensão mais

aprofundada da relação entre o custo do capital e a intensidade ambiental, informando decisões estratégicas sobre investimentos e práticas ambientalmente sustentáveis. Além disso, que tais componentes de aceleração e desaceleração da intensidade ambiente dependem do custo do capital. Entendendo que o custo do capital (r) pode interferir nos componentes da razão de intensidade-ambiente, como discutiram Heyes e Lawn.

Outra possibilidade é fazer comparativo da posição (de equilíbrio) das economias. De modo que, mudanças entre países e períodos e seus efeitos sobre os parâmetros do modelo macroeconômico ao longo do tempo mudam as características de utilização do estoque de natureza. Como dito, na introdução sobre as possibilidades de economias “fortemente” e “fracamente” ambientalmente sustentáveis (DECKER; WOHAR, 2012). E, assim, possa se fazer comparações entre as economias que mais destroem seus próprios recursos ou não, a depender dos produtos que são estimulados, os antropocêntricos ou biocêntricos.

Outro ponto crucial levantado é a possibilidade de análise da retração marginal do produto. Tais condições podem representar cenários de interessantes reflexões, em que uma unidade de produto antropocêntrico adicional, reduz o fluxo corrente do próprio produto antropocêntrico.

É fundamental que estudos empíricos avancem na introdução de mecanismos ambientais que permitam interpretar a dinâmica dos parâmetros macroeconômicos, como o estoque de natureza, a degradação ambiental e a intensidade ambiente. Esses elementos, amplamente discutidos neste trabalho, são essenciais para aprofundar a análise das interações entre economia e ecossistema. Nesse sentido, surge a questão instigante: como classificar os bens e serviços da economia entre biocêntricos e antropocêntricos? Qual proporção eles representam no PIB? Embora intrigante, essa classificação enfrenta as limitações já abordada pela tautologia cognoscitiva, destacando a inseparabilidade entre o biológico e o antropológico nos sistemas econômicos (KRENAK, 2019; MATURANA; VARELA, 1995).

A ideia é prevenir catástrofes maiores ao incentivar ações ambientalmente sustentáveis, começando por demandar produtos biocêntricos como um valor de bem-estar. O problema de mensuração é um dos principais desafios nesse contexto. A “Taxonomia Sustentável Brasileira” (2023) vai nessa direção, embora seu objetivo não seja exatamente esse. O intuito é nomear as ações, transformá-las em benefícios biológicos para a manutenção da espécie humana e financiá-las. Primeiramente, as ações são nomeadas; em seguida, seu valor monetário é medido. Essa taxonomia representa o primeiro passo para reestruturar completamente os comportamentos da demanda nacional.

Grande parte do problema na definição, também, está no cenário internacional. Muito das negociações e da diplomacia internacionais reflete o significado de progresso e desenvolvimento econômico almejado pelos países hegemônicos. Países que possuem sua posição de materialismo histórico de dominância, tendem a exportar seus ideais de desenvolvimento econômico para os países periféricos criando um mito (FURTADO, 1974). E, quando se fala de *commodities*, *recursos naturais* ou *especiarias* as culturas se encontram no grande jogo macroeconômico.

A essência deste trabalho não foi proporcionar respostas definitivas, mas sim estimular questionamentos que levem a reflexões mais profundas e desafiadoras. As complexidades abordadas ao longo do estudo revelaram problemas que exigem análises ainda mais elaboradas e rigorosas. As manipulações matemáticas, desde os primeiros passos, apresentaram desafios consideráveis, que demandaram esforço e dedicação contínuos. Contudo, o processo foi marcado por momentos de entusiasmo e descoberta, tornando o percurso tão difícil quanto recompensador.

Uma proposta derivada deste trabalho é a criação de um Índice de Recursos Naturais (IRN) ou Índice de Riqueza Natural Nacional (IRNN), que seja acessível ao público e funcione como um instrumento para mensurar o bem-estar coletivo, com enfoque especial na dimensão ambiental. É crucial destacar que tal índice deve se limitar à discussão do que é, fundamentalmente, um recurso natural e um produto biocêntrico. De modo que, as decisões políticas vinculadas às oportunidades identificadas por esse índice, especialmente no contexto da intensidade ambiental, orientem a noção daquilo que deve ser preservado como valor biocêntrico necessário.

Por fim, a Natureza pode ser compreendida pelos economistas como um estoque vital, que carrega desejo, história e utilidade, atuando como um componente essencial na oferta e demanda agregadas, refletindo as preferências e necessidades dos agentes econômicos. No entanto, é crucial superar a visão binária que separa biocentrismo e antropocentrismo, pois tal divisão ignora a interdependência fundamental entre o ser humano e a Natureza. Como bem destacou Krenak (2019), o Ecossistema deve ser tratado com respeito e cuidado, quase como um membro da família, dado seu papel indispensável não apenas para a sobrevivência, mas também para discutir os desafios macroeconômicos contemporâneos. Este trabalho, ao propor uma integração mais consciente entre economia e ecologia, busca reforçar a importância de preservar o Ecossistema e fomentar uma mudança de perspectiva que, em última análise, seja uma ideia para adiar o fim do mundo.

REFERÊNCIAS

- ABID, M. Does economic, financial and institutional developments matter for environmental quality? A comparative analysis of EU and MEA countries. **Journal of Environmental Management**, v. 188, p. 183–194, 1 mar. 2017.
- ALKHARS, M. A. et al. A literature review of the Environmental Kuznets Curve in GCC for 2010–2020. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 14, p. 100181, 1 jun. 2022.
- ALLER, C.; DUCTOR, L.; GRECHYNA, D. Robust determinants of CO2 emissions. **Energy Economics**, v. 96, p. 105154, 1 abr. 2021.
- BOUGHTON, J. M. **On the Origins of the Fleming-Mundell Model**. Disponível em: <<https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2002/wp02107.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2024.
- CALVIN, K. et al. **IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland**. [s.l.] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 25 jul. 2023. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>>. Acesso em: 2 jul. 2024.
- DALY, H. E. *Towards an Environmental Macroeconomics*. maio 1991.
- DALY, H. E.; FARLEY, J. C. **Ecological economics: principles and applications**. Washington: Island Press, 2004.
- DECKER, C. S.; WOHR, M. E. Substitutability or complementarity? Re-visiting Heyes' IS-LM-EE model. **Ecological Economics**, v. 74, p. 3–7, 1 fev. 2012.
- DUTT, K. Governance, institutions and the environment-income relationship: a cross-country study. **Environment, Development and Sustainability**, v. 11, n. 4, p. 705–723, 1 ago. 2009.
- FURTADO, C. **O Mito do Desenvolvimento Econômico**. [s.l.] Círculo do Livro S.A., 1974.
- GROSSMAN, G.; KRUEGER, A. **Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement**. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, nov. 1991. Disponível em: <<http://www.nber.org/papers/w3914.pdf>>. Acesso em: 7 maio. 2024.

HEYES, A. A Proposal for the Greening of Textbook Macro: “IS-LM-EE”. **Royal Holloway, University of London: Discussion Papers in Economics**, Royal Holloway, University of London: Discussion Papers in Economics. fev. 2000.

HICKS, J. R. Mr. Keynes and the “Classics”; A Suggested Interpretation. **Econometrica**, v. 5, n. 2, p. 147–159, 1937.

KRENAK, A. **Ideias para adiar o fim do mundo**. [s.l: s.n.].

LAWN, P. A. On Heyes’ IS-LM-EE proposal to establish an environmental macroeconomics. **Environment and Development Economics**, v. 8, n. 1, p. 31–56, 2003.

M. KEYNES, J. **A Teoria Geral do Emprego, do Juro e da Moeda**. 1 ed., 13. reimpr., 2007 ed. [s.l.] Editora Atlas S. A., 1936.

MATURANA, H.; VARELA, F. **A Árvore do Conhecimento**. 1995.

MORAES, G. I. DE; SERRA, M. A. O modelo IS-LM-EE para economias abertas e distinções dos efeitos para as economias nacionais. **Economia e Sociedade**, v. 20, p. 53–78, abr. 2011.

OMRI, A.; NGUYEN, D. K.; RAULT, C. Causal interactions between CO2 emissions, FDI, and economic growth: Evidence from dynamic simultaneous-equation models. **Economic Modelling**, v. 42, p. 382–389, 1 out. 2014.

PESARAN, M. H. **Time series and panel data econometrics**. First edition ed. Oxford ; New York, NY: Oxford University Press, 2015. v. 57

RAIHAN, A. Exploring Environmental Kuznets Curve and Pollution Haven Hypothesis in Bangladesh: The Impact of Foreign Direct Investment. **Journal of Environmental Science and Economics**, v. 2, n. 1, p. 25–36, 24 mar. 2023.

SALAHUDDIN, M.; GOW, J. Economic growth, energy consumption and CO2 emissions in Gulf Cooperation Council countries. **Energy**, v. 73, p. 44–58, 14 ago. 2014.

SAMOUR, A.; ISIKSAL, A. Z.; TURSOY, T. The Effect of the Transmission Impact of the U.S Interest Rate on Turkey’s CO2 Emissions: Evidence from Bootstrap ARDL. **Indonesian Journal of Sustainability Accounting and Management**, v. 5, n. 2, p. 264–278, 17 dez. 2021.

SHAHBAZ, M. et al. Does foreign direct investment impede environmental quality in high-, middle-, and low-income countries? **Energy Economics**, v. 51, p. 275–287, 1 set. 2015.

SHRESTHA, K. et al. Ecosystem Services. **Ecosystem services valuation for conservation and development decisions: A review of valuation studies and tools in the Far Eastern Himalaya**, 2023.

SIM, N. C. S. Environmental Keynesian macroeconomics: Some further discussion. **Ecological Economics**, v. 59, n. 4, p. 401–405, out. 2006.

Taxonomia Sustentável Brasileira. . [s.l.] Ministério da Fazenda, set. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/fazenda/pt-br/orgaos/spe/taxonomia-sustentavel-brasileira/taxonomia-sustentavel-brasileira.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2023.

World Economic Situation and Prospects - Country Classification. . [s.l.] Development Policy and Analysis Division (DPAD) of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat (UN/DESA), 2014.

ZAMAN, K. et al. Tourism development, energy consumption and Environmental Kuznets Curve: Trivariate analysis in the panel of developed and developing countries. **Tourism Management**, v. 54, p. 275–283, 1 jun. 2016.

7. Apêndice A - Demonstrações

1. Modelo de Lawn

Lawn (2003) utiliza a definição de eficiência e a intensidade-ambiente é a incorporação de insumos no processo produtivo.

$$E = \frac{\text{energia disponível incorporada no PIB real produzido } (Y)}{\text{energia disponível incorporada como retorno de insumos } (T)}$$

Eficiência é a razão produto-insumo e, portanto, a intensidade-ambiente é dada pelo parâmetro T , logo:

$$E_t(R, \beta, \gamma) = \frac{Y_t}{T_t} \Leftrightarrow T = \frac{Y_t}{E_t(R, \beta, \gamma)}$$

R é o custo de capital, β é um parâmetro de efeitos de *spillover* da poluição e γ um parâmetro de poupança de recursos naturais ou desenvolvimento da técnica. Mas, fundamentalmente, a equação de degradação é análoga a Heyes (2000), a diferença entre a intensidade-ambiente e a taxa de recomposição da natureza:

$$\begin{aligned} -\left(\frac{dN_t}{dt}\right) &= T_t - sN_t \\ -\left(\frac{dN_t}{dt}\right) &= \frac{Y_t}{E(R, \beta, \gamma)} - sN_t \end{aligned}$$

A hipótese chave é que $E_R < 0$, a eficiência com a formação de capital que aumenta quando o custo de capital é menor. Portanto, a utilização de recursos para uma unidade de produto é menor.

2. Derivação implícita da curva EE em Heyes (2000)

Heyes (2000) utiliza E ao invés de N para representar o estoque de “ambiente” (*Environment*, por isso a escolha da letra). No texto acima, foi decidido por utilizar apenas a letra N para não atrapalhar o leitor. Diante disso, na busca por dR/dY dado que $dE/dt = 0$ e partindo de:

$$e(R, \Lambda)Y_t = sE_t$$

$$\frac{d[e(R, \Lambda)Y_t]}{dY} = \frac{d(sE_t)}{dY}$$

$$\frac{d[e(R(Y), \Lambda)]}{dY} \cdot Y + e(R, \Lambda) \cdot 1 = 0$$

Utilizando a regra da cadeia em de/dY , tem-se:

$$\frac{de}{dR} \cdot \frac{dR}{dY} \cdot Y + e \cdot 1 = 0$$

$$e_R \cdot \frac{dR}{dY} \cdot Y + e \cdot 1 = 0$$

$$\left. \frac{dR}{dY} \right|_{dE/dt=0} = -\frac{e}{e_R \cdot Y} \blacksquare$$

Tem-se a inclinação da curva EE de Heyes (2000).

3. Derivação implícita da curva EE em Lawn (2003)

Na busca por dR/dY dado que $dN/dt = 0$ e partindo de:

$$\begin{aligned} \frac{Y}{E(R, \beta, \gamma)} &= sN \\ \frac{d\left(\frac{Y}{E(R, \beta, \gamma)}\right)}{dY} &= \frac{d(sN)}{dY} \\ \frac{1 \cdot E - Y \cdot \frac{dE}{dY}}{E^2} &= 0 \end{aligned}$$

Aplicando a regra da cadeia em dE/dY , temos:

$$\begin{aligned} E - Y \cdot \frac{dE}{dR} \cdot \frac{dR}{dY} &= 0 \\ E &= Y \cdot E_R \cdot \frac{dR}{dY} \end{aligned}$$

Resultando em:

$$\left. \frac{dR}{dY} \right|_{dN/dt=0} = \frac{E}{Y \cdot E_R} \blacksquare$$

Tem-se a inclinação da curva EE de Lawn (2003).

4. Manipulação da Curva IS (Seção 4.2)

Sob as seguintes hipóteses de fluxo linear dos componentes da demanda agregada,

$$C = C_0 + cY_A$$

$$I = I_0 - I_1r$$

$$G = G_0$$

$$X = X_0 + X_1Y^* + X_2\theta$$

$$Z = Z_0 + Z_1Y_A - Z_2\theta$$

E substituindo à equação de demanda, tem-se que:

$$Y_t = C_t(Y_t) + I_t(r_t) + G_t + X_t(\theta_t) - M_t(Y_t, \theta_t)$$

⇕

$$Y_A + Y_B = C_0 + cY_A + I_0 - I_1r + G_0 + X_0 + X_1Y^* + X_2\theta - Z_0 - Z_1Y_A + Z_2\theta$$

Substituindo, agora, o valor encontrado do PIB biocêntrico em termos de PIB antropocêntrico, dado pela Equação 15, tem-se que:

$$Y_A + \left(\overbrace{-\beta \frac{e}{v} Y_A + \beta N_0}^{Y_B} \right) = (c - Z_1)Y_A + C_0 + G_0 + I_0 + X_0 + X_1Y^* - I_1r + (X_2 + Z_2)\theta$$

$$Y_A - \beta \frac{e}{v} Y_A + \beta N_0 = (c - Z_1)Y_A + C_0 + G_0 + I_0 + X_0 + X_1Y^* - I_1r + (X_2 + Z_2)\theta$$

$$Y_A - \beta \frac{e}{v} Y_A = (c - Z_1)Y_A + \underbrace{C_0 + G_0 + I_0 + X_0 + X_1Y^* - \beta N_0}_{A=\text{componentes autônomos}} - I_1r + (X_2 + Z_2)\theta$$

$$Y_A - \beta \frac{e}{v} Y_A - (c - Z_1)Y_A = A - I_1r + (X_2 + Z_2)\theta$$

$$\left(1 - c + Z_1 - \beta \frac{e}{v} \right) Y_A = A - I_1r + (X_2 + Z_2)\theta$$

Resultando em:

$$Y_A = \frac{\overbrace{1}^{\alpha}}{\left(1 - c + Z_1 - \beta \frac{e}{v} \right)} \cdot [A - I_1r + (X_2 + Z_2)\theta]$$

5. O Mercado Monetário de Heyes (2000) (Seção 1)

O Mercado Monetário também é canônico, porém baseado na proposição de Heyes (2000) com alguns detalhes adicionais. Um componente inflacionário e outro de aceleração da taxa de juros real, considerados exógenos como instrumentos mais atuais de política monetária, para não limitar o trabalho à exogeneidade da oferta real de moeda. Heyes (2000) define uma função específica para a taxa de juros nominal, na forma:

$$i = r - \frac{dr/dt}{r} + \pi^*$$

Considerando que o modelo é estático, então $dr/dt = 0$, a inflação esperada é exógena e a curva LM passa a ser definida como:

$$(M^S/P) = L(i, Y_A) = L\left(\underbrace{r + \pi^*}_i, Y_A\right) = gY_A - \varphi i,$$

$$(M^S/P) = gY_A - \varphi(r + \pi^*),$$

$$\underbrace{\frac{M^S}{P} + \varphi\pi^*}_L = gY_A - \varphi r,$$

Simplificando até:

$$L = gY_A - \varphi r \blacksquare$$

6. Manipulação do Mercado Internacional

Substituindo o $X_t = X_0 + X_1Y^* + X_2\theta_t$ e $Z_t = Z_0 + Z_1Y_A - Z_2\theta_t$ na Equação 4, tem-se que:

$$X_0 + X_1Y^* + X_2\theta_t - (Z_0 + Z_1Y - Z_2\theta_t) + \lambda(r_t - r_t^*) = 0$$

Reorganizando a equação, pensando nos componentes endógenos à esquerda e os exógenos à direita:

$$-Z_1Y + \lambda r_t + \underbrace{(X_2 + Z_2)}_y \theta_t = \underbrace{-X_0 - X_1Y^* + Z_0 + \lambda r_t^*}_w$$

Convém renomear algumas partes extensas das equações, pois reduz esforço do cálculo. Por exemplo, na forma a seguir:

$$-Z_1Y + \lambda r_t + \gamma \theta_t = W$$

Tem-se, então, a curva BP , uma reta com inclinação dada por $\frac{\partial r}{\partial Y} = \frac{Z_1}{\lambda}$. Lembrando, agora, das três possibilidades para o valor de $\lambda \rightarrow \infty$, $\lambda = 0$ e $0 < \lambda < \infty$, existem três cenários para a inclinação da curva BP : $\frac{\partial Y}{\partial r} \rightarrow \infty$, $\frac{\partial Y}{\partial r} = 0$, $0 < \frac{\partial Y}{\partial r} < \infty$.

A política monetária Regime de Câmbio Fixo, por outro lado, é um

7. Demonstração do dedeterminante negativo

Antes de chegar na prova de que $(1 - \alpha Z_1) > 0$, vale pensar antes numa hipótese importante: de que $\alpha > 0$; A hipótese do multiplicador negativo seria assumir que a produção adicional é prejudicial à própria estrutura disponível. O multiplicador não é zero porque é uma razão de números não nulos. E é trivial assumir que a “economia do bem-estar” só compreenda que o multiplicador da atividade produtiva é positivo, obviamente. Portanto, este trabalho também assume que é positivo.

O multiplicador é:

$$\alpha = \frac{1}{1 - c + Z_1 - \beta \frac{e}{v}}$$

Para que seja maior que zero, basta que:

$$1 - c + Z_1 - \beta \frac{e}{v} > 0$$

Portanto,

$$1 > c - Z_1 + \beta \frac{e}{v}$$

Ou

$$\left(c + \beta \frac{e}{v}\right) - Z_1 < 1$$

Portanto, que a soma entre as propensões marginais a consumir e degradar, diferente do que sai como propensão a importar, é menor que 1 toda renda antropocêntrica disponível na economia. Isso é condição necessária para que o multiplicador seja positivo. Pensar no multiplicador negativo pode exigir um trabalho maior para identificar as possíveis aplicações.

Partindo, então, para a demonstração do determinante negativo. Para que isso aconteça é suficiente que $(1 - \alpha Z_1) > 0$, portanto:

$$1 > \alpha Z_1 \quad \text{ou} \quad \frac{1}{Z_1} > \alpha$$

Tomando o valor de α ,

$$\frac{Z_1}{1 - c + Z_1 - \beta \frac{e}{v}} < 1$$

$$Z_1 < 1 - c + Z_1 - \beta \frac{e}{v}$$

$$Z_1 - Z_1 < 1 - c - \beta \frac{e}{v}$$

$$0 < 1 - c - \beta \frac{e}{v} \quad \text{ou} \quad c + \beta \frac{e}{v} < 1$$

Resultando a hipótese já assumida de que o multiplicador é positivo. Portanto o determinante é negativo.

8. Solução do IS-LM-BP

Esta seção apresenta a solução do modelo IS-LM-BP ecológico para o regime de câmbio flutuante e mobilidade imperfeita de capitais para podermos, em seguida, identificar os efeitos das políticas fiscais e monetárias.

Os mercados monetário e internacional de câmbio flutuante, não são modificados e são coadjuvantes neste trabalho, enquanto o mercado de bens e serviços incorpora os componentes ecológicos em sua dinâmica. Por isso, a solução desse sistema é canônica e utiliza a Regra de Cramer como método. Porém, ao considerar a intensidade ambiente, sempre que o

multiplicador, α , aparecer, haverá possíveis mudanças diante de diferentes intensidades ambiente. Bem como, sempre que aparecer A , há um componente autônomo negativo que indica a recomposição do estoque de natureza frente à estrutura antropocêntrica.

Reunindo, portanto, o sistema linear IS-LM-BP assume a seguinte forma:

$$\begin{cases} IS: & Y_A + \alpha I_1 r - \alpha \gamma \theta = \alpha A \\ LM: & g Y_A - \varphi r = L \\ BP: & -Z_1 Y_A + \lambda r + \gamma \theta = W \end{cases}$$

Em formato matricial:

$$\overbrace{\begin{bmatrix} 1 & \alpha I_1 & -\alpha \gamma \\ g & -\varphi & 0 \\ -Z_1 & \lambda & \gamma \end{bmatrix}}^M \overbrace{\begin{bmatrix} Y_A \\ r \\ \theta \end{bmatrix}}^x = \overbrace{\begin{bmatrix} \alpha A \\ L \\ W \end{bmatrix}}^S$$

O método mais simples de solução para este problema é a regra de Cramer via determinante da matriz M dos coeficientes para calcular o valor de cada variável endógena Y_{A_t} , r_t e θ_t .

A solução do modelo, então, continua por calcular o valor das variáveis Y_A , r e θ . Dessa maneira, as políticas fiscais, monetárias e cambiais (nos diferentes cenários de mobilidade de capital) que são alteradas por mudanças no multiplicador convencional passarão a ser afetadas pelos componentes que o modificaram.

A regra de Cramer consiste no cálculo de x_i através da razão entre o determinante da matriz dos coeficientes (M) substituída a i -ésima coluna pela matriz solução (S) e o determinante da matriz M em si. Assim sendo, vale calcular, primeiramente, o $\det M$ (∇).

$$\begin{bmatrix} 1 & \alpha I_1 & -\alpha \gamma \\ g & -\varphi & 0 \\ -Z_1 & \lambda & \gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \alpha I_1 \\ g & -\varphi \\ -Z_1 & \lambda \end{bmatrix}$$

Então:

$$\begin{aligned} \det(M) = \nabla &= 1(-\varphi)\gamma + \alpha I_1 \cdot 0 \cdot (-Z_1) + (-\alpha \gamma)g\lambda \\ &\quad - [(-\alpha \gamma)(-\varphi)(-Z_1) + 1 \cdot 0 \cdot \lambda + \alpha I_1 g \gamma] \\ \nabla &= -\varphi \gamma - \alpha \gamma g \lambda + \alpha \gamma f Z_1 - \alpha I_1 g \gamma \\ \nabla &= -\gamma(\varphi + \alpha g \lambda - \alpha \varphi Z_1 + \alpha I_1 g) \\ \nabla &= -\gamma[(1 - \alpha Z_1)\varphi + (\lambda + I_1)g\alpha] \end{aligned}$$

Cada letra representa um número absoluto. Um exercício é provar que $(1 - \alpha Z_1) > 0$, que implica em $\nabla < 0$, é condição suficiente. Com efeito, o resultado desta manipulação é $1 - C_1 - \beta \frac{e}{v} > 0$ (Apêndice 7), que já foi suposto anteriormente para manutenção de conduções normais de efeito multiplicador positivo. Caso essa condição não seja verdadeira, o multiplicador seria negativo e, portanto, o determinante pode ser zero ou ainda positivo, o que modifica todo o resultado do modelo. Essa condição, porém, é suficiente para assegurar que o valor do determinante da matriz dos coeficientes é negativo ($\nabla < 0$), o que será importante para a análise em etapas adiante.

Aplicando, então, a regra de Cramer, tem-se que:

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_A = \frac{\begin{vmatrix} \alpha A & \alpha I_1 & -\alpha \gamma \\ L & -\varphi & 0 \\ W & \lambda & \gamma \end{vmatrix}}{\nabla} \\ r = \frac{\begin{vmatrix} 1 & \alpha A & -\alpha \gamma \\ g & L & 0 \\ -Z_1 & W & \gamma \end{vmatrix}}{\nabla} \\ \theta = \frac{\begin{vmatrix} 1 & \alpha I_1 & \alpha A \\ g & -\varphi & L \\ -Z_1 & \lambda & W \end{vmatrix}}{\nabla} \end{array} \right.$$

O exercício é calcular, passo a passo, o determinante de cada numerador das razões acima e, conseqüentemente, obter as expressões que representam o valor das nossas variáveis de interesse (Y_A, i, θ). Calculando, temos que:

$$\begin{aligned} Y_A &= \frac{-\alpha \gamma [(A + W)\varphi + (\lambda + I_1)L]}{\nabla} \\ i &= \frac{\gamma [(1 - \alpha Z_1)L - (A + W)\alpha g]}{\nabla} \\ \theta &= \frac{-[(\lambda + \alpha I_1 Z_1)L + (f Z_1 - \lambda g)\alpha A + (\varphi + g\alpha I_1)W]}{\nabla} \end{aligned}$$

Solução 1

A partir do conjunto de equações da Solução 1 basta observar os coeficientes de qualquer parâmetro para entender os efeitos sobre as variáveis endógenas do modelo. A política fiscal, mudanças em G , como variação positiva no componente autônomo A . A política monetária representada por mudanças em L .

9. Choques Exógenos em N_0

O exercício desta seção da dissertação é observar choques de βN_0 , particularmente N_0 , sobre as três variáveis (Y_A, r, θ) . Dessa maneira, deve-se observar as derivadas de cada uma delas em relação a N_0 .

Sabendo que $A = C_0 + I_0 + G_0 + X_0 - Z_0 + X_1 Y_A^* - \beta N_0$, seja o resultado da manipulação do modelo IS-LM-BP (Seção **Erro! Fonte de referência não encontrada.**):

$$Y_A = \frac{-\alpha\gamma[(A + W)\varphi + (\lambda + I_1)L]}{\nabla}$$

$$i = \frac{\gamma[(1 - \alpha Z_1)L - (A + W)\alpha g]}{\nabla}$$

$$\theta = \frac{-[(\lambda + \alpha I_1 Z_1)L + (\varphi Z_1 - \lambda g)\alpha A + (\varphi + g\alpha I_1)W]}{\nabla}$$

Tem-se que, $\frac{\partial}{\partial A} = (-1) \cdot \frac{\partial}{\partial N_0}$ de modo que:

$$\frac{\partial Y_A}{\partial N_0} = \frac{-\alpha\gamma\varphi(-1)}{\underbrace{\nabla}_{<0}} = \frac{\alpha\gamma\varphi}{-\gamma[(1 - \alpha Z_1)\varphi + (\lambda + I_1)g\alpha]} < 0$$

O primeiro resultado é que um aumento exógeno do estoque de natureza reduz a demanda agregada, análogo a um aumento exógeno do nível de importação. E uma redução, do estoque de natureza, faz crescer a demanda agregada por renda antropocêntrica.

O efeito sobre a taxa de juros:

$$\frac{\partial i}{\partial N_0} = \frac{\gamma[-\alpha g]}{\nabla} = \frac{-\alpha g\gamma}{\underbrace{\nabla}_{<0}} = \frac{\alpha g}{[(1 - \alpha Z_1)\varphi + (\lambda + I_1)g\alpha]} > 0$$

Esse resultado pode representar aumentos de incerteza diante de todo o avanço da estrutura biocêntrica frente à estrutura antropocêntrica. Ou ainda, a necessidade por atração de capital para utilizar o estoque de natureza que se expandiu frente à estrutura antropocêntrica que ali havia.

Por outro lado, redução do estoque de natureza

O efeito sobre a taxa de câmbio:

$$\frac{\partial \theta}{\partial N_0} = \frac{-(\varphi Z_1 - \lambda g)\alpha(-1)}{\nabla} = \frac{\alpha(\varphi Z_1 - \lambda g)}{-\gamma[(1 - \alpha Z_1)\varphi + (\lambda + I_1)g\alpha]} < 0$$

10. Efeitos da Política Fiscal

Calculando o sentido e o tamanho do impacto de uma política fiscal (expansionista ou austera) sobre a produção, sobre a taxa de juros e sobre a taxa de câmbio real num regime de câmbio flutuante.

Começando com a produção:

$$\begin{aligned}\frac{\partial Y}{\partial G} &= \frac{\partial Y}{\partial A} \frac{\partial A}{\partial \underbrace{G}_1} \text{,}^9 = \frac{\partial Y}{\partial A} = \frac{-\gamma\alpha\varphi}{\nabla} = \frac{-\gamma\alpha\varphi}{-\gamma[(1 - \alpha Z_1)\varphi + (\lambda + I_1)g\alpha]} \\ &= \frac{\alpha\varphi}{[(1 - \alpha Z_1)\varphi + (\lambda + I_1)g\alpha]} > 0\end{aligned}$$

Lembrando que o sentido do impacto é determinado pelo sinal da derivada e seu tamanho é o valor resultado desta equação caso se substituísse valores arbitrários para cada letra do sistema. Assim, temos que $\frac{\partial Y}{\partial G} > 0$, que vale interpretar que políticas fiscais expansionistas resultam em aumento na produção ($G \uparrow \Rightarrow Y \uparrow$), ao passo que políticas fiscais austeras diminuem a produção ($G \downarrow \Rightarrow Y \downarrow$).

E como ficam os cenários limítrofes de mobilidade de capitais, i. e. quando $\lambda \rightarrow \infty$ e $\lambda = 0$? Simples, sem mobilidade de capitais, substitui-se $\lambda = 0$, como segue:

$$\frac{\partial Y}{\partial G_{\lambda=0}} = \frac{\alpha\varphi}{[(1 - \alpha Z_1)\varphi + (0 + I_1)g\alpha]} = \frac{\alpha\varphi}{(1 - \alpha Z_1)\varphi + I_1g\alpha} > 0$$

Sem mobilidade de capitais, o sentido do efeito da política fiscal é o mesmo, porém seu valor absoluto aumenta pelo fato de termos reduzido uma parcela positiva do denominador.

Porém, quando $\lambda \rightarrow \infty$, utilizamos um recurso matemático simples: um número dividido por um valor muito grande (infinito) tende a zero. Assim, dividimos o numerador e denominador por λ e toda parcela que não estiver sendo multiplicada por λ tenderá a zero.

$$\frac{\partial Y}{\partial G_{\lambda \rightarrow \infty}} = \frac{\alpha\varphi/\lambda}{[(1 - \alpha Z_1)\varphi + (\lambda + I_1)g\alpha]/\lambda} = \frac{\frac{\overset{\rightarrow 0}{\alpha\varphi}}{\lambda}}{\underbrace{\frac{(1 - \alpha Z_1)\varphi}{\lambda}}_{\rightarrow 0} + \underbrace{\frac{\lambda g\alpha}{\lambda}}_{=e\alpha} + \underbrace{\frac{I_1 g\alpha}{\lambda}}_{\rightarrow 0}} = 0$$

⁹ A regra da cadeia foi aplicada porque $G = G_0$, gastos do governo, foi inserido na reunião dos componentes autônomos $A = C_0 + I_0 + G_0 + X_0 - Z_0 + X_1 Y^*$. Assim sendo, choques na renda estrangeira Y^* , por exemplo, teria como $\frac{\partial A}{\partial Y^*} = X_1$, diferentemente do que acontece com G .

Portanto, uma política fiscal em regime de câmbio flutuante com perfeita mobilidade de capitais não tem efeito sobre a produção. Vale discutir a dinâmica econômica por trás desta matemática.

Agora, o efeito da política fiscal sobre a taxa de juros:

$$\frac{\partial r}{\partial G} = \frac{\partial r}{\partial A} = \frac{\gamma \alpha g}{\nabla} = \frac{\gamma \alpha g}{-\gamma[(1 - \alpha Z_1)\varphi + (\lambda + I_1)g\alpha]} = \frac{-\alpha g}{[(1 - \alpha Z_1)\varphi + (\lambda + I_1)g\alpha]} < 0$$

Logo, num regime de câmbio flutuante com mobilidade imperfeita de capitais, interpretamos que uma política fiscal expansionista reduz a taxa de juros, ou uma política de austeridade fiscal aumenta a taxa de juros.

E com perfeita mobilidade, $\lambda \rightarrow \infty$, curva BP horizontal, tem-se que

$$\frac{\partial r}{\partial G} = \frac{-\alpha g/\lambda}{[(1 - \alpha Z_1)\varphi + (\lambda + I_1)g\alpha]/\lambda} = 0$$

Sob mobilidade perfeita de capitais, num regime de câmbio flutuante, a política fiscal não tem efeito sobre a taxa de juros.

E sem mobilidade de capitais, $\lambda = 0$, curva BP vertical?

$$\frac{\partial r}{\partial G} = \frac{-\alpha g}{(1 - \alpha Z_1)\varphi + \underbrace{(\lambda + I_1)}_{=0}g\alpha} = \frac{-\alpha g}{(1 - \alpha Z_1)\varphi + I_1g\alpha} < 0$$

Já sem mobilidade de capitais, num regime de câmbio flutuante, uma política fiscal tem efeito negativo na taxa de juros. Se expansionista, reduz a taxa de juros. Se contracionista, aumenta.

A taxa de câmbio:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta}{\partial G} &= \frac{\partial \theta}{\partial A} = \frac{-(\varphi Z_1 - \lambda g)\alpha}{\nabla} = \frac{-(\varphi Z_1 - \lambda g)\alpha}{-\gamma[(1 - \alpha Z_1)\varphi + (\lambda + I_1)g\alpha]} \\ &= \frac{(\varphi Z_1 - \lambda g)\alpha}{\gamma[(1 - \alpha Z_1)\varphi + (\lambda + I_1)g\alpha]} \end{aligned}$$

Sobre a taxa de câmbio, acontece uma ambiguidade quando se está num cenário em que há mobilidade imperfeita de capitais ($0 < \lambda < \infty$). Temos que $(\varphi Z_1 - \lambda g)$ será maior ou menor que 0 a depender dos valores absolutos de φ, Z_1, λ, g , pois quando $\varphi Z_1 > \lambda g$ o resultado é positivo e, portanto, $\partial \theta / \partial G > 0$, que significa movimentos no mesmo sentido ($G \uparrow \Rightarrow \theta \uparrow$ e $G \downarrow \Rightarrow \theta \downarrow$). Por outro lado, quando $\varphi Z_1 < \lambda g$, teremos $\partial \theta / \partial G < 0$ e, portanto, as variáveis se movimentam em sentidos opostos ($G \uparrow \Rightarrow \theta \downarrow$ e $G \downarrow \Rightarrow \theta \uparrow$).

Analicamente, o que acontece é relação entre as inclinações das curvas LM e BP . Quando $(fZ_1 - \lambda e) > 0 \Rightarrow \varphi/g > \lambda/Z_1$, isto é, a inclinação da curva LM é maior que a inclinação da BP . Quando $(\varphi Z_1 - \lambda g) < 0 \Rightarrow \varphi/g < \lambda/Z_1$, a inclinação da LM é menor que a inclinação da curva BP . (faça o gráfico para os dois cenários)

Para extrair interpretações econômicas desta ambiguidade precisamos entender o sentido econômico de cada parâmetro φ, Z_1, g, λ . Pauta de longa discussão.

Sobre uma realidade sem mobilidade de capitais (protecionismo extremo) substituímos $\lambda = 0$ no resultado da derivada acima, ficando com:

$$\frac{\partial \theta}{\partial G_{\lambda=0}} = \frac{(\varphi Z_1 - 0 \cdot g)\alpha}{\gamma[(1 - \alpha Z_1)\varphi + (0 + I_1)g\alpha]} = \frac{\varphi Z_1 \alpha}{\gamma[(1 - \alpha Z_1)\varphi + I_1 g \alpha]} > 0$$

Ou seja, uma política fiscal expansionista num regime de câmbio flutuante sem mobilidade de capitais, aumenta a taxa de câmbio real (desvaloriza a moeda nacional). Uma política fiscal contracionista, reduz a taxa de câmbio (valoriza a moeda nacional).

Com mobilidade perfeita de capital, $\lambda \rightarrow \infty$:

$$\frac{\partial \theta}{\partial G_{\lambda \rightarrow \infty}} = \frac{\frac{(\varphi Z_1 - \lambda g)\alpha}{\lambda}}{\gamma \frac{[(1 - \alpha Z_1)\varphi + (\lambda + I_1)g\alpha]}{\lambda}} = \frac{\overbrace{\frac{\varphi Z_1 \alpha}{\lambda}}^{\rightarrow 0} - \overbrace{\frac{\lambda g \alpha}{\lambda}}^{\rightarrow -e\alpha}}{\underbrace{\gamma(1 - \alpha Z_1)\varphi}_{\rightarrow 0} + \underbrace{\frac{\lambda g \alpha \gamma}{\lambda}}_{=g\alpha\gamma} + \underbrace{\frac{I_1 g \alpha \gamma}{\lambda}}_{\rightarrow 0}} = \frac{-g\alpha}{g\alpha\gamma}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial G_{\lambda \rightarrow \infty}} = \frac{-1}{\gamma} < 0$$

Então, uma política fiscal expansionista num regime de câmbio flutuante com perfeita mobilidade de capitais reduz a taxa de câmbio real, valoriza a moeda nacional. Uma política fiscal contracionista, aumenta a taxa de câmbio real, desvaloriza a moeda.

11. Efeitos da Política Monetária

Calculando o sentido e o tamanho do impacto de uma política monetária (expansionista ou contracionista) sobre a produção, a taxa de juros e a taxa de câmbio real num regime de câmbio flutuante. A produção:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Y}{\partial \frac{M^S}{P}} &= \frac{-\alpha\gamma(\lambda + I_1)}{\nabla} = \frac{-\alpha\gamma(\lambda + I_1)}{-\gamma[(1 - \alpha Z_1)\varphi + (\lambda + I_1)g\alpha]} = \\ &= \frac{\alpha(\lambda + I_1)}{[(1 - \alpha Z_1)\varphi + (\lambda + I_1)g\alpha]} > 0 \end{aligned}$$

Valor da derivada positivo significa que as variáveis se movimentam no mesmo sentido. Ou seja, uma política monetária expansionista num regime de câmbio flutuante aumenta a produção. Uma política monetária contracionista diminui.

Agora a taxa de juros:

$$\frac{\partial r}{\partial \frac{M^S}{P}} = \frac{\gamma(1 - \alpha Z_1)}{\nabla} = \frac{\gamma(1 - \alpha Z_1)}{-\gamma[(1 - \alpha Z_1)\varphi + (\lambda + I_1)g\alpha]} = \frac{-(1 - \alpha Z_1)}{(1 - \alpha Z_1)\varphi + (\lambda + I_1)g\alpha} < 0$$

Derivada negativa. Uma política monetária expansionista reduz a taxa de juros. Uma política fiscal contracionista aumenta a taxa de juros.

Com perfeita mobilidade de capitais, $\lambda \rightarrow \infty$, BP horizontal, tem-se:

$$\frac{\partial r}{\partial \frac{M^S}{P}}_{\lambda \rightarrow \infty} = \frac{-(1 - \alpha Z_1)/\lambda}{[(1 - \alpha Z_1)\varphi + (\lambda + I_1)g\alpha]/\lambda} = 0$$

Uma política monetária com perfeita mobilidade de capitais não tem impacto sobre a taxa de juros. E sem mobilidade? ($\lambda = 0$, curva BP vertical)

$$\frac{\partial r}{\partial \frac{M^S}{P}}_{\lambda=0} = \frac{-(1 - \alpha Z_1)}{(1 - \alpha Z_1)\varphi + (\lambda + I_1)g\alpha} = \frac{-(1 - \alpha Z_1)}{(1 - \alpha Z_1)\varphi + I_1g\alpha} < 0$$

O sentido do efeito continua, porém, a dimensão aumenta, visto que uma parcela do denominador foi levada a zero, ou seja, reduz-se o valor do denominador, logo a razão aumenta.

O câmbio:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta}{\partial \frac{M^S}{P}} &= \frac{-(\lambda + \alpha I_1 Z_1)}{\nabla} = \frac{-(\lambda + \alpha I_1 Z_1)}{-\gamma[(1 - \alpha Z_1)\varphi + (\lambda + I_1)g\alpha]} = \\ &= \frac{(\lambda + \alpha I_1 Z_1)}{(1 - \alpha Z_1)\varphi + (\lambda + I_1)g\alpha} > 0 \end{aligned}$$

Derivada positiva. Uma política monetária expansionista aumenta a taxa de câmbio real, desvaloriza a moeda nacional. Uma política monetária contracionista reduz a taxa de câmbio real, valoriza a moeda nacional.

Num cenário sem mobilidade de capitais, $\lambda = 0$, temos:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \frac{M^S}{P}}_{\lambda=0} = \frac{(0 + \alpha I_1 Z_1)}{(1 - \alpha Z_1)\varphi + (0 + I_1)g\alpha} = \frac{\alpha I_1 Z_1}{(1 - \alpha Z_1)\varphi + I_1g\alpha} > 0$$

O sentido do efeito da política monetária sobre a taxa de câmbio real se mantém, porém o tamanho do impacto aumenta. Ou seja, uma política monetária expansionista num regime de câmbio flutuante sem mobilidade de capitais aumenta a taxa de câmbio real numa dimensão maior, o impacto é mais forte, a desvalorização da moeda nacional é maior. Ao passo que uma

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_A = \frac{\begin{vmatrix} \alpha(A + \gamma\theta) & \alpha I_1 & 0 \\ 0 & -\varphi & -1 \\ W - \gamma\theta & \lambda & 0 \end{vmatrix}}{\nabla} \\ r = \frac{\begin{vmatrix} 1 & \alpha(A + \gamma\theta) & 0 \\ g & 0 & -1 \\ -Z_1 & W - \gamma\theta & 0 \end{vmatrix}}{\nabla} \\ L = \frac{\begin{vmatrix} 1 & \alpha I_1 & \alpha(A + \gamma\theta) \\ g & -\varphi & 0 \\ -Z_1 & \lambda & W - \gamma\theta \end{vmatrix}}{\nabla} \end{array} \right.$$

E, como resultado:

$$Y_A = \frac{\alpha[(\lambda A - I_1 W) + (I_1 + \lambda)\gamma\theta]}{\nabla}$$

$$i = \frac{Z_1 \alpha A + W - (1 - Z_1 \alpha)\gamma\theta}{\nabla}$$

$$L = \frac{\alpha A - \varphi W + (\varphi + \alpha)\gamma\theta}{\nabla}$$

Solução 2

Na política cambial, pelo fato de a oferta de moeda ser endógena, o que acontece é a definição de um nível de taxa de câmbio que conduza a movimentação de capital, valorizando ou desvalorizando a moeda nacional. Sendo assim, calcula-se as derivadas da produção, da taxa de juros e da oferta monetária em relação à taxa de câmbio real (θ).

O efeito sobre produção:

$$\frac{\partial Y}{\partial \theta} = \frac{(\lambda + I_1)\alpha\gamma}{\nabla} = \frac{\alpha\lambda\gamma + I_1\gamma}{\alpha I_1 Z_1 + \lambda} > 0$$

Logo, uma política de desvalorização cambial ($\theta \uparrow$) aumenta o nível de produção. Uma política de valorização cambial ($\theta \downarrow$) reduz o nível de produção. Mudanças no multiplicador ficam de difícil mensuração, nesse caso, pois dependerá dos fatores atrelados, vizinhos, a ele, ao α ; que está tanto no numerador quanto no denominador e mesmo sinal.

Para as situações limítrofes da mobilidade de capital, perfeita e sem qualquer, respectivamente:

$$\frac{\partial Y}{\partial \theta_{\lambda \rightarrow \infty}} = \frac{\frac{\alpha\lambda\gamma}{\lambda} + \frac{I_1\gamma}{\lambda}}{\frac{\alpha I_1 Z_1 + \lambda}{\lambda}} = \frac{\alpha\gamma}{1} > 0$$

$$\frac{\partial Y}{\partial \theta_{\lambda=0}} = \frac{\alpha\lambda\gamma + I_1\gamma}{\alpha I_1 Z_1 + \lambda} = \frac{\alpha \cdot 0 \cdot \gamma + I_1\gamma}{\alpha I_1 Z_1 + 0} = \frac{I_1\gamma}{\alpha I_1 Z_1} = \frac{\gamma}{\alpha Z_1} > 0$$

I. e. Num regime de câmbio fixo com perfeita mobilidade de capitais, uma política cambial tem efeito positivo na produção, i. e. se ocorre desvalorização cambial, a produção aumenta, se ocorre valorização, a produção diminui. O mesmo acontece num regime de câmbio fixo sem mobilidade de capitais.

A taxa de juros:

$$\frac{\partial r}{\partial \theta} = \frac{\alpha Z_1 \gamma - \gamma}{\nabla} = \frac{\overbrace{(\alpha Z_1 - 1)\gamma}^{<0}}{\alpha I_1 Z_1 + \lambda} = \frac{-(1 - \alpha Z_1)\gamma}{\alpha I_1 Z_1 + \lambda} < 0$$

Diminui numa política de desvalorização cambial. Uma política de valorização cambial aumenta a taxa de juros.

Os cenários de perfeita e nenhuma mobilidade de capitais segue:

$$\frac{\partial r}{\partial \theta_{\lambda \rightarrow \infty}} = \frac{\overbrace{-(1 - \alpha Z_1)\gamma / \lambda}^{\rightarrow 0}}{\underbrace{(\alpha I_1 Z_1 + \lambda) / \lambda}_1} = 0$$

$$\frac{\partial r}{\partial \theta_{\lambda=0}} = \frac{-(1 - \alpha Z_1)\gamma}{\alpha I_1 Z_1 + 0} = \frac{-(1 - \alpha Z_1)\gamma}{\alpha I_1 Z_1} < 0$$

Logo, num regime de câmbio fixo com mobilidade perfeita de capitais, uma política cambial não tem efeito sobre a taxa de juros. Ao passo que no mesmo regime de câmbio fixo só que sem qualquer mobilidade de capitais, o efeito de uma política cambial é inverso sobre a taxa de juros.

A oferta de moeda:

$$\frac{\partial \frac{M^S}{P}}{\partial \theta} = \frac{(e\lambda - Z_1 f)\alpha\gamma + (f + aeI_1)\gamma}{\nabla} = \frac{e\lambda\alpha\gamma - Z_1 f\alpha\gamma + f\gamma + aeI_1\gamma}{\alpha I_1 Z_1 + \lambda}$$

$$= \frac{f\gamma \overbrace{(1 - Z_1\alpha)}^{>0} + e\alpha\gamma(\lambda + I_1)}{\alpha I_1 Z_1 + \lambda} > 0$$

Portanto, uma política de desvalorização cambial ($\theta \uparrow$) aumenta a oferta real de moeda. Uma política de valorização cambial ($\theta \downarrow$) reduz a oferta real de moeda.

$$\frac{\partial \frac{M^S}{P}}{\partial \theta}_{\lambda \rightarrow \infty} = \frac{[f\gamma(1 - Z_1\alpha) + e\alpha\gamma(\lambda + I_1)]/\lambda}{(\alpha I_1 Z_1 + \lambda)/\lambda} = \frac{e\alpha\gamma}{1} > 0$$

$$\frac{\partial \frac{M^S}{P}}{\partial \theta}_{\lambda=0} = \frac{f\gamma(1 - Z_1\alpha) + e\alpha\gamma(0 + I_1)}{\alpha I_1 Z_1 + 0} = \frac{f\gamma(1 - Z_1\alpha) + e\alpha\gamma I_1}{\alpha I_1 Z_1} > 0$$

Portanto, uma política cambial, independentemente do nível de mobilidade de capital, tem efeito direto positivo sobre a oferta de moeda.

8. Apendice B – Exercício Empírico

Modelos de dados em painel, em particular, têm sido amplamente utilizados para identificar os determinantes do crescimento das emissões de gases carbônicos (ALLER; DUCTOR; GRECHYNA, 2021; DUTT, 2009; OMRI et al., 2014; ZAMAN et al., 2016). A escolha da metodologia de dados em painel se justifica pelo fato de que o problema da utilização dos recursos ambientais é comum a todos os países, porém enfrenta condições (restrições) de localidade e econômicas distintas. O modelo possibilita identificar a média das médias dos países no período com eficiência.

O teste, aqui, busca oferecer insumos para uma interpretação geral da macroeconomia ambiental. Um modelo que tenta captar fotografias da dinâmica da estrutura produtiva e seu efeito sobre as emissões de CO_2 , consumo de energia proveniente de combustível fóssil e área florestada; escolhidas como variáveis macroeconômicas representantes da intensidade-ambiente.

A literatura IS-LM-EE expõe um raciocínio cuja intensidade-ambiente depende do custo do capital — da taxa de juros. Heyes (2000) fornece a noção de um trade-off entre custo de capital e intensidade ambiente. Uma relação de substitutividade entre esses elementos, como se capitais mais custosos tendem a gerar iniciativas mais degradantes, com maior intensidade-ambiente. Menor custo de capital tende a baratear esse fator produtivo que degradar menos o ambiente com técnicas menos intensivas em recurso natural. Parece intuitivo.

Porém, Lawn (2003) também pensou se não seria o oposto. Interpretou essa intensidade-ambiente como o grau de utilização de insumos (energia, em particular) no processo produtivo, e sempre haverá um mínimo entre intensidade-ambiente (energia) e formação de capital necessário à produção. Dessa forma, quanto menor for o custo do capital, menos insumos serão utilizados devido à melhora de eficiência, da produtividade, e menor é a intensidade ambiente.

Além do custo do capital, da taxa de juros, a taxa de câmbio é tão importante ou mais. Moraes e Serra (2011) são autores brasileiros que incorporam a curva EE ao modelo de Mundell-Fleming mas analisa o equilíbrio ecológico com a LM vertical no plano $\{Y, \theta\}$ — , e fazem choques comparam a EE com a balança de pagamentos. Entendem que existe uma taxa

de câmbio que equilibra a balança de pagamentos para diferentes pontos de degradação e fatores de intensidade ambiente.

Nesse sentido, realizamos alguns testes utilizando dados em painel de 217 países como unidades de cross-section numa janela de 25 anos e periodicidade anual, de 1999 a 2023, obtidos no [banco de dados do Banco Mundial](#). Classificamos em economias desenvolvidas e subdesenvolvidas, ou “em desenvolvimento”, segundo a ONU (“World Economic Situation and Prospects - Country Classification”, 2014). Uma amostra representativa do norte e sul global.

Para a construção do modelo linear de dados em painel, utilizamos as seguintes variáveis explicativas: taxa de juros real, PIB per capita, taxa de câmbio real, taxa de investimento (% da Formação Bruta de Capital Fixo no PIB), Investimento Estrangeiro Direto (% do PIB), gastos do Governo (% do PIB), área de agricultura (% do total), percentual da poupança bruta no PIB, percentual da população urbana na total¹⁰. As variáveis independentes são: a área florestada (AF , % da área total do território nacional), pelo consumo de energia proveniente de combustível fóssil (EF) e pelo número de emissões de dióxido de carbono em toneladas per capita (CO_2)¹¹. A AF pode ser entendida como proxy do produto biocêntrico, enquanto EF e CO_2 como intensidade ambiente.

Construímos um painel linear com regressores estritamente exógenos; consiste em observações de diferentes unidades *cross-section* numa mesma janela temporal. O uso de dados em painel é ter a capacidade de controlar possíveis heterogeneidades correlacionadas e invariantes ao longo do tempo, mesmo sem observá-las diretamente (PESARAN, 2015). Esse fenômeno é útil para analisar países e respeitar suas condições estruturais de disponibilidade de recursos. Por isso, neste estudo, serão utilizados modelos com dados empilhados e efeitos fixos de controle por unidade cross-section e unidade temporal (*two ways*).

Grande parte da literatura empírica sobre efeito da estrutura econômica sobre o ecossistema usa a medida de emissões de GEE. Um universo enorme de estudos compreende bem a Curva de Kusnetz Ambiental (CKA), introduzida por Grossman e Krueger (1991); a relação de U-invertido entre o PIB e variáveis ambientais. Intui o efeito do PIB sobre variáveis

¹⁰ Os códigos para localizar as variáveis independentes no [Banco Mundial](#) são, respectivamente: FR.INR.RINR; NY.GDP.PCAP.CN; PA.NUS.FCRF; NE.GDI.FTOT.ZS; FP.CPI.TOTL.ZG; BX.KLT.DINV.WD.GD.ZS, NE.CON.GOV.T.ZS; AG.LND.AGRI.ZS; NY.GNS.ICTR.ZS.

¹¹ O código das variáveis dependentes (AF , EF , CO_2): AG.LND.FRST.ZS; EG.USE.PCAP.KG.OE; EN.ATM.CO2E.PC.

ambientais. Grossman e Krueger (1991) observam o dióxido de enxofre (SO_2) e as partículas suspensas. O formato da CKA representa estados de diferenças entre rendas refletindo degradação marginal passa por “*turning point's*” ou pontos de inflexão. Existe também estimação de U-invertido (ZAMAN et al., 2016) e de N. Alkhars et al. (2022) fornecem uma revisão sistemática da literatura empírica sobre o EKC de seis países do Conselho de Cooperação do Golfo (GCC) para o período entre 2010 e 2020. Revisou 38 artigos que demonstraram a natureza mista da hipótese do EKC. Salahuddin e Gow (2014) também investigaram os países do CCG e indicaram uma associação positiva e significativa entre o consumo de energia e as emissões de CO_2 e entre o crescimento econômico e o consumo de energia, tanto no curto quanto no longo prazo. Zaman et al. (2016) incorporam o consumo de energia proveniente de combustíveis fósil num painel de três regiões diversificadas do mundo, incluindo o Leste Asiático e Pacífico, União Europeia e países de alta renda da OCDE e não OCDE; e mostram que esta variável representa parte significativa das emissões. Aller et al. (2021) mostram que o consumo de energia proveniente de combustível fósil, o percentual da população urbana e o investimento estrangeiro direto são componentes robustos das emissões de CO_2 .

A opção pela incorporação de fluxos de investimento estrangeiro direto surgiu pela necessidade de explicar parte dos fluxos internacionais e mobilidade de capital. IED conduzem a um maior crescimento econômico adicional e, da mesma forma, se um maior crescimento econômico envia sinais positivos para atrair mais investimento estrangeiro, com ambos os sentidos de causalidade, bem como a ausência desta (IED) (Omri et al., 2014). Shahbaz et al. (2015) também utilizam o investimento estrangeiro direto e mostram que esta variável é significativa para países de todos os níveis de renda, utilizando mínimos quadrados ordinários totalmente modificados (FMOLS), e que existe curva de Kuznets ambiental no longo prazo. Além disso, que existe todo tipo de relação, positiva negativa e inexistente. E, comparando países, abre a discussão da hipótese do paraíso da poluição (HPP). A HPP afirma que as indústrias poluidoras se mudam para países com restrições ambientais mais brandas, já que fazer negócios lá economizará dinheiro (RAIHAN, 2023). Este trabalho controla para o IED no sentido de captar os fluxos de investimentos não atraído por juros, porém por liberdade de efeito de emissão de GEE.

Dutt (2009) examina fatores como governança, instituições políticas, condições socioeconômicas e educação desempenham na influência dessa CKA. Para emissões de dióxido de carbono, existe uma CKA positiva em formato de “~” para 124 países no período de 1984 a

2002. Abid (2017) testa a hipótese da CKA com uma amostra de % países do Oriente Médio e África e 41 países da União Europeia, de 1990 a 2011 utilizando um modelo GMM-system. Seus resultados mostram que para se ter um desempenho econômico positivo sustentável e reduzir a emissão de CO_2 , os formuladores de políticas devem aprimorar o papel da eficiência das instituições nacionais. Os coeficientes desses parâmetros dirão, fundamentalmente, o efeito que as políticas de demanda, tanto fiscal como monetária, têm sobre as emissões.

Sobre política monetária, e não apenas a nacional, Samour et al. (2021) mostram que há relação negativa entre a taxa de juros dos EUA e a emissão de CO_2 da Turquia e um efeito de *spillover* sobre a taxa de juros nacional de curto prazo, crescimento econômico e canais de consumo de energia. Este trabalho busca ressaltar a taxa de juros e a taxa de câmbio. Fundamentalmente para testar as hipóteses de Heyes e Lawn sobre o custo do capital; sem deixar de observar o contexto internacional através da taxa de câmbio de equilíbrio da balança de pagamentos. A proposta de pensar na modelagem de uma taxa de câmbio de equilíbrio industrial no modelo é algo a se inserir na agenda de pesquisa.

A taxa de juros e a taxa de câmbio são, portanto, o destaque dos resultados a seguir. Apesar disso, as demais variáveis de controle podem servir de contextualização para entender o mecanismo transmissão do efeito das estruturas macroeconômicas sobre a utilização de recursos naturais.

Tabela 1 - Modelo de área florestada como variável dependente com efeitos fixos e duplo Controle para países desenvolvidos e subdesenvolvidos

	Área Florestada		
	Todos os países	Países Subdesenvolvidos	Países Desenvolvidos
Logaritmo da Taxa de Juros Real	-0.084** (0.042)	-0.052 (0.047)	0.047 (0.056)
Logaritmo do PIB per capita	0.953*** (0.157)	1.338*** (0.185)	1.095*** (0.186)

Logaritmo da Taxa de Cambio	-0.892*** (0.199)	-0.781*** (0.230)	-0.653*** (0.237)
Logaritmo da Formação Bruta de Capital Fixo	-0.946*** (0.180)	-0.817*** (0.194)	-0.310 (0.374)
Logaritmo do Investimento Estrangeiro Direto	0.008 (0.044)	0.041 (0.052)	-0.088** (0.039)
Logaritmo da Poupança Total	-0.323*** (0.104)	-0.438*** (0.111)	0.281 (0.236)
Logaritmo da (%) População Urbana	0.930 (0.659)	2.089*** (0.710)	8.085*** (1.958)
Observations	1,745	1,469	276
R ²	0.056	0.077	0.224
Adjusted R ²	-0.029	-0.010	0.068
F Statistic	13.635*** (df = 7; 1599)	16.072*** (df = 7; 1341)	9.456*** (df = 7; 229)

Fonte: elaboração própria.

* p<0.05 ** p<0.01 *** p<0.001

Tabela 2 - Modelo de consumo de energia proveniente de combustível fóssil como variável dependente com efeitos fixos e duplo controle para países desenvolvidos e subdesenvolvidos

Dependent variable:

energfoossil

	Todos os Países	Países Subdesenvolvidos	Países Desenvolvidos
Logaritmo da Taxa de Juros Real	-0.373*** (0.141)	-0.219 (0.156)	-0.154 (0.331)
Logaritmo do PIB per capita	2.637*** (0.540)	2.348*** (0.692)	-5.629*** (1.165)
Logaritmo da Taxa de Cambio	-2.548*** (0.679)	-3.786*** (0.829)	3.020** (1.208)
Logaritmo da Formação Bruta de Capital Fixo	2.605*** (0.730)	1.788** (0.796)	10.957*** (1.947)
Logaritmo do Investimento Estrangeiro Direto	0.018 (0.148)	-0.028 (0.187)	-0.081 (0.192)
Logaritmo da Poupança Total	-0.065 (0.414)	0.106 (0.451)	1.193 (1.142)
Logaritmo da (%) População Urbana	16.143*** (2.709)	9.707*** (2.899)	46.259*** (9.647)
Logaritmo da (%) Área Florestada	-17.753*** (2.717)	-8.685** (3.605)	-12.684*** (3.998)
Observations	1,007	773	234
R ²	0.157	0.066	0.387

Adjusted R ²	0.039	-0.081	0.256
F Statistic	20.532*** (df = 8; 883)	5.913*** (df = 8; 667)	15.171*** (df = 8; 192)

Fonte: elaboração própria.

* ** *** p<0.01

Tabela 3 - Modelo Log-Log de toneladas de emissões de CO₂ per capita como proxy para intensidade-ambiente com efeitos fixos e duplo controle

	<i>Variável Dependente:</i>		
	<i>Logaritmo das emissões de CO₂ em toneladas per capita.</i>		
	Todos os Países	Países em Desenvolvimento	Países Desenvolvidos
Logaritmo da Taxa de Juros Real	-0.013*** (0.004)	-0.012** (0.005)	-0.002 (0.006)
Logaritmo do PIB per capita	0.148*** (0.017)	0.096*** (0.023)	0.119*** (0.023)
Logaritmo da Taxa de Cambio	-0.129*** (0.021)	-0.161*** (0.027)	-0.035 (0.022)
Logaritmo da Formação Bruta de Capital Fixo	0.104*** (0.021)	0.090*** (0.024)	0.096*** (0.035)
Logaritmo do Índice de Inflação dos Preços ao Consumidor	0.016*** (0.005)	0.013** (0.006)	0.012** (0.005)
Logaritmo do Investimento Estrangeiro Direto	0.013*** (0.004)	0.022*** (0.006)	0.001 (0.004)

Logaritmo dos Gastos do Governo	0.113 ^{***} (0.033)	0.124 ^{***} (0.037)	-0.027 (0.067)
Logaritmo da (%) Área Florestada	0.174 ^{**} (0.083)	0.350 ^{***} (0.116)	0.009 (0.071)
Logaritmo do % da Área de Agricultura	0.179 ^{***} (0.055)	0.245 ^{***} (0.067)	-0.098 [*] (0.056)
Logaritmo da (%) População Urbana	0.820 ^{***} (0.086)	0.761 ^{***} (0.096)	0.045 (0.204)
Consumo de Energia Proveniente de Combustível Fóssil	0.022 ^{***} (0.001)	0.022 ^{***} (0.001)	0.013 ^{***} (0.001)
Observations	950	734	216
R ²	0.605	0.527	0.619
Adjusted R ²	0.545	0.446	0.521
F Statistic	114.875 ^{***} (df = 11; 824)	63.404 ^{***} (df = 11; 626)	25.288 ^{***} (df = 11; 171)

Fonte: elaboração própria.

* ** *** p<0.01

Tabela 4 – Resumo dos resultados isolando os coeficientes da taxa de juros e taxa de câmbio sobre as proxies de intensidade-ambiente

Área Florestada (<i>AF</i>)			
	Todos os países	Países Subdesenvolvidos	Países Desenvolvidos
Logaritmo do PIB per capita (<i>Y</i>)	0.953***	1.338***	1.095***
Logaritmo da Taxa de Juros Real (<i>r</i>)	-	-0.052	0.047
Logaritmo da Taxa de Câmbio (θ)	0.892***	-0.781***	-0.653***
Energ. Fossil (<i>EF</i>)			
	Todos os países	Países Subdesenvolvidos	Países Desenvolvidos
Logaritmo do PIB per capita	2.637***	2.348***	-5.629***
Logaritmo da Taxa de Juros Real	-0.373***	-0.219	-0.154
Logaritmo da Taxa de Câmbio	-2.548***	-3.786***	3.020**
Logaritmo da Emissão de Dióxido de Carbono (<i>CO₂</i>)			
	Todos os países	Países Subdesenvolvidos	Países Desenvolvidos
Logaritmo do PIB per capita	0.148***	0.096***	0.119***
Logaritmo da Taxa de Juros Real	-0.013***	-0.012**	-0.002
Logaritmo da Taxa de Câmbio	-0.129***	-0.161***	-0.035

Fonte: elaboração própria.

O resultado desse teste não é de trivial compreensão. Ainda que preliminar, porém, parece demonstrar uma correlação robusta entre mudanças em variáveis ambientais e variáveis macroeconômicas. Por exemplo, apresenta uma correlação positiva robusta entre o PIB e as três diferentes variáveis ambientais, mas com delicadezas interpretativas. Isto é, na média, quando a economia mundial cresce, as variáveis ambientais (ambientalmente sustentáveis ou não) estão em patamares mais altos.

As variáveis dependentes são: o percentual da área florestada na total (AF); o consumo de energia proveniente de combustível fóssil (carvão, óleo, petróleo e produtos de gás natural, EF) e; o total de emissões de toneladas de gás carbônico per capita CO_2 . Para a taxa de juros e de câmbio, os meandros interpretativos são ainda mais delicados.

Para as três variáveis ambientais (AF , EF e CO_2), quando considerada a base para todos os países, são todas negativamente relacionadas ao juro e ao câmbio. Então, na média geral, países em períodos com mais AF , EF e CO_2 quando passam por reduções nas taxas de juros e de câmbio (mais valorizada a moeda nacional). Ou, países em períodos com menor AF , EF e CO_2 , têm maiores taxas de juros e câmbio.

Quando reduzimos a base aos subconjuntos do desenvolvimento e subdesenvolvimento, aparecem alguns problemas de insignificância estatística e resultados de sinais opostos para diferentes níveis de desenvolvimento quando a proxy ambiental é o consumo de EF .

Os resultados mais curiosos, na

Tabela 2 ou Tabela 4 – Resumo dos resultados isolando os coeficientes da taxa de juros e taxa de câmbio sobre as proxies de intensidade-ambiente, revelam que os coeficientes da produção e da taxa de câmbio mudam de sinal entre as bases de classificação de renda, entre países subdesenvolvidos e desenvolvidos. Respectivamente, o PIB sai do valor de 2,34 e muda para -5,63. E a taxa de câmbio, do valor de -3.786^{***} a 3.020^{**} para, respectivamente, países subdesenvolvidos e desenvolvidos, sobre o consumo de energia proveniente de combustível fóssil.

Esse resultado deve indicar um fato conhecido de que países subdesenvolvidos detêm a fonte do recurso, no caso o petróleo, porém não possuem a tecnologia necessária para transformá-lo em energia, o que obriga a exportá-lo bruto e importá-lo processado. Nesse sentido, quando sua moeda desvaloriza, seu consumo de energia proveniente desse tipo de combustível diminui; e quando valoriza, o consumo aumenta.

Em contrapartida, países desenvolvidos passam pela situação oposta. Quando sua moeda está mais desvalorizada, seu consumo aumenta, isso porque diminuem a exportação aos países subdesenvolvidos. Quando em períodos de maior valorização, diminuem seu consumo desse tipo de energia por racionarem com o mercado internacional.

Estes resultados corroboram com demais evidências de CKA em formato de U-invertido (ALKHARS et al., 2022; GROSSMAN; KRUEGER, 1991; ZAMAN et al., 2016). E, quanto à taxa de câmbio, em períodos com maior desvalorização cambial países desenvolvidos consomem mais energia que quando em tempos de taxas de câmbio mais valorizadas, em que consomem menos.

Essas conclusões não apenas ampliam nosso entendimento sobre a relação entre economia e meio ambiente, mas também destacam a importância de políticas econômicas que considerem a sustentabilidade ecológica. A integração de variáveis ambientais em modelos macroeconômicos pode fornecer insights valiosos para enfrentar os desafios globais atuais e futuros.

A agenda de pesquisa permanece ampla e promissora, com potencial para explorar diversos aspectos da macroeconomia ambiental, especialmente para contribuir com estratégias de crescimento verde. Urge a convenção da economia como subconjunto do ecossistema. E, mais, dependemos de uma utilização ecologicamente sustentável de fatores e recursos naturais para nossa existência. Os resultados deste estudo sugerem que a incorporação de variáveis ambientais nas análises macroeconômicas é essencial para compreender plenamente as dinâmicas econômicas contemporâneas e desenvolver políticas que atendam às demandas ecológicas da contemporaneidade.