

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS – IERI  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA - PPGE  
CURSO DE DOUTORADO EM ECONOMIA**

**ANDERSON HENRIQUE DOS SANTOS ARAÚJO**

**AVALIANDO A DIMENSÃO BIOFÍSICA DA ECONOMIA  
BRASILEIRA: UMA ANÁLISE SOCIOMETABÓLICA NO  
PERÍODO 1970-2019**

**UBERLÂNDIA-MG  
2022**

ANDERSON HENRIQUE DOS SANTOS ARAÚJO

**AVALIANDO A DIMENSÃO BIOFÍSICA DA ECONOMIA  
BRASILEIRA: UMA ANÁLISE SOCIOMETABÓLICA NO  
PERÍODO 1970-2019**

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Economia, do Instituto de Economia e Relações Internacionais, da Universidade Federal de Uberlândia, como exigência parcial para a obtenção do título de Doutor em Economia.

**Área de concentração:** Desenvolvimento Econômico

**Orientador:** Prof. Dr. Daniel Caixeta Andrade

**UBERLÂNDIA-MG  
2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

A663a      Araújo, Anderson Henrique dos Santos,  
2022      Avaliando a dimensão biofísica da economia brasileira [recurso eletrônico] : uma análise sociometabólica no período 1970-2019 / Anderson Henrique dos Santos Araújo. - 2022.

Orientador: Daniel Caixeta Andrade.  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Economia.  
Modo de acesso: Internet.  
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2022.5015>  
Inclui bibliografia.

1. Economia. I. Andrade, Daniel Caixeta (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Economia. III. Título.

CDU: 330

---

André Carlos Francisco  
Bibliotecário – CRB-6/2047


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Economia

Av. João Naves de Ávila, nº 2121, Bloco 1J, Sala 218 - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902

Telefone: (34) 3239-4315 - www.ppge.ie.ufu.br - ppge@ufu.br


**ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO**

Programa de Pós-Graduação em:	Economia				
Defesa de:	Tese de Doutorado, Nº 78, PPGE				
Data:	30 de maio de 2022	Hora de início:	14:30	Hora de encerramento:	17:50
Matrícula do Discente:	11813ECO001				
Nome do Discente:	Anderson Henrique dos Santos Araújo				
Título do Trabalho:	Avaliando a dimensão biofísica da economia brasileira: uma análise sociometabólica no período 1970-2019				
Área de concentração:	Desenvolvimento Econômico				
Linha de pesquisa:	Políticas Públicas e Desenvolvimento Econômico				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Desempenho socioeconômico e performance ambiental: contribuições teóricas e empíricas da Economia Ecológica				

Reuniu-se a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Economia, assim composta: Professores Doutores: Carlos César Santejo Saiani - UFU; Julio Fernando Costa Santos - UFU; Maria Cecília Junqueira Lustosa - UFRJ; Andrei Domingues Cechin - UnB; Daniel Caixeta Andrade - UFU orientador do candidato. Ressalta-se que em conformidade com deliberação do Colegiado do PPGE e manifestação do orientador, a participação dos membros da banca e do aluno ocorreu de forma totalmente remota via webconferência. A professora Maria Cecília Junqueira Lustosa participou desde a cidade do Rio de Janeiro (RJ). O professor Andrei Domingues Cechin participou desde Brasília (DF). O discente participou desde Maceió (AL). Os demais membros da banca participaram desde a cidade de Uberlândia (MG).

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Dr. Daniel Caixeta Andrade, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Caixeta Andrade, Professor(a) do Magistério Superior**, em 30/05/2022, às 18:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Cesar Santejo Saiani, Professor(a) do Magistério Superior**, em 30/05/2022, às 18:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Julio Fernando Costa Santos, Professor(a) do Magistério Superior**, em 30/05/2022, às 18:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Andrei Domingues Cechin, Usuário Externo**, em 31/05/2022, às 08:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria Cecilia Junqueira Lustosa, Usuário Externo**, em 31/05/2022, às 13:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3604797** e o código CRC **D2E7BADA**.

*Dedico esse trabalho a todos que buscam romper as “barreiras intransponíveis” através da educação, em especial, aos meus pais (Antonio Araújo e Rosiene), minha esposa Teresa e meus irmãos (Alan, Arthur e Amanda).*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus pelas oportunidades e infinita proteção ao longo de todos os dias. Não menos importante, a Nossa Senhora, que sempre me acompanha e guia meus caminhos.

Aos meus pais, Antonio Araújo e Rosiene, por toda a educação proporcionada, orações e terem me ensinado a sempre perseverar, mesmo nos momentos mais desafiadores. A Teresa Cristina e minha filhota, Ana Luísa. Obrigado por estarem ao meu lado desde o início dessa etapa, dividindo as alegrias, angústias e sempre me apoiando nas horas mais difíceis. Sem vocês, nada disso teria ocorrido. Meu pedido de perdão pela ausência e as saudades deixadas a cada viagem.

Aos amigos professores. Jarpa Aramis, que a cada conversa cobrava a conclusão da tese. Também aos colegas da UFAL: Natallya Levino, José Rodolfo e Bruno Setton, que muito me aconselharam ao longo do doutorado.

A Universidade Federal de Alagoas, pela possibilidade de afastamento total por 24 meses, permitindo a conclusão das disciplinas. Também aos meus (ex) alunos do curso de administração pública.

Aos professores da Universidade Federal de Alagoas, pelos ensinamentos desde a época de graduação e o auxílio nos processos seletivos de doutoramento: Professora Cecília Lustosa e professores Fábio Guedes Gomes e Cícero Péricles de Carvalho.

Ao PPGE, pela possibilidade de conhecimento e acolhimento desde o processo seletivo. A técnica Camila, sempre eficiente e solicita nas demandas administrativas. A todos os docentes do PPGE, que a cada disciplina, evento ou seminário ampliaram meu horizonte de conhecimento. Professores Carlos Saiani (três disciplinas), Niemeyer, Carlos do Nascimento, Guilherme Jonas e Flávio Vilela. Também as Professoras Ana Paula e Marisa Botelho.

Aos colegas do PPGE-UFU, que dividiram comigo momentos de ajuda mútua, diversões e apreensões. Raphael, Bruno, Flavia, Francisco, Thiago, Marcelo, Benito, Caio, Matheus, Valdeci e Deise. Também a Dona Dora, pelo acolhimento durante minha estadia em Uberlândia.

Ao meu orientador Daniel Caixeta Andrade, pela apresentação do tema de pesquisa e excelente condução durante todo o processo de doutorado. Obrigado pelo apoio, críticas, elogios e revisões.

## RESUMO

A presente tese buscou investigar a dinâmica econômica e biofísica brasileira através de um arcabouço teórico/metodológico convergente à economia ecológica, ou seja, compreendendo que existem limites intransponíveis à expansão do sistema econômico. Assim, utiliza-se o Metabolismo Socioeconômico (MSE), categoria analítica que mensura os fluxos tangíveis de matéria e energia para um determinado sistema econômico, isto é, as interações entre o mundo natural e as sociedades. A *hipótese principal* é que, a partir da década de 1970, as diferentes fases da evolução econômica do Brasil determinaram sua evolução biofísica, além do que as escolhas de política econômica têm impactos relevantes em termos de eficiência ecológica. Buscando atingir os objetivos propostos, foram utilizados elementos teóricos, descritivos e empíricos, dividindo o trabalho em cinco capítulos. Os dois capítulos iniciais conceituam o sociometabolismo, elencam os principais elementos convergentes entre o MSE e a economia ecológica, e mapeiam o potencial da pesquisa sociometabólica (através de um estudo bibliométrico). O terceiro capítulo explora a relevância da análise de fluxos materiais (MFA) como método, e sua aplicabilidade para a análise de fenômenos econômico-ecológicos, além da construção de um arcabouço metodológico próprio, que subsidiou os capítulos seguintes. No quarto capítulo, a ênfase é o Brasil, descrevendo sua trajetória econômica e biofísica nos últimos cinquenta anos, caracterizada pela expansão do consumo doméstico de materiais (DMC), aumento na taxa metabólica, evolução da intensidade material (e de emissões) e um maior intercâmbio de recursos materiais para outras economias. No quinto capítulo, o modelo econométrico de análise do domínio da frequência estimou 96 relações causais entre categorias de DMC e variáveis de crescimento econômico e ambientais, indicando que o Brasil se configura como um importante consumidor de minério de ferro, biomassa e petróleo bruto, e que tais variáveis contribuem para o crescimento econômico, ao mesmo tempo que causam aumento nos níveis de emissões. Os resultados gerais confirmam a relevância do sociometabolismo, e que no período de 1970 a 2019 houve ineficiência ecológica no Brasil, fortalecendo a necessidade de uma transição sociometabólica que enfatize a sustentabilidade.

**Palavras-chave:** Metabolismo socioeconômico, economia ecológica, análise biofísica, domínio da frequência, Brasil.



## ABSTRACT

This dissertation investigates the Brazilian economic and biophysical dynamics using a theoretical and methodological framework converging to ecological economics. It means that we recognize there are limits to expanding the economic system. Thus, we have used Socioeconomic Metabolism (MSE) as an analytical category that measures the tangible flows of matter and energy for a given economic system, that is the interactions between the natural world and societies. The central hypothesis is that, from the 1970s onwards, the different phases of Brazil's economic evolution determined its biophysical evolution, in addition to which economic policy choices have relevant impacts on ecological efficiency. We have used theoretical, descriptive, and empirical elements to achieve the proposed objectives, dividing the dissertation into five chapters. The first two chapters conceptualize sociometabolism, list the main converging features between MSE and ecological economics, and map the potential of sociometabolic research (using a bibliometric study). The third chapter explores the relevance of material flow analysis (MFA) as a method, its applicability to the analysis of economic-ecological phenomena, and the construction of our methodological framework, which supported the following chapters. In the fourth chapter, the emphasis is on Brazil. We describe its economic and biophysical trajectory in the last fifty years, characterized by the expansion of domestic material consumption (DMC), increase in metabolic rate, the increase in material intensity (and emissions), and a greater exchange of material resources to other economies. Finally, we used an econometric frequency domain analysis model in the fifth chapter. It estimated 96 causal relationships between DMC categories and economic and environmental growth variables, indicating that Brazil is an important consumer of iron ore, biomass, and crude oil and that such variables contribute to economic growth while causing an increase in emissions levels. The general results confirm the relevance of sociometabolism and that from 1970 to 2019, there was ecological inefficiency in Brazil, strengthening the need for a sociometabolic transition that emphasizes sustainability.

**Keywords:** Socioeconomic metabolism, ecological economics, biophysical analysis, frequency domain, Brazil.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Uma ilustração do sociometabolismo. ....	27
Figura 2. Diagrama estratégico do mapa temático. ....	47
Figura 3. Metodologia analítica de seleção de artigos científicos para as análises bibliométricas. ....	48
Figura 4. Número de documentos publicados (1991-2020). ....	49
Figura 5. Autores mais citados na amostra selecionada para a análise bibliométrica (1991-2020). ....	50
Figura 6. Coautoria: cooperação entre Países (1991-2020). ....	55
Figura 7. Trabalhos mais cocitados no mapeamento bibliométrico (1991-2020). ....	56
Figura 8. Bibliographic coupling: autores mais relevantes no mapeamento bibliométrico (1991-2020). ....	57
Figura 9. Coocorrência: visualização dos vocábulos com maior aparição (1991-2020). ....	59
Figura 10. Coocorrência: palavras-chave atribuídas pelos autores (1991-2020). ....	60
Figura 11. Mapa temático da pesquisa sociometabólica (1991-2020). ....	61
Figura 12. Extração doméstica, entrada direta de materiais e consumo doméstico de materiais em toneladas métricas: Brasil, 1970-1980. ....	89
Figura 13. Evolução anual (%) no fluxo de materiais (extração doméstica, entrada direta de materiais e consumo doméstico de materiais): Brasil, 1971-1980. ....	90
Figura 14. Importação, exportação e evolução do PTB em dados biofísicos: Brasil, 1971-1980. ....	92
Figura 15. Importações, exportações e PTB por categorias de materiais em 1000 toneladas métricas: Brasil, 1970-1980. ....	94
Figura 16. Taxa Metabólica do consumo doméstico por categorias de materiais, em toneladas métricas: Brasil, 1970-1980. ....	95
Figura 17. Intensidade Material (DMC) por categorias de materiais em toneladas/dólar: Brasil, 1970-1980. ....	96
Figura 18. Níveis brutos e intensidade de emissões de CO <sub>2</sub> : Brasil, 1970-1980. ....	98
Figura 19. Extração doméstica, entrada direta de materiais e consumo doméstico de materiais em toneladas métricas: Brasil, 1981-1990. ....	99
Figura 20. Evolução anual (%) no fluxo de materiais (extração doméstica, entrada direta de materiais e consumo doméstico de materiais): Brasil, 1981-1990. ....	100
Figura 21. Importação, exportação e evolução do PTB em dados biofísicos: Brasil, 1981-1990. ....	102
Figura 22. Importações, exportações e PTB por categorias de materiais em 1000 toneladas métricas: Brasil, 1981-1990. ....	104
Figura 23. Taxa Metabólica do consumo doméstico por categorias de materiais, em toneladas métricas: Brasil, 1981-1990. ....	105
Figura 24. Intensidade Material (DMC) por categorias de materiais em toneladas/dólar: Brasil, 1981-1990. ....	106
Figura 25. Níveis brutos e intensidade de emissões de CO <sub>2</sub> : Brasil, 1981-1990. ....	107
Figura 26. Extração doméstica, entrada direta de materiais e consumo doméstico de materiais em toneladas métricas: Brasil, 1991-2002. ....	110
Figura 27. Evolução anual (%) no fluxo de materiais (extração doméstica, entrada direta de materiais e consumo doméstico de materiais): Brasil, 1991-2002. ....	111
Figura 28. Importação, exportação e evolução do PTB em dados biofísicos: Brasil, 1991-2002. ....	113
Figura 29. Importações, exportações e PTB por categorias de materiais em 1000 toneladas métricas: Brasil, 1991-2002. ....	115

Figura 30. Taxa Metabólica do consumo doméstico por categoria de materiais, em toneladas métricas: Brasil, 1991-2002.....	116
Figura 31. Intensidade Material (DMC) por categorias de materiais em toneladas/dólar: Brasil, 1991-2002.....	117
Figura 32. Níveis brutos e intensidade de emissões de CO <sub>2</sub> : Brasil, 1991-2002.....	118
Figura 33. Extração doméstica, entrada direta de materiais e consumo doméstico de materiais em toneladas métricas: Brasil, 2003-2019.....	124
Figura 34. Evolução anual (%) no fluxo de materiais (extração doméstica, entrada direta de materiais e consumo doméstico de materiais): Brasil, 2003-2019.....	125
Figura 35. Importação, exportação e evolução do PTB em dados biofísicos: Brasil, 2003-2019.....	127
Figura 36. Importações, exportações e PTB por categorias de materiais em 1000 toneladas métricas: Brasil, 2003-2019.....	129
Figura 37. Taxa Metabólica do consumo doméstico por categorias de materiais, em toneladas métricas: Brasil, 2003-2019.....	130
Figura 38. Intensidade Material (DMC) por grupo de materiais em toneladas/dólar: Brasil, 2003-2019.....	131
Figura 39. Níveis brutos e intensidade de emissões de CO <sub>2</sub> : Brasil, 2003-2019.....	135
Figura 40. Causalidade de Granger no domínio da frequência Unidirecional: FORTE. ....	153
Figura 41. Causalidade de Granger no domínio da frequência Unidirecional: FORTE. ....	154
Figura 42. Causalidade de Granger no domínio da frequência Unidirecional: MIX. ....	155
Figura 43. Causalidade de Granger no domínio da frequência Unidirecional: MIX. ....	157
Figura 44. Causalidade de Granger no domínio da frequência Unidirecional: FRACA. ....	158
Figura 45. Causalidade de Granger no domínio da frequência Unidirecional: MIX FRACA. ....	159
Figura 46. Causalidade de Granger no domínio da frequência Unidirecional: MIX FRACA. ....	160
Figura 47. Causalidade de Granger no domínio da frequência Bidirecional: MIX FRACA. ....	161
Figura 48. Causalidade de Granger no domínio da frequência Bidirecional: NÃO CAUSALIDADE.....	162

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Fator de impacto (Índice “H”), citações e número de publicações por autor (1991-2020). .....	50
Tabela 2. Fatores de impacto (índice “H” e “G”, citações e número de publicações por periódico (1991-2020). .....	51
Tabela 3. Publicações mais citadas no mapeamento bibliométrico. ....	52
Tabela 4. Coautoria: rede de pesquisadores (1991-2020). ....	53
Tabela 5. Países com maiores efetivos de publicações (1991-2020). ....	54
Tabela 6. Bibliographic coupling: trabalhos mais referenciados. ....	58
Tabela 7. Variação Biofísica do consumo doméstico de materiais, por categoria: Brasil, 1970-1980. ....	91
Tabela 8. Variação Biofísica do consumo doméstico de materiais, por categoria: Brasil, 1981-1990. ....	101
Tabela 9. Variação Biofísica do consumo doméstico de materiais, por categoria: Brasil, 1991-2002. ....	112
Tabela 10. Variação Biofísica do consumo doméstico de materiais, por categoria: Brasil, 2003-2019. ....	126
Tabela 11. Taxas de Investimento, Exportações e Importações: Brasil, 1970-2019. ....	136
Tabela 12. Taxas de crescimento médio anual do PIB, extração doméstica, entrada direta de material, consumo doméstico de materiais, exportações, importações, intensidade material, taxa metabólica, intensidade de emissões e emissões per capita: Brasil, 1970-2019. ....	138
Tabela 13. Estatísticas descritivas e Testes para as variáveis selecionadas: Brasil, 1970-2015. ....	147
Tabela 14. Cointegração e número de defasagens: Brasil, 1970-2015. ....	150

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Metodologias utilizadas direta ou indiretamente em estudos de metabolismo social. ....	31
Quadro 2. Metabolismo socioeconômico e economia ecológica: elementos de convergência	39
Quadro 3. Síntese dos indicadores para análise bibliométrica. ....	44
Quadro 4. Indicadores biofísicos advindos da análise de fluxo de materiais. ....	66
Quadro 5. Intercâmbio ecológico desigual: Evidências com uso de Indicadores da MFA. ....	72
Quadro 6. Metabolismo Socioeconômico e MFA: Evidências para o Brasil. ....	75
Quadro 7. Indicadores biofísicos selecionados para a análise ....	78
Quadro 8. Itens selecionados (Extração Doméstica). ....	80
Quadro 9. Itens Selecionados (Exportações). ....	82

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AMB – Anuário Mineral Brasileiro  
BACEN – Banco Central  
CEPAL – Comissão Econômica para a América Latina  
CNUMAD – Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento  
COMTRADE - *United Nations Commodity Trade Statistics Database*  
CO<sub>2</sub> – Fórmula do Dióxido de Carbono  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CUSUM – *Cumulative sum test for parameter stability*  
DI/ID – *Decoupling Index*/ Índice de Desacoplamento  
DMC – *Domestic Material Consumption*/ Consumo de material doméstico  
DMI – *Direct Material Input* / Entrada Direta de Material  
DPO – *Domestic processed output*/ Processo de saída doméstica  
ED – Extração Doméstica  
EDGAR – *Emissions Database for Global Atmospheric Research*  
EE – Economia Ecológica  
EFA – *Energy Flow Accounting*  
EROI – *Energy Return on Investment*  
EUROSTAT – *European Statistical Office*  
FAOSTAT – *Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database*  
FBCF – Formação Bruta de Capital Fixo  
FHC – Fernando Henrique Cardoso  
FMI – Fundo Monetário Internacional  
HANNP – *Human Appropriation of Net Primary Production*  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
ICMBio – Instituto Chico Mendes para Conservação da Biodiversidade  
IEA – *International Energy Agency*  
IM – Intensidade Material  
LCA – *Life Cycle Assessment*  
MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior  
MEFA – *Material and Energy Flow Analysis*  
MF – *Material Footprint*/ Pegada material  
MFA – *Metabolic Flux Analysis*  
MIPS – *Material Input per Service-Unit*  
MMA – Ministério do Meio ambiente  
MSE – Metabolismo Socioeconômico  
MUSIASSEM – *Multi-scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism*  
OECD/OCDE – *Organization for Economic Cooperation and Development*/ Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico  
ONU – Organização das Nações Unidas  
PM<sub>2,5</sub> – *Particulate matter 2,5*  
PNMA – Política Nacional do Meio Ambiente  
PND – Plano Nacional de Desenvolvimento  
PNMC – Política Nacional sobre Mudança do Clima  
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos  
PTB – *Physical Trade Balance*/ Balança comercial biofísica  
PIB – Produto Interno Bruto

SECEX – Secretaria de Comércio Exterior

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa

SISNAMA – Sistema Nacional de Meio Ambiente

SNUC – Sistema Nacional de Unidade de Conservação da Natureza

TM – Taxa Metabólica

TMR – *Total material requirement*/ Exigência total de Material

UNEP – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

VAR – *Vector Autoregression*

## SUMÁRIO DA TESE

INTRODUÇÃO.....	18
CAPÍTULO 1: METABOLISMO SOCIOECONÔMICO: MARCO CONCEITUAL, ABORDAGENS METODOLÓGICAS E A INTERCONEXÃO COM A ECONOMIA ECOLÓGICA .....	24
1.1 O metabolismo socioeconômico.....	24
1.2 MSE: Introdução às principais ferramentas metodológicas .....	30
1.2.1 Análises energéticas .....	31
1.2.2 Análise de materiais .....	32
1.3 MSE e economia ecológica: elementos convergentes .....	33
1.4 Considerações finais .....	40
CAPÍTULO 2: UMA VISÃO BIBLIOMÉTRICA DO SOCIOMETABOLISMO (1991-2020) .....	42
2.1 Método analítico .....	43
2.2 Resultados consolidados da análise bibliométrica .....	49
2.2.1 Citações e coautorias .....	49
2.2.2 Cocitações e bibliographic coupling .....	55
2.2.3 Coocorrências e análise temática.....	59
2.3. Considerações finais .....	61
CAPÍTULO 3: ANÁLISE DE FLUXOS MATERIAIS: APLICAÇÕES E ESTRATÉGIAS METODOLÓGICAS PARA A CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS BRASILEIRA ....	64
3.1 MFA como ferramenta metodológica para análises econômico-ecológicas .....	64
3.1.1 MFA em análises de metabolismo global e na América Latina .....	67
3.1.2 MFA, intercâmbio ecológico desigual e neoextrativismo .....	69
3.2. Análise biofísica brasileira: evidências disponíveis e construção metodológica a partir da MFA .....	74
3.3 Considerações Finais .....	84
CAPÍTULO 4: A ECONOMIA BRASILEIRA NO PERÍODO 1970-2019: TRANSFORMAÇÕES ECONÔMICAS E SUAS IMPLICAÇÕES BIOFÍSICAS. ....	86
4.1 1970-1980: Milagre econômico, planos desenvolvimentistas e política ambiental: distintas fases de um desenvolvimentismo ditatorial (1970-1980).....	88
4.1.1 A política ambiental e os níveis de emissões (1970-1980) .....	96
4.2 Crise, endividamento, inflação e extração material: os anos 1980 (1981-1990).....	99
4.2.1 A política ambiental e os níveis de emissões (1981-1990) .....	106
4.3. Abertura comercial, estabilização e privatização: o sociometabolismo em um cenário neoliberal (1991-2002) .....	108
4.3.1 A política ambiental e os níveis de emissões (1991-2002) .....	117
4.4 Do consenso das commodities as políticas reacionárias: a expansão material no século XXI (2003-2019).....	119



4.4.1 A política ambiental e os níveis de emissões (2002-2019) .....	131
4.5 O sociometabolismo brasileiro de 1970 a 2019: um balanço geral .....	135
4.6 Considerações finais .....	139
CAPÍTULO 5: CONSUMO DE MATERIAIS, FATORES ECONÔMICOS E AMBIENTAIS NO BRASIL: EFEITOS CAUSAIS UTILIZANDO SÉRIES DE TEMPO NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA.....	141
5.1 Evidências disponíveis .....	142
5.2 Arcabouço metodológico.....	143
5.3 Análise descritiva .....	146
5.4 Causalidade com domínio da frequência: resultados .....	149
5.5 Iniciativas para o desenvolvimento sustentável no Brasil .....	163
5.6 Considerações finais .....	165
CONCLUSÕES GERAIS .....	168
REFERÊNCIAS .....	174
APÊNDICE .....	199

## INTRODUÇÃO

O tratamento teórico dedicado ao meio ambiente na ciência econômica recebeu profundas modificações na segunda metade do século XX, impactado, dentre outros fatores, pelas reflexões sobre qual meio ambiente seria legado às gerações futuras. Cronologicamente, a problemática ambiental entra de maneira mais incisiva na pauta das discussões econômicas a partir de 1960 como desdobramento de publicações importantes, como *The Silent Spring* (Carson, 1962) e *The Limits to Growth* (Meadows et al., 1972).

Estes e outros trabalhos seminais<sup>1</sup> chamavam a atenção para a problemática da expansão demoeconômica em um mundo finito de recursos e as consequências negativas em termos de erosão da qualidade de vida humana advindas desse processo<sup>2</sup>. Meadows et al. (1972), por exemplo, pautaram as discussões da primeira conferência da Organização das Nações Unidas (ONU) em 1972, levando alguns a colocar a necessidade do “crescimento zero” como solução.

Diante desse quadro pessimista, a ciência econômica buscou mecanismos para lidar com tais questões no século XX. Sob a perspectiva da economia do meio ambiente neoclássica (teoria da poluição e a teoria dos recursos naturais), fatores como correção nas falhas de mercado, melhor alocação de recursos (não) renováveis, mudanças de paradigmas tecnológicos e a própria capacidade de resiliência planetária oferecem respostas convincentes ao uso intensivo de recursos naturais e, portanto, diminuem as chances de um colapso natural.

Ainda para a vertente neoclássica, o longo prazo (“até o sol apagar”, *sic*) sempre dará conta de resolver questões ambientais, a partir da incorporação tecnológica e mudanças nos paradigmas de consumo. O foco é crescer de maneira consciente, buscando maximizar os recursos naturais em suas fronteiras, compreendendo que existem limites, mas esses serão incorporados pelo mercado (com intervenção, se necessária) em um processo de mutação constante (NETTO, 2013).

Buscando questionar a visão reducionista e otimista da economia do meio ambiente neoclássica, uma outra vertente uniu os pressupostos das ciências sociais, econômicas e naturais (biologia e ecologia), sob uma ótica transdisciplinar, denominada economia ecológica (EE).

---

<sup>1</sup> Destacam-se *The Population Bomb* (Ehrlich, 1968), *The Tragedy of the Commons* (Hardin, 1968) e *The Economics of the Coming Spaceship Earth* (Boulding, 1966).

<sup>2</sup> Segundo Costanza et al. (2015, p.24): “*Homo sapiens has successfully adapted to huge challenges in the past. We developed agriculture as a response to the limits of hunting and gathering. We developed an industrial society to adapt to the potential of concentrated forms of energy. Now the challenge is to live sustainably and well but within the material limits of a finite planet*”.

Formalizada no fim da década de 1980<sup>3</sup>, a EE parte da premissa de que a eficiência alocativa é um objetivo a ser alcançado apenas após a distribuição justa e a escala sustentável de utilização dos recursos naturais terem sido consideradas e determinadas. Diferentemente do esquema analítico convencional, os pressupostos da EE partem da consideração de que o sistema econômico é um subsistema de algo mais amplo e complexo, a ecosfera terrestre que é finita e, portanto, não aumenta de tamanho (DALY, 1996; DALY, 2007).

Por mais trivial que seja o entendimento que o sistema econômico é um subsistema de um sistema maior, tal consideração resulta em importantes desdobramentos teóricos e práticos. Em sendo assim, a afirmação de que *existem limites biofísicos intransponíveis* à expansão do sistema econômico é o ponto de partida fundamental desta tese, a partir do qual será enunciado um problema de pesquisa e uma hipótese adjacente.

A EE ainda compreende que o incremento indiscriminado de energia com foco no crescimento econômico, em conjunto com a desconsideração da finitude da base ecossistêmica tende a gerar crises. Se a ideia de que sustentabilidade requer a manutenção de relações harmoniosas e não destrutivas entre natureza, sociedade e sistema econômico, e de que a EE pretende ser a ciência de gestão da sustentabilidade (COSTANZA, 1994), não resta dúvida de que o foco da análise econômico-ecológica recai sobre a natureza das relações estabelecidas entre meio ambiente e sistemas socioeconômicos.

Logo, pode-se afirmar que epistemologia da EE desagua em uma visão pessimista no longo prazo, visto que a franca expansão no uso dos recursos naturais, em consórcio com a degradação ecossistêmica e impactos da poluição podem colapsar todo o sistema. Embora compreenda que as necessidades humanas exigem o uso dos ativos ambientais (bens e serviços ecossistêmicos), essa vertente teórica observa com precaução e ceticismo a capacidade planetária de lidar com pressões em torno do crescimento econômico.

Pela exposição feita, fica claro que será dentro do arcabouço teórico da EE que se pretende desenvolver essa tese. Partindo da aceitação que o aumento constante no uso de recursos naturais e nos níveis de emissão tendem a colapsar o sistema, e pouco tem se conquistado nas relações interpaíses para o combate do aquecimento global (BROECKER, 1975, 2006), ou a erosão da biodiversidade (LIMA et al., 2020), a título de exemplo, é necessário o desenvolvimento de trabalhos no campo da ciência econômica que pretendam

---

<sup>3</sup> Mais precisamente, com a fundação da *International Society for Ecological Economics* (ISEE) e o periódico *Ecological Economics*, em 1989.

analisar questões relacionadas ao meio ambiente em uma abordagem multidisciplinar, área que EE vem se aperfeiçoando.

Um dos fatores que justificam tal necessidade está ligado a outros grandes eventos de proporções mundiais ocorridos no século XXI. A partir de 2020, o planeta Terra viveu uma nova realidade, até então inimaginável para muitos de seus habitantes: um processo infeccioso causado por um *coronavírus* (SARS COV-2) decretou emergência global, denominando a doença como COVID-19 (YANG et. al, 2020; STRABELLI, 2020).

Esse novo cenário pandêmico trouxe consigo diversas transformações econômicas, sociais, políticas e ecológicas (RUME; ISLARN, 2020). No momento em que esse trabalho é apresentado, parte da produção bibliográfica que contempla a economia ecológica e a pandemia de COVID-19 lidam com as preocupações de uma complexa reconstrução socioeconômica e ambiental (BLANCO et al. 2022; MURÁNYI; VARGA, 2021; O'HARA; TOUSSAINT 2021).

Fortalece-se, pois, o argumento de que as questões econômicas ligadas ao meio ambiente e recursos naturais são amplas e complexas, tornando-se necessário um esforço específico para este tipo de análise. De maneira mais específica, é preciso reconhecer que apenas a análise dos fluxos monetários existentes dentro do sistema econômico não é suficiente para capturar toda a complexidades das relações entre sistema econômico e meio ambiente (ARAÚJO et al., 2019).

Como sabido, a EE tenta incorporar as duas primeiras leis da termodinâmica (conservação de energia e entropia, respectivamente) na análise econômica. A tradição de se reconhecer tais leis como fundamentais para a ciência econômica se inicia com o matemático romeno Georgescu-Roegen, que na década de 1970 consolidou sua crítica à teoria econômica convencional em sua obra magna *The entropy law and the economic process* (GEORGESCU-ROEGEN, 1971).

A crítica “georgesquiana” – elemento central desta tese – contradiz as bases mecânicas da ciência econômica, visto que a Lei da Entropia (2ª Lei) compreende que a degradação energética é irreversível e tende a atingir o máximo em um sistema isolado. Destarte, a clássica representação do fluxo monetário circular de renda pelos economistas é limitada, dado que desconsidera o fluxo metabólico real, ou seja, os resíduos não aproveitáveis (de alta entropia) (CECHIN E VEIGA, 2010).

Esta representação parcial da dinâmica do sistema econômico reflete a epistemologia mecanicista da análise econômica convencional e oblitera a natureza termodinâmica dos processos econômicos, permitindo, assim, a manutenção da crença de que o sistema econômico

é isolado e autocontido. Em última instância, é um desdobramento da hipótese ambiental tênue, adotada pela teoria econômica convencional e segundo a qual o meio ambiente se comporta de maneira passiva às intervenções socioeconômicas (MUELLER, 2012).

A presente tese parte, assim, da tentativa de compreensão dos fluxos metabólicos entre sociedade e natureza que alimentam o sistema econômico. Para tanto, apoia-se nos fundamentos teóricos da EE acerca do metabolismo socioeconômico (MSE), ou sociometabolismo, vertente teórico-metodológica fortalecida na década de 1990 e que se aceita como sendo convergente com a EE.

A relevância do MSE reside na premissa básica de que informações quantitativas e qualitativas sobre as interações entre ecossistemas (ou genericamente o mundo natural) e as sociedades e sistemas econômicos historicamente estabelecidos são necessárias para a operacionalização e estabelecimento de estratégias para o desenvolvimento sustentável (FISCHER-KOWALSKI; HABERL, 1998).

O aumento significativo dos fluxos e estoques de materiais apropriados pelas sociedades humanas<sup>4</sup>, a dupla limitação nas quantidades físicas e na capacidade ecossistêmica de absorção de resíduos, juntamente com a dependência inextricável do sistema econômico com relação ao meio ambiente são as justificativas fundacionais da ideia de escala. Como ressaltam Andrade et al. (2021, p.75):

Numa visão econômico-ecológica mais ampla, a depleção do capital natural deve ser vista como um processo duplamente maléfico para a sociedade humana: a perda de fluxos materiais tangíveis (recursos naturais) e a perda – potencialmente irreversível – de elementos que geram fluxos de benefícios intangíveis (serviços ecossistêmicos).

Neste contexto, a abordagem de metabolismo socioeconômico pode ser importante por dois motivos: i) cumpre o papel de analisar as relações estabelecidas entre sistema econômico e meio ambiente do ponto de vista quantitativo e qualitativo; ii) os indicadores que emergem da análise do MSE podem ser utilizados como parâmetros para a mensuração da escala econômico-ecológica real (ou atual).

Considerando que a construção teórico-metodológica da EE é contínua e inacabada, a mensuração de fluxos de matéria e energia permite uma abordagem mais eficiente na busca por

---

<sup>4</sup> Krausmann et al. (2009) estimaram que ao longo do século XX (1900-2005) houve um aumento de 8 vezes no uso de materiais, chegando a um fluxo anual de 60 bilhões de toneladas de materiais. No que se refere aos estoques, Krausmann et al. (2017) mostram que os estoques de materiais expandiram 23 vezes, exigindo metade do fluxo anual de recursos.

um equilíbrio entre desenvolvimento econômico e preservação do meio ambiente para as gerações futuras.

Neste contexto – e já tendo sido demarcado o ponto de partida e o alicerce teórico da pesquisa proposta –, é possível enunciar o *problema de pesquisa* da tese: *De que maneira a evolução econômica brasileira impacta a sua escala econômico-ecológica?*

A *hipótese principal* é que, a partir da década de 1970, as diferentes fases da evolução econômica do Brasil determinaram sua evolução biofísica, além do que as escolhas de política econômica têm impactos relevantes em termos de eficiência ecológica. A opção por modelos de desenvolvimento intensivos na exportação de commodities reforça a dependência de recursos da economia brasileira, o que somada à pouca importância às questões ambientais coloca importantes desafios no que tange à sustentabilidade da trajetória econômica brasileira.

O *objetivo geral* da tese será, portanto, investigar a dinâmica econômica e biofísica brasileira no período de 1970 a 2019, utilizando o sociometabolismo como um arcabouço teórico-metodológico. *Especificamente*, pretende-se: a) construir um referencial teórico acerca do MSE e seus principais indicadores analíticos, enfatizando sua aderência à economia ecológica; b) analisar o potencial teórico-metodológico do sociometabolismo, quantificando-o através de instrumentos bibliométricos; c) selecionar um indicador de fluxo material e descrever suas principais aplicações; d) construir uma base de dados biofísica para o Brasil; e) analisar a (in) evolução econômico-ecológica dos ciclos atravessados pela economia brasileira, entre 1970-2019; f) estimar empiricamente as relações causais entre o consumo de materiais e as variáveis econômicas e ambiental.

Além dessa introdução, a tese será estruturada em cinco capítulos:

O *primeiro capítulo* será de natureza eminentemente teórica e buscará compreender o metabolismo socioeconômico, partindo de sua construção conceitual, indicando suas principais categorias de análise e métrica, bem como o conjunto de ferramentas metodológicas disponíveis. Ainda neste mesmo capítulo, será realizado um esforço de apresentar os pontos convergentes entre o MSE e a EE, sobretudo em questões ligadas à escala econômico-ecológica.

O *segundo capítulo*, de natureza descritiva-empírica, mapeará a pesquisa sociometabólica, a partir de elementos bibliométricos. A maior contribuição do capítulo será a identificação do potencial bibliográfico do MSE, seus principais elos de ligações (autores, artigos, instituições, periódicos), e como ele contribui para a ciência da sustentabilidade.

O *terceiro capítulo*, metodologicamente teórico-descritivo, terá dois objetivos: o primeiro será descrever o indicador sociometabólico selecionado para a análise biofísica

brasileira (utilizando como critério seletivo os elementos constantes nos capítulos 1 e 2), relatando as principais aplicações e; o segundo, consiste na construção de uma base desagregada de dados para o período de 1970 a 2019. A contribuição desse item está na aplicabilidade do indicador selecionado para questões econômico-ecológicas, além de servir como parâmetro metodológico para outros estudos futuros.

Já o *quarto capítulo* caracterizará o sociometabolismo brasileiro, descrevendo os principais ciclos econômicos a partir de 1970 sob uma ótica biofísico-econômica, mesclando os fluxos de materiais, dados econômicos e níveis de emissões. A principal contribuição desse capítulo será a análise econômico-ecológica proposta, uma vez que foge das tradicionais abordagens comumente utilizadas nas análises econômicas e biofísicas, trazendo assim novas reflexões para a proposição de políticas econômicas e ambientais.

Por fim, o *quinto capítulo*, de natureza empírica, utilizará o ferramental econométrico para investigar as relações de causalidades entre o consumo de material doméstico, as expansões econômicas, energéticas e, nos níveis de emissões. A finalidade precípua deste capítulo é indicar quais elementos sociometabólicos contribuem para o crescimento econômico e externalidades, ou seja, como a degradação ambiental é influenciada nesse processo.

Por fim, a tese será encerrada com as conclusões gerais, refletindo sobre os principais apontamentos dos cinco capítulos, as limitações da pesquisa e algumas recomendações para estudos futuros.

## **CAPÍTULO 1: METABOLISMO SOCIOECONÔMICO: MARCO CONCEITUAL, ABORDAGENS METODOLÓGICAS E A INTERCONEXÃO COM A ECONOMIA ECOLÓGICA**

O primeiro capítulo desta tese se inicia com o propósito de definir conceitualmente o MSE e suas metodologias mais usuais. A premissa básica é que a análise sociometabólica encontra-se dentro da perspectiva mais ampla da EE. Logo, este capítulo também tem como objetivo realizar uma discussão teórico-metodológica acerca da convergência com os princípios econômico-ecológicos.

O capítulo está estruturado da seguinte forma: além dessa introdução, as seções 1.1 e 1.2 apresentam o marco conceitual do metabolismo social e econômico, ou seja, sua definição consolidada, em conjunto com as principais ferramentas metodológicas comumente utilizadas. Na sequência, a seção 1.3 apresenta e discute algumas questões envolvendo a EE e suas inter-relações com o MSE, embasadas nas duas seções anteriormente descritas. Por fim, à guisa de conclusão, encerra-se o capítulo com a sistematização das ideias apresentadas.

### *1.1 O metabolismo socioeconômico*

Recorrente em estudos das ciências naturais, o termo metabolismo é pouco utilizado em ciências econômicas. O relativo descaso dos economistas pelas análises de metabolismo está ligado ao foco quase exclusivo atribuído aos fluxos monetários entre os agentes econômicos. Este viés analítico é demonstrado pelo tradicional fluxo circular da renda, em que se analisa de que maneira a renda (um fluxo monetário) se movimenta mecanicamente entre os agentes econômicos. Segundo Daly (2007), é como se a representação convencional do funcionamento do sistema econômico explicitasse apenas seu sistema circulatório, desprezando seu aparelho digestivo, responsável pelas trocas materiais e energéticas entre sistema econômico e meio ambiente<sup>5</sup>.

Nicholas Georgescu-Roegen, maior referência teórica da moderna EE, questionou a maneira simplista com a qual as ciências econômicas representavam o processo de produção. Em sua obra magna (GEORGESCU-ROEGEN, 1971), fez uma crítica contundente a respeito da interpretação de que o sistema econômico se autopreserva e é isolado em última instância.

---

<sup>5</sup> Daly (1968) chama a atenção para as semelhanças entre economia e biologia. O fundamento da analogia que o autor faz entre estas duas ciências está no reconhecimento de que ambas têm o mesmo objeto de estudo, qual seja, “o processo da vida”.



Ali, descrevia que “*economics cannot abandon its commodity fetishism any more than physics can renounce its fetishism of elementary particle or chemistry can renounce that of molecule*” (p. 218). Quatro anos depois, em artigo clássico, Georgescu-Roegen (1975, p. 348) afirma o seguinte:

*Nothing illustrates better the basic epistemology of standard economics than the usual graph by which almost every introductory manual portrays the economic process as a self-sustaining, circular flow between "production" and "consumption". But even money does not circulate back and forth within the economic process; for both bullion and paper money ultimately become worn out and their stocks must be replenished from external sources. The crucial point is that the economic process is not an isolated, self-sustaining process. This process cannot go on without a continuous exchange which alters the environment in a cumulative way and without being, in its turn, influenced by these alteration.*

Parece claro, portanto, o motivo pelo qual a análise dos fluxos metabólicos (matéria e energia) é marginal dentro da estrutura analítica neoclássica<sup>6</sup>. Todavia, ao assumir que o sistema econômico é um organismo vivo, complexo e heterótrofo, é forçoso admitir que trocas metabólicas de energia e matéria entre meio ambiente e sistema econômico são imprescindíveis para a manutenção da dinâmica econômica e sua capacidade de atingir seu fim último, qual seja, a prosperidade humana contínua (não apenas material, mas sobretudo a espiritual), condicionada a um mundo finito e sem combinações destrutivas. De fato, como afirma Daly (1968), o processo metabólico, dividido em anabolismo e catabolismo, tem como propósito (valor produzido) a manutenção da vida, enquanto que o propósito (valor produzido) do processo econômico é a manutenção do *prazer* da vida.

O conceito de metabolismo, primeiramente desenvolvido e utilizado na bioquímica e biologia, é entendido, para essas áreas, como a totalidade das reações bioquímicas em uma coisa viva, de forma que todo produto de uma reação é a base para a próxima (PURVES et al., 1992).

Já para outras áreas, o termo metabolismo é apresentado de diferentes maneiras, podendo ser classificado como sociometabolismo, metabolismo social (ou socioeconômico) ou industrial. Este último nasce da necessidade de sistemas industriais mais eficientes, isto é, cujas trocas com a natureza minimizassem os efeitos degradantes, como poluição e resíduos. Como propõem Ayres (1989) e Ayres e Simonis (1994), o metabolismo industrial compreende os

---

<sup>6</sup> A contribuição do pensamento de Georgescu-Roegen para a economia ecológica (e para o MSE) será retomada no item 1.3.

fluxos de matéria e energia, a partir da conversão de matérias-primas, energia e trabalho em produtos e resíduos na indústria.

Já metabolismo social se aproxima do conceito da biologia, sendo, pois, uma perspectiva teórica e metodológica que auxilia os pesquisadores a entenderem as relações entre as sociedades e a natureza, no sentido de qualificação e quantificação dos impactos gerados à natureza pela apropriação dos seus recursos energéticos e materiais, liberação de dejetos e efeitos sinérgicos dessas atividades a partir da ação humana. Enfatizar sistemas sociais do ponto de vista do seu sociometabolismo requer analisar os sistemas econômicos historicamente estabelecidos em termos de fluxos e estoques biofísicos (FISCHER-KOWALSKI; HABERL, 2015).

A importância da abordagem sociometabólica – ou sociometabolismo (ou ainda metabolismo socioeconômico, como é preferido neste trabalho) – reside na premissa básica de que informações quantitativas e qualitativas sobre as interações entre ecossistemas (ou genericamente o mundo natural) e as sociedades e sistemas econômicos historicamente estabelecidos são necessárias para a operacionalização e estabelecimento de estratégias para o desenvolvimento sustentável (FISCHER-KOWALSKI; HABERL, 1998). Por outro lado, análises sociometabólicas podem fornecer importantes distinções em termos de culturas, modos de vida, padrões de produção e reprodução das sociedades.

Apesar da facilidade de compreensão da ideia de sociometabolismo, Fischer-Kowalski (1998), ao realizar um importante levantamento dos trabalhos correlatos, seus autores e tradições, chama a atenção para algumas questões importantes sobre a apropriação do conceito de metabolismo em outras áreas. Para esta autora, os primeiros trabalhos encontrados datam da década de 1860, nas áreas de biologia, ecologia, teoria social, antropologia cultural e geografia social. São estes, principalmente, que serão a base para os estudos sobre metabolismo industrial elaborados a partir de 1960, ainda que só ao final de 1980 este paradigma se tornaria relevante para as análises da relação sociedade-natureza<sup>7</sup>.

No âmbito das ciências sociais, o conceito de metabolismo social foi primeiramente utilizado por Marx e Engels, no século XIX, a partir da análise do processo de trabalho, na

---

<sup>7</sup> Marina Fischer-Kowalski, ex-presidente da *International Society for Ecological Economics* (ISEE), é considerada a fundadora do *Institute for Social Ecology*, atualmente abrigado na *University of Natural Resources and Life Sciences* em Viena (Áustria) e um dos principais nomes na literatura sobre MSE. Ela e outros autores – como Fridolin Krausmann, Hemul Haberl e Nina Eisenmenger – compõem a “escola de ecologia social de Viena”. Uma detalhada e abrangente compilação das contribuições destes e outros autores foi publicada em Haberl et al. (2016).

perspectiva de que esse tem como objetivo transformar/adequar substâncias naturais às necessidades dos homens.

Marx, em outra situação, utiliza o conceito de metabolismo social para ilustrar o intercâmbio de mercadorias e as relações de produção na sociedade. Entretanto, a limitação do uso desse conceito pelos autores está em não tratar as consequências e outras características de importância ecológica (FISCHER-KOWALSKI; HABERL, 1998; TOLEDO, 2013; FOSTER, 2015).

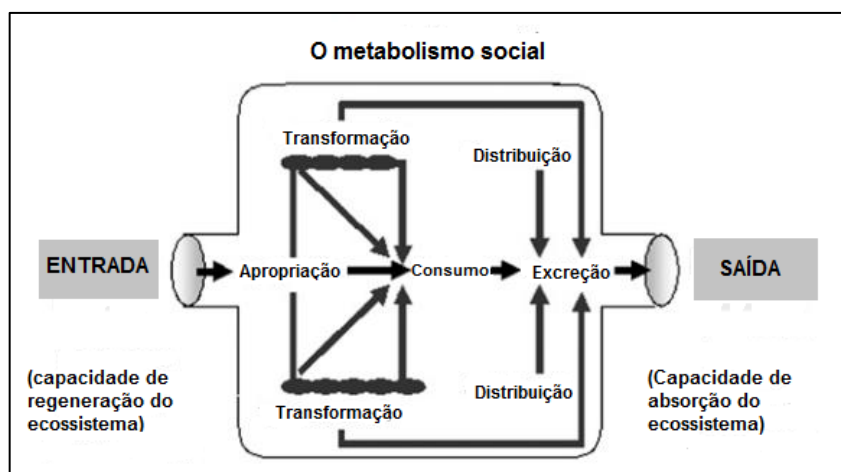
A partir dos escritos de Marx, Foster (2000) enfatiza o termo “fratura metabólica” ou “falha metabólica” para se referir à mudança na relação entre homem e natureza promovida pelo desenvolvimento das forças produtivas tipicamente capitalistas.

*Marx employed the concept of a "rift" in the metabolic relation between human beings and the earth to capture the material estrangement of human beings within capitalist society from the natural conditions which formed the basis for their existence--what he called "the everlasting nature-imposed condition[s] of human existence. To insist that large-scale capitalist society created such a metabolic rift between human beings and the soil was to argue that the nature-imposed conditions of sustainability had been violated. (FOSTER, 2000, p. 169)*

Dentre os estudos mais importantes dos anos 1970 a 1998 relacionados ao conceito mais geral de metabolismo social, Fischer-Kowalski e Hüttler (1998) também fazem um conveniente levantamento e qualificação desses trabalhos por meio de vários critérios que deixam mais claras as várias abordagens tratadas. Assim, três subdivisões são elencadas: 1ª) socioeconômica (mais ligada às ciências sociais) ou ecossistêmica (mais ligada à perspectiva ecológica); 2ª) nível de sistema (global, nacional, regional, funcional e temporal); e 3ª) fluxos tratados (materiais, energia, substâncias).

Toledo (2013) defende que o metabolismo social contém duas dimensões: *tangível e intangível*. A primeira (Figura 1) inicia-se a partir da apropriação de matéria e energia fornecidas pela natureza (entrada), por seres humanos agrupados socialmente, e termina com a excreção de resíduos (saída). Entre esses dois extremos, ocorrem também os processos de transformação (T), circulação e consumo (Co).

**Figura 1. Uma ilustração do sociometabolismo.**



Fonte: Adaptado de Toledo (2013)

O processo de transformação (T) se refere a todas as mudanças realizadas sobre os recursos extraídos da natureza, até nas suas formas mais simples, como o cozimento de alimentos. Ao longo do tempo, esta atividade tem se tornado cada vez mais complexa, dada a sua menor intensidade no uso de energia e trabalho. A atividade de circulação (C) passa a ser necessária a partir do momento em que a produção gera excedente. A eficiência da circulação tem se elevado com o tempo, uso do dinheiro, novos meios de pagamento, segurança da propriedade privada e crescimento dos mercados. À medida que estes evoluem, a circulação demanda, em valores absolutos, maior consumo de energia e matéria.

Por seu turno, o consumo ( $C_o$ ) está ligado diretamente à satisfação das necessidades e também às etapas anteriores. Esse é um dos fatores mais importante e determinantes do metabolismo social e, principalmente, do metabolismo industrial. Todo o processo se inicia para e a partir da possibilidade de consumo final.

Ao final, a excreção (E) refere-se ao despejo de materiais e energia residuais das etapas anteriores (como gases, calor, lixo, etc.). A qualidade (recicláveis pela natureza ou não) e quantidade dos resíduos produzidos são relevantes, dada a capacidade regenerativa e de carga dos ecossistemas. Neste ponto, é importante a menção ao conceito de resiliência ecossistêmica, uma vez que os fluxos metabólicos entre sociedade e natureza devem respeitar os limites ecossistêmicos. A resiliência é entendida como a capacidade de armazenar, ou se adaptar as mudanças, permitindo que as funções e/ou atributos de um determinado sistema persevere ao longo do tempo (STANLEY, 2020).

Para Arrow et al. (1995), as atividades econômicas apenas são sustentáveis se estiverem suportadas por ecossistemas resilientes. É certo, pois, que o MSE dedica papel importante a este conceito, distanciando-se, portanto, das análises neoclássicas, uma vez que estas

desconsideram a ideia de resiliência. Em casos em que a magnitude dos resíduos das atividades econômicas ultrapassa a capacidade de carga dos ecossistemas (*overshooting* da resiliência), há formação de estoques de poluição, sendo a emergência climática o exemplo mais claro. Neste caso, o fluxo de emissão de gases de efeito estufa (GEE) supera a capacidade de absorção dos ecossistemas, gerando estoques de poluição e exacerbando o efeito estufa.

Em sua dimensão intangível, frequentemente negligenciada nas abordagens sociometabólicas, são enfatizadas as “molduras” dentro das quais os demais processos tangíveis, abrangendo todos os elementos não materiais que possibilitam, regulam, dão sentido e explicam as relações sociais (crenças, imaginações, regras, linguagem, etc.) e, consequentemente, os processos metabólicos e suas articulações internas. A abordagem do MSE não desconsidera, portanto, análises de natureza institucional, pois estas são relevantes para auxiliar na compreensão de como, sob diferentes sistemas de organização socioeconômica, as sociedades decidem como se relacionarem com a natureza.

Seja em sua dimensão tangível (análise de fluxos de materiais, principalmente) e ou dimensão intangível (aspectos sociais e institucionais que determinam os padrões de apropriação da natureza), é certo que o MSE é uma importante ferramenta de análise dos problemas mais aflitivos da contemporaneidade. As ciências, de maneira geral, possuem vários tipos de preocupações ambientais, como esgotamento de recursos renováveis e não renováveis, falta de recursos essenciais, erosão do solo, redução da biodiversidade, poluição acima da capacidade de absorção de resíduos.

Fischer-Kowalski e Hüttler (1998) ressaltam que, embora essas preocupações sejam extremamente importantes, nenhuma é tão relevante quanto o conceito de metabolismo socioeconômico. O fato de o metabolismo social ter uma dimensão interdisciplinar, com possível construção de indicadores e mensuração dos fluxos de energia e matéria, fornece uma poderosa ferramenta de análise, uma vez que a construção de macroparâmetros e a consideração da eficiência do sistema relacionam-se bem com os parâmetros da economia e da contabilidade social, o que favorece a sua aplicabilidade.

Também é destacável a possibilidade de o metabolismo social fornecer análises mais completas das relações entre processos sociais e ambientais. Sua visão mais holística e integradora possibilita uma melhor compreensão da realidade, que é muito complexa (TOLEDO, 2013). Pode ser considerado um dos instrumentos mais robustos para compreender as relações entre a sociedade e a natureza, dada a compreensão da economia como um conjunto de fluxos de energias e materiais e subconjunto de um sistema maior, a ecosfera. Ainda, pode-

se afirmar que o MSE é uma categoria do metabolismo social mais interativa com os aspectos econômicos<sup>8</sup>.

Nesse sentido, o MSE é visto como algo mais amplo, ou seja, o funcionamento geral do sistema, caracterizando seu funcionamento do ponto de vista energético/material. Fischer-Kowalski e Weisz (1999) e Krausmann et al. (2017) observam que o MSE vai além do simples fluxo de materiais, permitindo uma conexão de processos físicos e econômicos, permitindo uma aproximação entre as ciências naturais e o desenvolvimento sustentável. Carpintero e Naredo (2005) se referem ao MSE como um importante instrumento para qualificar fluxo e energia que atravessam a economia ao longo do tempo.

Haberl et al. (2019) afirmam que o MSE apresenta contribuições relevantes para a ciência da sustentabilidade, visto que aferem as pressões e os impactos ambientais da sociedade. Ademais, o MSE também fornece trajetórias de longo prazo entre o consumo de recursos e as características socioeconômicas, além de fatores políticos.

### *1.2 MSE: Introdução às principais ferramentas metodológicas*

No quadro 1 abaixo são apresentadas as diversificadas ferramentas para mensuração do MSE e seus respectivos fluxos (matérias, energias, substâncias, etc.), variando conforme o âmbito de análise. É possível perceber, porém, que os processos de contabilização tendem a seguir um padrão semelhante.

---

<sup>8</sup> Autores como Fischer-Kowalski e Weisz (1999) consideram os termos social, socioeconômico e industrial como sinônimos.

**Quadro 1. Metodologias utilizadas direta ou indiretamente em estudos de metabolismo social.**

NÍVEL DE ANÁLISE	METODOLOGIA
<b>Análises Energéticas</b>	Contabilidade de fluxos energéticos (EFA) Balanços de Energia EROI ( <i>Energy Return on Investment</i> ) MuSIASEM Análise do Ciclo de Vida (LCA)
<b>Análise de Materiais</b>	<i>Human Appropriation of Net Primary Production</i> (HANNP) Entrada de Materiais por unidade de serviços (MIPS) Análise de Fluxos materiais (MFA)
<b>Substâncias</b>	Contabilidade de Fluxo de substâncias (SFA)
<b>Território</b>	Pegada Ecológica Terra Virtual LACAs ( <i>Land Cost of Agrarian Sustainability</i> )
<b>Outros</b>	Balanços de carbono Água virtual Metabolismo hídrico Balanços de nutrientes

Fonte: Infante-Amate et al. (2017, P. 137, tradução nossa).

Considerando que as análises materiais e energéticas se adequam aos propósitos do presente trabalho, e, portanto, serão aprofundadas nos próximos subitens. Contudo, é importante destacar que as demais níveis analíticos (substâncias, territórios e outras categorias) também contribuem para a pesquisa sociometabólica.

É o caso da pegada ecológica, que segundo a *Global Footprint Network*, quantifica a oferta e demanda da natureza, isto é, os ativos ecológicos de uma determinada população (ou produto) necessita para produzir os recursos naturais que consome, geralmente: terras de cultivo, pastagens, pesqueiros, áreas construídas, área florestal e demanda de carbono em terra.

### 1.2.1 Análises energéticas

A contabilidade de fluxos energéticos (*Energy Flow Accounting* – EFA) analisa, por meio de indicadores, fluxos de energia diretos e indiretos, geralmente relacionados ao consumo. Segundo Tuguy et al. (2016), a EFA geralmente considera energias tecnológicas (de combustíveis fósseis e/ou renováveis) extraídos domesticamente ou importados, com finalidade para uso e/ou exportação. Os balanços de energia, por sua vez, expressam os rendimentos energéticos de sistemas naturais, geralmente florestais ou agrícola, a partir da relação entre o uso de insumos e a produção.

Outra abordagem comumente utilizada são cálculos de fluxos energéticos em níveis nacionais ou subnacionais, incluindo as relações historicamente mutantes entre uso energético

exossomático e endossomático<sup>9</sup>, denominada EROI (*Energy Return On Investment*), que busca identificar tendências de aumento no custo energético para obtenção de energia.

Como enfatizam Infante-Amate et al. (2017), o MUSIASSEM (*Multi-scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism*), desenvolvido por Giampietro et al. (2010) considera fluxos, escalas (demográficas, econômicas, geométricas), e outras variáveis, bem como as inter-relações entre elas. Em síntese, integra os conceitos de disciplinas variadas (como a termodinâmica do não equilíbrio) aplicadas à análise ecológica, cujo objetivo é detectar e analisar padrões no uso de recursos e o que eles criam no ambiente, com aplicabilidade em várias áreas do conhecimento, inclusive o MSE. Todavia, a metodologia também apresenta desafios, com dificuldades na construção de series históricas, dado o volume de informação requerido.

O último indicador energético – *Life Cycle Assessment* (LCA) mensura os impactos ambientais associados ao esforço energético para desenvolver determinado produto ou serviço: matéria prima, extração, fabricação, uso e fim da vida(descarte). Basicamente, inventaria toda a cadeia de produto, indicando os impactos ambientais cumulativos.

### 1.2.2 Análise de materiais

Dentre as análises de materiais, é destacável o *Human Appropriation of Net Primary Production* (HANNP). Apresentando por Vitousek et al. (1986), permite a caracterização de perfis metabólicos, estimando a fração de produção dominada pelos seres humanos dos ecossistemas.

Já a *Material Input per Service-Unit* (MIPS), desenvolvido no início da década de 1990, tem ênfase na ecoeficiência e desmaterialização. Assim, relaciona a entrada de materiais necessários e estabelece uma relação com sua vida útil. Como desenvolve Liedtke (2014) o cálculo da MIPS estabelece como entrada de materiais (MI) os recursos naturais (diretos, indiretos e a extração não utilizada) e a as saídas como produtos ou unidades de serviço(S). Dessa forma, a totalidade do ciclo de vida de um produto ou serviço é aferida por meio da metodologia

Continuando a análise de fluxos de materiais, a metodologia mais utilizada tende a ser a análise de fluxos materiais (MFA, ou *Metabolic Flux Analysis*)<sup>10</sup>. A MFA pode ser definida como o estudo de fluxos de materiais em escala global, nacional ou regional. Seu objetivo é, a

---

<sup>9</sup> Conforme Giampietro et al. (2013).

<sup>10</sup> Ou ainda MEFA (*material and energy flow analysis*), quando considera os fluxos de energia (EFA).



partir de indicadores, compreender o fluxo material das ações humanas no meio ambiente, fundamentais para o planejamento, previsão e avaliação das atividades econômicas<sup>11</sup>.

### *1.3 MSE e economia ecológica: elementos convergentes*

Após uma apresentação mais detalhada sobre MSE e suas principais metodologias, é conveniente refletir sobre a convergência entre esta abordagem e a EE, principal substrato teórico desta tese. Antes, porém, é necessário apresentar algumas considerações sobre esta última (EE) de modo a facilitar a compreensão sobre quais pontos ambas as abordagens aqui tratadas convergem ou se distanciam.

Sem a intenção de realizar uma revisão exaustiva – e considerando que existe extensa literatura já consolidada<sup>12</sup> –, é válido lembrar que a EE se autodenomina como a ciência da gestão da sustentabilidade (COSTANZA, 1992), que em um sentido mais amplo pode ser compreendida como a manutenção das relações harmoniosas entre a sociedade (e seus sistemas sociais e econômico) e a natureza.

De maneira geral, a EE tem como princípio norteador a busca pela compreensão de como é possível incrementar continuamente e de maneira sustentável a qualidade de vida humana sem se incorrer em combinações destrutivas e tendo-se em vista a finitude do ecossistema global. Em outras palavras, a EE se preocupa com a compatibilização da escala (dimensão) do sistema econômico e sua velocidade de reprodução com os limites biofísicos impostos pela resiliência dos ecossistemas.

A EE parte de uma cosmovisão em que o sistema econômico, de funcionamento termodinâmico (GEORGESCU-ROEGEN, 1971), é um subsistema da biosfera, o que permite dizer que aqui a ideia de escala se torna importante. Isso porque o subsistema econômico (capitalista) é aberto e possui tendências expansionistas, enquanto que o sistema terrestre é materialmente fechado: “*The earth is not an open, but a closed subsystem, i.e., a system that exchanges only energy with its environment.*” (GEORGESCU-ROEGEN, 1977, p. 268).

---

<sup>11</sup> Os capítulos seguintes explorarão teórica e empiricamente o MEFA. Um maior detalhamento sobre essa abordagem, um levantamento teórico das principais aplicações, seguido de uma construção de base de dados própria constituirão o terceiro capítulo. Nos capítulos seguintes, esta tese aplicará a MFA para o caso brasileiro a partir da construção de uma base de dados sobre os fluxos de matéria e energia no período 1970-2019.

<sup>12</sup> Sugere-se ao leitor a consulta ao primeiro número lançado pelo periódico *Ecological Economics*, em fevereiro de 1989, especialmente Costanza (1989). Ali são os apresentados as premissas fundantes da EE pelos autores pioneiros, muitos deles ainda influentes, como Herman Daly e Robert Costanza. Sugere-se também a consulta a importantes livros-textos da EE, como Daly e Farley (2003).

Em decorrência desta visão de mundo, a EE admite a possibilidade de que o crescimento econômico – fenômeno eminentemente físico, mas mensurando em termos monetários (o Produto Interno Bruto – PIB) – não seja possível e desejável em qualquer situação. Daly e Farley analisam a inclusão do capital natural nas tradicionais contas nacionais como um meio de se corrigir esta falha analítica e metodológica da economia tradicional. Segundo os autores:

*Why do our national accountants fail to subtract natural capital consumption in calculating income? Neoclassical economics does not count natural capital consumption as a cost because in its preanalytic vision of the world, nature is not scarce. The reason natural funds and resource flows are absent from the usual neoclassical production function is also the reason there is no deduction for natural capital consumption in national income accounting. (DALY; FARLEY, 2011, p. 272)*

Para os economistas ecológicos, uma vez ultrapassada a resiliência dos ecossistemas, o crescimento econômico pode resultar em benefícios líquidos negativos ao se considerar a destruição do capital natural (DALY, 2007). Como decorrência, as questões relevantes passam a ser: i) a partir de qual momento a evolução das atividades econômicas pode romper com a resiliência dos ecossistemas (*qual a escala ecologicamente sustentável e ótima do sistema econômico?*); e ii) se o crescimento econômico infinito não é possível, qual seria o construto social capaz de viabilizar a prosperidade contínua e sustentável da espécie humana dentro dos limites ecossistêmicos (*é possível prosperar sem crescer?*).

Ao enfrentar estes macroproblemas – que se desdobram em inúmeras outras questões relevantes (justiça socioambiental, por exemplo) – a EE procura jogar um olhar transdisciplinar e sistêmico sobre as inexoráveis interfaces entre natureza, sociedade e economia. Partindo-se, pois, do reconhecimento de que existem permanentes inter-relações entre sistemas socioeconômico e natural, e que o principal foco da sustentabilidade é que tais sistemas mantenham saudavelmente suas relações ao longo do tempo, torna-se claro que o ponto de partida da EE é o entendimento da *natureza* das interfaces estabelecidas entre sistemas econômico e natural.

Evidencia-se aqui o primeiro ponto de convergência: na EE, assim como no MSE, o foco de análise deve recair na investigação das relações estabelecidas entre sociedade e natureza, tendo-se em vista o caráter evolucionário do sistema econômico e o permanente aparecimento de inovações dentro deste último como reflexo de suas mudanças qualitativas. Esta visão schumpeteriana do sistema econômico não deve ser prescindida na análise, uma vez que a propensão a constantes inovações magnifica a capacidade de apropriação material e energética

da espécie humana. Georgescu-Roegen aborda convenientemente este fato valendo-se dos conceitos de mecanismos/instrumentos *endossomáticos* e *exossomáticos*. Em suas palavras:

*Apart from a few insignificant exceptions, all species other than man use only **endosomatic** instruments – as Alfred Lotka proposed to call those instruments (legs, claws, wings, etc.) which belong to the individual organism **by birth**. Man alone came, in time, to use a club, which does not belong to him by birth, but which extended his endosomatic arm and increased its power. At that point in time, man's evolution transcended the biological limits to include also (and primarily) the evolution of **exosomatic** instruments, i.e., of instruments produced by man but not belonging to his body. That is why man can now fly in the sky or swim under water even though his body has no wings, no fins, and no gills. (GEORGESCU-ROEGEN, 1975, p. 369. Ênfases no original)*

O reconhecimento do “poder exponencial” da espécie humana a respeito de seu potencial de apropriação dos estoques materiais e energéticos da crosta terrestre conduz Georgescu à conclusão de que o problema humano, diferentemente de todas as demais espécies, não é exclusivamente econômico nem exclusivamente biológico. É um problema eminentemente *bioeconômico*, que se manifesta, em última instância, pelas assimetrias entre as três fontes primárias de baixa entropia (energia solar, energia livre e os materiais ordenados do subsolo), que em sua visão é a fonte primária da escassez (GEORGESCU-ROEGEN, 1975).

A partir da preocupação “georgescuiana” com a evolução exossomática da sociedade, além do “vício” humano a este tipo de instrumento<sup>13</sup>, é nítido que uma análise metabólica é necessária para se compreender a evolução e as assimetrias de apropriação da matéria e energia disponíveis, suas mudanças quantitativas e qualitativas ao longo do tempo e os desdobramentos sobre as futuras gerações.

A partir da aceitação de que a teoria econômica neoclássica sofre de um inquietante “fetichismo” monetário e de uma enraizada epistemologia mecanicista (“um dogma banido até da física”, conforme palavras do próprio Georgescu-Roegen), a construção conceitual da EE está relacionada à visão de um sistema aberto cuja natureza é essencialmente termodinâmica, pois envolve contínuas transformações energéticas. Embora não tenha diretamente utilizado a expressão *economia ecológica* (chamou o campo de *bioeconomia* e recusou-se a participar da ISEE<sup>14</sup>), deve-se ao autor romeno a compressão de uma visão mais realista das ciências e da natureza, com destaque à sua visão discordante do tradicional sistema do fluxo circular de renda (relação entre produção e consumo em economias de mercado). Além disso, Georgescu foi o

---

<sup>13</sup> Georgescu-Roegen aponta que a sociedade humana se tornou adicta aos instrumentos exossomáticos, cuja busca incessante é responsável pela introdução do conflito social entre os homens.

<sup>14</sup> *International Society for Ecological Economics*, fundada em 1989. Ver <http://www.isecoeco.org/>

primeiro autor da teoria econômica a clamar pela consideração da lei da entropia (a 2ª Lei da Termodinâmica). Na sua visão:

*Perhaps no other law occupies a position in science as singular as that of the Entropy Law. It is the only natural law which recognizes that even the material universe is subject to an irreversible qualitative change, to an evolutionary process. This fact led some natural scientists and philosophers to suspect an affinity between that law and life phenomena. By now, few would deny that the **economy** of any life process is governed, not by the laws of mechanics, but by the Entropy Law. (GEORGESCU-ROEGEN, 1975, p. 352. Ênfase no original).*

Do ponto de vista econômico, tal lei enfatiza o fato de que não pode haver atividade econômica (produção ou consumo) que não resulte em resíduos, cujo destino final é o próprio meio ambiente. Enquanto os estoques de itens naturais apresentavam certa abundância, não era “problema destruí-los”, ou irrelevante seria considerá-los no processo produtivo. Essa foi a lógica dos economistas clássicos, suplantada pelos economistas neoclássicos, para os quais o problema ambiental poderia ser subsumido à própria ideia de crescimento econômico por meio de uma abordagem de sustentabilidade fraca (MUELLER, 2012). Esta última é a ideia de que os fatores de produção são substituíveis entre si, que é uma hipótese *implícita* no esquema analítico neoclássico, sendo o exemplo mais claro o cálculo das chamadas taxas de substituição técnica entre trabalho e capital. Em Farley e Malghan (2016, p. 65), encontra-se:

*This so-called ‘weak’ version of the constant capital stocks criterion can be stated as follows: ‘An economy is sustainable if the aggregate value per capita of its stocks of manufactured and natural capital (or the money-income derived from those aggregate stocks) remains constant or grows from one accounting period to the next. This definition obviously assumes the commensurability and substitutability of different forms of capital. As long as the aggregate market value of different forms of capital remains unchanged (or increases), society is deemed to be sustainable. It horrifies ecologists to observe that the weak sustainability criterion assumes all is well provided if the rising market value (that is, increasing scarcity value) of natural capital (or the income derived therefrom) increases to compensate for the depletion of the physical stocks.*

Todavia, é nítido que a busca de maior satisfação humana e eficiência econômica implica em uso crescente de recursos, o que resulta em problemas socioambientais, tanto do ponto de vista quantitativo (redução de estoques) e qualitativo (alteração na capacidade de oferta de serviços ecossistêmicos). Este processo sofreu um salto qualitativo considerável com a

chamada “Grande Aceleração”<sup>15</sup> dos anos 1950 (STEFFEN et al., 2008) e com a enorme complexidade exossomática propiciada pelo avanço tecnológico típico do capitalismo.

É, pois, neste contexto que a EE e o MSE convergem para uma crítica e clamor a uma análise realista baseada nas trocas metabólicas entre sistema econômico e meio ambiente. O apego às contabilidades apenas monetárias conduz à ilusão de que variáveis econômicas como o PIB podem sofrer acréscimos infinitos e desconectados da sua realidade biofísica. É aqui que entra a noção de sustentabilidade forte. Novamente, usando Farley e Malghan (2016, p. 65), tem-se que:

*Ecological economists therefore subscribe to an alternative ‘strong’ version of the constant capital stocks criterion as follows: ‘An economy is sustainable if its physical stocks of both manufactured capital and natural capital per capita are held constant or grow in separate accounts from one accounting period to the next.’ By this definition, manufactured and natural capital are not commensurable and substitution is at best imperfect. Money valuation does not enter the picture. (Money is itself an abstraction.) Herman Daly has championed the idea that in many circumstances, manufactured capital and natural capital are complements not substitutes [...].*

EE e MSE compartilham, pois, da visão de sustentabilidade forte. Isto significa dizer que toda análise metabólica parte do princípio de que existe relações de substituição limitadas entre os vários tipos de capital, o que faz com que o critério de sustentabilidade não seja facilmente alcançável. A bem da verdade, existem recursos naturais críticos (capital natural crítico) que devem ser preservados de modo a possibilitar a continuidade das atividades econômicas, dado que estas são inexoravelmente dependentes daqueles. Análises metabólicas são, portanto, úteis para investigar em que medida esta complementaridade está ameaçada.

Além de desnudar a natureza termodinâmica do processo econômico, a análise metabólica oferece um outro ponto importante de convergência com a EE. O MSE explicita a natureza da “nova escassez” imposta ao mundo econômico, como já bem retratado por Herman Daly e outros economistas ecológicos na metáfora de *empty* e *full world*. Do ponto de vista prático, o MSE pode apontar quão escasso é o capital natural – ou mesmo sua velocidade de esgotamento – de modo a embasar a elaboração e implementação de novas políticas que maximizem a oferta do fator outrora abundante. É fundamental reconhecer que o padrão de escassez é dinâmico ao longo do tempo e que tal fato possui desdobramentos não desprezíveis

---

<sup>15</sup> Sugere-se aqui consulta ao *The International Geosphere-Biosphere Programme* (<http://www.igbp.net/>), que se dedica a investigar as mudanças globais. Ali pode ser encontrada uma variedade de informações e dados que evidenciam a Grande Aceleração.

para a gestão macroeconômica e para as próprias estratégias de desenvolvimento das nações (ANDRADE et al., 2012).

Do ponto de vista metodológico, foi visto na seção anterior que existe uma desejável diversidade metodológica dentro do MSE. Significa dizer que ao pesquisador estão disponíveis diferentes ferramentas metodológicas que podem ser selecionadas conforme o objetivo e a unidade de análise. A pluralidade metodológica sempre esteve presente entre os princípios fundantes da EE (NORGAARD, 1989) e, muito embora haja críticas a um pluralismo “desenfreado” e “pouco informado” (SAES e ROMEIRO, 2018), a flexibilidade metodológica é útil em pesquisas multi ou transdisciplinares já que reduz a barreira à entrada de novos pesquisadores, tornando o campo de pesquisa aberto e mais democrático. É possível dizer, portanto, que a EE e o MSE possuem convergência em suas inspirações metodológicas.

Cabe mencionar ainda o potencial de contribuição do MSE ao estudo da principal categoria analítica da EE, qual seja, a escala econômico-ecológica (ou simplesmente escala). É sabido que a visão pré-analítica da EE considera que o sistema econômico é um subsistema aberto da biosfera – materialmente fechada, embora aberta ao fluxo energético –, o que introduz relevantes indagações sobre a dimensão relativa entre esses dois sistemas. Muito embora a atenção às escalas (sustentável, ótima e atual) esteja no centro da análise da EE, são relativamente escassos estudos metodológicos sobre esta questão<sup>16</sup>.

Para Andrade et al. (2018), a escala ecológica máxima é um problema biofísico, que requer avaliações que não estão ao alcance das análises puramente econômicas. Por outro lado, escala ótima diz respeito a um problema econômico, embora constrangido por uma restrição ecossistêmica. Nesta perspectiva, a obtenção de uma escala ótima pressupõe a consideração dos preços relativos praticados em determinado sistema econômico, de maneira a propiciar a eficiente alocação do fluxo sustentável de recursos. As avaliações biofísicas são necessárias no sentido de que servem ao objetivo de determinar os limites ecossistêmicos, muito embora ainda sejam embrionários os esforços de delimitação da resiliência dos ecossistemas<sup>17</sup>.

Avaliações biofísicas são, portanto, requeridas de modo a evidenciar a aproximação e a possível ultrapassagem de tais limites. A centralidade do MSE para a EE torna-se clara, pois o estudo das escalas não deve se restringir apenas às dimensões teóricas do debate sobre limites

---

<sup>16</sup> Destaca-se o trabalho de Malghan (2006) para construção de uma estrutura teórico-analítica-metodológica para o estudo das escalas.

<sup>17</sup> Registram-se os estudos do *Stockholm Resilience Centre*, que em 2009 introduziu a ideia de “fronteiras planetárias” como indicativo dos limites ecossistêmicos. Ver trabalho original desta abordagem em Rockström et al. (2009).

ao crescimento, mas também é imperativo buscar análises empíricas que apontam para a (in)sustentabilidade do sistema econômico.

Como desdobramento da argumentação acima, percebe-se, portanto, uma convergência inequívoca. O MSE pode ser uma linha de pesquisa dentro de uma abordagem em ascensão dentro da EE. Trata-se da macroeconomia ecológica, que, em linhas gerais, pode ser definida como “uma abordagem que pretende investigar, tanto do ponto de vista qualitativo e quantitativo, as possibilidades teóricas e práticas (políticas) de se compatibilizar o metabolismo socioeconômico – o *throughput* – à escala sustentável do sistema econômico” (May et al., 2018, p. 153). É evidente, pois, que a recente e inevitável incorporação de aspectos ambientais em modelos macroeconômicos não deve prescindir de análises metabólicas dos fluxos de matéria e energia entre sistema econômico e meio ambiente.

Se a macroeconomia ecológica pressupõe a compatibilização entre *throughput* e escala sustentável, é preciso preliminarmente conhecer qual o volume de matéria e energia que adentra e deixa o sistema econômico em determinado período de tempo, além dos estoques líquidos que são acumulados no sistema econômico. Este nível de conhecimento – informações e ferramentas adequadas – só é possível por meio de análises sociometabólicas. Isto é, o ponto de partida da macroeconomia ecológica deve ser o conhecimento e a compreensão do perfil metabólico de determinado sistema econômico.

Diante das evidências esboçadas, o quadro 2 abaixo sintetiza os elementos de convergência entre MSE e EE.

#### **Quadro 2. Metabolismo socioeconômico e economia ecológica: elementos de convergência**

<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Raízes teóricas comuns: Nicholas Georgescu-Roegen e Robert Ayres;</li><li>▪ Cosmovisão comum: sistemas sociais e a engrenagem econômica estão inseridos em um sistema maior que lhes fornece matéria e energia para sua evolução;</li><li>▪ Visão sistêmica, integrada e coevolucionária entre sistemas naturais e sociais;</li><li>▪ Abordagem transdisciplinar do sistema produtivo e suas relações com a biosfera;</li><li>▪ Inserção dos princípios da Termodinâmica (noção de irreversibilidades, entropia e rejeição da visão mecanicista de mundo);</li><li>▪ Compreensão comum sobre o conceito de sustentabilidade (sustentabilidade forte): a condição necessária (mas não suficiente) é o respeito à resiliência ecossistêmica;</li><li>▪ Inspiração metodológica fundamentada no pluralismo metodológico;</li><li>▪ Devida preocupação com a diferenciação entre fluxos e estoques;</li><li>▪ Macroeconomia ecológica: pressupõe o conhecimento do perfil metabólico de um sistema econômico e sua evolução temporal.</li></ul>
---

Fonte: elaborado pelo autor.

Sintetizando os argumentos, é visível a proximidade existente entre EE e MSE. Isto porque uma análise econômico-ecológica genuína pressupõe, em primeiro lugar, uma visão

biofísica do processo econômico, dado que indicadores não monetários são necessários para o entendimento dos padrões de (in)sustentabilidade das sociedades. Ambas as abordagens partilham de uma visão holística sobre as inter-relações entre sistemas naturais, sociais e econômicos, reconhecendo-se as hierarquias e os constrangimentos termodinâmicos que as moldam, além do que o ponto de partida é a complementaridade entre o capital natural (tangível e intangível) e os demais tipos de capital (manufaturado/físico, social, humano).

#### *1.4 Considerações finais*

Como compara Carpintero (2015), da mesma maneira que os seres vivos ingerem energia e alimentos para o ciclo de reprodução e sobrevivência, excretando resíduos no meio ambiente, a economia converte matéria-prima, energia e bens finais de consumo, gerando resíduos que também irão para a natureza. A expansão física do sistema econômico, reconhecida pelos economistas como crescimento econômico, altera do ponto de vista quantitativo e qualitativo o meio ambiente, gerando custos de oportunidades que potencialmente podem se tornar intoleráveis.

Buscando compreender tais relações, surge a análise sociometabólica. Conceitualmente, essa vertente teórico/metodológica pode ser definida como uma interpretação das interações sociedade-natureza, vinculando os processos socioeconômicos e biofísicos. Para tanto, se apoia na contabilização dos fluxos materiais e energéticos de um sistema econômico, tanto internos, como externos (HABERL et al., 2019; PAULIUK; HERTWICH, 2015; FISCHER-KOWALSKI ;AMANN,2001).

Ao considerar os fluxos de energia e materiais, mensurando-os, o MSE fornece respostas mais precisas à noção de sistema aberto proposta pela EE, quantificando os fluxos de energias, materiais e resíduos que compõem o uso do ecossistema terrestre, ou seja, a natureza como provedora e receptora dos impactos gerados pelo sistema econômico. Outra relevância do MSE está relacionada a sua base de dados, que contribui para uma análise macroeconômica ecológica, área de pesquisa que vem ganhando expressão e relevância na última década.

Além de apresentar de maneira sucinta a construção conceitual da abordagem do MSE, este capítulo apontou três principais considerações sobre a convergência entre EE e MSE: i) a explicitação da natureza termodinâmica do processo econômico; ii) a possibilidade de mensuração das escalas econômico-ecológicas e fornecimento de parâmetros para investigações sobre o nível de (in)sustentabilidade do sistema econômico; e iii) o conhecimento prévio do perfil metabólico de um sistema econômico e social é condição *sine qua non* para



uma análise macroecológica. Depreende-se daí que é na análise macroeconômica que se tem o maior potencial de contribuição do MSE para a EE.

É conveniente lembrar que, como destacam Haberl et al. (2019), a abordagem do MSE oferece *insights* e implicações de sustentabilidade em diferentes ângulos, combinando dados ecológicos e econômicos. O MSE ajuda a integrar a abordagem das ciências sociais na aceleração do antropoceno, visto que fornece dados robustos de aceitação internacional.

Todavia, o MSE também apresenta algumas limitações, dado seu caráter interdisciplinar, dificultando a identificação dos limites da pesquisa (e às vezes proliferando rótulos), além de ausência de pesquisas que avaliem o comportamento dos agentes individuais, a incorporação da incerteza nos métodos estatísticos empregados, dentre outros fatores.

No próximo capítulo, as principais definições do sociometabolismo, além da MFA, serão termos-chave para o mapeamento da produção acadêmica, utilizando o ferramental bibliométrico.

## **CAPÍTULO 2: UMA VISÃO BIBLIOMÉTRICA DO SOCIOMETABOLISMO (1991-2020)**

Buscando eficiência na construção de referenciais teóricos, tem-se defrontado com bases de dados cada vez mais amplas para verificar o estado da arte em múltiplas áreas de conhecimento. Consequentemente, vem-se aperfeiçoando os ferramentais quantitativos aplicados nos campos da biblioteconomia e ciência da informação, que auxiliam na construção de referenciais bibliográficos acerca da produção científica e permitem clarificar a evolução de novas áreas de pesquisa.

Conforme enfatizado no capítulo anterior, o MSE é um conceito multidisciplinar, que se apoia fortemente em indicadores de fluxos de matérias e energia (Araújo et al., 2019). Também foram enfatizadas as diversas ferramentas metodológicas, além da convergência entre o sociometabolismo e a economia ecológica.

Complementando o referencial teórico, este capítulo pretende compreender o potencial bibliográfico em torno do MSE no campo das ciências sociais aplicadas e ambientais por meio de um estudo quantitativo, utilizando elementos que nascem na bibliometria. Vale destacar que o uso da bibliometria é relativamente frequente em outros temas que tangenciam questões ambientais e são teoricamente próximos à economia ecológica. São exemplos o metabolismo urbano (CUI, 2018), sustentabilidade (SHARIFI, 2021; SNEEGAS et al., 2021; ZHANG et al., 2019), pagamento por serviços ambientais (WANG et. al, 2021) e economia circular (LUIS; CELMA, 2020).

Pretende-se utilizar os principais indicadores analíticos da bibliometria de modo a mapear as bases, obtendo um quadro elucidativo sobre a área de pesquisa sociometabólica, e sua contribuição para a ciência da sustentabilidade.

A análise informacional do MSE pretendida neste capítulo se restringirá às publicações acadêmicas, valendo-se das técnicas de bibliometria, dado o caráter estatístico empregado, e cienciometria, dada a mensuração e interpretação dos dados catalogados<sup>18</sup>. Em última instância, pretende-se compreender a comunicação científica acerca do MSE, quais os centros (e redes) de pesquisa mais relevantes, periódicos que concentram o maior volume de publicações, termos comumente utilizados, dentre outros critérios.

---

<sup>18</sup> Vanti (2002) destaca que os objetos de estudo bibliométricos são mais restritos (livros, autores, documentos e artigos), ampliando-se na cienciometria (que inclui Patentes, Teses e Dissertações). Além disso, ocorrência de palavras, termos, expressões chaves e comunicação científica também são oriundos da cienciometria. Portanto, tais áreas informacionais tendem a ser mais relevantes no presente trabalho.

Para tanto, o presente capítulo está dividido em três seções: a seção 2.1 busca compreender os principais meandros da pesquisa bibliométrica, seguindo-se com a descrição do método analítico que será utilizado; a seção 2.2 tece os principais os resultados do levantamento e; a 2.3 apresenta as principais considerações finais.

## 2.1 Método analítico

Dentre os principais elementos de análise informacional, destacam-se a bibliometria, cienciometria, infometria e a webemetria. Estas ferramentas buscam quantificar a propagação e fluxos de conhecimento a partir de diferentes abordagens, chegando a um mesmo denominador comum: a necessidade de busca de conhecimento a partir da literatura científica (BJÖRNEBORN; INGWERSEN, 2001).

A bibliometria, conforme Broadus (1987), é definida como uma análise estatística da produção científica de forma abrangente, interdisciplinar e multidisciplinar. Para tanto, utiliza indicadores e/ou modelos matemáticos buscando compreender as propriedades e o comportamento da informação.

Dentre as principais aplicações, destacam-se: a Lei de Lotka (1926), proporcionalidade entre o número de autores que realizam contribuições (muitas ou poucas) e os autores que fazem uma única contribuição em um determinado campo científico, utilizando a lei do quadrado inverso; a Lei de Bradford (1934), ou Lei da Dispersão, que analisa a recorrência nos campos científicos a partir dos periódicos e; a Lei de Zipf (1949), que aplica a Lei da potência à frequência de determinada palavra e seu uso, observando uma regularidade entre os termos.

A cienciometria (ou cientometria) é uma técnica aperfeiçoada na década de 1960 por Nalimov e Mul'chenko (1971), partindo da avaliação das produções científica ou tecnológica no interior das áreas de conhecimento, ou seja, de forma mais restrita, quando comparada à bibliometria. Sua eficácia está na identificação de temas de interesse e concentração de temáticas a partir de bases de dados distintas: resumos, palavras-chaves, relatórios técnicos e científicos, livros, etc. No tocante aos indicadores, destacam-se o número de trabalhos e citações, coautorias, co-ocorrências, fator de impacto e *bibliographic coupling*.

A infometria, por sua vez, é um campo subsequente da ciência da informação, quantificando a informação em qualquer formato, não se restringindo à bibliografia científica. Portanto, é uma versão ampliada da cienciometria e bibliometria, de onde incorpora as técnicas analíticas. O termo é originalmente atribuído a Nacke (1979).

Com a expansão das redes de computadores nasceu a webometria, que busca levantar informações oriundas do universo web: sites, links, hiperlinks e páginas de busca. Basicamente, é a aplicação de métodos informétricos à *Word Wide Web*, atribuindo-lhe um caráter científico (ALMIND; INGWERSEN, 1997).

A própria relevância metodológica da cienciometria, e sua interação com a construção bibliométrica, possibilita a análise do todo, não apenas sobre um trabalho específico, além de permitir quantificar o progresso científico sob múltiplos prismas: métodos, abordagens, áreas, etc. (PARRA et al., 2019)

Os mecanismos analíticos da cienciometria e bibliometria partem de indicadores selecionados, como demonstrados na definição conceitual. Utilizando a terminologia proposta por Donthu et al. (2021), será utilizado o termo “análise bibliométrica”, qualificada pelos autores como uma fusão entre elementos da bibliometria e cienciometria.

Como ressaltam Leite et al. (2019), os indicadores para análise bibliométrica são classificados como de “atividade científica” e “associações temáticas”, uma vez que mapeiam a contribuição científica dos trabalhos, produtividade dos autores, colaboração entre pares, referências mais citadas, etc.

**Quadro 3. Síntese dos indicadores para análise bibliométrica.**

<b>Indicador</b>	<b>Descrição</b>	<b>Unidade de Análise</b>
Citação	Influência de autores, documentos e periódicos através das taxas de citação	Autores Publicações Países Periódicos
Cocitação	Conecta documentos, autores ou periódicos com base em aparições em listas de referência	Autores Publicações Países Periódicos
Bibliographic Coupling	Conecta documentos, autores ou periódicos sobre a base do número de referências compartilhadas	Autores Publicações Países Periódicos
Coautor	Interações entre autores	Autores Instituições Países
Co-ocorrências	Conecta palavras-chave quando eles aparecem no mesmo título, resumo ou lista de palavras-chave	Palavras-Chaves Autores

Fonte: Adaptado de Zupic e Carter (2015)

Os indicadores citados no Quadro 3 possibilitam o uso de diversos ferramentais para mapeamento quantitativo, como *softwares* específicos. A partir da década de 1990, a universalização no uso de computadores pessoais viabilizou o desenvolvimento de várias interfaces de análise informacional.

Moreira et al. (2020) destacam a ampliação no número de *softwares* disponíveis, motivando-os na elaboração de um estudo comparativo sobre qual ferramenta seria mais completa dentre dezesseis pré-selecionadas, a partir dos seguintes critérios: atualização do *software*, disponibilização de licenças gratuitas, qualidade da informação e interface gráfica. As conclusões apontaram que 4 ferramentas com maiores utilizações, quais sejam: *Biblioshiny*, *VOSviewer*, *Publish or Perish* e *CiteSpace*, sendo que os dois primeiros realizam o maior quantitativo de tarefas bibliométricas e cienciométricas existentes.

A análise bibliométrica do MSE deste capítulo apoiar-se-á nos *softwares* gratuitos *Biblioshiny* e *VOSviewer*, levando em consideração que ambos possuem limitações, mas que são sanadas quando utilizados em conjunto. O *Biblioshiny* permite, dentre outras funções, a construção de nuvens de frequência, aplicação das Leis de Lotka (e Bradford) e o *download* de dados para manipulação em planilhas eletrônicas. Já o *VOSviewer* é mais eficiente na construção de mapas de densidade com a base de dados selecionada.

O *VOSviewer* é um programa para *desktop* desenvolvido por Van Eck e Waltman (2007; 2010), que utiliza o método VOS (*Visualization of Similarities*), construção de padrões de aproximação (ligações ou mapas) utilizando um índice de força de associação dos termos (palavras-chave, nome de autores, instituições, etc.) em uma matriz de similaridades ( $S_{ij}$ ), em que o padrão de associação dos itens  $i$  e  $j$  é obtido por:

$$S_{ij} = \frac{c_{ij}}{w_i w_j}, \quad (1)$$

Em que  $c_{ij} = c_{ji} \geq 0$ ,  $c_i = \sum_{i \neq j} c_{ij}$ . Assim,  $c_{ij}$  denota o número de pares de coocorrências (para determinado elemento textual) e,  $w_i$  e  $w_j$  inferem o número total de repetições para os itens  $i$  e  $j$  nos documentos analisados.

Van Eck e Waltman (2007; 2010) também partem da constatação que (1) gera uma razão proporcional entre o número observado de coocorrências dos itens  $i$  e  $j$ , supondo que as respectivas coocorrências são estatisticamente independentes.

Já os mapas bidimensionais são construídos a partir de uma matriz de similaridade, organizando o termo selecionado de acordo com sua semelhança, utilizando o argumento que existem maiores similaridades em menores distâncias (e menores similaridades em distâncias maiores), permitindo visualizar objetos nesse padrão. Os autores supracitados argumentam que a técnica VOS minimiza as somas ponderadas das distâncias euclidianas de  $i$  e  $j$  e, para evitar mapas espúrios, impõe-se uma restrição entre os dois itens igual a 1. Na forma de função:

$$V(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i < j} s_{ij} ||x_i - x_{ij}||^2, \quad (2)$$

Em que o vetor  $x_i = (x_{i1}, x_{i2})$  denota a localização do item  $i$  no mapa bidimensional e  $|| \bullet ||$  expressa a norma euclidiana. Para evitar sobreposição, a restrição que minimiza a função objetivo é executada:

$$\frac{2}{n(n-1)} \sum_{i < j} ||x_i - x_{ij}|| = 1. \quad (3)$$

Assim, o resultado gerado pelas equações (1), (2) e (3) é convertido em mapas visuais de similaridade, que são diferenciados por meio de digramas de *clustering*, indicando os agrupamentos de cada *link* e a força entre os termos.

A aplicabilidade do método VOS nos indicadores do quadro 1 pode ser visualizada de duas formas: (i) por meio de fluxos entre as unidade de análise (autores, publicações, palavras chaves, instituições ou países), em que as linhas (ou nós) ligam tanto os termos internos dos *clusters*, quanto externos (agregados a outros *clusters*) e; (ii) mapas de densidade, com visualização da unidade de análise em formato de ilhas de calor: quanto mais forte a cor (turquesa verde amarelo vermelho), maior é a ocorrência (e relevância) do indicador selecionado (VAN ECK; WALTMAN 2007; 2010).

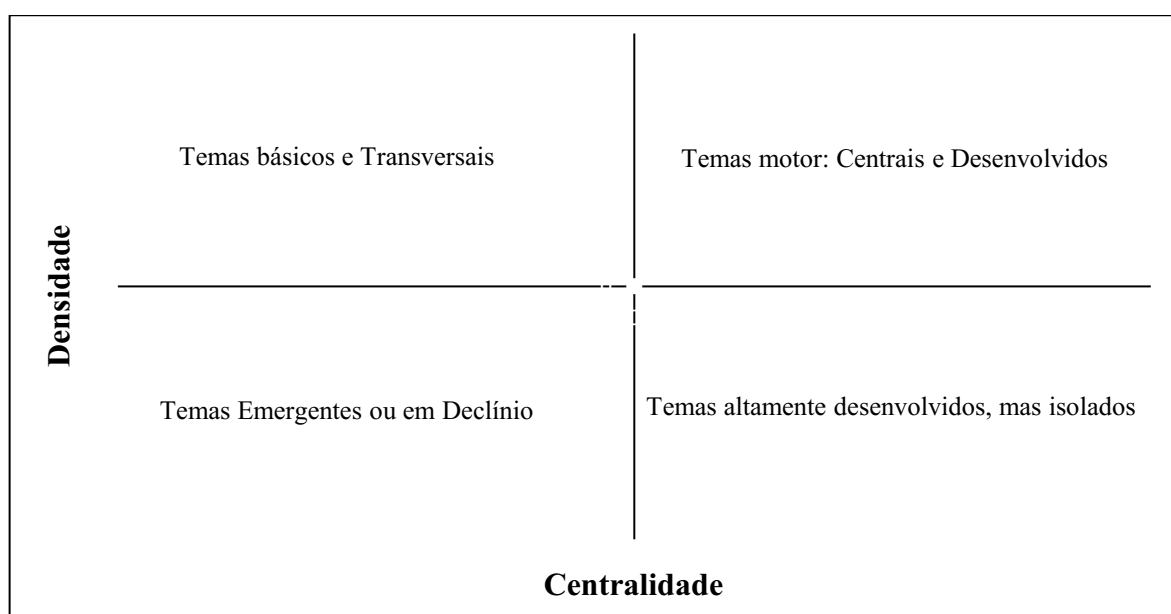
Quanto ao *Biblioshiny*, trata-se de uma versão *WEB* desenvolvida na linguagem de programação “R”, de código aberto e manutenção voluntária, cuja *interface* possibilita a utilização dos indicadores dispostos no quadro 1. Além do mapeamento científico, o *software* permite a análise temática, seguindo o aporte teórico de Callon et al. (1991). Tal método expressa graficamente mapas temáticos em um plano cartesiano, classificando-os em centralidade (eixo x) e intensidade (eixo y).

Callon et al. (1991) destacam que a centralidade implica na força de ligação dos elementos constantes em um determinado critério (como a coocorrência) a outro, dividindo-os em *clusters*, e quanto mais numeroso e forte forem esses elos, maior a relevância para a comunidade científica. Já a densidade implica na coerência a partir da linha evolutiva de um critério, expressando a força dos *links* que unem o critério de um determinado *cluster*, aferindo a coesão desta temática ao campo de pesquisa avaliado. Já Giannakos et al. (2019) interpretam que uma maior centralidade expressa *links* externos mais fortes, quando comparados a outras

redes presentes no mapeamento bibliométrico e; uma maior densidade indica relações internas mais fortes entre os elementos do indicador selecionado.

No uso do indicador de coocorrência, por exemplo, são expressos mapas com agrupamento de palavras-chaves, e suas respectivas interconexões. Cada grupamento é dividido em núcleos(*clusters*), e inclusos em um plano cartesiano (eixos “Densidade” e “Centralidade”). Cobo et al. (2011) indicam as quatro áreas do plano para inserção dos núcleos, de acordo com os valores médios dos termos que nomeiam os eixos do plano, conforme a Figura 2.

**Figura 2. Diagrama estratégico do mapa temático.**

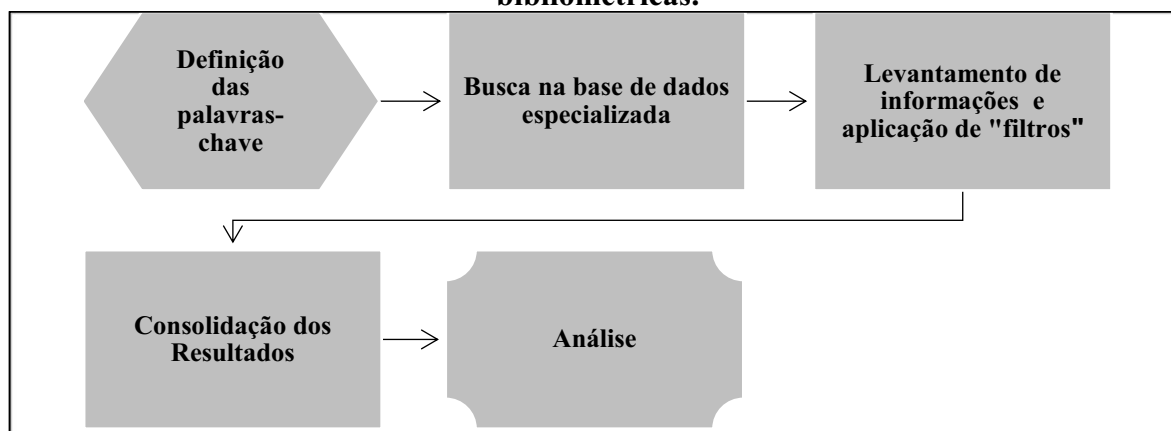


Fonte: Adaptado de Cobo et al. (2011)

Os resultados incluídos no quadrante superior direito são bem desenvolvidos e importantes para a estruturação de um campo de pesquisa, por isso chamado de “motores de especialidade”, uma vez que conduzem todos os demais temas de pesquisa. No quadrante superior esquerdo, temas com níveis de desenvolvimento baixos (centralidade), que apresentam importância para pesquisa, mas são transversais para o campo. No quadrante inferior direito, os temas com importância secundária, uma vez que são muitos especializados, embora bastante desenvolvidos. Por fim, os temas emergentes ou que estão desaparecendo, uma vez que são pouco desenvolvidos e marginais, localizados no quadrante inferior esquerdo (COBO et al., 2011; CALLON et al., 1991).

Uma vez definida a base metodológica, foi necessário definir uma metodologia analítica para seleção e interpretação dos dados. O acompanhamento e revisão de estudos informacionais permitem a construção de um esquema metodológico, conforme Figura 3:

**Figura 3. Metodologia analítica de seleção de artigos científicos para as análises bibliométricas.**



Fonte: Elaboração própria

Para a definição das palavras-chaves, um levantamento preliminar sobre o metabolismo socioeconômico indicou terminologias distintas para a mesma temática: metabolismo social, metabolismo industrial, sociometabolismo e metabolismo socioeconômico, que variam conforme a abordagem e o indexador utilizado. A análise compreendeu o período de 1991-2020, marco da consolidação dos indicadores sociometabólicos, simbolizada na obra *Metabolismo do Antropoceno* (BRUNNER,1991).

No que se refere à busca por uma base de dados especializada, optou-se pela meta-base *Web Of Science Core Collection* (WOS), uma das principais referências em análises bibliométricas, reunindo os principais periódicos nacionais e internacionais. O critério para essa seleção esteve baseado em dois argumentos: a primeira parte dos resultados de Alvarez-Melgarejo e Torres-Barreto (2018), que classificam essa plataforma com maior poder de impacto (autores relevantes, publicações mais citadas e filtros específicos), quando comparada com a base *Scopus*, resultando em evidências mais robustas. O segundo elemento reside no experimento prático, uma vez que todos os termos listados também foram aplicados nas bases *Scopus* e *Dimensions*, mas a WOS se mostrou mais adequada aos objetivos do trabalho.

Com objetivo de atingir um volume de ocorrências mais eficiente, foram utilizados termos na língua inglesa, resultando na seguinte busca: *Social Metabolism*, “OU” *Socioeconomic Metabolism*, “OU” *Sociometabolism*, “OU” *Industrial Metabolism* “E” *Material Flow Analysis*<sup>19</sup>.

<sup>19</sup> Como já mencionado no item 1.2, Infante-Amate et al. (2017) qualifica diversos indicadores sociometabólicos, destacando que a análise de fluxos materiais demonstra mais efetividade no uso, sendo referência recorrente para pesquisadores e organismos oficiais. Assim, aplicou-se o termo como fator restritivo (vide a conjunção “E”).

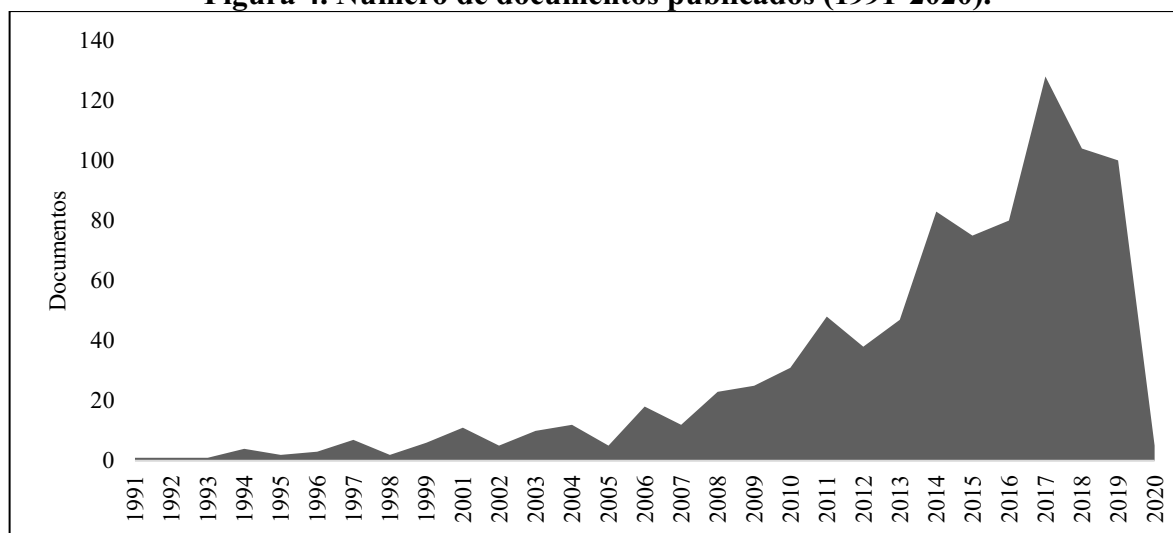


Vale salientar que o termo “*metabolism*” remete a várias áreas de pesquisa, sobretudo aquelas ligadas às ciências da saúde e engenharias. Portanto, foram realizados os devidos filtros na base WOS, restringindo a análise para áreas das ciências ambientais, sociais aplicadas e da sustentabilidade, totalizando 890 referências científicas, sendo 829 artigos, 1 capítulo de livro e 60 outras (material editorial, resumo de reuniões, etc.)<sup>20</sup>.

## 2.2 Resultados consolidados da análise bibliométrica

O número de publicações acerca do MSE apresenta um rápido progresso nos últimos dez anos, como verificado na Figura 4. Nota-se uma expansão considerável nos trabalhos sobre o MSE a partir de 2012, cuja tendência foi crescente (atingindo 128 documentos em 2018), indicando um maior engajamento da comunidade científica com a temática

**Figura 4. Número de documentos publicados (1991-2020).**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo WOS.

Outros resultados da análise bibliométrica foram segmentados nas subseções seguintes.

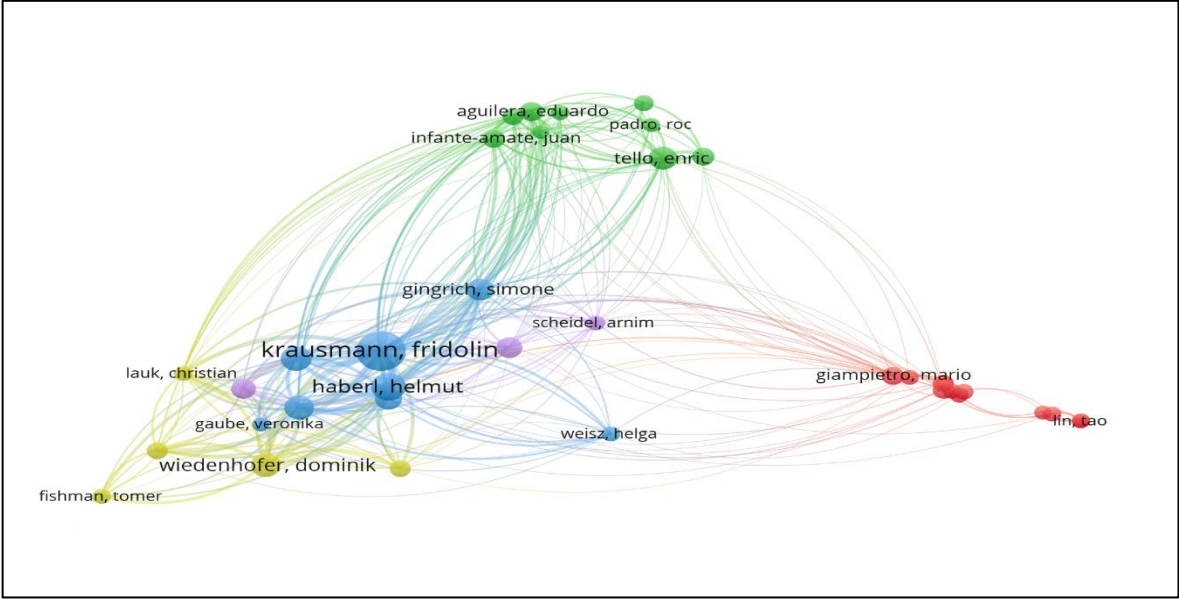
### 2.2.1 Citações e coautorias

As citações são caracterizadas como referências bibliográficas que são resgatadas pelo autor, a fim de enfatizar determinados pressupostos. Em estudos bibliométricos, sua relevância reside na caracterização de ideias, instituições e áreas de pesquisa. O quantitativo de autores

<sup>20</sup> A mesma base de dados é codificada na WOS e reconhecida nos softwares utilizados, gerando os resultados analíticos disponíveis em cada sistema. Vale ressaltar que os resultados dos metadados foram conferidos nos dois sistemas, constatando padrões de similaridade.

mais citados (min= 5 publicações por autor) é ilustrado na Figura 5, em que 42 autores (em um universo de 3.101) são divididos em quatro *clusters*. Essa classificação é diferenciada por cores, destacando o azul, cujos autores possuem um maior quantitativo de citações. Ainda, os elos de ligações indicam menções realizadas entre os autores, cujo maior efetivo é destacado na escala tipográfica ampliada (também azul).

**Figura 5. Autores mais citados na amostra selecionada para a análise bibliométrica (1991-2020).**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo WOS e com o uso do Software VOSviewer.

Já a Tabela 1 restringe a análise para o *ranking* dos dez autores mais prolíficos e com os índices “H”, aferindo a produção acadêmica e o fator de impacto. Segundo a metodologia proposta por Hirsch (2007), o número referente ao índice “H” expressa o quantitativo de publicações para um determinado autor e o mínimo de citações que cada trabalho possui. Assim, o maior índice H encontrado do pesquisador Fridolin Krausmann (*Institute of Social Ecology*) indica que o mesmo possui 35 publicações acerca da temática mapeada com no mínimo 35 citações cada.

**Tabela 1. Fator de impacto (Índice “H”), citações e número de publicações por autor (1991-2020).**

Autor	Índice “H”	Citações	Publicações Mapeadas
<b>Fridolin Krausmann</b>	35	4.105	48
<b>Helmut Haberl</b>	28	2.758	32
<b>Karl- Heinz Erb</b>	23	2.329	24
<b>Marina Fischer Kowalski</b>	11	1.456	13
<b>Juan Martinez-Alier</b>	10	495	11
<b>Heinz Schandl</b>	10	563	14

<b>Dominik Wiedenhofer</b>	10	866	12
<b>Nina Eisenmenger</b>	9	900	11
<b>Simone Gingrich</b>	9	1.001	10
<b>Yating li</b>	9	313	12

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo *WOS* e com o uso do *Software Biblioshiny*.

Um uso comum para o fator de impacto também é na seleção de periódicos para publicação. Tais critérios de classificação são comumente utilizados e assumem um caráter de significância para autores, editores, pareceristas e instituições de pesquisa (BENDELS et al., 2018).

A Tabela 2 ranqueia os periódicos mais utilizados e seus respectivos fatores de impacto, citações, efetivo de publicações. Destacam-se as revistas direcionadas ao meio ambiente, ecologia e sustentabilidade industrial.

**Tabela 2. Fatores de impacto (índice “H” e “G”, citações e número de publicações por periódico (1991-2020)).**

<b>Periódico</b>	<b>Índice “H” *</b>	<b>Índice “G” **</b>	<b>Citações</b>	<b>Publicações Mapeadas</b>
<i>Ecological Economics (EE)</i>	36	60	3.656	67
<i>Journal of Cleaner Production (JCP)</i>	26	42	2.017	68
<i>Journal of Industrial Ecology (JIC)</i>	26	46	2.187	54
<i>Resources, Conservation and Recycling (RCR)</i>	20	29	895	34
<i>Land and Use Policy (LUP)</i>	18	24	1.614	24
<i>Environmental Science and Technology (EST)</i>	14	17	1.037	17
<i>Sustainability (S)</i>	13	20	520	51
<i>Ecological Modelling (EM)</i>	11	15	482	15
<i>Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences (PRSB)</i>	11	15	467	15
<i>Global Environmental Change (GEC)</i>	10	11	778	11

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo *WOS* e com o uso do *Software Biblioshiny*. \*) Índice “H”: Indica que o quantitativo de artigos do periódico foi citado em um número igual, ou superior de vezes. \*\*) Índice “G”: Numero de artigos(g) que receberam pelo menos g<sup>2</sup> citações conjuntamente, ou na média.

Dentre os trabalhos mais citados (min=185 citações), a Tabela 3 descreve as dez referências mais utilizadas, quantificando-as. Destaca-se que a pesquisa sociometabólica começa a se consolidar após uma década, uma vez que os documentos têm publicações após 2002.

**Tabela 3. Publicações mais citadas no mapeamento bibliométrico.**

Autor (es)	Ano	Nome do Artigo	Periódico	Citações mapeadas	Citações globais <sup>1</sup>	Citações Google <sup>2</sup>
Krausmann F. et al.	2009	<i>Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century</i>	EE	46	523	1264
Krausmann F. et al.	2008	<i>The global sociometabolic transition: past and present metabolic profiles and their future trajectory</i>	JIC	38	169	414
Schandl, H.; Schulz, N.	2002	<i>Changes in the United Kingdom's natural relations in terms of society's metabolism and land-use from 1850 to the present day</i>	EE	35	91	180
Krausmann, F.; Haberl, H.	2002	<i>The process of industrialization from the perspective of energetic metabolism: Socioeconomic energy flows in Austria 1830–1995</i>	EE	30	81	204
Krausmann F. et al.	2008	<i>Global patterns of socioeconomic biomass flow in the year 2000: A comprehensive assessment of supply, consumption and constraints</i>	EE	30	204	416
Krausmann, F.	2004	<i>Milk, manure, and muscle power. Livestock and the transformation of preindustrial agriculture in Central Europe</i>	HU <sup>3</sup>	29	103	213
Weisz, H. et al.	2006	<i>The physical economy of the European Union: Cross-country comparison and determinants of material consumption</i>	EE	29	146	328
Giampietro, M. et al.	2009	<i>Multi-scale integrated analysis of societal and ecosystem metabolism (MuSIASEM): Theoretical concepts and basic rationale.</i>	E	26	126	261
Martinez-Alier, J. et al.	2010	<i>Social metabolism, ecological distribution conflicts, and valuation languages.</i>	EE <sup>4</sup>	25	129	339
Krausmann, F. et al.	2008	<i>Socio-ecological regime transitions in Austria and the United Kingdom</i>	EE	24	101	242

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo WOS e com o uso do Software Biblioshiny. 1) Total de Citações na WOS. 2) Google Acadêmico: Buscador de metadados da literatura científica. 3) HU: *Human Ecology*. 4) E: *Energy*.

Uma segunda constatação é a aderência da temática à economia ecológica, justificada pela utilização desse periódico (*Ecological Economics*) na maioria das publicações, corroborando com a Tabela 2. Outro mecanismo para mapeamento da produção científica é por meio das análises de coautoria, uma vez que identificam colaborações e parcerias entre segmentos de uma determinada área científica, aferindo padrões e similaridades. Em relação à pesquisa sociometabólica, a Tabela 4 elenca os 11 autores com maior quantitativo de cocitações (min=11 documentos publicados), resultando em 3 *clusters*.

**Tabela 4. Coautoria: rede de pesquisadores (1991-2020).**

Documentos	Citações	Autor	Clusters
12	556	Juan Martinez-Alier	1
21	1.904	Helmut Haberl	
16	1.505	Karl- Heinz Erb	
13	1.317	Simone Gingrich	
42	3.217	Fridolin Krausmann	2
13	1.423	Marina Fischer Kowalski	
12	564	Heinz Schandl	
15	1.491	Nina Eisenmenger	
11	340	Anke Schaffartzik	3
15	965	Dominik Wiedenhofer	
14	425	Enric Tello	
			(Sem Cluster)

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo *WOS* e com o uso do *Software* VOSviewer.

O primeiro *cluster* representa a rede de autores que abordam MSE, enfatizando a transição sociometabólica e ecologia política: iniciando com Juan Martinez-Alier, um dos percursores da EE, egresso da *Universitat de Barcelona* e; Helmut Haberl, Karl- Heinz Erb e Simone Gingrich, vinculados ao *Institute of Social Ecology* (SEC), abrigado no *Department of Economics and Social Sciences* (WiSo), em Viena (Áustria).

O segundo *cluster* é formado por pesquisadores do mesmo instituto (SEC), cuja produção está ligada à construção teórica do sociometabolismo e transição socioecológica. Vale destacar que a obra de Marina Fischer Kowalski é uma das principais referências teóricas acerca do MSE, e já presidiu a *International Society for Industrial Ecology* e *International Society for Ecological Economics*. Por fim, no terceiro *cluster*, são enfatizadas aplicações do sociometabolismo à economia circular e uso eficiente dos recursos materiais.

Uma exceção é Enric Tello, com expressivo número de citações, mas que não mostrou padrões de acoplamento junto a outros autores. O autor supracitado aborda o metabolismo social agrário, e é vinculado à *Universitat de Barcelona*, Espanha<sup>21</sup>.

Um ponto em comum a todos os autores é a afiliação europeia. Tal indicativo aponta que o centro de pesquisa sociometabólica é sediado no continente europeu. Outra constatação geral é que outros cofundadores da economia ecológica não geraram resultados significativos na pesquisa. Tal fato não chega a ser surpreendente, pois a economia ecológica é diversa (NORGAARD, 1989), gerando um indicativo que tais acadêmicos se dedicam a outros temas. Contudo, como afirma Araújo et al. (2019) e também o primeiro capítulo, o sociometabolismo é convergente com a economia ecológica, uma vez que se propõe a uma leitura biofísica dos processos econômicos e sociais. Trata-se de uma importante área que deve ser melhor explorada por economistas ecológicos.

Já o indicador de coautoria está relacionado à nacionalidade institucional dos autores, evidenciando os níveis de cooperação entre Nações. Tal mapeamento científico para o sociometabolismo é descrito na Tabela 5.

**Tabela 5. Países com maiores efetivos de publicações (1991-2020).**

<b>País</b>	<b>Total Publicações</b>	<b>Única Nacionalidade<sup>1</sup></b>	<b>Múltipla Nacionalidade<sup>2</sup></b>	<b>Razão de Múltipla Nacionalidade<sup>3</sup></b>
<b>China</b>	159	115	44	27,70%
<b>Espanha</b>	100	75	25	25%
<b>Estados Unidos</b>	95	66	29	30,50%
<b>Áustria</b>	92	56	36	39,10%
<b>Reino Unido</b>	62	36	26	41,90%
<b>Japão</b>	37	20	10	54,10%
<b>Alemanha</b>	30	17	20	33,33%
<b>Canadá</b>	23	14	9	39,10%
<b>Itália</b>	23	13	9	56,50%
<b>França</b>	19	10	9	54,50%

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo *WOS* e com o uso do *Software Biblioshiny*. <sup>1</sup> Afiliação do(s) autor(es) em um único País, segundo metadados da WOS. <sup>2</sup> Autores afiliados em diferentes países, segundo metadados da WOS. <sup>3</sup> Quociente entre múltipla nacionalidade e o total de publicações.

Os países com os maiores níveis de publicações não necessariamente são aqueles com níveis de cooperação mais altos. A China, apesar de sediar o maior número de documentos

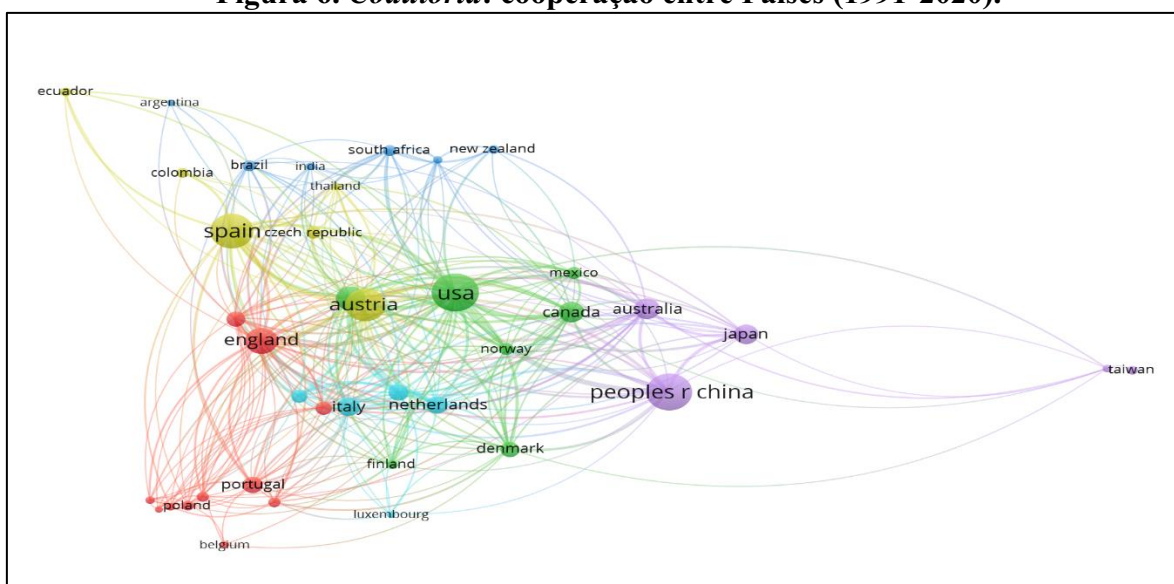
<sup>21</sup> Uma exceção é Enric Tello, com expressivo número de citações, mas que não mostrou padrões de acoplamento junto a outros autores. O autor supracitado aborda o metabolismo social agrário, e é vinculado à *Universitat de Barcelona*, Espanha.

científicos (n=159), possui uma razão de múltipla nacionalidade (27,7%) menor que os demais países, com exceção da Espanha (n=100 menções) e razão de 25%. Os melhores níveis multinacionais encontram-se: na Itália (n=23), com razão de 56,50%; França (n=19), com 50,50% e; Japão (n=37), com 54,10%.

Ainda em relação à nacionalidade dos trabalhos, é baixo o efetivo dos países latino-americanos. Brasil (n=11) e razão de múltipla nacionalidade de 45,50%; Colômbia (n=9) e razão de 55,60% e; Argentina(n=3) e razão de 66,67%, foram os únicos resultados mapeados no trabalho.

Quanto à rede de colaboração entre países esta é ilustrada na Figura 6.

**Figura 6. Coautoria: cooperação entre Países (1991-2020).**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo *WOS* e com o uso do *Software VOSviewer*.

Em relação à rede de coautoria dividida em clusters, os países em destaque (maior tipografia) apresentam os maiores efetivos. Apesar de a China despontar em resultados absolutos, a rede formada por Espanha, Áustria e EUA apresenta um número maior de elos de ligações. No caso do Brasil e alguns países da América Latina (canto superior esquerdo), é possível perceber que os mesmos possuem elos de cooperação com a Espanha, muito embora não conformem um cluster.

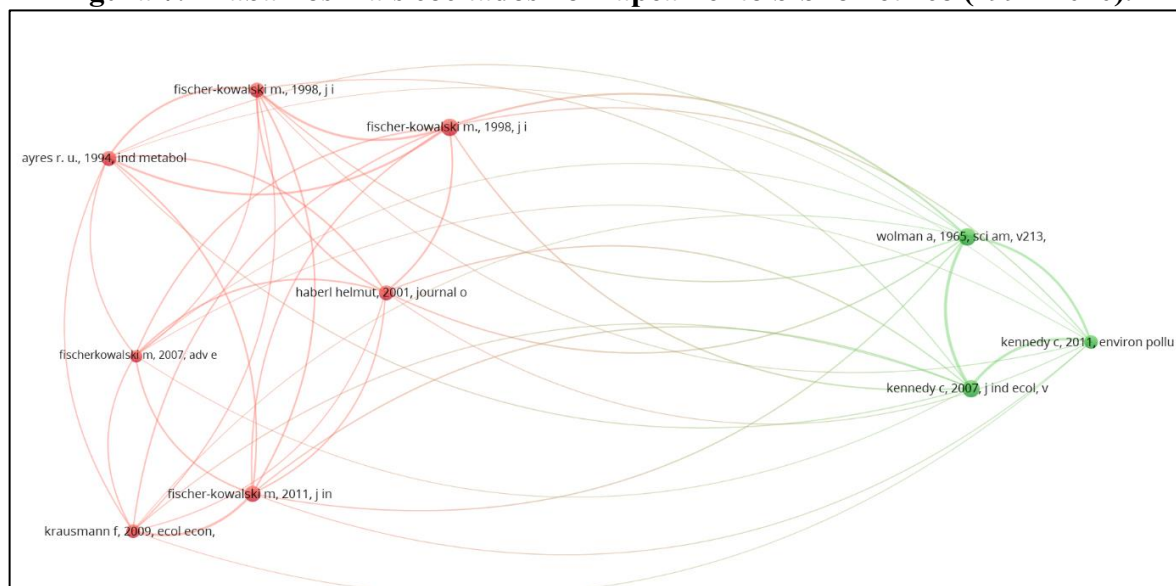
### 2.2.2 Cocitações e bibliographic coupling

A análise de cocitação busca evidenciar níveis de similaridade semântica a partir das evidências que dois ou mais trabalhos estão sendo citados em conjunto por outros documentos.

Considerando o universo da pesquisa, foram mapeadas dez referências com maior força de cocitação (min=185 menções) na Figura 7, com o aparecimento das obras seminais para as seguintes ramificações: metabolismo urbano (WOLMAN, 1965), Metabolismo industrial (AYRES; SIMONIS, 1994) e sociometabolismo (FISCHER KOWALSKI; HÜTTLER 1998).

Os dez trabalhos mais cocitados estão divididos em dois *clusters*: o sociometabolismo em vermelho e o metabolismo urbano em verde, com suas respectivas referências.

**Figura 7. Trabalhos mais cocitados no mapeamento bibliométrico (1991-2020).**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo WOS e com o uso do Software VOSviewer.

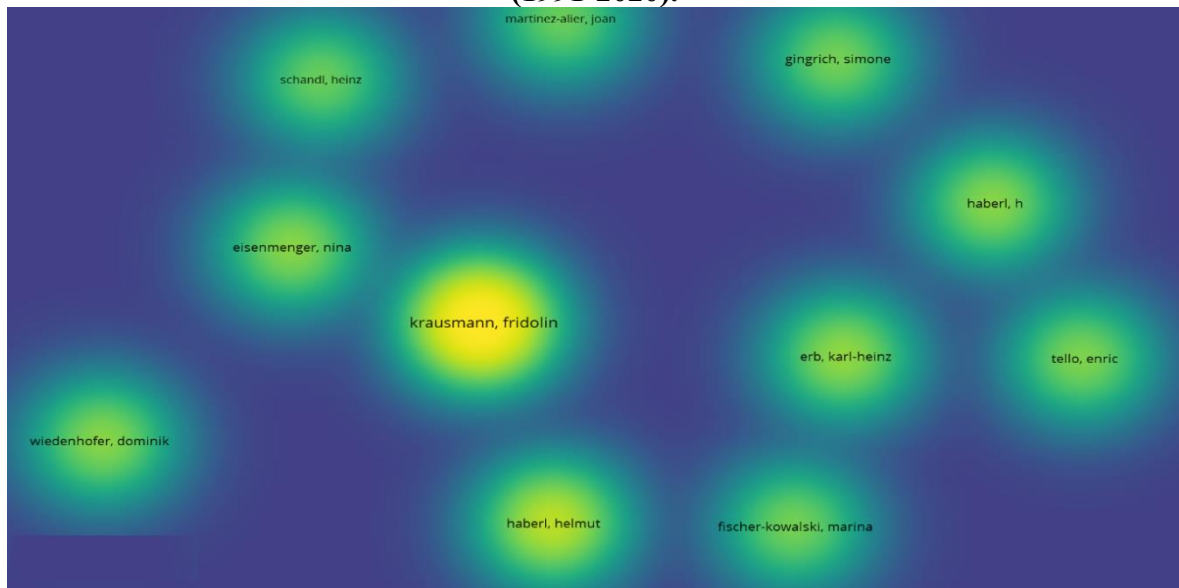
O *Bibliographic Coupling*, desenvolvido por Kessler (1963), assemelha-se à análise de cocitação, estabelecendo um grau de similaridade entre os textos. Basicamente, estima a probabilidade de duas ou mais obras (ou autores) tratarem dos mesmos assuntos, a partir das citações em comum.

Foram mapeados os onze autores<sup>22</sup> mais relevantes (min=12 documentos), cujo mapa de densidade, disposto na Figura 8, aponta com a coloração amarela forte aqueles que possuem mais de 40 ocorrências, enfraquecendo (até a coloração esverdeada) à medida que os resultados diminuem, orbitando em uma média de 15 publicações para os demais.

<sup>22</sup> Nesse caso, houve um empate de doze documentos para os 10º e 11º autores.



**Figura 8. *Bibliographic coupling*: autores mais relevantes no mapeamento bibliométrico (1991-2020).**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo *WOS* e com o uso do *Software VOSviewer*.

Já em relação aos trabalhos mais citados (*Bibliographic Coupling*), são destacados dez artigos (min=185 menções) na Tabela 6. Com exceção de dois trabalhos já referenciados, tratam-se de novas obras, com ênfase no estudo de emissões e metabolismo urbano.

**Tabela 6. Bibliographic coupling: trabalhos mais referenciados.**

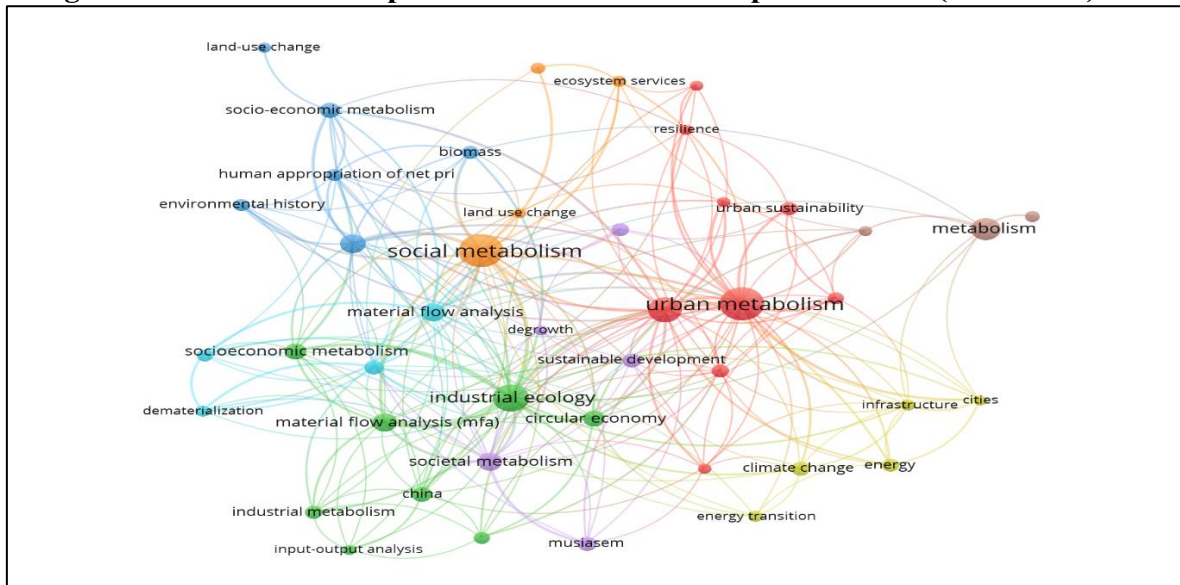
<b>Autor (es)</b>	<b>Ano</b>	<b>Nome do Artigo</b>	<b>Periódico</b>	<b>Citações mapeadas</b>	<b>Citações globais<sup>1</sup></b>	<b>Citações Google<sup>2</sup></b>
<b>Krausmann F. et al.</b>	2009	<i>Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century</i>	EE	46	523	1264
<b>Biro, P. A.; Stamps, J. A..</b>	2010	<i>Do consistent individual differences in metabolic rate promote consistent individual differences in behavior?</i>	TEE <sup>3</sup>	9	501	702
<b>Kennedy, C. et al.</b>	2009	<i>Greenhouse gas emissions from global cities</i>	EST <sup>4</sup>	14	382	686
<b>Haas, W. et al.</b>	2015	<i>How circular is the global economy? An assessment of material flows, waste production, and recycling in the European Union and the world in 2005.</i>	JIC	15	376	834
<b>Ellis, E. C.</b>	2015	<i>Ecology in an anthropogenic biosphere</i>	EMO <sup>5</sup>	0	277	555
<b>Pataki, D. E. et al.</b>	2006	<i>Urban ecosystems and the North American carbon cycle</i>	<i>Global Change Biology</i> <sup>6</sup>	0	256	484
<b>Kennedy, C., et al.</b>	2010	<i>Methodology for inventorying greenhouse gas emissions from global cities</i>	EP <sup>7</sup>	0	241	430
<b>McClintock, N.</b>	2010	<i>Why farm the city? Theorizing urban agriculture through a lens of metabolic rift.</i>	CRE <sup>8</sup>	0	213	570
<b>Krausmann F. et al.</b>	2008	<i>Global patterns of socioeconomic biomass flow in the year 2000: A comprehensive assessment of supply, consumption and constraints</i>	EE	30	204	416
<b>Huisingh, D. et al.</b>	2015	<i>Recent advances in carbon emissions reduction: policies, technologies, monitoring, assessment and modeling</i>	JCP	0	182	256

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo WOS e com o uso dos *Softwares VOSviewer e Biblioshiny*. 1) Total de Citações na WOS (parâmetro considerado pelo VOSviewer). 2) Google Acadêmico: Buscador de metadados da literatura científica. 3) *Trends in ecology & Evolution*. 4) *Environmental Science & Technology*. 5) *Ecological Monographs*. 6) *Global Change Biology*. 7) *Energy Policy*. 8) *Cambridge journal of regions, Economy and Society*.



Já o mapa de densidade da Figura 10 lista as palavras-chave mais atribuídas pelos autores em seus documentos, observando se existem padrões de associação. A partir de um mínimo de 8 ocorrências, foram mapeados 44 itens, que se dividem em 8 *clusters* (diferenciados por cores). Os termos destacados tem como núcleos: “metabolismo social” (laranja), “metabolismo urbano” (vermelho) e “ecologia industrial” (verde).

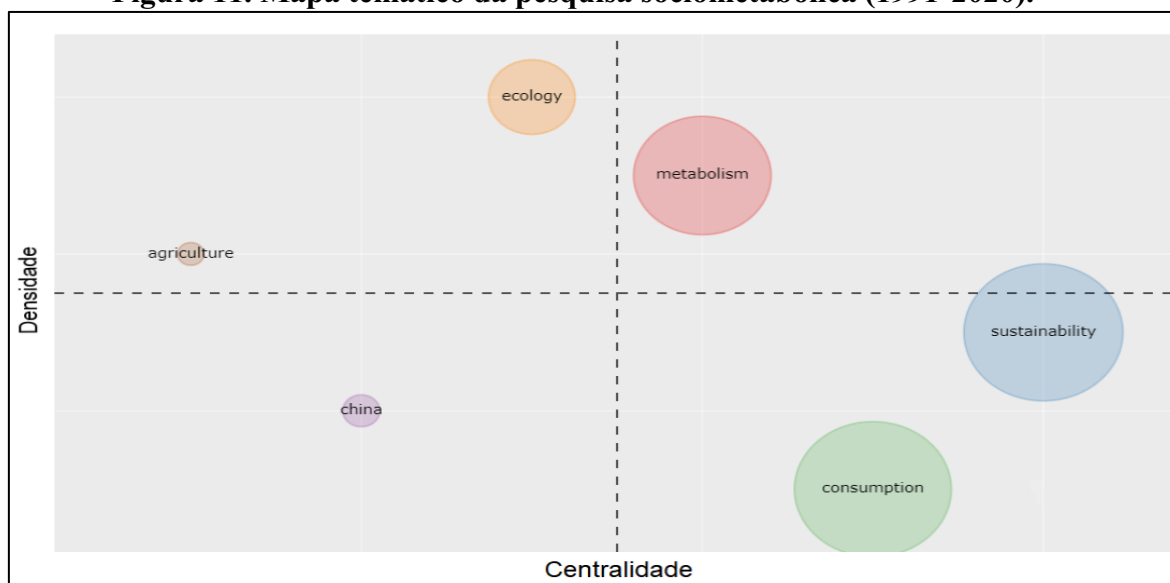
**Figura 10. Coocorrência: palavras-chave atribuídas pelos autores (1991-2020).**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo *WOS* e com o uso do *Software VOSviewer*.

O mapa temático para a pesquisa sociometabólica é ilustrado na Figura 11. Cada *cluster* é segmentado por círculos, e sua dimensão (mapeamento dos vocábulos mencionados em todos os documentos) indica sua relevância perante aos demais. O quadrante superior direito indica os motores, isto é, o tema fundamental para a condução do campo de pesquisa é o “Metabolismo”.

**Figura 11. Mapa temático da pesquisa sociometabólica (1991-2020).**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados disponibilizados pelo WOS e com o uso do *Software Biblioshiny*.

O quadrante superior esquerdo indica que tópicos ligados à “agricultura” e “ecologia” são áreas básicas e transversais, mas não menos importantes para a pesquisa. Já no quadrante inferior direito incluem-se os temas desenvolvidos e muito especializados, que podem se configurar como áreas de expansão (tornar-se motores): “sustentabilidade” e “Consumo”. Por último, o termo “China”, representado no quadrante inferior esquerdo, apresenta-se como emergente (baixas centralidade e densidade), pois, conforme o levantamento realizado, há uma expansão publicações envolvendo a China nos últimos anos.

### 2.3. Considerações finais

O sociometabolismo está intrinsicamente ligado à economia ecológica uma vez que busca interpretar, do ponto de vista biofísico, os processos econômicos e sociais, fornecendo pistas sobre a (in)sustentabilidade dos países. É desejável e importante, portanto, compreender a dinâmica e trajetória das investigações sociometabólicas enquanto ferramentas teórico-metodológicas relevantes dentro da pesquisa econômico-ecológica mais ampla. Este estudo utilizou o mapeamento bibliométrico da área, que possibilitou aferir algumas nuances acerca da pesquisa sociometabólica, enfatizando sua natureza contemporânea em função do volume significativo (e crescimento) de trabalhos publicados na última década.

A síntese dos indicadores utilizados permite afirmar que o desenvolvimento da pesquisa sociometabólica possui as seguintes características: (1) os pesquisadores europeus, principalmente vinculados à Áustria, assumem um protagonismo na produção científica do MSE, com forte influência (e coautoria) da Espanha; (2) o sociometabolismo está vinculado à interpretação das mudanças climáticas, níveis de emissões e transições socioecológicas; (3) o MSE apresenta fortes conexões com o metabolismo urbano, corroborando os resultados de Cui (2018); (4) existe uma maior aderência da temática em periódicos ligados à economia ecológica e ciências ambientais, e; (5) o mapa temático mensura a possibilidade de estudo futuros em temas que unam o sociometabolismo ao consumo doméstico de materiais, ecologia e sustentabilidade.

Entretanto, alguns gargalos também se fizeram presentes: (1) Apesar do interesse global por novos padrões de consumo material (PAULIUK; MÜLLER, 2014), a colaboração entre países não demonstrou resultados expressivos, o que é refletido na concentração da pesquisa na Europa; (2) o volume de publicações é concentrado em 8 nações, tendo a China como a grande protagonista e; (3) mesmo com a convergência entre sociometabolismo e economia ecológica, é necessária uma maior aproximação entre dois campos por meio de redes de coautorias. Uma importante interface é a emergente área de macroeconomia ecológica, conforme foi visto no primeiro capítulo. Com relação a este último ponto, é importante lembrar que a economia ecológica e sociometabolismo são áreas conceitualmente interligadas e com raízes teóricas comuns. É sintomática a ausência de economistas ecológicos tradicionais (Robert Costanza, Herman Daly, Philip Lawn, entre outros) na lista daqueles mais influentes na pesquisa sociometabólica, com exceção de Joan Martinez-Alier.

Outro ponto também chama a atenção: verificou-se um baixo efetivo de autores e, conseqüentemente, um reduzido número de instituições latino-americanas com resultados significativos. Apesar de ser uma região marcada pelo intenso intercâmbio material, a produção bibliográfica e um maior quantitativo de interconexões são lacunas a serem preenchidas. Reconhece-se, contudo, que esta pesquisa utilizou apenas termos em inglês, o que pode sugerir que investigações sobre MSE na América Latina estão majoritariamente em espanhol e/ou português.

A partir das discussões teóricas e do mapeamento nos dois primeiros capítulos desta, o próximo se dedicará a análise aplicada do sociometabolismo. Assim, o capítulo 3 investigará relações sociometabólicas na região latino-americana, também restringindo-

se as principais aplicações da análise de Fluxos Materiais (MFA). Também, serão definidas as estratégias utilizadas para a construção de uma base de dados para o Brasil.

### **CAPÍTULO 3: ANÁLISE DE FLUXOS MATERIAIS: APLICAÇÕES E ESTRATÉGIAS METODOLÓGICAS PARA A CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS BRASILEIRA**

Conforme enfatizado nos capítulos anteriores, o MSE se apoia em indicadores de fluxos de matérias e energia. Dentre as classificações existentes, apresentada no Quadro 1 do primeiro capítulo, a análise (também chamada de contabilidade) de fluxos materiais (*Material Flow Analysis* - MFA) demonstra uma maior aceitação pelos autores mais relevantes e um número expressivo de publicações em periódicos especializados, como foi destacado na análise bibliométrica realizada no segundo capítulo.

A relevância da MFA emerge da capacidade de aferir o MSE, visto que fornece bancos de dados abrangentes, inclusive consistente com as tradicionais contas nacionais. Assim, é possível construir análises que permitam um maior aproveitamento dos recursos naturais de maneira sustentável. Como dito acima, esta tese utilizará como sua metodologia principal a MFA e pretende realizar nos próximos capítulos uma investigação empírica para o caso brasileiro. Antes, porém, é preciso apresentar algumas aplicações importantes desta ferramenta metodológica para estudos econômicos-ecológicos. É o que o presente capítulo apresenta na sua primeira parte (seção 3.1). Em seguida, são apresentados os procedimentos metodológicos para a construção de uma base de dados para o Brasil, que servirá para as análises subsequentes. O capítulo se encerra com as considerações finais.

#### *3.1 MFA como ferramenta metodológica para análises econômico-ecológicas*

A análise de fluxo material tem como um dos principais fundadores Robert Ayres, que em sua definição de metabolismo industrial reivindicou o método do balanço de massa (conforme a 1ª Lei da Termodinâmica) na análise econômica em oposição às perspectivas puramente monetárias (HABERL et al., 2019).

Além da investigação e mensuração dos fluxos de matéria e energia e os resíduos resultantes, as tendências mais recentes dentro da abordagem MFA (ou MEFA, quando se considera os fluxos energéticos) compreendem a modelagem dinâmica dos estoques formados (*in-use stocks*) e os fluxos de materiais requeridos para o fornecimento de serviços físicos como transporte e abrigo. A entrada de material no sistema deve sempre igualar a saída, considerando também as mudanças de estoque material (KRAUSMANN et al., 2017; HABERL et al., 2019).



Quanto aos indicadores de fluxo de material, são definidos como medidas quantitativas que apontam, informam e descrevem as características dos fluxos e uso de recursos materiais (Quadro 4). Em síntese, descrevem o uso de materiais em uma determinada economia em toda cadeia de fluxo: desde a extração de matéria-prima até a geração de resíduos. Para Haberl et al. (2019, p. 3-4), *“studies of long-term trends in resource use as well as comparative cross-country datasets investigate the potentials for decoupling the use of materials and energy from economic growth and well-being”*.

Uma das vantagens da MFA ou MEFA é a simplificação do processo de comunicação, permitindo análises e construção de indicadores, que são construídos a partir de dados básicos (econômicos, ambientais, comerciais), que a partir da modelagem ou contabilidade são convertidos em índices (OECD, 2008).

**Quadro 4. Indicadores biofísicos advindos da análise de fluxo de materiais (MFA).**

TIPO	SIGLA <sup>1</sup>	NOME E IDENTIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO
Entradas ( <i>Input</i> )	DE	Extração doméstica	Uso socioeconômico de materiais extraídos domesticamente
	UDE	Extração doméstica não utilizada	Uso socioeconômico de materiais extraídos domesticamente e armazenados
	DMI	Entrada Direta de Material (DE+ material importado)	Materiais que entram na produção nacional e no processo produtivo
	TMR	Exigência total de Material (DMI+UDE+Material indireto <sup>2</sup> )	Total de materiais consumidos no processo produtivo (incluindo os armazenados)
Trocas comerciais	PTB	Balança comercial biofísica (Importação-Exportação) <sup>3</sup>	Balança comercial física
	RME <sub>export.</sub> e RME <sub>import.</sub>	Fluxo comercial de matérias-primas (fluxos de comércio direto +uso de material)	Incorporação de matéria-prima (exportada ou importada)
Saídas ( <i>Outputs</i> )	DPO	Processo de saída doméstica	Materiais liberados para o ambiente doméstico sob a forma de resíduos, emissões ou produção intencional (Fertilizantes, refugos industriais, etc.)
Consumo	DMC	Consumo doméstico de materiais (DE+PTB)	Materiais utilizados na economia nacional (denota o consumo aparente, não o final) <sup>4</sup>
	MF ou RMC	“Pegada” material <sup>5</sup> , ou “ <i>Raw Material Consumption</i> ”	Total de material utilizado no consumo doméstico <sup>5</sup>
Estoque	NAS	Adições líquidas de estoque	Crescimento anual de estoques
	MS	Estoque de material	Estoque acumulado, na forma material
Produto	Y	Produtividade material ou produtividade de recursos (Ex.: PIB <sup>6</sup> /DMC)	Valor adicionado produzido por unidade de consumo de material doméstico
	MI	Intensidade de Material (DMC/PIB)	Material utilizado por unidade de PIB

Fonte: Krausmann et al. (2017). 1) As siglas refletem a nomenclatura em inglês. 2) Refere-se aos materiais que são movidos ou extraídos da ecosfera terrestre sem a intenção de serem utilizados. 3) Na balança comercial física, se as exportações são maiores que importações significa que o país é um fornecedor líquido de recursos. 4) Uma vez que não contabiliza os fluxos ocultos, isto é, os materiais extraídos ou absorvidos que não são contabilizados na esfera econômica. 5) Diferente do DMC, que considera a quantidade aparente de materiais em uma economia, a pegada material implica na quantidade ótima (ou virtual) necessária para atender toda a demanda final. 6) Produto Interno Bruto.

Os indicadores de fluxo metabólico partem da extração doméstica de materiais (biomassa, minerais metálicos, não metálicos e combustíveis fósseis), sendo também

considerados aqueles itens importados e exportados, bem como os níveis de consumo utilizados e a formação de estoques<sup>23</sup>.

No tocante a aplicação e tais indicadores, as abordagens sociometabólicas seguem dois ritos distintos, embora complementares. O primeiro consiste na descrição dos fluxos de materiais para países, regiões ou municípios em um determinado período, apoiando-se em indicadores, descrevendo e/ou comparando-os entre si, conforme o subitem a seguir. Já o segundo (subitem 3.1.2) é mais complexo, visto que também parte dos mesmos indicadores sociometabólicos, mas busca se apoiar em alguma análise teórica, pressuposto metodológico ou evidência histórica.

### *3.1.1 MFA em análises de metabolismo global e na América Latina*

A construção de análises padrões sociometabólicos mundiais e regionais se apoiam na MFA e seus respectivos indicadores. A *Material flows database* indica que a expansão material mundial vem crescendo de forma considerável: entre 1970-2019, houve um acréscimo de 218% no volume total de materiais extraídos. Os dados desagregados indicam que para os cinquenta anos analisados, houve expansão na extração de minerais metálicos (306%), combustíveis fósseis (266%), minerais não metálicos (158%) e biomassa (105%). Ainda, se observa uma modificação nos padrões mundiais de extração: enquanto em 1970 a biomassa era o grupo material mais significativo (41% do total extraído), em 2019 os minerais não metálicos representaram o maior quantitativo (47% de toda extração mundial).

Em relação aos trabalhos que analisaram os regimes sociometabólicos mundiais, Krausmann et al. (2017) mensura o tamanho da expansão material ao longo dos últimos séculos: em 1850, foram extraídas 3,7 gigatoneladas/ano, 14 gigatoneladas/ano em 1950 e 70 gigatoneladas/ano em 2010. O fluxo metabólico desse quantitativo de materiais tem forte influência da China e demais países industrializados<sup>24</sup>. Segundo os mesmos autores, o efetivo de DMC consumido por essas economias (33,5 toneladas *per capita*/ano em 2010) supera todos os demais países do mundo em conjunto (33,2 toneladas *per capita*/ano em 2010).

---

<sup>23</sup> Esta tese não utilizará todos os indicadores apresentados no Quadro 4. Os indicadores mais relevantes para a análise aqui proposta serão detalhados adiante.

<sup>24</sup> Europa, América do Norte, Austrália, Nova Zelândia, Japão e Coreia do Sul.

Dittrich et al. (2012) analisa os padrões sociometabólicos das atividades comerciais de 173 economias, enfatizando os fluxos globais diretos e indiretos. É destacável, segundo os autores, a transferência da carga ambiental de economias desenvolvidas e industrializadas para economias menos diversificadas.

Já Mayer e Haas (2016) partem do pressuposto que a intensidade material vai ultrapassar os limites do ecossistema terrestre a partir de uma análise biofísica (apoiando-se nos indicadores de MFA), comprovam que a demanda por combustíveis fósseis vem crescendo nos países industrializados. Entre 1950 e 20010 houve um aumento nas relações sociometabólicas desiguais, uma vez que os países ricos passam a importar maiores volumes de recursos, o que implica em uma maior pressão ambiental. Outra constatação é o aumento dos padrões de consumo na região latino-americana a partir da década de 1990.

Outros trabalhos abordam o sociometabolismo latino-americano e do Caribe. Retomando aos dados da *Material flows database*, entre 1970 e 2019, a extração doméstica dessa região cresceu 283%, enquanto o consumo doméstico de materiais foi ampliado em 299%. A leitura desagregada dos dados indica uma predominância na extração doméstica de biomassa, cujo crescimento no período em destaque foi de 204%, seguido dos minerais não metálicos (601% de crescimento), combustíveis fósseis (124% de crescimento) e minerais metálicos (924% de crescimento).

West e Schandl (2013) também refletem sobre os padrões sociometabólicos da região latino-americana e caribenha, e utilizando os dados de MFA para 1970-2008, e identificam um rápido crescimento no consumo de matérias primas, que não é convertida em desenvolvimento. A partir da década de 1990, a intensidade do consumo material foi mais efetiva na região (assim como a taxa demográfica e os níveis de renda na maioria dos países), o que não diminuiu as desigualdades internas. Isso é perceptível na ampliação das atividades informais, ressaltada pelos autores.

Enfatizando a América do Sul como exportadora de bens primários para o resto do mundo, Eisenmenger et al. (2007) descrevem os padrões sociometabólicos de três economias da região. Os dados levantados indicam que tanto a extração doméstica, quanto o consumo doméstico de materiais cresceram entre 1980 e 2000, mas a ênfase tem sido nas exportações, não priorizando a demanda interna, fato comprovado nos níveis de energia internamente consumidos.

Além dos trabalhos anteriormente descritos, outros estudos buscam analisar os padrões sociometabólicos a partir de investigações teóricas, como abordado no tópico seguinte.

### 3.1.2 MFA, intercâmbio ecológico desigual e neoextrativismo

Duas importantes contribuições teóricas que utilizam a MFA para o caso latino americano (e, portanto, brasileiro) podem ser destacadas: o intercâmbio ecológico desigual e a análise neoextrativista.

O intercâmbio ecológico desigual (*unequal ecological exchange*) é característica e frequente dentro ecologia política<sup>25</sup>, campo teórico interdisciplinar adolecido na década de 1980, com ênfase no acesso, espólio, uso e usufruto dos territórios e seus respectivos recursos existentes (CARLO, 2013; WARLENIUS, 2016).

Os enormes intercâmbios de materiais e energia, ampliados com o crescimento populacional e o processo de intensificação tecnológica, passaram a ser exercidos entre países, ampliando as disparidades econômicas e ecológicas (sobretudo com a geração de emissões e resíduos). Consequentemente, a análise da ecologia política é compreendida pela economia ecológica, dado o caráter desigual gerado nas relações de poder entre as sociedades no ciclo de produção-distribuição-consumo.

*There is a common ground between social history, economic history and environmental history, between ecological economics and political ecology, between sustainability science and environmental sociology. It lies in the three-tier relation between the increasing social metabolism of human economies pushed by population and economic growth, the resulting ecological distribution conflicts among human groups, and then the different languages of valuation deployed historically and currently by such groups when they reaffirm their rights to use the environmental services and products in dispute. (MARTINEZ-ALIER et al., 2013. p. 62)*

Nesse escopo, ganharam notoriedade estudos que relatam as modificações nos fluxos e estoques naturais, fruto de iniciativas privadas e governamentais, com impactos em grupos sociais geralmente mais vulneráveis. Isto é o que se pode chamar de intercâmbio ecológico desigual.

Assim, as pesquisas passaram a contemplar o metabolismo socioeconômico a partir das relações comerciais de trocas entre países ricos e pobres, atribuindo

---

<sup>25</sup> A primeira menção ao termo é atribuída a Wolf (1972).

características de ofertantes ou demandantes de matérias-primas e energia, gerando externalização dos custos ambientais negativos e/ou empobrecimento ecológico-social (MONTIBELLER F. ,2004; RICE, 2007; HAQ et al., 2011; HERMELE, 2010; BELLONI; PEINADO, 2013; DORNINGER; HORNBORG, 2015; PEINADO et al.,2020).

Peinado (2015; 2019) segmenta duas correntes de pensamento que contemplam a teoria do intercâmbio ecológico desigual: a economia política biofísica, que quantifica os fluxos metabólicos em torno do comércio internacional utilizando a linguagem básica da biologia e física e; a corrente “troiana”, pois utiliza a linguagem econômica neoclássica (moeda e sistema de preços) para realizar a crítica a esse sistema, defendendo que os custos ambientais recebidos pelos países em desvantagem não são incorporados aos níveis de preço.

Um fato curioso é que a análise de fluxos materiais transcende as duas segmentações, dado que utiliza os conceitos da economia política biofísica, como em Fischer–Kowalski e Amann (2001) e também possui formulação teórica e aplicada na corrente “troiana”, caso do já destacado indicador de intensidade material.

O segmento “troiano” é dividido em duas abordagens. Uma delas explica o intercâmbio ecológico desigual a partir do *link* da tese cepalina da deterioração dos termos de troca, desenvolvida por Raul Prebisch<sup>26</sup>, e suas implicações econômico-ecológicas. Perez Rincón (2006) realiza um estudo específico, partindo de tais pressupostos, demonstrando que:

*[...] which many Southern countries provide the material and energy requirements for Northern countries to develop their socioeconomic metabolism. This trade is ecologically and economically unequal, as apart from not recognising environmental costs and natural heritage exhaustion, monetary terms of trade are unfavourable for the Southern exporting countries* (PEREZ RINCÓN, 2006, p. 521).

Perez Rincón (2006) utiliza indicadores de MSE para captar as movimentações físicas entre economia e meio ambiente, utilizando os dados da Colômbia entre os anos

---

<sup>26</sup> O autor supracitado parte do pressuposto que o intercâmbio comercial entre países ditos periféricos e centrais apresenta uma relação desigual. Como fornecedora de produtos primários e demandante de bens manufaturados, os efeitos negativos eram mais expressivos no rendimento do comércio internacional de economias de industrialização tardia, caso da América Latina. Isso era explicado pela baixa elasticidade-renda dos produtos primários, aliado ao grande potencial de substitutibilidade de alguns desses produtos. A consequência era a deterioração dos termos de intercâmbio para manutenção do equilíbrio entre nações centrais e periféricas, com desvantagens para essas últimas (PREBISCH, 2000; MARÇAL, 2006; CARNEIRO, 2012; BLACK,2018).

de 1970 a 2002. A conclusão é que a Tese de Prebisch é corroborada em tal período, com trocas ecológicas desiguais ao se observar os fluxos de materiais e os tipos de produtos comercializados entre a Colômbia e o resto do mundo, em particular os países do norte. Em suas palavras, “*Colombia exports natural resource-intensive goods with a low monetary value per ton and, in parallel, imports capital intensive goods with a higher value*” (PEREZ RINCÓN, 2006, p. 525).

Já outra abordagem histórica utiliza como arcabouço básico a clássica obra, “*As Veias Abertas da América Latina*”<sup>27</sup>, de Eduardo Galeano (1999). Infante-Amate et al. (2020) partem dos pressupostos teóricos de Galeano e utilizam os indicadores de fluxo de material para traçar as relações biofísicas comerciais de 16 países latino-americanos entre 1900 a 2016, concluindo que a relação é deficitária (portanto, desigual) para tais entes, exportadores líquidos de produtos primários com menor valor agregado e importadores de bens manufaturados.

Indicadores de fluxo material são comumente utilizados para justificar a existência de intercâmbios ecologicamente desiguais. O Quadro 5 apresenta alguns estudos que exploram a temática para países da América Latina, bem como os respectivos resultados. Ressalta-se o caráter deficitário – fornecedores de recursos – dos países analisados. Infere-se que, ao longo de vários séculos, o estoque natural dessa região contribuiu com o enriquecimento de outras economias, e que, apesar das mudanças nos padrões de consumo/apropriação capitalista, a região continua sendo estratégica para os países do Norte, dado seu caráter de ofertante de bens primários, ampliando assim as trocas econômicas e ecológicas desiguais.

---

<sup>27</sup> Embora não faça referência explícita ao MSE e não utilize indicadores materiais, o próprio texto menciona as relações biofísicas entre nações: “[...]a América Latina continua exportando seu desemprego e sua miséria: as matérias-primas que o mercado mundial necessita, e de cuja venda depende a economia da região, e certos produtos industriais elaborados, com mão de obra barata, por filiais das corporações internacionais. O intercâmbio desigual funciona como sempre: os salários de fome da América Latina contribuem para financiar os altos salários dos Estados Unidos e da Europa”. (GALEANO, 1999, p. 197)

**Quadro 5. Intercâmbio ecológico desigual: Evidências com uso de Indicadores da MFA.**

AUTOR(ES)	CORTE TRANSVERSAL	PERÍODO	RESULTADOS
Perez Rincón (2006)	Colômbia	1970-2002	A balança comercial física indica um débito ecológico de 33 milhões de toneladas, em especial os países do Norte.
Dorninger (2014)	Argentina, Bolívia e Brasil	1962-2011	Os três países são exportadores líquidos, com variações durante ajustes macroeconômicos e estruturais.
Martinez-Alier et al. (2016) <sup>1</sup>	América do Sul e Índia	1970-2013	América do Sul e Índia têm lidado com conflitos ambientais e injustiça social, ocasionado pelo aumento nos seus metabolismos sociais. Na América do Sul, é mais evidente a existência de trocas ecológicas desiguais.
Samaniego, Vallejo; Martínez-Alier (2017)	Argentina, Brasil, Colômbia, Equador e Peru,	1990-2013	Ao longo de mais de duas décadas ocorre um aumento nas exportações e importações. O aumento nos preços dos bens exportados representou um <i>boom</i> , seguido de queda, implicado em termos de troca mais desiguais.
Venes; Galárraga (2018)	China, Colômbia e Peru	2000-2014	As relações comerciais entre China <i>versus</i> Colômbia e Peru contemplam a existência de um padrão primário exportador, focado no intercâmbio ecológico desigual.
Perez Rincón et al. (2018)	Países Andinos	1970-2013	O processo de reprimarização nessas economias resultou em um aumento dos perfis metabólicos, ampliando os conflitos de distribuição ecológica.
Crespo-Marín; Perez Rincón (2019)	Países Andinos e Sul-americanos	1970-2013	Ocorre desacoplamento nas regiões analisadas, com mudanças no padrão metabólico desses países.
Infante-Amate; Krausmann (2019)	França e ex-colônias	1962-2015	O legado colonial exerce uma forte influência nas trocas econômicas desiguais. Analisando o caso francês, observa uma mudança na tendência de exploração ao longo de cinco décadas.

Fonte: Resultados da pesquisa. 1) Quando analisou os conflitos socioambientais.

Outra corrente de pensamento que também tem ligações com sociometabolismo é o fenômeno neoextrativista. O modelo neoextrativista é conceituado como um mecanismo de desenvolvimento focado nos recursos naturais, mesclando velhos (extração de bens primários) e novos atributos (políticas de distribuição de renda). Com ênfase no crescimento econômico, é focado em matérias-primas, com uma participação efetiva do estado, que se apropria de parte de ganhos em troca de uma inserção internacional subordinada (PINAR, 2020; SVAMPA, 2019; GUDYNAS, 2012, 2013).

Um dos principais fatores que justificam esse aprofundamento no processo de intercâmbio de matérias-primas é o chamado “ciclo das *commodities*”, mais explícito em países da América Latina. No final da década de 1990, o aumento da demanda internacional por bens agropecuários, petrolíferos e mineiros gerou modificações nas



pautas exportadoras de algumas nações ou ampliaram aqueles produtos primários já comumente intercambiáveis.

Para Svampa (2013; 2019) esse fenômeno é caracterizado como o “consenso das *commodities*”, isto é, a ruptura de alguns aspectos do consenso de *Washington*, que orientou a política econômica com viés liberal nos países subdesenvolvidos, para um modelo focado na exportação de bens primários em grande escala e expansão do consumo.

Em paralelo, a ascensão de governos progressistas na América Latina durante os primeiros anos do século XXI encontrou respaldo nesse modelo de exploração, uma vez que a rentabilidade do modelo propiciou a implementação de políticas desenvolvimentistas.

*[...] el Consenso de los commodities aparece asociado a la acción del Estado, así como a una batería de políticas económicas y sociales dirigidas a los sectores más vulnerables, cuya base fue la renta extraordinaria asociada al modelo extractivo-exportador. En el nuevo contexto, se recuperaron ciertas herramientas y capacidades institucionales del Estado, el cual volvió a erigirse en un actor regulador y, en ciertos casos, en un agente de redistribución (SVAMPA, 2013, p. 26).*

Os resultados foram ganhos financeiros para os países, e o neoextrativismo passou a ganhar força na agenda progressista, sob a justificativa que os avanços no consumo interno e na política de redistribuição de renda compensavam os gargalos gerados. Uma das consequências desse modelo político e econômico ampliado no ciclo progressista são os conflitos ambientais e territoriais, bem como a dívida ecológica não contabilizada nos balanços empresariais e governamentais.

*[...] grande parte das maiores e mais graves patologias do extrativismo tradicional é mantida no neoextrativismo. E fica claro que, se fossem contabilizados seus custos econômicos dos impactos sociais, ambientais e produtivos, boa parte de seus benefícios econômicos desapareceria. Infelizmente, essa conta não é feita pelos diversos governos progressistas latino-americanos, que parecem confiar cegamente nos benefícios das atividades primário-exportadoras (DILGER et al., 2016, p. 70).*

A problemática foi ampliada no modelo neoextrativista, mais intensivo na exploração, quando comparado aos modelos anteriores de extravio das reservas naturais, que se baseavam na mão de obra humana e bens tecnológicos limitados. No contexto contemporâneo, grandes mineradoras a céu aberto, quilômetros de plantações e extensos campos petrolíferos demandam um grande quantitativo de energia, água e recursos

materiais. Há que se destacar também que atualmente existem mecanismos de financiamento mais sofisticados com o potencial de deslocar grandes massas de recursos financeiros para estas atividades, o que aumenta o poder de destruição ambiental deste modelo.

Levando em consideração as particularidades do modelo neoextrativista, os indicadores MFA são adequados para expressar empiricamente qual a dimensão desse fenômeno em economias globalizadas.

Marcondes (2021), por exemplo, quantifica o neoextrativismo brasileiro através de indicadores da MFA, enfatizando a reprimarização da pauta exportadora biofísica brasileira (com ênfase em minérios metálicos e produtos oriundos da biomassa) a partir de 1997. O autor conclui que regionalmente, o Brasil envia uma quantidade superior de matéria e energia, comparada ao que importa, e que esse processo não é ecologicamente eficiente.

Alonso-Fernandez e Ferreira (2021) analisam a fase neoextrativista da Argentina (1990-2017), cujos dados da MFA indicam crescimento na dependência externa na fase neoextrativista, onde foram ampliadas as exportações de minerais metálicos. Já no setor importador, a dependência está segmentada entre combustíveis fósseis e biomassa.

Por último, Mora et al. (2021) descrevem os padrões de acumulação e consumo para a economia argentina entre 1961-2013, utilizando os conceitos da economia política e economia ecológica (dados de MFA). O papel de exportador primário da Argentina demonstra ser ecologicamente desigual, e vem ampliando a pressão ambiental, sobretudo nas últimas décadas, quando do aumento dos preços internacionais das *commodities*.

### *3.2. Análise biofísica brasileira: evidências disponíveis e construção metodológica a partir da MFA*

Além das abordagens do intercâmbio ecológico desigual e o fenômeno neoextrativista, outros trabalhos evidenciam o perfil biofísico brasileiro, utilizando dados da MFA. Com os aperfeiçoamentos dos arcabouços teórico e metodológico do MSE, tornou-se possível a elaboração de mais estudos ao longo do último decênio, sobretudo pela relevância sociometabólica de uma nação como o Brasil, com dimensões continentais e um ecossistema diversificado (Quadro 6).

**Quadro 6. Metabolismo Socioeconômico e MFA: Evidências para o Brasil.**

AUTORES	CORTE TRANSVERSAL	PERÍODO DE ANÁLISE	INDICADORES	RESULTADOS
Costa Machado e Mathis (2004)	Brasil	1975-1995	DE, DMI e DMC	Os resultados comprovam um acréscimo de 120,37% nos níveis de extração doméstica (DE), 118,03% em DMI e 118% em DMC entre 1975-1995.
Eisenmenger et al. (2007)	Brasil, Chile e Venezuela	1980-2000	ED, DMC e Balanço de energia	No âmbito da ED e DMC, o Brasil se destaca na extração e consumo de biomassa e minerais metálicos em 1995.
Mayer (2010)	Brasil	1970-2005	DMC	As médias para o período analisado indicam um crescimento no consumo de materiais <i>per capita</i> (3,5 t para 13,4t), com crescimento nos níveis de biomassa, e uma parcela baixa de combustíveis fósseis.
Dittrich et al. (2012)	173 países	1962-2005	PTB	A partir dos cálculos de indicadores de fluxo de materiais (balança comercial), demonstra que o Brasil se caracteriza pelo crescimento nas exportações de recursos extraídos.
Fischer-Kowalski et al. (2012)	China, Brasil, EUA, Índia, EU-15, Japão <sup>1</sup>	1970-2004	DMC	Ampliação no consumo de materiais, com destaque para biomassa e minerais não metálicos.
West e Schandl (2013)	América Latina e Caribe	1970-2005	DMC	Os níveis de DMC ampliaram no período analisado, justificados pela modernização e urbanização brasileira, com destaque no consumo de biomassa, com acréscimo de 70%. Os níveis de minerais não metálicos (de construção) também apresentam trajetória ascendente.
Steinberger et al. (2013)	39 países	1970-2005	DMC	O incremento no DMC per capita brasileiro aumentou 100% no período supracitado.
De Molina e Toledo (2014)	Brasil <sup>1</sup>	1980-2008	DMC	Consumo per capita brasileiro ampliou em 50% para o período analisado.
Soares (2015)	Brasil	1970-2013	DMC e DE	Crescimento no consumo, extração doméstica e exportação de materiais para o período analisado. Destaque para biomassa (soja e cana-de-açúcar) e minerais não metálicos (relacionados à construção).
Mayer e Haas (2016)	11 regiões do mundo	1950-2010	DE, PTB	A DE acumulada para a série histórica acumulou 105-150 ton./hectares para o Brasil. Já o fluxo na balança comercial foi deficitário, com escala (-20) a (-5) ton./hectare para o período supracitado.
Dorninger e Eisenmenger (2016)	Argentina, Bolívia e Brasil	1962-2011	PTB e MI	Partindo da abordagem analítica do intercâmbio ecológico desigual, os autores concluem que os países vêm ampliando o caráter de exportadores líquidos de matérias-primas para países centrais.
Flores (2017)	BRICS	1980-2011	DE	Ao testar a curva de <i>Kuznets</i> ambiental, utilizando DE como variável dependente, verifica que 57% do total extraído depende das variações da diferença no PIB per capita e grau de abertura comercial.

Krausmann et al. (2017)	Brasil, Reino Unido, China e África do Sul <sup>1</sup>	1990-2010	DMC, RMC	O Brasil se configura como um grande exportador de matéria-prima, porém consome materiais domésticos e importados em quantidades significativas (pegada material), gerando uma trajetória semelhante nas duas análises.
Andrade et al. (2018) <sup>2</sup>	Brasil	1970-2008	DE e DMC	Evolução no consumo doméstico de materiais por meio do aumento da taxa metabólica da economia brasileira (crescimento vertical da escala econômico-ecológica).
Marcondes (2021)	Brasil (Regiões geográficas)	1997-2019	DE, IME e PTB	Utilizando a base conceitual do neoextrativismo, o autor destaca a contribuição do ciclo das commodities para a economia brasileira no período recente, em que o Brasil se configura como grande exportador de minério de produtos advindos da biomassa. Complementarmente, destaca o perfil perverso da balança comercial biofísica brasileira, que amplia os conflitos socioambientais

Fonte: Resultados da pesquisa. 1) Utiliza outros recortes ao longo do trabalho. 2) Utiliza o metabolismo industrial.

Como disposto acima, a análise biofísica brasileira apresenta algumas similaridades entre os trabalhos analisados. No que se refere aos resultados, os trabalhos destacam o perfil extrativo doméstico da economia brasileira, que configura o caráter exportador de biomassa e minério de ferro. Vale destacar a pujança mundial do Brasil nesses quesitos comerciais, que culminam na análise comparativa com outras nações.

Outras constatações versam nas mudanças do perfil sociometabólico brasileiro, sobretudo a partir da década de 1970. Enquanto se ampliaram os níveis de extração doméstica, também se observa um crescimento no consumo doméstico de materiais (parte do que extraído, em conjunto com as importações biofísicas). Assim, aumenta-se a pressão ambiental, tanto no financiamento do desenvolvimento via exportações biofísicas, quanto no maior consumo doméstico.

No tocante à metodologia empregada, a quase totalidade dos trabalhos selecionados no Quadro 6<sup>28</sup> apresenta indicadores agregados, utilizando com referências principais a já mencionada *Global Material Flows Database*, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) e Gabinete de Estatísticas da União Europeia (EUROSTAT). Embora relevantes, tais fontes de informações não discriminam individualmente os produtos que compõem cada grupo de materiais, e/ou recorrem a estimativas, o que acaba dificultando uma análise mais aprofundada.

Outra deficiência é o recorte dos dados, que no momento de elaboração desse trabalho encontrava-se até o ano de 2015, com dados estimados para 2016-2017. Assim, a busca por uma descrição mais contemporânea e completa dos padrões sociometabólicos sugere a necessidade de uma base de dados que utilize as pesquisas nacionais atualizadas.

Uma última lacuna diz respeito à padronização dos indicadores e grupos de produtos dispostos nas bases de dados comumente utilizadas, que enfatizam o continente europeu. Considerando a biodiversidade brasileira, materiais exclusivos de biomassa não são mencionados em manuais específicos de MFA, instigando também a adaptação da metodologia para os critérios locais.

Com objetivo de solucionar estes três gargalos existentes, tornou-se necessário construir uma base de dados específica para analisar o fluxo metabólico brasileiro. Para tanto, partiu-se dos arcabouços metodológicos formulado pelo Eurostat (2001;2018), que

---

<sup>28</sup> Com exceção de Mayer (2010), Soares (2015) e Marcondes (2021), que investigaram o sociometabolismo brasileiro com uma base de dados primária

estabelece as diretrizes metodológicas para sua construção e são comumente utilizados por pesquisadores do tema.

Todavia, as limitações informacionais não permitem o desenvolvimento de todos os indicadores dispostos no Quadro 4 (Indicadores biofísicos advindos da análise de fluxo de materiais). Após critérios seletivos<sup>29</sup>, foram considerados quatro tipos de análises e seis indicadores para a análise que se inicia em 1970 e vai até 2019, dispostos no Quadro 7.

**Quadro 7. Indicadores biofísicos selecionados para a análise.**

TIPO	SIGLA <sup>1</sup>	NOME E IDENTIFICAÇÃO
Entradas ( <i>Input</i> )	DE	Extração doméstica
	DMI	Entrada Direta de Material (DE+ Importação)
Trocas comerciais	PTB	Balança comercial biofísica (Importação- Exportação)
Consumo	DMC	Consumo doméstico de materiais (DE+PTB)
	TM	Taxa metabólica (DMC/POP)
Produto	MI	Intensidade de material (DMC/PIB)

Fonte: Weisz et al. (2007) e EUROSTAT (2001; 2018). 1) As siglas refletem a nomenclatura em inglês.

O indicador de entrada DE segmenta todos os insumos do ambiente natural utilizados na economia, ou seja, as matérias-primas (excetuando água e ar) que foram extraídas do ambiente natural na região geográfica selecionada. Vale destacar que nem todos os materiais extraídos são contabilizados na economia, assim como nem todos os materiais extraídos possuem a intenção de serem utilizados<sup>30</sup>. Assim, serão considerados os fluxos de materiais utilizados, ou seja, que adquirem o *status* de produto.

Outro indicador de entrada, o DMI, mensura as entradas diretas para uso na economia originários da produção, ou importados do resto do mundo. Isso implica em todos os materiais que são de valor econômico (excluindo os fluxos de água e ar) disponíveis no sistema de produção nacional, que serão utilizados na produção e no consumo.

As trocas comerciais são quantificadas na balança comercial biofísica (importações – exportações)<sup>31</sup>, que é inverso da balança comercial monetária (exportações-importações). Segundo Weisz et al. (2007), o *superávit* comercial biofísico implica em uma importação líquida de materiais (Nação receptora de recursos, por exemplo), enquanto o *déficit* indica uma exportação líquida (Nação fornecedora de recursos).

<sup>29</sup> Considerando a confiabilidade e disponibilidade das fontes de dados para série histórica pretendida.

<sup>30</sup> Segundo a Weisz et al. (2007), tratam-se dos fluxos ocultos, os materiais extraídos do meio ambiente sem intenção de uso, como os solos e rochas escavados durante a atividade mineradora, as partes não utilizadas no processo de silvicultura (como as cascas de árvores), ou partes não utilizadas na colheita de palha na agricultura.

<sup>31</sup> Excluindo os fluxos ocultos.

Quanto aos indicadores de consumo doméstico, o DMC mensura o total de material utilizados diretamente na economia, isto é, soma a extração doméstica e importações físicas, subtraindo as exportações físicas (excluindo a extração doméstica não utilizada e os fluxos ocultos originários do processo de exportação e importação, isto é, os bens intermediários semi-processados e finais). Vale destacar que o DMC denota o consumo aparente, não o final, e representa todos os materiais que foram trazidos para o sistema econômico e lá permanecem, até a liberação para o meio ambiente. Pode-se afirmar que o indicador representa o equivalente a um “PIB físico” (EUROSTAT, 2007; WEISZ et al., 2007)

Ainda no quadro 7, é importante salientar que os indicadores selecionados serão trabalhados na tese. Tais fluxos estarão segmentados em quatro categorias de materiais: biomassa, combustíveis fósseis, minerais metálicos e minerais não metálicos.

Para o primeiro indicador, DE, as informações sistematizadas dos grupos de materiais estão dispostas no Quadro 8.

**Quadro 8. Itens selecionados (Extração Doméstica).**

<b>MF. 1 BIOMASSA</b>	
<b>MF. 1.1. Colheitas Primárias</b>	
	MF. 1.1.1. Cereais
	MF. 1.1.2. Raízes, Tubérculos
	MF. 1.1.3. Cana de Açúcar
	MF. 1.1.4. Grãos
	MF. 1.1.5. Nozes
	MF. 1.1.6. Culturas oleaginosas
	MF. 1.1.7. Vegetais
	MF. 1.1.8. Frutas
	MF. 1.1.9. Fibras
	MF. 1.1.10. Outras Culturas (Temperos. Culturas estimulantes, tabaco, borracha e outras safras brasileiras)
<b>MF. 1.2. Resíduos de colheita (utilizados)<sup>1</sup></b>	
	MF. 1.2.1. Palha
	MF. 1.2.2. Outros Resíduos de Colheita (açúcar e folhas de beterraba forrageira, outras)
<b>MF. 1.3. Culturas forrageiras (incluindo colheita de pastagem) <sup>2</sup></b>	
	MF. 1.3.1. Culturas forrageiras
	MF. 1.3.2. Biomassa colhida de pastagens
<b>MF. 1.4. Madeira<sup>3</sup></b>	
	MF. 1.4.1. Madeira (madeira redonda industrial)
	MF. 1.4.2. Combustível de madeira e outras extrações
<b>MF. 1.5. Captura de peixes, crustáceos, moluscos e invertebrados aquáticos</b>	
<b>MF. 2. MINÉRIOS DE METAL (MINÉRIOS BRUTOS)</b>	
<b>MF. 2.1. Minério de Ferro</b>	
<b>MF. 2.2. Minérios de metais não ferrosos</b>	
	MF.2.2.1. Minérios de cobre
	MF.2.2.2. Minérios de níquel
	MF.2.2.3. Minérios de chumbo
	MF.2.2.4. Minérios de zinco
	MF.2.2.5. Minérios de estanho
	MF.2.2.6. Ouro, prata, platina e outros minérios de metais preciosos
	MF.2.2.7. Outros minérios de alumínio
<b>MF. 3. MINERAIS NÃO METÁLICOS</b>	
<b>MF. 3.1. Pedra ornamental ou de construção</b>	
<b>MF. 3.2. Calcário, gesso, giz e dolomita</b>	
<b>MF. 3.3. Ardósia</b>	
<b>MF.3.4. Cascalho e areia</b>	
<b>MF.3.5. Argilas e caulim</b>	
<b>MF.3.6. Minerais químicos e fertilizantes</b>	
<b>MF.3.7. Sal</b>	
<b>MF.3.8. Outros produtos de mineração e pedreiras</b>	
<b>MF. 4. MATERIAIS / TRANSPORTADORES DE ENERGIA FÓSSIL</b>	
<b>MF.4.1. Carvão marrom (inclui xisto betuminoso e areias betuminosas)</b>	
<b>MF.4.2. Carvão</b>	
<b>MF.4.3. Petróleo</b>	
<b>MF.4.4. Gás Natural</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor. Adaptado de Eurostat (2018). 1) Conforme fatores expressos em Wirsenius (2000). 2) Conforme fatores expressos em Fontaneli e Santos (2009). 3) Conforme fatores expressos em Eurostat (2018).



Em relação às fontes dos dados para as variáveis apresentadas no quadro acima, cabe segmentá-los por categorias de materiais. Em relação à biomassa, os dados são oriundos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): pesquisa agropecuária municipal. Os itens não disponíveis nesta fonte foram coletados da base disponibilizada pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAOSTAT): *food & agriculture organization FAOSTAT database*<sup>32</sup>.

Já para os minérios de metal e não metálicos, optou-se prioritariamente pelos boletins do Anuário Mineral Brasileiro (AMB). No caso de lacunas, recorreu-se às informações do IBGE e estimativas do *US Geological Survey*<sup>33</sup>. Em relação aos combustíveis fósseis<sup>34</sup>, a fonte que apresentou uma série histórica mais robusta foi disponibilizada pela *International Energy Agency* (IEA).

---

<sup>32</sup> O detalhamento dos itens e fontes encontram-se nos Apêndices 1 e 2 (Extração doméstica de colheitas primárias).

<sup>33</sup> O detalhamento dos itens e fontes encontram-se no encontram-se nos Apêndices 3 e 4 (Extração Doméstica de Minérios De Metal e Extração Doméstica de Minérios Não Metálicos, respectivamente).

<sup>34</sup> O detalhamento dos itens encontra-se no Apêndice 5 (Extração Doméstica de Energia Fóssil).

### Quadro 9. Itens Selecionados (Exportações).

<b>MF. 1 BIOMASSA</b>	
<b>MF. 1.1. Colheitas e resíduos</b>	
	MF. 1.1.1. Cereais primários e processados
	MF. 1.1.2. Açúcar
	MF. 1.1.3. Culturas oleaginosas
	MF. 1.1.4. Vegetais
	MF. 1.1.5. Frutas
	MF. 1.1.6. Fibras
	MF. 1.1.7. Outras Culturas (Temperos. Culturas estimulantes, tabaco, borracha e outras safras brasileiras)
<b>MF. 1.2. Culturas forrageiras (incluindo colheita de pastagem)</b>	
	MF. 1.2.1. Alimentos para animais, exceto cereais não moídos
<b>MF. 1.3. Madeira primária e processada</b>	
	MF. 1.3.1. Madeira (madeira redonda industrial)
	MF. 1.3.2. Combustível de madeira e outras extrações
<b>MF. 1.4. Captura de peixes, crustáceos, moluscos e invertebrados aquáticos</b>	
<b>MF. 1.5. Animais vivos (exceto em 1.4.), Carne e produtos à base de carne</b>	
	MF. 1.5.1. Animais vivos (exceto em 1.4.)
	MF. 1.5.2. Carne e preparados de carne
	MF. 1.5.3. Produtos lácteos, ovos de pássaros e mel
	MF. 1.5.4. Outros produtos de origem animal (fibras animais, peles, peles, couro etc.)
<b>MF. 1.6 Outros Produtos de biomassa</b>	
<b>MF. 2. MINÉRIOS DE METAL (MINÉRIOS BRUTOS)</b>	
<b>MF. 2.1. Minérios de ferro e concentrados, ferro e aço</b>	
<b>MF. 2.2. Minérios e concentrados de metais não ferrosos, metais processados</b>	
	MF.2.2.1. Minérios de cobre
	MF.2.2.2. Minérios de níquel
	MF.2.2.3. Minérios de chumbo
	MF.2.2.4. Minérios de zinco
	MF.2.2.5. Minérios de estanho
	MF.2.2.6. Ouro, prata, platina e outros minérios de metais preciosos
	MF.2.2.7. Outros minérios de alumínio
	MF.2.2.7. Outros metais
<b>MF. 2.3. Outros produtos metálicos</b>	
<b>MF. 3. MINERAIS NÃO METÁLICOS</b>	
<b>MF. 3.1. Argilas e caulim</b>	
<b>MF.3.2. Minerais químicos e fertilizantes</b>	
<b>MF.3.3. Sal</b>	
<b>MF.3.4. Outros produtos de mineração e pedreiras</b>	
<b>MF.3.5. Outros produtos de minerais não metálicos</b>	
<b>MF. 4. MATERIAIS / TRANSPORTADORES DE ENERGIA FÓSSIL</b>	
<b>MF.4.1. Carvão</b>	
<b>MF.4.2. Petróleo</b>	
<b>MF.4.3. Outros transportadores de energia fóssil</b>	
<b>MF. 5. OUTROS PRODUTOS</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor. Adaptado de Eurostat (2018)

Quanto aos materiais exportados, o Quadro 9, que divide os grupos MF. 1,2 e 3 possuem como base de informações os dados brutos (e estimados) do banco de dados de estatísticas de

comércio internacional das Nações Unidas (*un COMTRADE*)<sup>35</sup>. Já os dados para materiais e transportadores de energia fóssil (grupo MF. 4) tem como referência o IEA<sup>36</sup>. As mesmas fontes são válidas para as importações<sup>37</sup>, que apresentam as mesmas categorias do Quadro 9 e também utilizam os dados da *un COMTRADE* e IEA.

A partir da catalogação dos quadros de materiais extraídos, exportados e importados, é possível quantificar indicadores explicitados no quadro 7. Continuando os itens referentes ao consumo, a taxa metabólica) utiliza os indicadores anteriores selecionados e a população censitária, isto é, o fluxo metabólico considerado no tempo  $t$  e a população no tempo  $t$ . A especificação dos indicadores será a seguinte:

$$TM_{DMC} = \frac{DMC}{\text{População censitária}} \quad (3)$$

Já a intensidade material refere-se ao quociente entre o fluxo metabólico considerado (extração ou consumo) no tempo  $t$  e o Produto Interno Bruto (PIB) no tempo  $t$ . É um indicador importante, pois capta o efeito *decoupling*, ou seja, uma medida de potencial desmaterialização da economia e é o inverso da eficiência ecológica. Utilizando a metodologia desenvolvida por Schandl et al. (2016;2018), trata-se da razão entre o consumo doméstico de materiais e a moeda corrente.

$$IM_{DMC} = \frac{\text{Consumo doméstico de materiais (DMC)}}{PIB} \quad (4)$$

Baseado em (4), será utilizado o índice de desacoplamento (*Decoupling Index* – DI), conforme UNEP (2011), que destaca a sensibilidade do PIB a mudanças no uso dos insumos naturais.

O desacoplamento pode ser caracterizado como o rompimento entre danos ambientais oriundos da produção de bens econômicos, sendo que essa relação pode ocorrer de maneiras distintas: via recursos, quando ocorre diminuição absoluta ou relativa no uso de recursos em relação a uma unidade produzida de produto econômico medida em unidades monetárias e; de impacto, quando ocorre aumento na produção e diminuição absoluta ou relativa da poluição ambiental (impacto ambiental).

<sup>35</sup> O detalhamento dos itens e fontes, encontram-se nos Apêndices 6 a 8.

<sup>36</sup> O detalhamento dos itens e fontes, encontra-se no Apêndice 9.

<sup>37</sup> O detalhamento dos itens e fontes, encontram-se nos Apêndices 10 a 13.

Ainda, o desacoplamento é uma ferramenta de observação dinâmica do longo prazo, uma vez que permite aferir se o consumo de materiais está diminuindo quando há crescimento econômico. Assim, é possível verificar se a pressão ambiental é menor que a expansão econômica (RUFFING, 2007).

O indicador de desacoplamento para consumo doméstico de materiais (UNEP, 2011) é expresso por:

$$ID_{DMC} = \frac{(DMC(t)-DMC(t-1))/DMC(t-1)}{(PIB(t)-PIB(t-1))/PIB(t-1)} = \frac{\Delta\%(DMC)}{\Delta\%(PIB)} \quad (5)$$

Em que:

ID>1: Existe acoplamento<sup>38</sup> entre as variáveis selecionadas (DMC crescendo mais rápido que o PIB);

ID=1: “*Turning Point*” entre acoplamento e desacoplamento;

ID<1: Existe Desacoplamento (PIB crescendo mais rápido que DMC).

### 3.3 Considerações Finais

Na busca de indicadores eficientes para análises biofísicas, a análise de fluxos materiais exerce grande importância, dado seu caráter econômico-ecológico e disponibilidade de indicadores específicos, avançando o debate sob uma ótica interdisciplinar.

Conforme as informações destacadas neste capítulo, a MFA tende a ser o método mais utilizado para a descrição de perfis sociometabólicos. Sua vantagem reside nos critérios para o mapeamento (que permite a utilização de bases de dados nacionais), os indicadores serem de fácil aplicação e a existência de guias metodológicos para a construção da análise biofísica. Todavia, o mesmo apresenta algumas limitações, como o nível de abrangência e generalização que implica em certa cautela para seu uso. Outra limitação reside na mensuração de fluxos ocultos, que se une a indisponibilidade de dados nacionais para a maioria dos países em desenvolvimento.

É importante salientar que os últimos cinquenta anos são caracterizados pelo crescimento na extração doméstica de materiais no mundo, sobretudo nos níveis de biomassa e minerais não metálicos. Já na América Latina, o crescimento na extração de biomassa e

---

<sup>38</sup> Relação inversa ao desacoplamento, ou seja, o crescimento econômico está se tornando mais intensivo em recursos materiais.

combustíveis fósseis ressalta o protagonismo da região como ofertante de produtos primários. Outra constatação é a ampliação no consumo doméstico desse continente, que contribui para a pressão ambiental, e mascara a ampliação nos níveis de desacoplamento dos países desenvolvidos (principal destino das exportações materiais da região latino americana e caribenha).

Outra área proeminente de pesquisa, confirmada nesse capítulo, é o uso dos indicadores sociometabólicos para a análise do intercâmbio ecológico desigual (em conjunto ao fenômeno neoextrativista), sobretudo em países da América Andina. No caso do Brasil, o levantamento bibliográfico demonstrou que a exportação de *commodities* agrícolas, bens minerais e energia fóssil são significativas, mas o país também possui uma pauta manufatureira, que se expandiu durante todo o século XX. Além disso, as referências utilizadas apontam um crescimento no consumo doméstico de materiais brasileiro a partir da década de 1970.

A fim de entender essas particularidades, buscou-se descrever as estratégias metodológicas para a construção de uma base sociometabólica própria, a partir das informações oficiais desagregadas. Nesse sentido, foram mapeados os dados (utilizando diversas fontes de informações nacionais e internacionais) a partir de 1970, chegando ao ano de 2019<sup>39</sup>. Contudo, não foi possível inferir o processo de saída doméstica, dada a escassez de dados nacionais específicos para resíduos e emissões materiais.

Dessa forma, é possível ir além das categorias de materiais agregadas (biomassa, minerais metálicos, minerais não metálicos e combustíveis fósseis) disponibilizadas nos portais de informações sociometabólicas, possibilitando a observação por grupos de produtos, ou até mesmo os itens individuais.

No próximo capítulo, esse arcabouço metodológico permitirá acompanhar o período da economia brasileira iniciado em 1970 sob uma abordagem ecologicamente quantitativa, explorando as políticas econômicas, ambientais, e seus respectivos avanços e contradições existentes.

---

<sup>39</sup> Até a conclusão desse levantamento, os dados para o Brasil constantes no portal *UN Environment Programme, Secretariat of the International Resource Panel*, iam de 1970 a 2016.

#### **CAPÍTULO 4: A ECONOMIA BRASILEIRA NO PERÍODO 1970-2019: TRANSFORMAÇÕES ECONÔMICAS E SUAS IMPLICAÇÕES BIOFÍSICAS.**

Conforme registros históricos formação econômica do Brasil, o estoque natural das terras recém “descobertas” em 1500 suscitou na dilapidação indiscriminada dos recursos biofísicos ao longo das gerações subsequentes. O advento das inovações tecnológicas e as consequentes modificações nas estruturas produtivas não cessou o fluxo de materiais extraídos, tornando-os, pelo contrário, mais intensos (FURTADO, 2005; JUNIOR, 1978).

Para Buescu (1970), os períodos de transformações são caracterizados como ciclos econômicos, nos quais modificaram-se os itens protagonistas das pautas exportadoras (sequencialmente: pau-Brasil, açúcar, minérios e café), mas não se observou grandes alterações estruturais na economia até o final do Séc. XIX. Ainda para autora (1970, p. 197): “[...] no que tange às relações econômicas internacionais, o Brasil permaneceu durante segunda metade do século XIX país exportador de produtos primários, concentrados no café”.

Destarte, a economia brasileira atravessa mais de cinco séculos de modificações sociais e políticas, mas ainda mantém uma pauta econômica que enfatiza o extrativismo. Vale salientar que a produção agrícola, pecuária e de extração mineral foram mantidas como relevantes atividades mercantis até os dias atuais, enquanto a atividade manufatureira só se diversifica nas décadas iniciais do século XX, via substituição de importações. Para Lacerda et. al. (2017, p. 77):

[..] Mais de 55% da capacidade instalada da indústria, registrada pelo recenseamento de 1920, foi criada em 1905-1919; aproximadamente um quarto dela, em 1884-1894; e apenas 9,6%, até 1884. Em 1884, havia no Brasil apenas 200 empresas industriais. Em 1889, o número aumentou para 600 (60% das quais eram têxteis). Mais de 450 empresas industriais foram fundadas em 1890-1895. Em 1907, o número de empresas registradas como industriais chegou a 3,2 mil, e em 1920, a 13,3 mil. Aumentava paralelamente o número de operários ocupados na indústria. Em 1890, havia no país entre 50 e 60 mil; cerca de 152 mil em 1907 e 297 mil em 1920.

As décadas seguintes consolidariam o parque industrial brasileiro. Após o golpe militar de 1964, um novo programa de desenvolvimento econômico foi implementando, resultando em um crescimento médio superior a 10% a.a. entre 1969-1973, o que caracterizou o período como milagre econômico brasileiro. Nesse momento, o país era um poderoso exportador de produtos

primários<sup>40</sup>, possuidor de uma indústria nacional produtora de bens intermediários em expansão (o que atraía capitais externos) e uma infraestrutura econômica consolidada nas décadas que seguiram a segunda grande guerra (LACERDA et al., 2017; GIAMBIAGI et al., 2011).

Todavia, as questões de ordem biofísica dos últimos cinquenta anos geralmente não são enfatizadas nas análises sobre a economia brasileira, o que instiga o desenvolvimento desse capítulo, que pretende oferecer uma interpretação biofísica da trajetória socioeconômica do Brasil entre os anos 1970 e 2019<sup>41</sup>. Conforme May, Lustosa e Vinha (2010, p. 173):

[...]embora o Brasil tenha avançado na consolidação de uma base industrial diversificada, esse avanço esteve calcado no uso indireto de recursos naturais (energia e matérias-primas baratas), em vez de expandir-se por meio do incremento na capacidade de gerar ou absorver progresso técnico — chave para o crescimento sustentado, mas que ficou limitado a algumas áreas de excelência.

Outro ponto em destaque é o panorama mundial, em que se observava modificações nos padrões de extração e consumo mundiais a partir da década de 1970, visíveis no aumento nos fluxos de materiais extraídos, sobretudo os ligados à biomassa, minerais metálicos, não metálicos e combustíveis fósseis (SINGH et al., 2021; OECD, 2019; SCHANDL et al., 2018; WEST; SCHANDL, 2013).

As consequências ambientais desse modelo materialmente intensivista – e porque não afirmar do próprio ciclo pós-guerra do capitalismo industrializado – passaram a ser crescentemente discutidas nas arenas acadêmicas e políticas. No Brasil, isto se cristaliza com ordenamento jurídico ligado às questões ambientais iniciado em 1973 (criação da Secretaria Especial do Meio Ambiente) e consolidado em 1981, ano da promulgação da Lei 6.938, a Política Nacional do Meio Ambiente. (MAY et al., 2010)

Com o propósito de atingir os objetivos da tese, avaliar a evolução da dimensão biofísica da economia brasileira, é necessário abordar os principais aspectos políticos e macroeconômicos do período, em conjunto com as políticas ambientais. Para tanto, a abordagem metodológica proposta utilizará a literatura especializada, em paralelo aos dados econômicos, biofísicos e ambientais. O diferencial da análise é a mensuração da escala econômico-ecológica, viabilizada pelas informações biofísicas levantadas. Optou-se por segmentar a análise por ciclos econômicos recentes da economia brasileira.

---

<sup>40</sup>Um fenômeno de ordem econômica ganha relevância: a expansão desenfreada no tradicional modelo extrativista, mas com uma nova configuração. Esse modelo repaginado mantém a mesma essência do extrativismo colonial, onde o intercâmbio de matérias-primas para o crescimento econômico de algumas nações assume destaque.

<sup>41</sup> Utilizando o arcabouço metodológico do capítulo 5.

Este capítulo segue a seguinte estrutura: na seção 4.1, a ênfase é a década de 1970, do auge do “milagre” às crises energéticas; a seção 4.2 aborda a década de 1980 e os pressupostos que a qualificam como “década perdida”; no período 1991-2002 (seção 4.3), discutem-se questões ligadas à redemocratização, estabilização inflacionária e o governo Fernando Henrique Cardoso e; por fim, na seção 4.5 é tratado o continuísmo do ciclo neoextrativista, indo do consenso das *commodities* à escalada conservadora. Complementando, um balanço geral das cinco décadas analisadas é descrito na seção 4.5 e, por fim, as considerações finais encerram o capítulo.

#### *4.1 1970-1980: Milagre econômico, planos desenvolvimentistas e política ambiental: distintas fases de um desenvolvimentismo ditatorial (1970-1980)*

A economia brasileira no primeiro quadriênio da década 1970 é caracterizada pelo crescimento econômico (com taxa média de 11% a.a.)<sup>42</sup>, manutenção da exportação de bens primários, existência de um parque industrial mais diversificado, crescimento populacional urbano e ênfase na exploração dos recursos naturais. No campo político, a intervenção militar iniciada em 1964 desfrutava de prestígio social nos primeiros anos da década, justificado pelas já mencionadas taxas expressivas de crescimento econômico que ampliavam o consumo interno de bens e serviços, além do primeiro Plano Nacional de Desenvolvimento (I PND) em vigência (ABREU, 2015; LACERDA et al., 2017).

Os resultados foram visíveis nos setores agropecuário, industrial e de serviços, que cresceram no período compreendido entre 1970-1973 3%, 13,3% e 12% a.a., respectivamente, resultando em 88% de utilização da capacidade produtiva média<sup>43</sup>. No setor secundário, a indústria de construção registrou crescimento real de 12,5% em 1971, 17,9% em 1972 e 20,9% em 1973, níveis jamais atingidos nas cinco décadas posteriores<sup>44</sup>.

Em relação ao setor agropecuário, destaca-se o aumento da “quimificação” das fazendas (demanda por fertilizantes), o que contribuiu para os ganhos de produtividade, fazendo com que a agricultura passasse a crescer de forma intensiva e extensiva<sup>45</sup>. Os principais motivadores

---

<sup>42</sup> Os dados sobre crescimento econômico presentes no capítulo utilizarão os dados do IBGE e Banco Central do Brasil (BACEN).

<sup>43</sup> O indicador de Sondagem Industrial é elaborado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV/IBRE),

<sup>44</sup> Os dados sobre crescimento real do PIB por setores utilizarão o IBGE e o BACEN como fontes de informação.

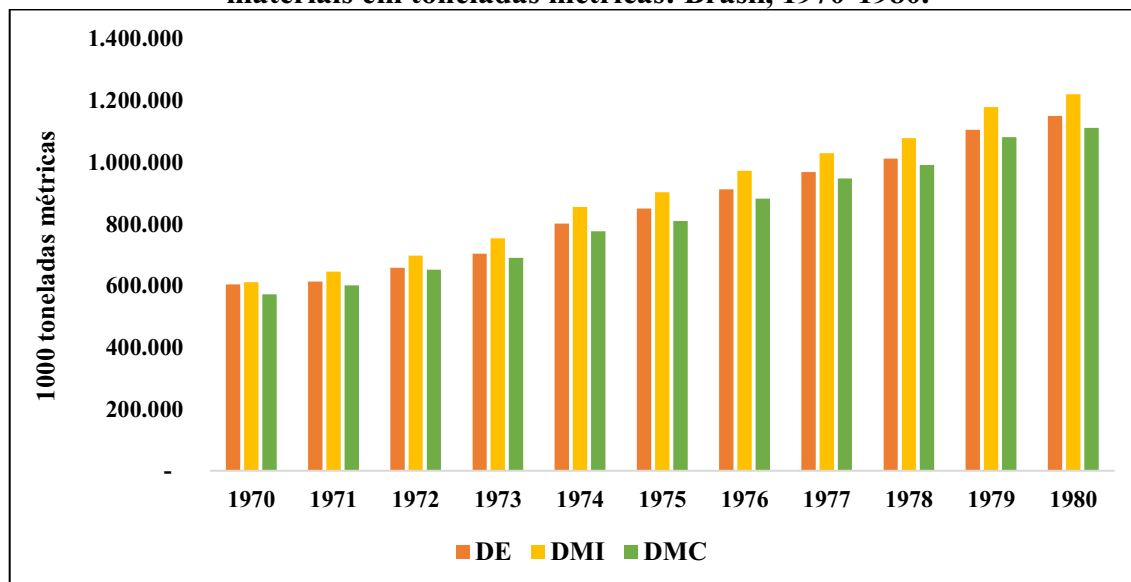
<sup>45</sup> A revolução verde, intensificada a partir da década de 1960, trouxe profundas transformações para o cultivo e pecuária, uma vez que utilizou as inovações tecnológicas para a ampliação produtiva. Segundo Octaviano (2010), o Brasil foi um grande beneficiário desse processo, uma vez que desenvolveu uma tecnologia própria para a chamada agricultura tropical, aumentando as fronteiras e diversificando o portfólio de culturas produzidas.



foram as políticas governamentais de crédito agrícola, que contribuíram para mecanização da agricultura (aumentando a demanda da indústria nacional), além da ampliação das plantações de soja para exportação e consumo interno (ABREU, 2015).

A conjuntura econômica da época ampliou a demanda material. No tocante ao consumo total na década em destaque (Figura 12), os indicadores de extração doméstica (DE), entrada direta de materiais (DMI= DE+ material importado) e o consumo doméstico de materiais (DMC= DE+PTB) apresentam trajetória ascendente, com uma média de 600 milhões toneladas métricas em 1970, para uma média de 1,1 bilhão de Toneladas no final do período.

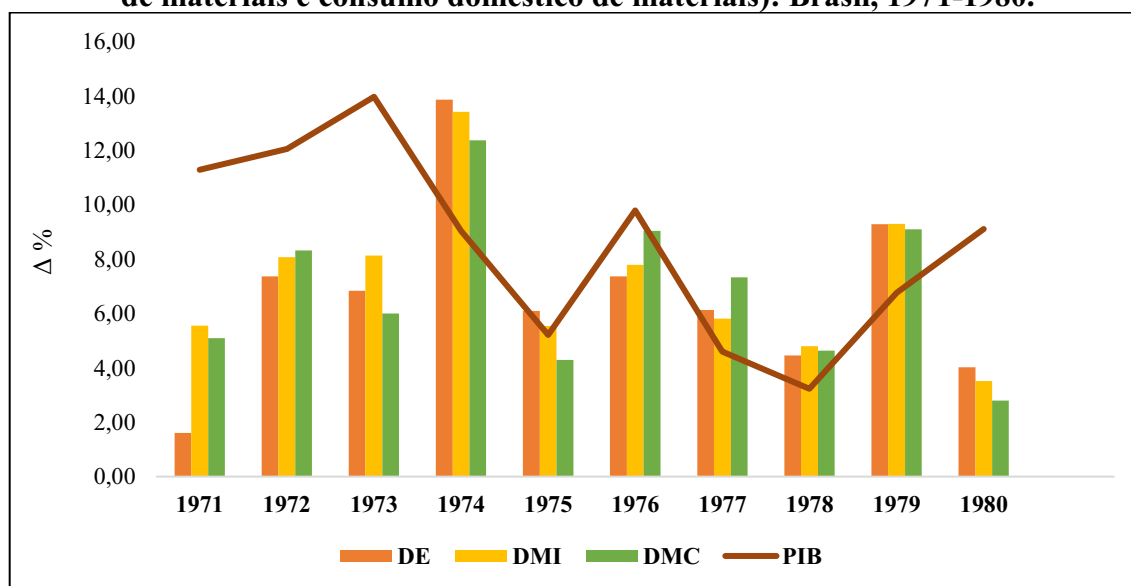
**Figura 12. Extração doméstica, entrada direta de materiais e consumo doméstico de materiais em toneladas métricas: Brasil, 1970-1980.**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.

Vale destacar que a evolução no consumo total de materiais (Figura 13) seguiu a trajetória conjuntural da época, refletindo as políticas governamentais. Até 1974, período de continuidade do milagre econômico no I PND, o crescimento de materiais extraídos e consumidos domesticamente foi o mais intenso em toda a série, apesar de uma redução no ritmo de crescimento entre 1972-1973. Na sequência, os dois choques do petróleo (1973 e 1979), em conjunto com as estratégias adotadas do II PND, seguiram um ritmo “*stop and go*”, com períodos de menor crescimento, seguidos de evolução no consumo doméstico de materiais e importados.

**Figura 13. Evolução anual (%) no fluxo de materiais (extração doméstica, entrada direta de materiais e consumo doméstico de materiais): Brasil, 1971-1980.**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.

Outro importante aspecto a ser ressaltado são as demandas de infraestrutura, que também corroboram as expressivas taxas anteriormente destacadas, sobretudo nas indústrias de transformação e geração de energia elétrica. Todavia, o primeiro choque do petróleo, em 1973, trouxe um novo desafio para o modelo até então vitorioso. Fortemente dependente de petróleo importado, o ciclo constante de crescimento foi colocado em xeque com quadruplicação do preço internacional do combustível fóssil (ABREU, 2015).

A estratégia Governamental para lidar com a crise foi na contramão do contracionismo típico de países capitalistas centrais. No Brasil, a resposta à crise nos anos 1970 se cristalizou no II PND (1974-1979), centrado nos seguintes objetivos:

[...] • Alteração na estrutura econômica com indústria de bens de capital, eletrônica, insumos básicos e agropecuária. O objetivo deste ponto era enfrentar os problemas de balanço de pagamentos frente à alta de preços do petróleo, substituindo importações e ampliando a pauta de exportações. • Modernização da economia no Centro -Sul, se concentrando na expansão da capacidade produtiva das indústrias básicas, infraestrutura e desenvolvimento científico e tecnológico, com a criação do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico. Política de Energia, já que dois terços do petróleo (48% de energia) era importado. (ARAÚJO; MATTOS, 2021, p.315)

Os resultados da iniciativa mantiveram um crescimento econômico relevante (média de 8% a.a. entre 1974-1978); resultados industriais positivos, com ampliação real de 8,5% em 1974 e 6,4% em 1978, e a indústria extrativa mineral crescendo 23,2% em 1974 e a de transformação

12,1% em 1976; no setor de serviços, com taxas de 10,6% em 1974 e 6,2% em 1978, e; utilização da capacidade média de 86%.

No setor primário, os efeitos da estiagem de 1978 ocasionaram uma queda no produto agropecuário de -2,7%, evocando o aumento do volume de alimentos importados (ABREU, 2015). Contudo, a opção por uma política de substituição de importações e ampliação do quantitativo exportado logrou algum êxito nos períodos que sucederam o II PND. Segundo Abreu (2015), entre 1979 e 1980, a economia cresceu 5% e 9,2%, respectivamente.

O grande complicador foi o novo choque de petróleo, em 1979, que em conjunto com um maior volume de endividamento interno e externo e a diminuição das reservas (que amorteceram as políticas heterodoxas executadas), irão tornar maiores os desafios na década seguinte, algo já observável no ano de 1980 (ABREU, 2015).

Os resultados econômicos, demográficos e biofísicos das medidas de política econômica adotadas no período são expressos na Tabela 7. Considerando o volume material aparentemente consumido (DMC)<sup>46</sup>, o crescimento acumulado e anual de biomassa foram os menores da série, mas significativo. Os dados desagregados dessa categoria indicam uma expansão no consumo de “colheitas e resíduos” (soja, milho e cana de açúcar), com crescimento médio anual de 7%.

**Tabela 7. Variação Biofísica do consumo doméstico de materiais, por categoria: Brasil, 1970-1980.**

<b>Categoria</b>	<b>Crescimento Acumulado<sup>1</sup></b>	<b>Crescimento Médio Anual<sup>2</sup></b>
<b>PIB</b>	125,22%	7,66%
<b>População</b>	26,70%	2,17%
<b>Biomassa</b>	61,17%	4,43%
<b>Minerais Metálicos</b>	198,88%	10,47%
<b>Minerais Não Metálicos</b>	150,77%	8,72%
<b>Combustíveis Fósseis</b>	506,69%	17,81%

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa. 1) Fórmula de variação acumulada:  $((\text{valor final/valor inicial}) - 1) * 100$ . 2) Fórmula de crescimento médio anual:  $((\text{valor final/valor inicial}) - 1) * 100$ .

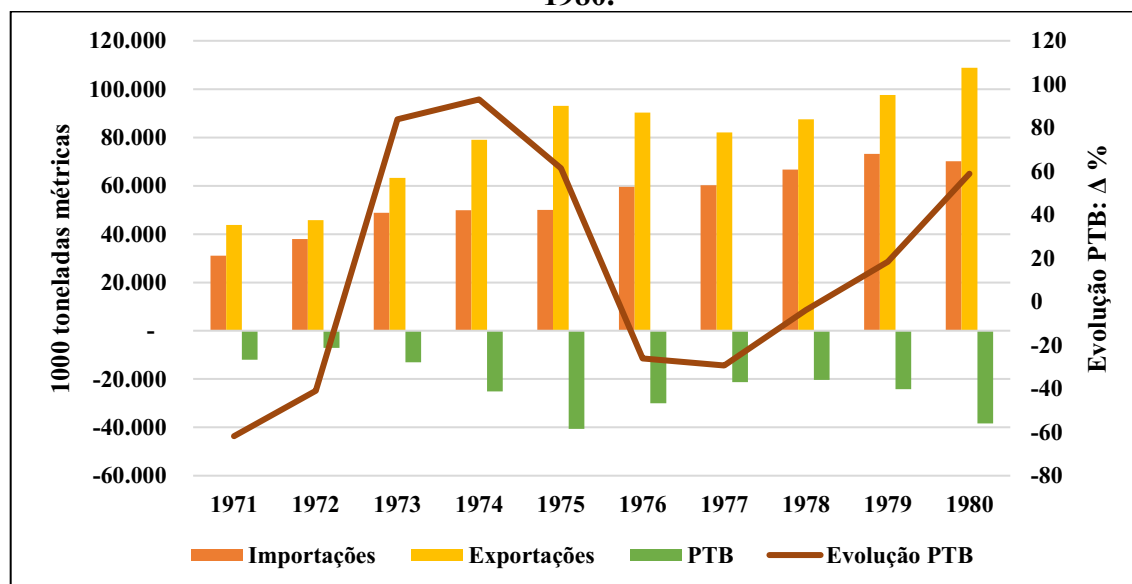
No tocante à categoria de minerais metálicos, o quantitativo de ferro cresceu a uma média anual de 22%, provavelmente pelas obras estruturantes dos I e II PND. Em relação aos minerais não metálicos, a ampliação tem forte influência do item “minerais químicos e fertilizantes”, com crescimento médio anual de 6%. O maior destaque, combustíveis fósseis, expressam que mesmo com os choques do petróleo, a maior demanda pelo produto foi mantida ao longo de toda década, uma vez que o volume médio anual consumido desse item cresceu 20% entre 1970 e 1980.

<sup>46</sup> A opção de desagregar apenas a variação do DMC (ED+ PTB), está ligada à sua ótica de consumo, que permite inferir o quanto de material foi utilizado internamente em cada ciclo econômico.

Quanto ao comércio exterior biofísico do Brasil (Figura 14), o caráter exportador da economia brasileira é demonstrado na balança comercial biofísica (PTB) deficitária (isto é, exportações maiores que importações).

Destarte, as estratégias nacionais-desenvolvimentistas adotadas culminaram num crescimento absoluto de materiais exportados, muito embora os níveis de importação também se ampliem no período que segue o II PND, justificadas pela ampliação do consumo interno, aquisição de insumos básicos para as indústrias nacionais e o acréscimo na demanda por combustíveis fósseis.

**Figura 14. Importação, exportação e evolução do PTB em dados biofísicos: Brasil, 1971-1980.**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.

Ao se desagregar os dados do comércio exterior biofísico (Figura 15), é visível quais categorias são mais representativas. No tocante às exportações, os minerais metálicos (97,4% dos minerais metálicos eram compostos por minério de ferro) mantiveram uma tendência de crescimento, dado o maior volume de empresas multinacionais exportadoras, em conjunto com o estabelecimento de acordos comerciais junto ao Japão e Comunidade Econômica Europeia. A ressalva é para o período de 1975-1977, onde os impactos da substituição de produtos importados e os grandes projetos nacionais (constantes no II PND) ampliaram a demanda interna e, conseqüentemente, desaceleraram o volume físico exportado. Já nos anos seguintes, a tendência de crescimento foi retomada (ARAÚJO; MATTOS, 2021).

O desempenho das exportações de biomassa – segunda categoria mais exportada – pode ser explicado pelas políticas de estímulo à produção de soja (como a expansão do crédito

rural)<sup>47</sup>, que resultou em um crescimento médio de 114% no período analisado (chegando a 433% entre 1971 e 1972), embora outras culturas também ampliaram o volume exportado (cereais, frutas e cana de açúcar).

Em relação às importações, o grupo correspondente aos materiais/transportadores de energia fóssil apresentaram o maior volume importado. Na análise desagregada, o petróleo manteve uma média 73% de todos os materiais importados entre 1971-1980, apesar dos dois grandes choques de preços. Pode-se correlacionar a estratégia econômica adotada pelo regime ditatorial, que manteve a dependência mineral (inclusive subsidiando a gasolina), mesmo com o crescimento dos preços externos, ao mesmo tempo que não conseguiu ampliar uma produção interna que compensasse a dependência.

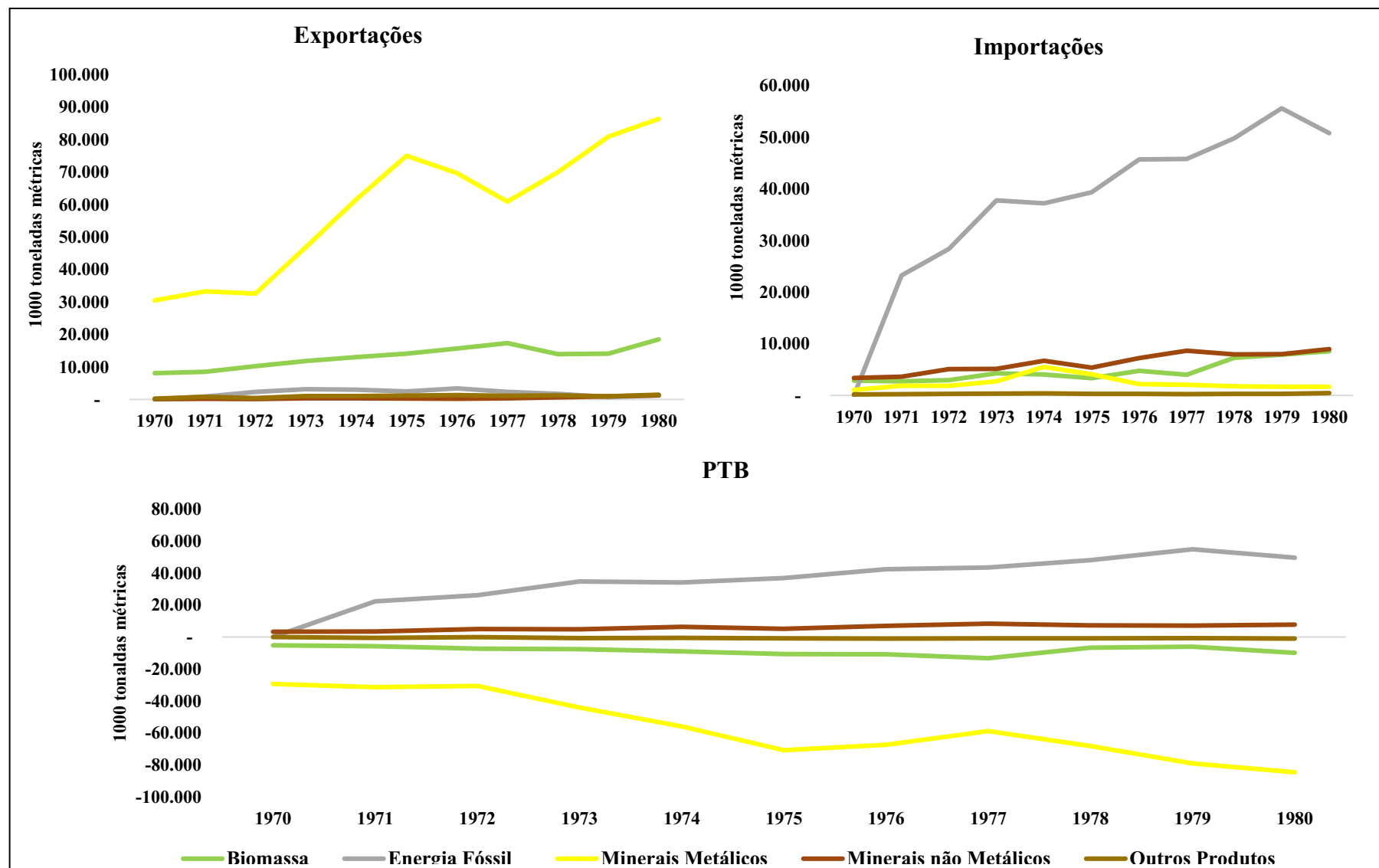
Outros produtos importados sentiram os efeitos das políticas industriais de desestímulo à importação (como o programa de insumos básicos), e não foram tão significativos na década em destaque. Contudo, é perceptível um crescimento no item “minerais químicos e fertilizantes” da categoria de minerais metálicos, com aumento médio de 9% no período. Como destaca Abreu (2015), a partir de 1974 houve um esforço governamental para diminuição da dependência na indústria de metais não ferrosos, produtos petroquímicos e fertilizantes, mas os resultados biofísicos demonstram a ineficiência da política.

Assim, a balança comercial biofísica (PTB) é caracterizada como superavitária em energia fóssil (importações) e deficitária para minerais metálicos (exportações), como ilustra a figura supracitada.

---

<sup>47</sup> Além da criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), em 1973.

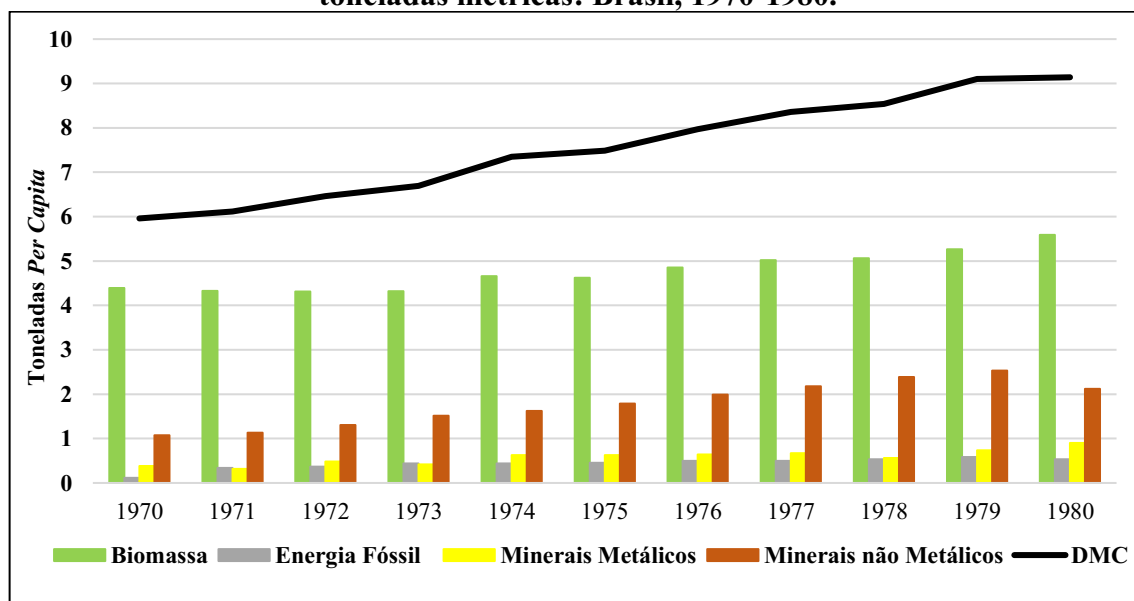
**Figura 15.Importações, exportações e PTB por categorias de materiais em 1000 toneladas métricas: Brasil, 1970-1980.**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.

Ainda na ótica de consumo, a taxa metabólica brasileira<sup>48</sup> entre 1970-1980 (Figura 16) evidencia o extrativismo do período em distintos segmentos. Os índices de biomassa crescem durante o período, com média de 4,7 toneladas *per capita*, seguido dos minerais não metálicos, com o maior acréscimo no período, 0,4 tonelada *per capita* em 1970, chegando a 1,0 em 1979. O segmento que contempla os combustíveis fósseis também apresentou crescimento na década, atingindo 1,0 tonelada *per capita*.

**Figura 16. Taxa Metabólica do consumo doméstico por categorias de materiais, em toneladas métricas: Brasil, 1970-1980.**



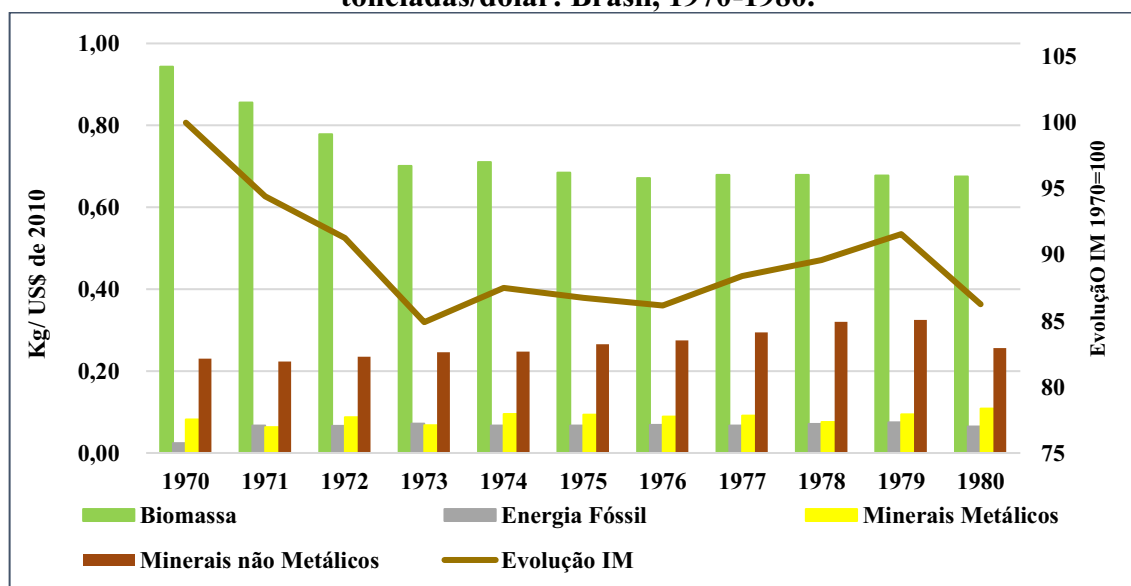
Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.

Com o objetivo de avaliar os efeitos ambientais do crescimento econômico ao longo da década de 1970, o Índice de Intensidade Material, ou  $IM_{DMC}$  (Figura 17) obteve média consolidada foi de 1,13 quilo/Dólar. Os segmentos de biomassa (Média de 0,68), minerais não metálicos (Média de 0,26) foram os mais consumidos (as outras categorias geraram resultados inexpressivos, com médias de 0,09 para minérios metálicos e 0,07 para energia fóssil).

Outro ponto em destaque é a evolução nos níveis de consumo material entre 1973-74, relacionadas ao aumento da demanda nacional. Após 1979, a desaceleração econômica e a II crise do petróleo já influencia resultados, com retração de 8% e impacto em todos as categorias materiais, exceto minerais metálicos.

<sup>48</sup> Calculada pelos respectivos indicadores de MFA e os dados populacionais disponibilizados pelo IBGE.

**Figura 17. Intensidade Material (DMC) por categorias de materiais em toneladas/dólar: Brasil, 1970-1980.**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.

Por último, o indicador de desacoplamento ( $ID_{DMC}$ ) para o período de 1970-1980 resultou em 0,84, ou seja, um leve desacoplamento. Assim, a fase do *boom* no milagre econômico, em conjunto com as políticas desenvolvimentistas constantes no II PND contribuíram para que com expansão material fosse relativamente inferior ao crescimento econômico.

#### 4.1.1 A política ambiental e os níveis de emissões (1970-1980)

Em conjunto com as políticas econômicas até então destacadas, a política ambiental brasileira recebe uma maior atenção ao longo da década de 1970. Desenvolvem-se no Brasil vários instrumentos legislativos e de regulação que têm como objetivo proteger a biodiversidade brasileira (MOURA, 2016).

Em termos mais efetivos, observa-se que as estratégias econômicas adotadas entraram em contradição com os instrumentos jurídicos recém lançados, uma vez que culminariam no aumento da degradação, ilustradas na faraônica obra de interligação rodoviária da Amazônia (BISTENE; GUIMARÃES, 2019); extração de madeira e expansão da pecuária nas áreas de floresta (WALKER, 2009) e; o avanço das lavouras de soja em outras regiões do território nacional (FREITAS, 2011).

Vale destacar que a poluição industrial também passa a ganhar relevância nas pautas ministeriais, embora a prioridade fosse o crescimento econômico. Consequentemente, os dispositivos legais de fiscalização e controle não avançavam frente ao II PND.



O antagonismo reside no fato de que uma das principais instituições responsáveis pela implantação da estratégia de expansão da estrutura produtiva era o Ministério do Interior, mesmo órgão ao qual era vinculado a SEMA. Considerando que as questões ambientais historicamente são tratadas como externalidades às políticas setoriais que lidam com a atividade produtiva, as ações voltadas ao planejamento ou ao controle ambiental pareciam conflitantes com a política econômica em curso naquele momento. (FERREIRA; SALLES, 2017, p.5)

Com o II PND, a questão ambiental também ganhou uma certa atenção, inclusive com alguns capítulos do plano destinados às pautas de desenvolvimento urbano, controle de emissões e preservação do patrimônio natural. O maior destaque era o apontamento da poluição industrial em núcleos urbanizados. (VIEIRA, 1992)

Na prática, buscou-se reduzir a poluição a níveis pré-fixados, com ênfase na localização geográfica desses empreendimentos em regiões mais densas. Consequentemente, foram abordados pontos específicos do problema ambiental, desconsiderando os efeitos no longo prazo. (FERREIRA; SALLES, 2017)

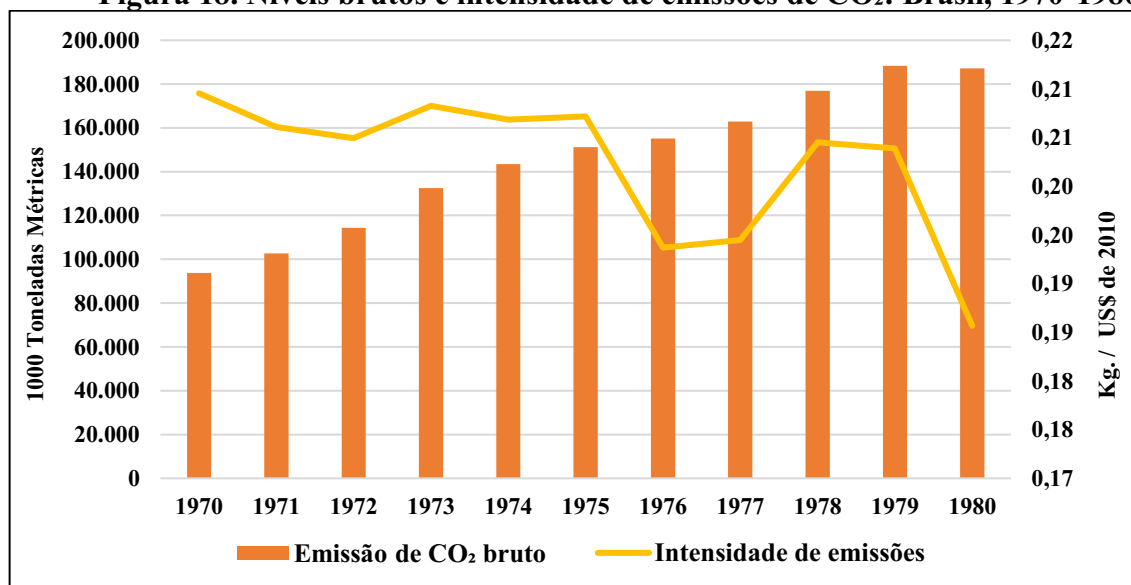
Já os grandes projetos de infraestrutura do período não tinham questionamentos quanto ao impacto ambiental, com exceção de núcleos urbanos e alguns segmentos que necessitavam de financiamento externo (para os quais relatórios de impactos ambientais eram exigência). Portanto, foram priorizadas as estratégias de crescimento econômico, frente questões de preservação e proteção do patrimônio natural ao longo do período supracitado (VIEIRA, 1992).

Um dos mecanismos de visualização da eficiência das políticas ambientais é através dos níveis de emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Conforme os dados brutos de emissão e intensidade de emissões<sup>49</sup> (Figura 18), os níveis se ampliam entre 1970-1979, demonstrando que as iniciativas políticas de diminuição nas emissões constantes nos dispositivos legais inicialmente não foram efetivas.

---

<sup>49</sup> Os níveis brutos e de intensidade de emissões são calculados pelo *World Bank*.

**Figura 18. Níveis brutos e intensidade de emissões de CO<sub>2</sub>: Brasil, 1970-1980.**



Fonte: Elaborado pelo autor. Dados do *World Bank*.

Complementando, a evolução dos níveis de intensidade de emissões indica uma ligeira desaceleração entre 1975-76 e 1979-80, seguindo a mesma tendência (e fatores explicativos) dos indicadores de intensidade material, isto é, os efeitos da desaceleração econômica provocaram uma pequena eficiência ecológica nos anuênios supracitados, ou seja, não se efetivam as políticas ambientais do período.

Quando analisadas as emissões desagregadas, Azevedo (2015) discorre os dados disponibilizados pelo observatório do clima<sup>50</sup>, que embora apresentem algumas limitações para a década supracitada<sup>51</sup>, indicam um incremento nas emissões nos seguintes setores: atividades ligadas a agropecuária, como o uso de fertilizantes fermentação entérica (crescimento de 56% entre 1970 e 1980); produção e consumo de combustíveis e energia elétrica (crescimento de 85%); emissões diretas decorrentes de processos de transformação química e/ou física de materiais (crescimento de 178%) e; resíduos industriais e domésticos (crescimento de 56%).

Em síntese, tanto os períodos de crescimento econômico, quanto as iniciativas de combate às crises conjunturais na década de 1970 se apoiam no uso intensivo de materiais, como também ampliam as emissões de gases de efeito estufa.

<sup>50</sup> Disponíveis em: <https://www.oc.eco.br>. Os resultados diferem da metodologia utilizada pelo *World Bank*.

<sup>51</sup> Entre 1970-1990, não estão disponíveis os dados de “mudança de uso da terra”, que quantifica as emissões referentes ao desmatamento e atividade pecuária.

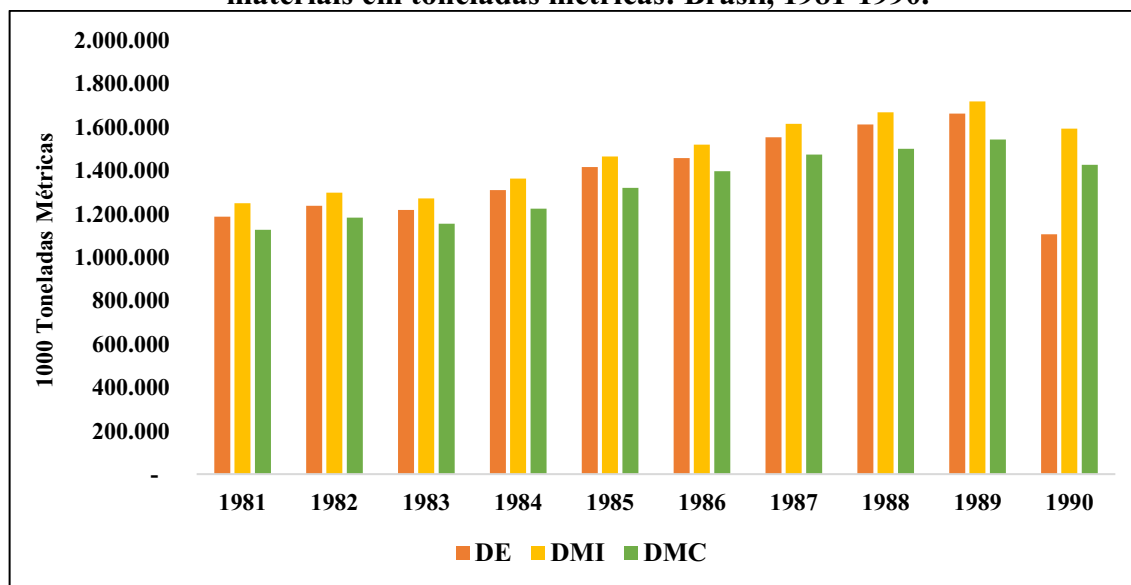
#### 4.2 Crise, endividamento, inflação e extração material: os anos 1980 (1981-1990)

O segundo período analítico, que compreende a década de 1980 (onde o primeiro ano já foi apresentado no tópico 4.1) é caracterizado pelos baixos níveis de crescimento e outros desafios que a economia brasileira atravessaria nos períodos subsequentes. É destacável que grande parte dos manuais de economia brasileira (LACERDA et al., 2017; ABREU, 2015; GIAMBIAGI et al., 2011; SOUZA, 2007) se preocupa em enfatizar os níveis de endividamento e o surto inflacionário: elementos que caracterizaram a conjuntura nacional até as décadas seguintes. Mas vale salientar que os anos 1980 já começam com desafios:

Com o fim dos fluxos de capitais voluntários para o Brasil a partir da moratória mexicana na década de 1980, o país passou a obter quedas consideráveis nas suas reservas e a apresentar dificuldades no seu balanço de pagamentos. Essa situação forçou o governo brasileiro a rever suas políticas econômicas de modo a tentar promover as exportações e desestimular as importações via desaquecimento da demanda interna e desvalorização cambial com o objetivo de fechar o balanço de pagamentos. (ARAÚJO; MATTOS, 2021, p.353)

Pela ótica biofísica, os resultados brutos (Figura 19) indicam que houve um crescimento em todos os indicadores de fluxo material até o ano de 1989, seguindo de um decréscimo em 1990.

**Figura 19. Extração doméstica, entrada direta de materiais e consumo doméstico de materiais em toneladas métricas: Brasil, 1981-1990.**

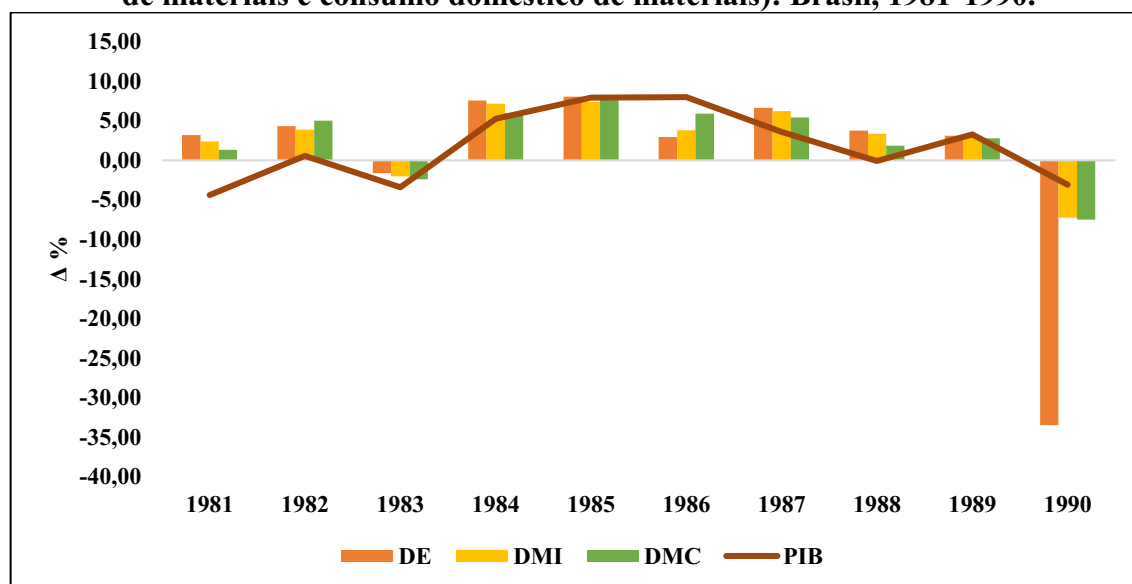


Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.

A evolução biofísica brasileira (Figura 20) expressa as tribulações da década de 1980. Em 1983, o resultado do fluxo de materiais é negativo nas três óticas analisadas (-1,61% para

DE, -2,03% para DMI e -2,40% para DMC). Nos anos seguintes, a tendência foi de crescimento nos níveis de consumo, interrompido na década de 1990, onde a extração doméstica diminuiu 33,50%<sup>52</sup>, a entrada direta de material 7,26% e o consumo doméstico de materiais 7,51%.

**Figura 20. Evolução anual (%) no fluxo de materiais (extração doméstica, entrada direta de materiais e consumo doméstico de materiais): Brasil, 1981-1990.**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.

Já em termos monetários, em 1981 ainda é sentido os efeitos do segundo choque do petróleo, em conjunto com o aumento das taxas de juros internacionais, que irão ampliar a necessidade de financiamento externo. Desse modo, o primeiro triênio do ciclo em destaque é caracterizado pelo ajustamento, recessão e endividamento (via empréstimos junto ao Fundo Monetário Internacional – FMI) (ABREU,2015).

Os resultados do período 1981-1990 indicam que a economia apresentou resultados tímidos: a média de variação do PIB (em volume) foi de 2%. O crescimento médio da agropecuária (variação em volume) foi de 1,7%, da indústria 0,5%<sup>53</sup> e no setor de serviços, 2,7%. Quanto ao grau de utilização da capacidade produtiva, a média para todo o ciclo foi 80,2%.

Outro marco da década de 1980 está relacionado a expansão inflacionária. A partir de 1986, diversos planos econômicos (com diagnósticos diferentes para o problema da inflação)

<sup>52</sup> Entre 1989-1990, a categoria de minerais metálicos decresce 8%, enquanto os minérios não metálicos registram uma queda de 22%, influenciado para extração doméstica de areia e cascalho, com recuo de 31%. No ano de 1990 é promulgada a resolução do Conselho nacional do Meio Ambiente-CONAMA 010/1990 BRASIL (1990), que precede o licenciamento ambiental para extração desse tipo minério.

<sup>53</sup> Vale destacar que em 1984, a indústria de extração mineral cresceu 30,5%.

foram lançados pelas autoridades governamentais. Para cada proposta, poderiam ser adotadas novas moedas, utilização de correção monetária e/ou congelamento nos níveis de preços (ABREU, 2015).

Em termos efetivos, nenhuma proposta surtiu o desejado efeito da estabilização. O Plano Cruzado (1986-1987) obteve resultados positivos apenas nos três primeiros meses de funcionamento, os Plano Bresser (1987-1988), a política ortodoxa “feijão com arroz” (1988) e o plano verão (1989-1990) também seguiram a mesma tendência, com períodos artificiais de estabilidade nos primeiros momentos, seguidos da retomada inflacionária (ABREU, 2015; SOUSA, 2009).

Em linhas gerais, a década de 1980<sup>54</sup> é categorizada como “década perdida”, dado os desequilíbrios locais e externos, que inibiram um ambiente para políticas desenvolvimentistas (diferente dos períodos anteriores).

Entre 1980 e 1989 o PIB cresceu apenas 2,9% ao ano em contraste com mais de 8% ao ano na década de 1970. Levando em conta o crescimento populacional de 2% ao ano, a renda *per capita* da economia brasileira avançou apenas 0,9% ao ano na década de 1980. (ABREU, 2015, p. 311)

Os resultados biofísicos desagregados de DMC são descritos na Tabela 8, permitindo a comparação com os dados macroeconômicos. Os crescimentos acumulado e médio do PIB, população e das categorias materiais expressam resultados menores, em comparação a década de 1970. No campo da biomassa, o segmento “colheitas e resíduos” cresce a uma média anual de 4%.

**Tabela 8. Variação Biofísica do consumo doméstico de materiais, por categoria: Brasil, 1981-1990.**

<b>Categoria</b>	<b>Crescimento Acumulado<sup>1</sup></b>	<b>Crescimento Médio Anual<sup>2</sup></b>
<b>PIB</b>	23,47%	2,13%
<b>População</b>	20,01%	1,84%
<b>Biomassa</b>	33,80%	2,95%
<b>Minerais Metálicos</b>	72,85%	5,62%
<b>Minerais Não Metálicos</b>	-3,05%	-0,31%
<b>Combustíveis Fósseis</b>	28,35%	2,53%

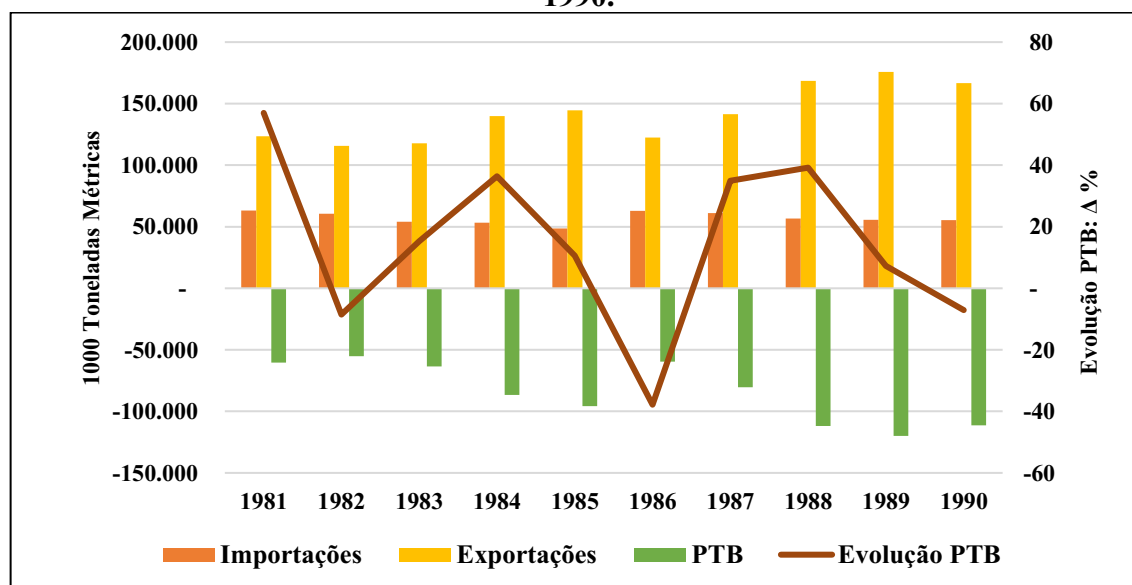
Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa. 1) Fórmula de variação acumulada: ((valor final/valor inicial) -1) \*100. 2) Fórmula de crescimento médio anual: ((valor final/valor inicial) -1) \*100.

<sup>54</sup> Não desprezando os acontecimentos políticos, como o retorno democrático (efetivado em 1985 com eleições indiretas, e consolidado com a efetivação das eleições democráticas em 1989) e o estabelecimento de uma nova constituição em 1988. Esse ambiente será crucial para mudanças econômicas (e no uso material) do Brasil nas décadas seguintes.

No tocante à categoria de minerais metálicos, o quantitativo de ferro cresceu a uma média anual de 9%, confirmando os resultados monetários favoráveis da indústria mineral. Em relação aos minerais não metálicos<sup>55</sup>, o segmento “minerais químicos e fertilizantes” foi na contramão do resultado total da categoria, uma vez que apresentou crescimento médio anual de 7%. Já o setor de combustíveis fósseis apresentou resultados menos expressivos, período em que se consolidam as políticas de substituição energética na década de 1980<sup>56</sup>.

O comércio exterior biofísico (Figura 21) expõe mais claramente as estratégias adotadas no período em análise. Entre 1982-84, a estratégia de combate à inflação via incentivo às exportações (ABREU,2015) impactou diretamente na balança material brasileira. No biênio 1985-86, o descontrole inflacionário e o uso de políticas monetária e fiscal mais restritivas diminuem o quantitativo exportado em 15%, embora a importação tenha aumentado 29%. Entre 1987-89, a balança biofísica mais deficitária expõe um maior quantitativo exportado, atingindo uma média de -167.500 mil toneladas (contra -121.000 em 1981).

**Figura 21. Importação, exportação e evolução do PTB em dados biofísicos: Brasil, 1981-1990.**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.

Analisando a balança biofísica desagregadamente (Figura 22), é possível compreender a dinâmica sociometabólica na década de 1980. No tocante às exportações, a dinâmica do minério de ferro influenciou todo o segmento de minerais metálicos, conforme os já

<sup>55</sup> O segmento “Outros produtos de mineração e pedreiras” apresentou decrescimento médio anual de 3%.

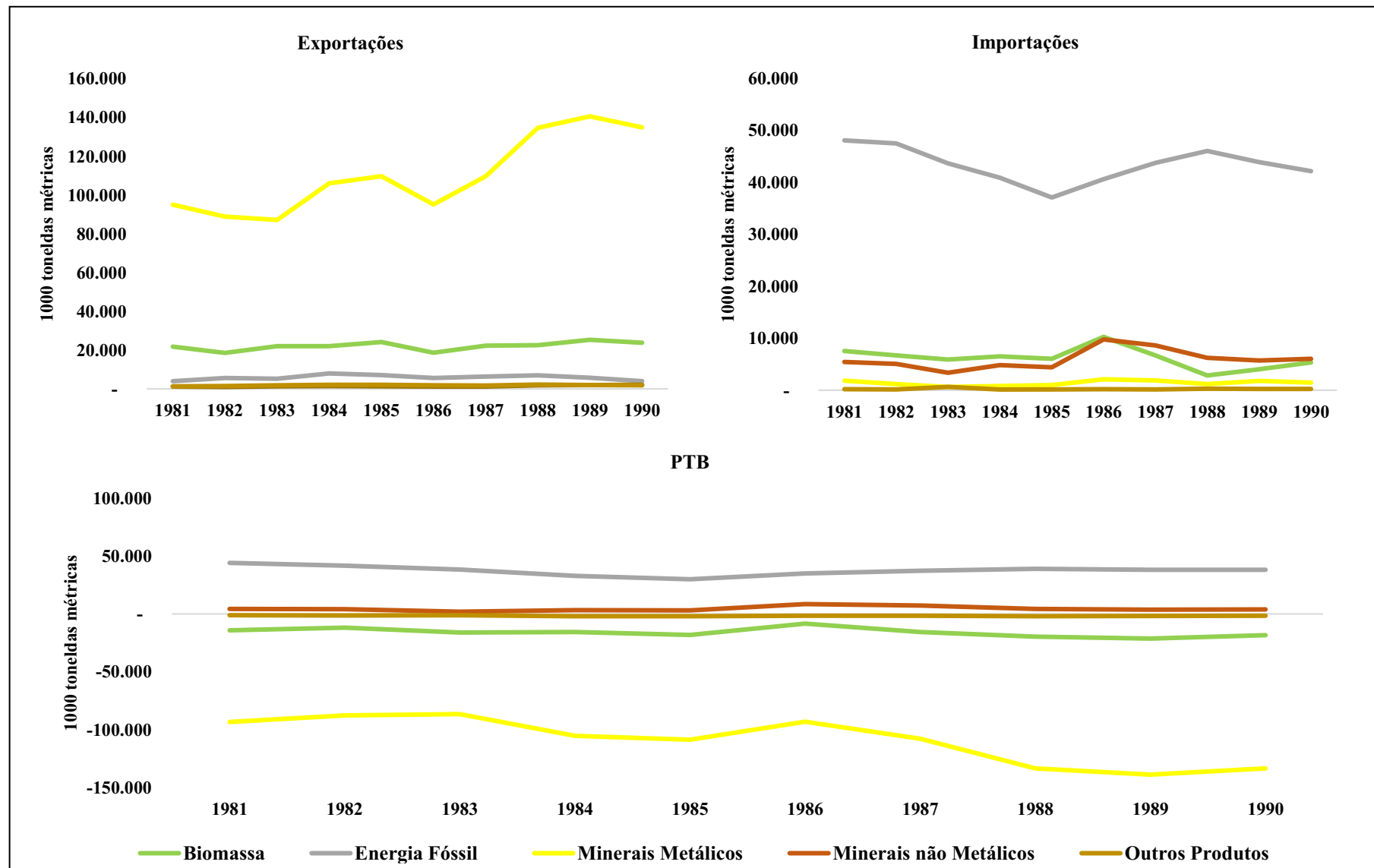
<sup>56</sup> A década de 1980 é considerada o auge do Programa Nacional do Alcool (Proálcool), iniciado em 1975 (CORREIA, 1996). Segundo dados de entidades ligadas ao setor canavieiro, o Brasil aumentou de 0,46% da frota movida a etanol em 1979 para 26,8% em 1990, atingindo um pico de 76,1% em 1986.

mencionados resultados econômicos favoráveis do setor. A maturação dos investimentos nesse segmento industrial de transformação (FERNANDES; ARAÚJO, 2016) ampliou o quantitativo exportado desse item (88.642 mil toneladas em 1981 para 132.652 em 1989). Já a biomassa sentiu efeitos da expansão no cultivo de soja: segundo informações do IBGE, a produção avançou de 1,9 milhão de toneladas na década de 1970 para 15 milhões no decênio seguinte. Os dados de colheitas primárias (que compõem o item biomassa) indicam uma expansão do subitem “culturas oleaginosas” na década de 1980, superando os 121%. Em relação aos demais materiais exportados, vale destacar o crescimento dos subitens “outros transportadores de energia fóssil” e minérios não metálicos (subitem “sal”).

No quantitativo importado, o petróleo continuou a apresentar o maior resultado absoluto, apesar do decréscimo no volume total (42.260 toneladas em 1981 para 28.260 em 1990). O PROÁLCOOL, aliado à baixa dinâmica econômica do período e os ajustes estruturais justificam os resultados (ABREU, 2015). As categorias de biomassa (liderado pelo grupo de cereais) e minerais não metálicos (com desaceleração no grupo “minerais químicos e fertilizantes”) também contribuíram para diminuição nas importações.

Em níveis comparativos, a Balança Comercial Biofísica (PTB) da década de 1980 apresenta níveis semelhantes aos da década anterior, cujo crescimento do coeficiente mineral exportado foi sufocado pela queda no volume de importações.

**Figura 22. Importações, exportações e PTB por categorias de materiais em 1000 toneladas métricas: Brasil, 1981-1990.**

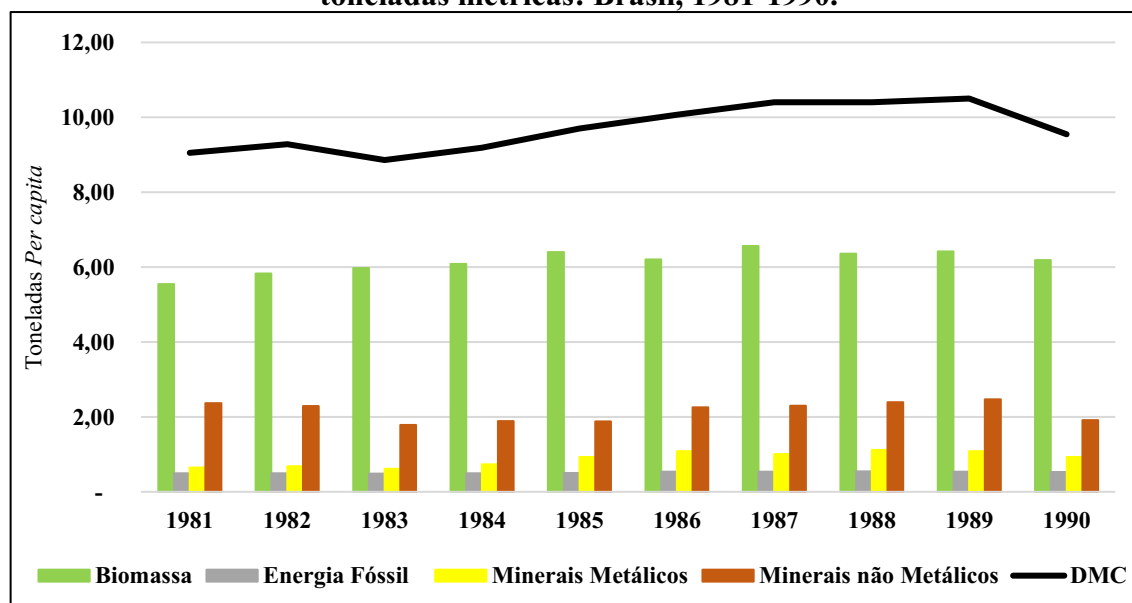


Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.



A taxa metabólica também expõe os acontecimentos da década supracitada (Figura 23). No tocante ao DMC, ocorre um aumento nas categorias de biomassa e minério metálico até 1985. Já os minérios não metálicos apresentam uma leve queda, seguindo de uma certa estabilidade. Entre 1986-1990, os efeitos conjunturais alternam a extração de todos os itens, com leve declínio em 1990. Na média, o consumo doméstico de materiais cresceu cerca de 1 tonelada *per capita*, quando confrontados com a década anterior.

**Figura 23. Taxa Metabólica do consumo doméstico por categorias de materiais, em toneladas métricas: Brasil, 1981-1990.**

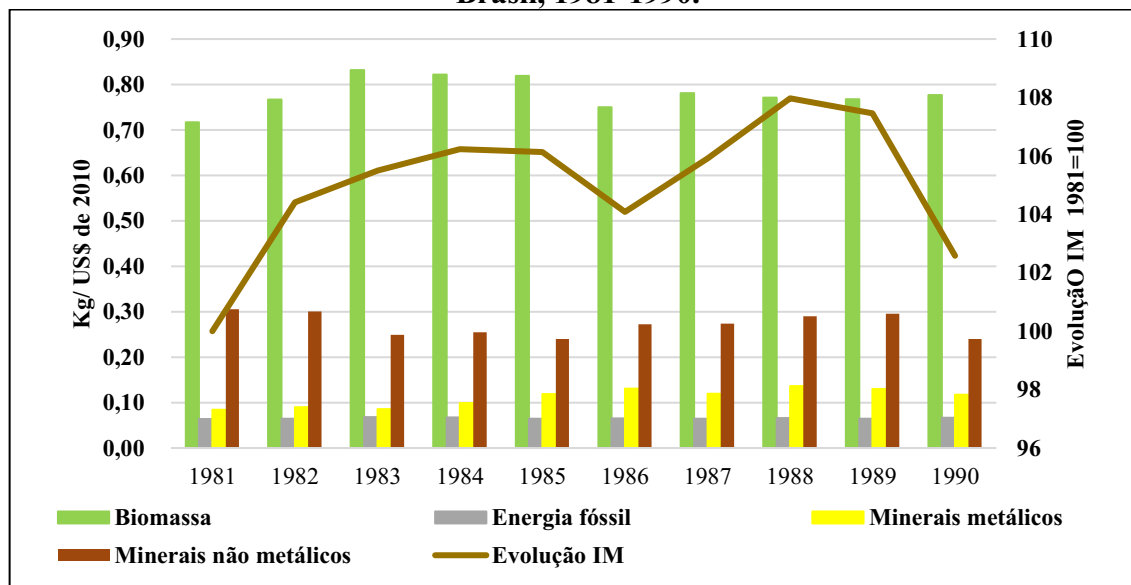


Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.

O índice de intensidade material ( $IM_{DMC}$ ) da década de 1980 (Figura 24) evidencia que o decrescimento econômico influenciou consideravelmente o indicador, com queda de 5% durante o decênio supracitado (média de 1,24 Tonelada/Dólar). Entre 1981-85, a média foi uma estagnação na relação DMC/PIB, seguido de um crescimento de 4% entre 1986-87, e novamente uma queda mais abrupta nos anos seguintes.

Na análise desagregada, observa-se um crescimento nos níveis de biomassa (média de 0,77), minerais metálicos (média de 0,12) e energia fóssil (média de 0,06), bem como uma diminuição nos níveis de minerais não metálicos (0,31 tonelada/PIB em 1981 e 0,24 em 1990), totalizando uma média de 0,27 Tonelada/Dólar.

**Figura 24. Intensidade Material (DMC) por categorias de materiais em toneladas/dólar: Brasil, 1981-1990.**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.

No tocante ao índice de desacoplamento, o resultado para o período de 1981 a 1990 foi de 1,1. Assim, houve acoplamento, isto é, o índice de consumo de materiais na década perdida foi maior que a variação do PIB.

#### *4.2.1 A política ambiental e os níveis de emissões (1981-1990)*

Em relação aos normativos ambientais, o estabelecimento de uma Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA, a Lei 6.938/1981 (BRASIL,1981), viabilizou um sistema integrado através do Sistema Nacional de Meio Ambiente -SISNAMA e um conselho regente (Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA), equacionando competências, princípios e diretrizes para todos os entes da federação na matéria.

O dispositivo legal também inovou ao inaugurar uma nova etapa no modo de utilização e apropriação dos recursos naturais para atividade produtiva, prevendo a utilização de instrumentos de gestão ambiental (Art. 9º da PNMA) de alcance nacional. Dentre eles, destacam-se: o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental, o zoneamento ambiental, a avaliação de impactos ambientais, e o licenciamento de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras. (FERREIRA; SALLES, 2017, p.8)

Ainda, a criação de um ministério do Meio Ambiente e desenvolvimento urbano em 1985, em conjunto com resoluções que incluíam o impacto ambiental nos licenciamentos também são considerados avanços período (MOURA,2016).

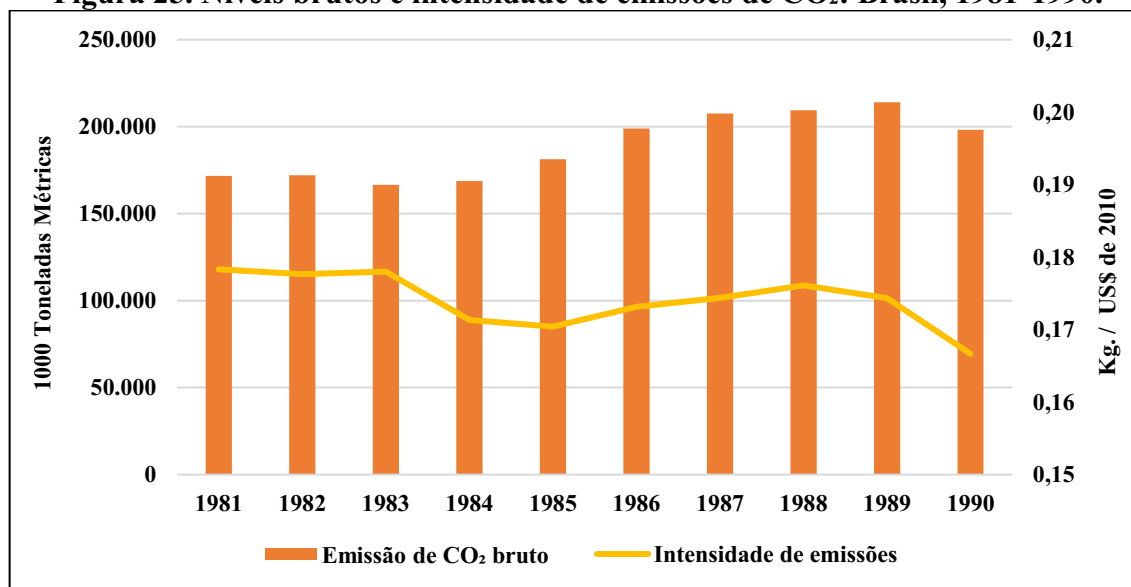
Outro importante marco institucional foi a inclusão de um capítulo sobre o Meio Ambiente na nova constituição, descrito no artigo 225 (BRASIL, 2001) que prevê um meio ambiente ecologicamente equilibrado, com ênfase na sua preservação para as futuras gerações.

Por fim, a criação do Fundo Nacional do Meio Ambiente (Lei 7.927/1989), agente financiador da PNMA e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA (Lei 7.735/1989) comprova que as preocupações ambientais entraram nas pautas dos governos civis, algo preponderante nas décadas seguintes. O zoneamento econômico-ecológico, importante mecanismo de regulação, só veio a ser efetivado em 1990.

Em termos efetivos, a situação foi parcialmente antagônica. Grandes projetos de industrialização (através da instalação de siderúrgicas) no estado do Pará, como o Programa Grande Carajás, ampliou extração de minerais metálicos e não metálicos, trazendo impactos significativos ao equilíbrio ecológico (CONGILIO, 2019).

Quanto aos níveis de emissões, o ciclo 1981-1990 expressa a escalada nos níveis de poluição (Figura 25). Com exceção de 1983-84 e 1990, houve aumento nos níveis absolutos de CO<sub>2</sub> emitidos e uma tendência do aumento na intensidade de emissões, apesar dos normativos jurídicos efetivados na segunda metade da década supracitada.

**Figura 25. Níveis brutos e intensidade de emissões de CO<sub>2</sub>: Brasil, 1981-1990.**



Fonte: Elaborado pelo autor. Dados do *World Bank*.

Azevedo (2015) analisa as emissões brasileiras desagregadamente (por quinquênio): entre 1985-1990 houve aumento nos níveis de emissões dos grupos ligados à agropecuária (12%), produção e consumo de combustíveis e energia elétrica (9%), emissões diretas

decorrentes de processos de transformação química e/ou física de materiais (10%) e resíduos industriais e domésticos (16%).

Concluindo, a década de 1980 é marcada por avanços no arranjo normativo ambiental, mas em termos efetivos, é caracterizada pela ampliação no uso de materiais (balança biofísica mais deficitária, maior intensidade material e crescimento na taxa metabólica) e incremento das emissões poluidoras. Pode-se afirmar que o período soma as ineficiências econômicas e ecológicas, traduzidas em um expressivo quociente de recursos financeiros líquidos e materiais exportados.

#### *4.3. Abertura comercial, estabilização e privatização: o sociometabolismo em um cenário neoliberal (1991-2002)*

Todo o arcabouço político econômico deste período poderia ser sintetizado em três palavras-chaves: consenso de *Washington*, estabilização macroeconômica (controle da inflação) e abertura comercial. Obviamente isto pode significar uma simplificação da dinâmica econômica ao longo destes anos, mas certamente os termos em destaque marcarão esta quadra histórica e terão desdobramentos importantes em períodos subsequentes. No campo político, o Brasil assiste à consolidação do novo período democrático com a realização das segundas eleições diretas pós-redemocratização. Houve também a introdução de uma novidade eleitoral, que foi a possibilidade de reeleição do Presidente da República.

Em 1989, em Washington D.C., um grupo de economistas ligados ao setor financeiro, em conjunto com autoridades governamentais dos EUA, em parceria com o Fundo Monetário Internacional (FMI), estabeleceram dez diretrizes básicas de suporte para o receituário de ajuste para os países em desenvolvimento. Dentre elas, um tratamento mais enérgico a nações com excessivo grau de endividamento, com pontos que envolviam gradualismo, câmbio competitivo, liberalização econômica, incentivo às exportações e atração de capitais externos (BELLUZZO, 2007; VAZ; MERLO, 2020).

Ainda no eixo mais ao sul do continente americano, a escalada inflacionária persistia em um cenário de pós-redemocratização brasileira, e encontrou no projeto político liberalizante liderado por Fernando Collor de Mello a oportunidade de implementação das medidas consensuais (GIAMBIAGI et al., 2011).

Em termos efetivos, o projeto original foi findado pelo *impeachment* em 1992 e seus dois planos (Collor 1 e 2), fracassaram no controle inflacionário, mas na gestão de seu vice, Itamar Franco, o Plano Real (sexta tentativa de estabilização desde 1986) viria a ter sucesso,

em paralelo com os processos de abertura econômica e desestatização, que continuaram a vigorar (LACERDA et al.,2017; ABREU,2015).

Em uma economia com inflação estável, embora ainda alta (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo - IPCA anual de 2477% em 1993, e 916% em 1994) e sinais positivos de crescimento no ano corrente (alavancada pelo programa liberalizante e aquecimento da demanda) garantiram apoio popular e a eleição do sociólogo Fernando Henrique Cardoso (FHC), até então ministro da fazenda na consolidação do Plano Real, mantido no poder até 2002.

Na primeira gestão FHC (1995-1998), o grande desafio era manter o controle inflacionário e a economia funcionando em níveis estáveis. Embora o sucesso do Plano tenha garantido um início de gestão relativamente tranquilo, os desafios se mantinham ativos, e uma das medidas adotadas até então, a manutenção do câmbio sobrevalorizado via âncora nominal (onde o câmbio trabalhava em um regime de banda, tendo a moeda americana como referência), demonstrava risco para manutenção da eficiência (GIAMBIAGI et al., 2011).

Outra problemática era relativa a um dos fatores que contribuíram para o sucesso do Plano, a expansão da demanda.

No início de 1995, o *boom* de demanda, que havia sido induzido pelo próprio lançamento do Plano e pelo clima de otimismo a que deu lugar, atingiu proporções preocupantes, levando a rápida deterioração do saldo da balança comercial e a ligeiro repique da inflação. Como isso ocorreu exatamente quando as repercussões da crise mexicana estreitavam as possibilidades de financiamento externo da economia brasileira, a sustentabilidade do Plano chegou a ser colocada em dúvida. A apreensão com a possível extensão do contágio da crise mexicana logo deflagrou clara divisão dentro do governo sobre a condução da política cambial. (ABREU, 2015, p. 335)

Em termos efetivos, a questão cambial foi parcialmente perdurada até o segundo mandato, embora a crise mexicana (1995) tenha provocado inúmeros desentendimentos acerca de sua condução. Segundo Abreu (2015), as pressões oriundas da expansão da demanda (como o aumento no endividamento das famílias e crise no sistema financeiro que se mantinha em um regime de alta inflação) foram balizadas por políticas de contenção (como novas tarifas de importação, que também influenciou a questão cambial), intervenção do Banco Central junto às instituições financeiras estaduais e juros altos.

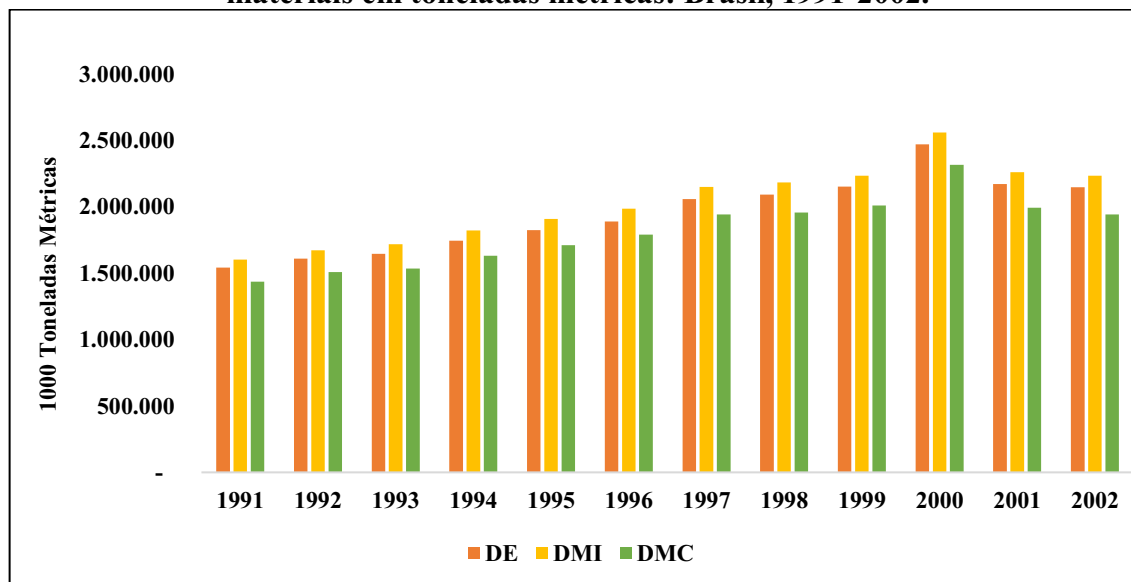
No tocante às privatizações em curso, importantes sistemas governamentais foram desestatizados na gestão FHC, como os segmentos de extração mineral e os setores de energia e telecomunicações. A utilização de tais receitas propiciaram intensos debates na equipe econômica, entre as correntes que desejavam investimentos estruturantes (que acabariam sendo

parcialmente acatados para o projeto de reeleição), e aqueles que priorizavam o resgate da dívida pública interna, o que acabou prevalecendo (ABREU, 2015; ARAÚJO; MATTOS, 2021).

Em 1998, uma nova vitória em primeiro turno legitimou a primeira reeleição desde o retorno do regime democrático. Durante o segundo mandato de FHC, o problema cambial se mostrou inadiável com crises externas, como os atentados terroristas em 11 de setembro de 2001. Outro marco do segundo mandato são as mudanças efetivas na condução da política econômica: sistema de câmbio flutuante, regime de metas de inflação e *superávit* primário (metas fiscais) passaram a ser o mantra, o comumente denominado “tripé macroeconômico” (ABREU, 2015; GIAMBIAGI et al., 2011).

Em meio a estes acontecimentos políticos e econômicos, a demanda material da década de 1990 (e início do século XXI) é caracterizada pela ampliação até o ano 2000, seguida de uma diminuição no biênio seguinte (Figura 26). Os três indicadores em destaque possuem tendências parecidas, e o total efetivo de material extraído e/ou consumido ultrapassou as 2,5 bilhões de toneladas.

**Figura 26. Extração doméstica, entrada direta de materiais e consumo doméstico de materiais em toneladas métricas: Brasil, 1991-2002.**

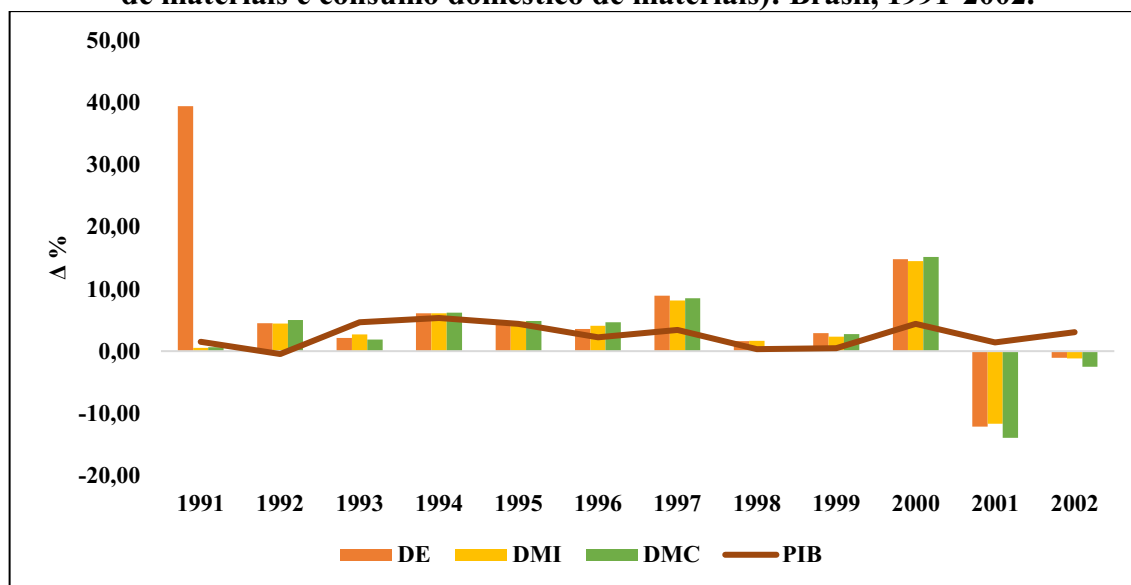


Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.

A evolução biofísica brasileira (Figura 27) indica que os anos de 1997 e 2000 foram os períodos com maior crescimento material. Em 2001 ocorre a queda mais acentuada (-12,14% para DE, -11,69% para DMI e -13,94% para DMC), expondo as vulnerabilidades ante crises externas, além da própria desaceleração mundial ocorrida no ano em evidência. Outra questão

que justifica a queda de 2001 está ligada à crise energética iniciada no mesmo ano, que influenciou o ritmo da atividade econômica, diminuindo o consumo material.

**Figura 27. Evolução anual (%) no fluxo de materiais (extração doméstica, entrada direta de materiais e consumo doméstico de materiais): Brasil, 1991-2002.**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.

Em termos monetários, as gestões Collor/Itamar (1991-1994) são caracterizadas por uma variação do PIB de 2,85%. Vale salientar que o setor agropecuário também apresentou taxas positivas durante todo o período (média de 3,40%), assim como a indústria (média de 4,20%) e o setor de serviços (média de 2%). Já a utilização da capacidade produtiva média do período orbitou em 76%

Nos dois governos FHC (1995-2002), apesar dos ganhos da estabilização inflacionária, os resultados expressam uma taxa média de variação do PIB menor: 2,45%. O setor agropecuário evidenciou uma variação média de 4,55%, os segmentos industriais apresentam média de 1,60% e o setor de serviços, 2,40%. A utilização da capacidade média foi de 80,5%.

A análise desagregada do DMC (Tabela 9) permite traçar um comparativo com os resultados econômicos destacados nos parágrafos anteriores. No campo da biomassa, trajetória positiva do segmento agropecuário é refletida no tópico “colheitas e resíduos”, que cresceu a uma média anual de 2%.

**Tabela 9. Variação Biofísica do consumo doméstico de materiais, por categoria: Brasil, 1991-2002.**

<b>Categoria Material</b>	<b>Crescimento Acumulado<sup>1</sup></b>	<b>Crescimento Médio Anual<sup>2</sup></b>
<b>PIB</b>	33,14%	4,31%
<b>População</b>	17,80%	1,37%
<b>Biomassa</b>	21,65%	1,65%
<b>Minerais Metálicos</b>	-9,95%	-3,71%
<b>Minerais Não Metálicos</b>	98,37%	-0,27%
<b>Combustíveis Fósseis</b>	52,36%	0,03%

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa. 1) Fórmula de variação acumulada:  $((\text{valor final/valor inicial}) - 1) * 100$ . 2) Fórmula de crescimento médio anual:  $((\text{valor final/valor inicial}) - 1) * 100$ .

Já a categoria de minerais metálicos reflete os resultados sazonais do segmento industrial, registrando o único crescimento acumulado negativo. O período 1991-2002 é também marcado por um crescimento médio anual desfavorável para o minério de ferro consumido, que registrou uma média anual de -6%<sup>57</sup>.

Em relação aos minerais não metálicos, é registrado o maior crescimento acumulado por categoria, apesar da média anual negativa, onde o segmento “minerais químicos e fertilizantes” registra um crescimento médio anual de 7%. Já o setor de combustíveis fósseis foi influenciado pelo consumo de petróleo, que cresce a uma média anual de 3%.

O comércio exterior biofísico (Figura 28) explicita as estratégias políticas econômicas adotadas nos diferentes governos, que a tornaram-na mais deficitária ao fim de 2002, chegando a um PTB 100% maior, quando comparado ao ano de 1991.

Entre 1991-98 a tendência no volume biofísico de importações foi de aumento (média anual de 8%), corroborando com a tese que abertura comercial foi efetiva, apesar do reestabelecimento das quotas tarifárias na I gestão FHC. O quadriênio seguinte apresentou resultados sazonais, por questões relativas ao câmbio<sup>58</sup> e as também já mencionadas crises externas (ABREU, 2015).

Já os níveis biofísicos de materiais exportados também indicam momentos distintos: sentindo o efeito da escalada inflacionária, o período 1991-92 é marcado por uma leve diminuição, seguindo de uma alta desde o início da formulação do Plano Real e primeiro ano

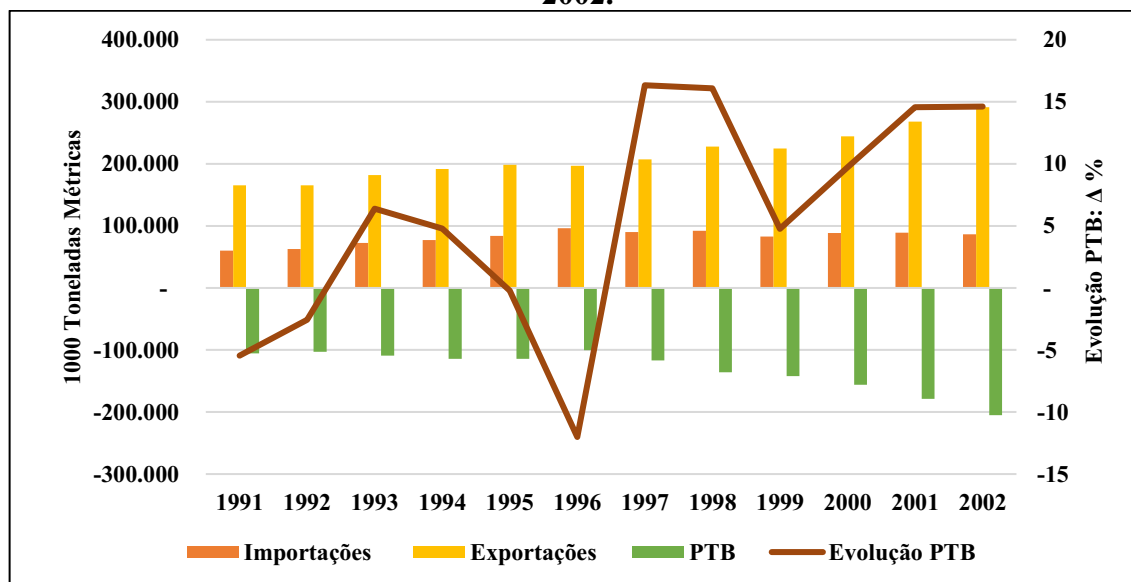
<sup>57</sup> O câmbio valorizado certamente influenciou a decisão de investimentos, uma vez que as importações se tornaram mais atrativas. Além disso, os dados do IBGE apontam que a média de variação da formação bruta de capital fixo (FBCF) no período foi de 1,25%.

<sup>58</sup> Entre 1995-1989, a âncora cambial (um dos pilares do Plano real) entra em progressivo desgaste, culminando com adoção do câmbio flutuante em 1999, influenciando a balança comercial biofísica.



de gestão Cardoso (crescimento médio anual de 3% entre 1993 e 1995). A partir de 1997, todos os anos registraram altas sucessivas, com crescimento médio anual de 6%.

**Figura 28. Importação, exportação e evolução do PTB em dados biofísicos: Brasil, 1991 - 2002.**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.

A Figura 29 permite uma melhor análise da balança biofísica, em paralelo aos resultados monetários anteriormente descritos. No que se refere às exportações, a privatização da Vale do Rio doce em 1997 estabelece uma nova dinâmica ao quantitativo mineral exportado (ROCHA et al., 2019). Vale salientar que o setor já apresentava resultados positivos (e crescentes) desde o ano de 1992, tendência mantida até o final da série.

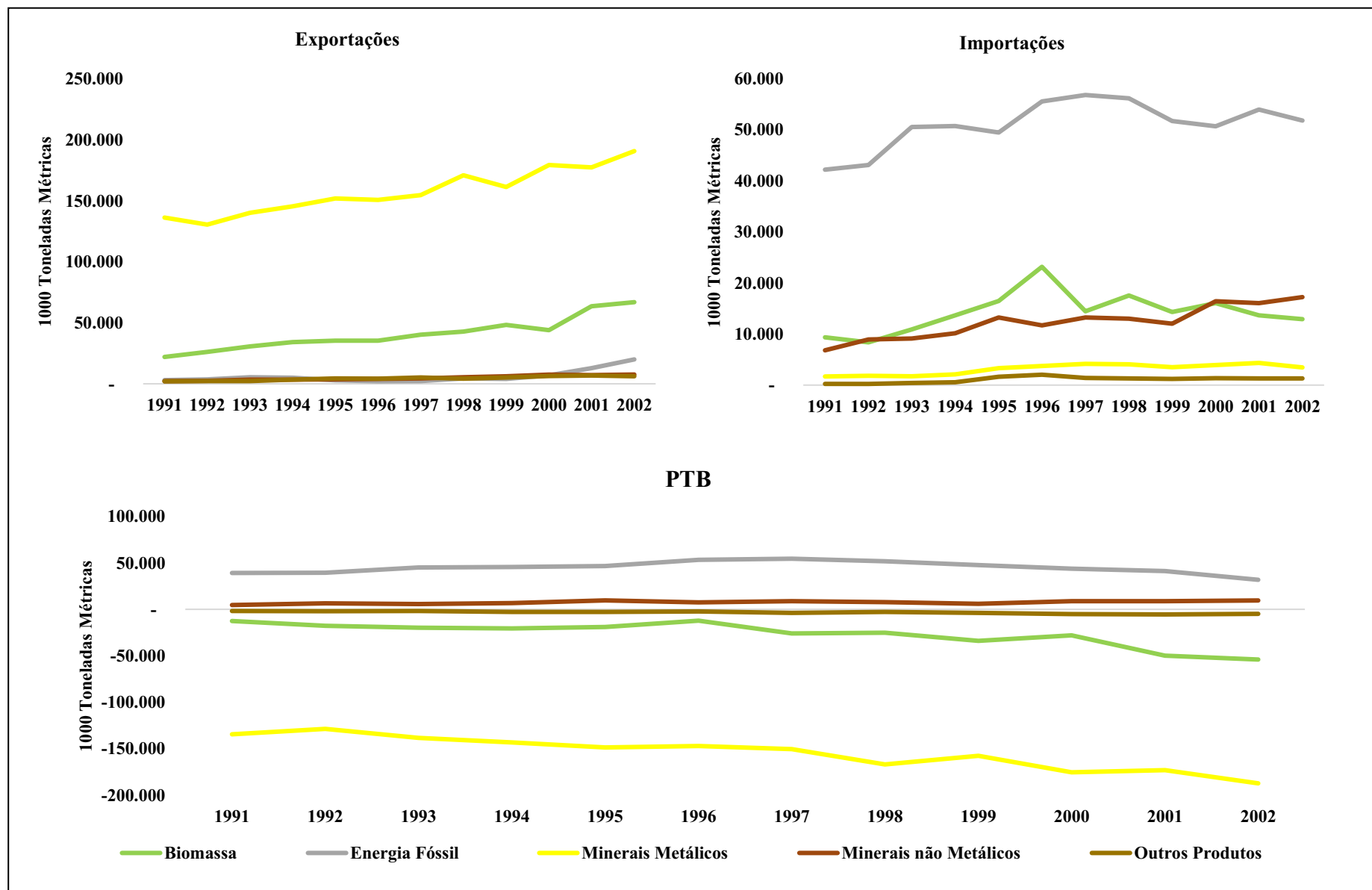
Já a biomassa apresentou resultados de crescimento ininterrupto entre 1991-02, puxada pela produtividade do grupo “culturas oleaginosas” (que inclui a soja)<sup>59</sup> e carne bovina, que cresceram, em média anual, 19% e 16%, respectivamente. Outros destaques, embora em menor volume acumulado, estão relacionados às categorias “energias fóssil” (subitem outros transportadores de energia fóssil) e “minérios não metálicos” (subitem “sal” e materiais de construção).

No quantitativo importado, o Brasil se mantém como grande demandante de energia fóssil, ampliando o volume de carvão e diminuindo sensivelmente o volume de derivados de petróleo, devido a maior especialização do parque produtivo (RODRIGUES, 2000).

<sup>59</sup> Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), entre 1991-2002 a área plantada do grupo cereais, leguminosas e oleaginosas aumentou 4,48%.

Em relação aos resultados mais expressivos das outras categorias, há uma tendência quase linear no volume de metais metálicos não ferrosos e, um crescimento expressivo no item minerais não metálicos (fertilizantes), de 6,59 mil toneladas em 1991 para 12,92 em 2002. Assim, a tendência da Balança Comercial Biofísica (PTB) consolida o Brasil como grande exportador de minério de ferro e de produtos agropecuários.

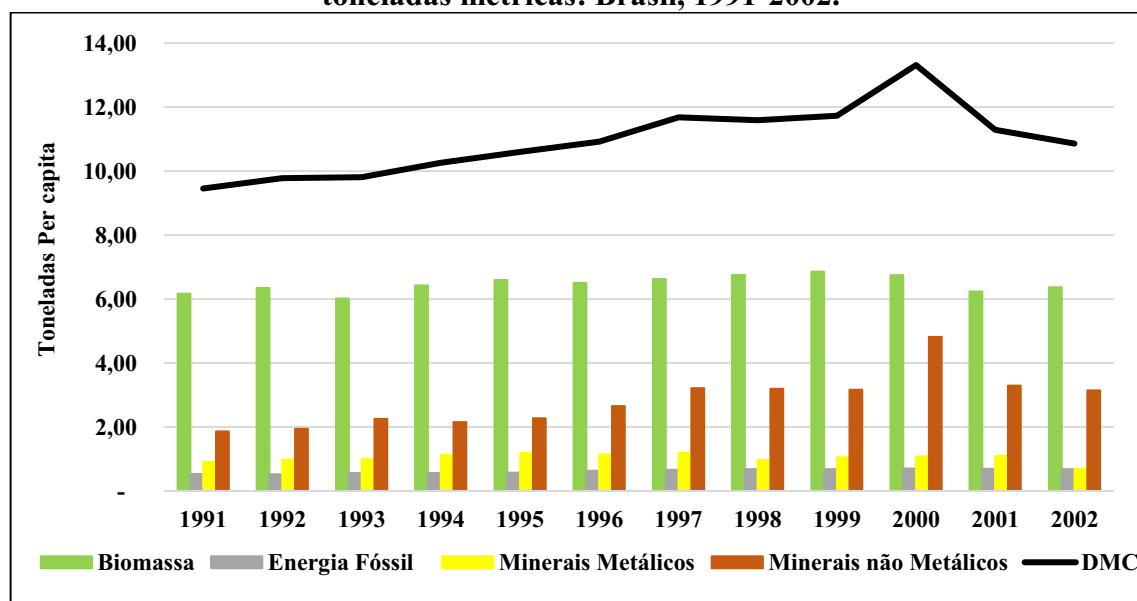
**Figura 29. Importações, exportações e PTB por categorias de materiais em 1000 toneladas métricas: Brasil, 1991-2002.**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.

A taxa metabólica (Figura 30) explicita os resultados para os anos 1991/2002. Há ampliação nos níveis *per capita* de DMC para biomassa( média de 6,47) , minério metálico (média de 1,07) e, em maior intensidade, para minerais não metálicos ( média de 2,90), mesmo com o aumento populacional<sup>60</sup>. O indicador consolidado (linha preta) variou entre 9 e 11 toneladas *per capita*.

**Figura 30. Taxa Metabólica do consumo doméstico por categoria de materiais, em toneladas métricas: Brasil, 1991-2002.**



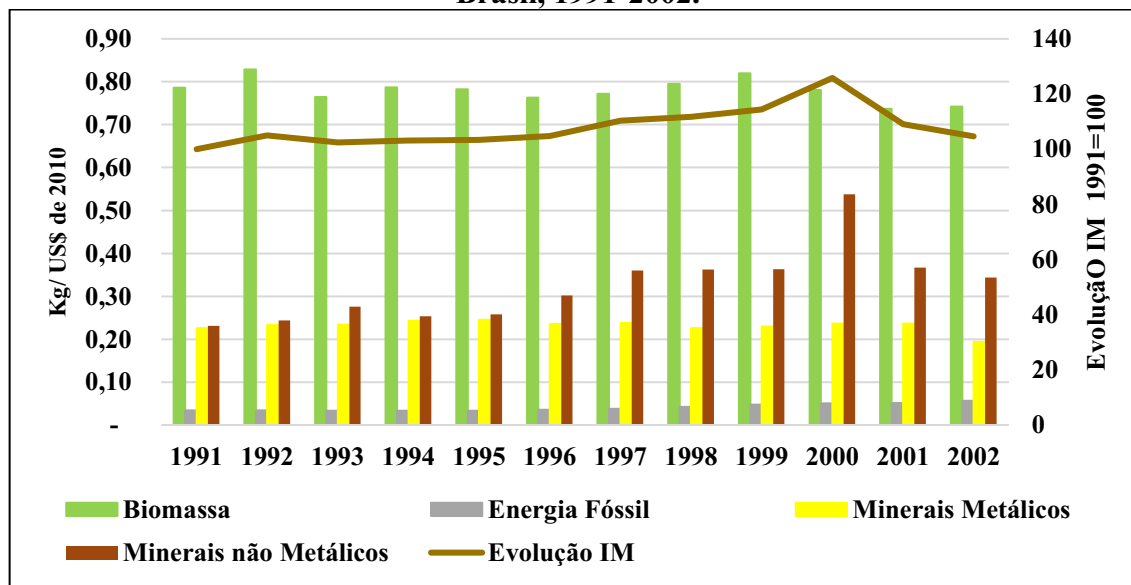
Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.

O indicador de intensidade material para o DMC (Figura 31) obteve um média de 1,26 Tonelada/Dólar para o período 1991-2002, sendo majoritariamente constante até 1999, seguido de uma queda branda no triênio seguinte, abonada pelos resultados favoráveis do PIB brasileiro no período.

Na análise desagregada, e comparando-a com a década de 1980: observam-se níveis semelhantes para o quociente de biomassa consumida (média de 0,77); uma maior intensidade na categoria de minerais não-metálicos (média de 0,33); seguido dos minérios metálicos (média de 0,12) e; energia fóssil (média de 0,07). Tais resultados indicam que o processo neoliberal e estabilizante da década de 1990 não foi ecologicamente eficiente, uma vez que ampliou o a intensidade de materiais consumidos.

<sup>60</sup> Segundo os dados populacionais do IBGE, entre 1991 e 2002 a população brasileira aumentou 13,38%.

**Figura 31. Intensidade Material (DMC) por categorias de materiais em toneladas/dólar: Brasil, 1991-2002.**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.

Os períodos que seguem a consolidação Plano Real e os dois mandatos de FHC são marcados por um acoplamento ( $I_d=1,1$ ). Isso implica que entre 1991 e 2002, a demanda e extração material foram relativamente maiores que o crescimento econômico.

#### 4.3.1 A política ambiental e os níveis de emissões (1991-2002)

No início do governo Collor, se observa uma maior atenção a matéria ambiental, justificada pela nomeação de um cientista e ecólogo para a pasta, em meio aos preparativos da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), cuja realização em 1992 é considerada um marco no ambientalismo mundial (MOURA, 2016; OLIVEIRA, 2012; VIEIRA, 1992).

Paralelamente, a efetivação da PNMA em 1991 e decisões mais efetivas em torno dos compromissos legais estabelecidos na década de 1980 também marcam a gestão Collor. Como destaca Warren e Viola (1998), existia uma preocupação com a imagem do Brasil perante às ricas nações do Norte, cujas pautas ambientais vinham recebendo maior atenção, o que alertou a equipe presidencial, que encontrou na Rio-92 uma oportunidade de “vender” um Brasil compromissado.

O cenário político e econômico posterior, contudo, mitigou ações mais efetivas. Os cortes orçamentários da Secretaria do Meio Ambiente, que passou a ser Ministério já no início da gestão Itamar Franco (1992), mas a preocupação ambiental manteve-se como secundária

(uma vez que o Ministério contava com poucos funcionários e nenhum projeto estratégico), algo mantido até o final de seu mandato (WARREN; VIOLA, 1998).

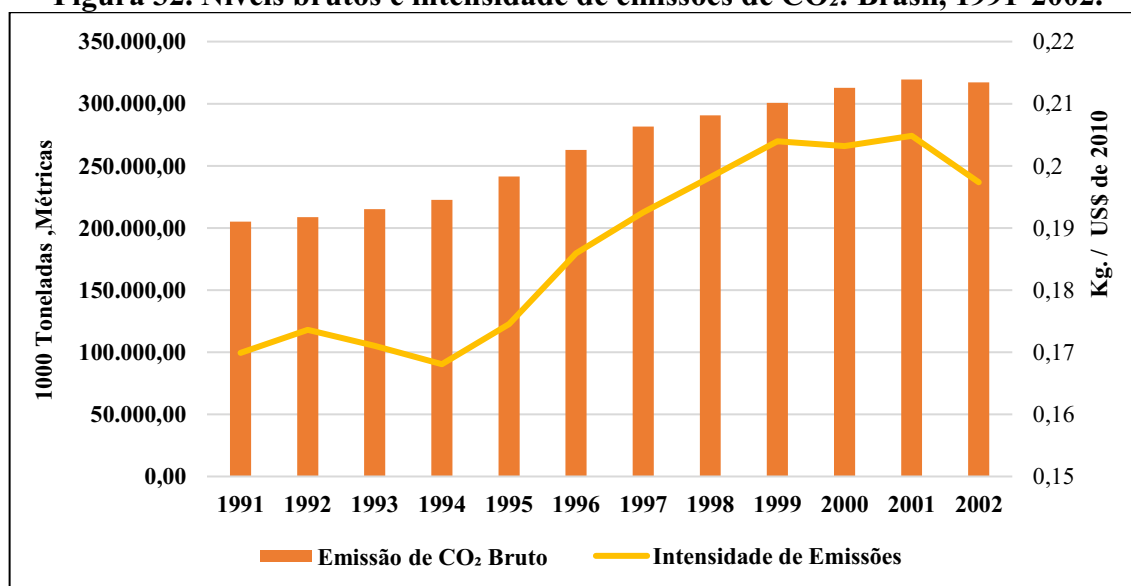
O mesmo pode ser afirmado nas gestões FHC, apesar de alguns marcos do período: delimitação de atividades sujeita ao processo de licenciamento (Resolução CONAMA 237/1997), criação de um dispositivo para Crimes Ambientais, por meio da Lei 9.605/1998, e o Sistema Nacional de Unidade de Conservação da Natureza – SNUC, publicizado na Lei 9.985/2000 (MOURA, 2016; FERREIRA; SALLES, 2017).

Basicamente, ocorre a consolidação dos dispositivos já planejados na década anterior, mas nada que focalizasse nos segmentos industrial (com o crescimento da frota automotor), mineral (aumento da produção metálica e não metálica) e agropecuário (expansão da soja e pecuária).

[...]a Política Nacional do Meio Ambiente teve sua implementação iniciada em um período de baixo investimento. Até o início dos anos 2000, o principal instrumento de gestão ambiental previsto legalmente (o licenciamento ambiental) não havia sido sistematicamente empregado no plano federal. (FERREIRA; SALLES, 2017, p. 12)

Parte dos efeitos podem ser mensurados através da análise das emissões (Figura 32), que indica um crescimento de 50% nos níveis brutos, em uma escala crescente na intensidade, resultado das expansões das atividades econômicas (e poluidoras), não acompanhadas de regulação governamental, apesar dos já destacados ordenamentos jurídicos criados.

**Figura 32. Níveis brutos e intensidade de emissões de CO<sub>2</sub>: Brasil, 1991-2002.**



Fonte: Elaborado pelo autor. Dados do *World Bank*.

Com o objetivo de complementar as informações anteriores, cabe avaliar os níveis de emissões desagregados. Azevedo (2015) indica que, entre 1995 e 2000, aumentaram as emissões de atividades ligadas à agropecuária (25%), produção e consumo de combustíveis e energia elétrica (23,23%), emissões diretas decorrentes de processos de transformação química e/ou física de materiais (17%) e resíduos industriais e domésticos (15%).

Também é possível aferir um importante grupo emissor brasileiro, as mudanças no uso do solo e florestas (que inclui desmatamento e queimadas para pastagens e plantações). Segundo dados do SEEG, em 1990 foram emitidas 1.391 Mt CO<sub>2</sub>e, atingindo 1.535 em 2000. Ou seja, as já mencionadas ampliação das fronteiras agrícolas, que implicam nos resultados expressivos no grupo de materiais ligados à biomassa (e as outras cadeias ligadas a agroindústria), contribuíram para os maiores níveis de emissões registrados.

Concluindo, tanto a trajetória sociometabólica quanto os resultados das emissões, tem no setor extrativo um relevante protagonista, situação que foi sendo ampliada ao longo da década de 1990. A partir dos segmentos agropecuário, mineral e fóssil, o Brasil vivencia uma nova realidade, que vai contextualizar as primeiras décadas do século 21, o ciclo das *commodities*, fruto de uma maior demanda internacional de bens primários.

#### *4.4 Do consenso das commodities as políticas reacionárias: a expansão material no século XXI (2003-2019)*

Conforme os dados percorridos no item 4.3, o último biênio da gestão FHC é caracterizado pela maior demanda internacional por bens agropecuários, petrolíferos e mineiros geraram modificações nas pautas exportadoras de algumas nações, ou ampliaram aqueles produtos primários já comumente comercializados. Esse maior intercâmbio de matérias-primas inicia o já mencionado “ciclo das *commodities*”, que motivou a expansão do consumo e o estabelecimento de muitos governantes progressistas na América Latina (SVAMPA, 2019).

É esse um dos aspectos que circundam a eleição de Luiz Inácio Lula da Silva, torneiro mecânico nascido em Garanhuns/Pernambuco (que migrou para São Paulo ainda na infância), remanescente do sindicalismo industrial paulista, representando um anátema para com os segmentos mais conservadores da sociedade, dada as bandeiras progressistas que o ascenderam politicamente.

Tendo disputado três eleições anteriores pelo partido os trabalhadores (PT), o projeto de governo defendido pelo até então divergiu do gradualismo e conservadorismo (e até algumas vertentes do desenvolvimentismo) econômico. Contudo, a campanha de 2001 representou um

divisor de águas, onde a simbólica carta ao povo brasileiro firmava compromissos com austeridade, pagamento da dívida externa e controle inflacionário (ABREU, 2015; GIAMBIAGI et al., 2011).

Lula é eleito e inicia o mandato em 2003 corroborando com os compromissos firmados na campanha <sup>61</sup>. Ainda na primeira gestão, o tripé macroeconômico é mantido, além de uma tentativa de ajuste fiscal, sobretudo para aliviar a tensão do ano anterior, onde a aproximação da vitória do então candidato gerou expansão inflacionária de aproximadamente 13% (ABREU, 2015).

Já no ano seguinte, a expansão dos preços internacionais das *commodities* e a depreciação cambial (ABREU, 2015) permitiram expandir o ciclo de apropriação material e financiar o modelo desenvolvimentista, com ênfase na redução de pobreza e ampliação do consumo interno. Todavia, outros autores apontam uma contradição no modelo adotado pelo PT já no início gestorial.

Se, por um lado, mostrou-se capaz de garantir a retomada do crescimento econômico, do emprego e da renda dos trabalhadores, por outro, parecia não apontar a superação dos velhos problemas estruturais, especialmente o da desarticulação produtiva industrial, que perdera densidade desde a abertura comercial da década anterior. (ARAÚJO; MATTOS, 2021, p. 488)

Continuando, também é mérito do primeiro governo Lula<sup>62</sup> as políticas mais efetivas de combate à pobreza e miséria. É o caso do Programa Bolsa Família, mecanismo de transferência direta de renda que unificou três programas da gestão anterior (bolsa escola, renda mínima e auxílio gás). Sob a ótica macroeconômica, o impacto foi menos expressivo, porém na ótica social se mostrou eficaz, com redução na taxa e nos níveis de extrema pobreza (ARAÚJO; MATTOS, 2021).

Esse conjunto de ações garantiram uma grande popularidade ao presidente, chegando a 52% em agosto de 2006, o que garantiu sua reeleição. Neste segundo mandato, se observa um aumento no gasto público, com destaque para o programa de aceleração do crescimento (PAC)<sup>63</sup>, manutenção dos preços internacionais das *commodities*, apreciação cambial, um

---

<sup>61</sup> No ministério da Fazenda, Lula nomeou o médico petista e ex-prefeito de Ribeirão Preto Antonio Pallozi e, no Banco Central, a condução ficou pelo egresso do sistema bancário internacional Henrique Meirelles, indicações que tranquilizaram os mercados (COUTO; BAIA, 2004).

<sup>62</sup> Assim como a expansão de crédito bancário para todas as classes econômicas, que dinamizou o segmento de consumo de bens e serviços interno, sobretudo a indústria de bens duráveis (ARAÚJO; MATTOS, 2021).

<sup>63</sup> Segundo Araújo e Mattos (2021) a primeira versão do PAC centrou em investimentos de 504 bilhões de reais até 2010, nas áreas de infraestrutura, saneamento, transporte, habitação, energia e recurso hídricos. Após a crise americana de 2008, ampliou o volume para R\$ 657 bilhões.



cenário externo de liquidez (embora em 2008 uma crise internacional iniciada nos Estados Unidos estanque os fluxos monetários) e o aumento na arrecadação.

O segundo governo Lula também reconheceu os papéis fundamentais das empresas estatais no processo de desenvolvimento brasileiro. As estatais foram reaparelhadas e seus esforços no enfrentamento dos impactos da crise americana considerados importantes para a sua superação. Embora em menor número, em razão do processo de privatizações desencadeado nos anos 1990, aquelas que sobreviveram possuem gestões modernas e sofisticadas. (ARAÚJO; MATTOS, 2021, p. 510)

Em síntese, as duas gestões Lula são caracterizadas pela diminuição da desigualdade social e uma melhor distribuição de renda. Segundo Abreu (2015, p. 370): “O número de indivíduos vivendo em condições de pobreza extrema, que havia sido reduzido em 31,9%, entre o Plano Real e o final do segundo mandato de FHC, sofreu forte redução adicional de 50,6% durante os dois mandatos do Presidente Lula”.

Mantendo os bons índices socioeconômicos de aceitação e retomando o ritmo de crescimento em 2010, a aprovação do governo petista bateu recorde no fim do segundo mandato (83%, segundo o Instituto de Pesquisa Data Folha), permitindo a indicação de uma sucessora no próprio partido. A gestão do PAC pela então Ministra da casa civil Dilma Vana Rousseff garantiu o passaporte para a corrida presidencial com o apoio de Lula, iniciativa que se demonstrou bem-sucedida.

O terceiro mandato petista é marcado pelo aprofundamento da vertente desenvolvimentista, com menor rigor fiscal e expansão do gasto público. Em 2011 era lançada uma nova edição do PAC, que se apoiava nos resultados da primeira etapa do programa.

[...] o governo lançou o PAC 2, muito mais ambicioso, com investimentos previstos de R\$ 959 bilhões, entre 2011 e 2014. A ênfase agora recaía nas áreas de logística, energia e núcleo social-urbano, subdivididas em seis principais grupos: cidade melhor, comunidade cidadã, minha casa minha vida, água e luz para todos, e energia e transportes. Na área de energia, reservava R\$ 125,7 bilhões para investimentos na camada petrolífera do pré-sal. O programa ainda previa a construção de dez usinas hidroelétricas, de modelo plataforma, e mais quarenta e quatro hidrelétricas convencionais. Na área social, a estimativa é de aportes de R\$ 23 bilhões em seis segmentos: Unidades de Pronto Atendimento (UPAS), Unidades Básicas de Saúde (UBS), creches e pré-escolas, as chamadas “praças do PAC” e pontos de polícia comunitária. (ARAÚJO; MATTOS, 2021, p. 510)

Outro destaque está relacionado à condução econômica, a nova “matriz macroeconômica”, apoiada em três pilares: romper as questões derivadas da apreciação do câmbio via regulação sobre fluxos de capitais e derivativos financeiros, redução da taxa básica de juros e menores *superávits* primários (CHAMIÇO, 2018).

Contudo, ainda permaneciam os gargalos dos dois governos anteriores: crescimento econômico instável e desindustrializante, que gerava maior dependência das *commodities* e; dependência no curto prazo de interesses e expectativas do mercado financeiro. Ainda no primeiro mandato de Dilma, sentiu-se mais fortemente os impactos da crise iniciada no governo anterior, uma vez que diminuíram a demanda das *commodities* (com a desaceleração chinesa), impactando o ritmo de crescimento nacional (ARAÚJO; MATTOS, 2021).

Apesar do rompimento do ciclo de crescimento nos últimos dois anos de mandato, e os desafios impostos pelo fim do *boom* nos preços internacionais das *commodities*, Dilma Rousseff consegue se reeleger em uma difícil disputa em 2014 (CORSI et al., 2019).

Todavia, com grandes conflitos junto ao setor rentista, baixo dinamismo do mecanismo financiador da política fiscal e desindustrialização, o segundo mandato já se inicia com fortes resistências, aprofundadas com o avanço da recessão e desaceleração, o que vem precocemente a se findar em 12 de maio de 2016, após um processo de *impeachment* (ARAÚJO; MATTOS, 2021).

O vice presidente eleito, Michel Miguel Elias Temer Lulia, assume em um tom de reestruturação econômica e controle da crise, a partir de viés economicamente ortodoxo. Uma de suas primeiras iniciativas foi a Emenda Constitucional número 95 (BRASIL, 2016), que estabeleceu um novo regime fiscal para o orçamento (teto para gastos públicos), impactando todo o arcabouço desenvolvimentista proposto nos governos anteriores, isto é, as grandes obras do PAC, empresas estatais e as políticas trabalhistas e sociais (MARIANO, 2017).

A investida neoliberal do atual governo pós *impeachment* visa precisamente remover todo e qualquer tipo de entrave institucional que impeça a apropriação privada dos nichos de mercado criados pela privatização dos recursos naturais e de empresas públicas. A ingerência do setor financeiro nesse processo tornou-se explícita, pela natureza das reformas propostas, algumas já implementadas, e pela ausência de preocupações sociais e com o desenvolvimento econômico em cada uma das medidas anunciadas. (ARAÚJO; MATTOS, 2021, p. 534)

Além dos indicadores econômicos, o período que caracteriza as administrações Dilma/Temer também é marcado pela “espetacularização” do judiciário, como operação lava-jato, conjunto de investigações iniciados em 2014, que culminou na descoberta de um expressivo esquema de corrupção, envolvendo políticos, executivos de estatais e empresários, gravitando em torno de obras da Petrobras (petroleira estatal brasileira) e grandes empreiteiras (GOMES, 2016).

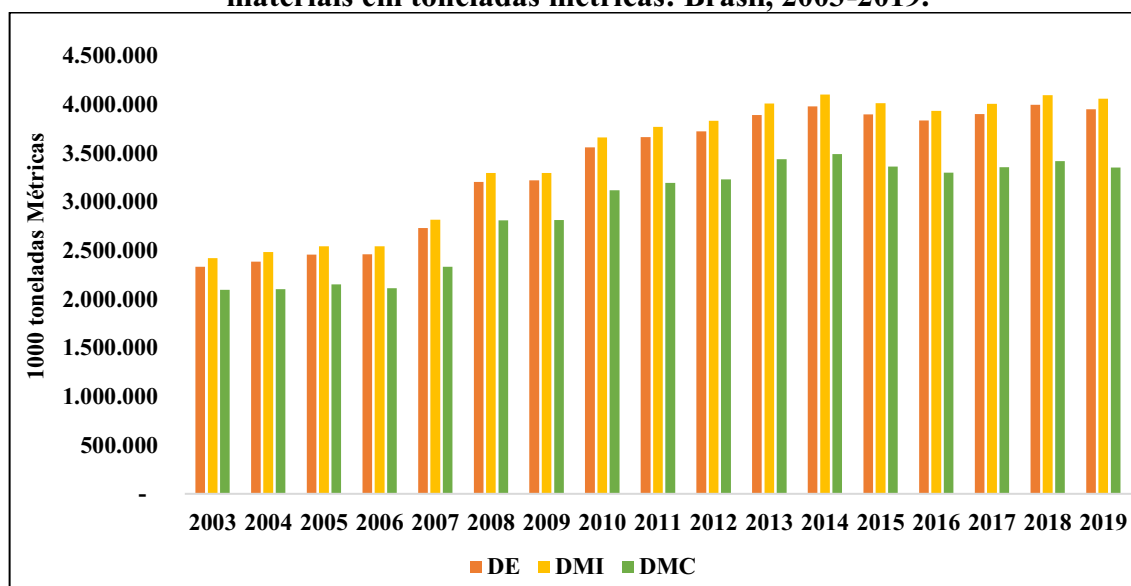
[...]a operação Lava Jato precisou gerar instabilidade política (um dos elementos centrais de sua estratégia), por meio de vazamentos ilegais para a imprensa, para pressionar os agentes políticos e as instâncias superiores do judiciário para prosseguir no combate à corrupção. Para que esta estratégia fosse efetivada, fez-se necessário formar um consórcio não formal entre a Lava Jato em Curitiba e os grandes meios de comunicação (Globo, Bandeirantes, Folha, Estadão). Com esse consórcio, foi possível legitimar o mecanismo, junto à opinião pública, sem que fossem investigados os crimes de abuso de autoridade. Os fins (combate à corrupção e a refundação do Brasil) justificariam os meios. (PINTO et. al., 2019, P. 123)

Uma das fases da operação culminou no indiciamento, e posterior prisão do ex-presidente Lula. Em meio a uma forte polarização política subsequente, tendo de um lado setores do PT e esquerda progressista, e do outro, segmentos ligados ao liberalismo e extrema direita, um candidato que se posicionava como anticorrupção, antissistema e defensor de bandeiras conservadoras da lava-jato, o Militar reformado (e deputado federal entre 1991-2018) Jair Messias Bolsonaro logrou-se vencedor (SOUZA, 2019; ALMEIDA, 2019).

Em seu primeiro ano de governo, em 2019, convidou o banqueiro e egresso da escola de Chicago Paulo Guedes para compor o Ministério da Economia (união das pastas fazendária e do planejamento), uma forma de tranquilizar o setor rentista (e a maioria do empresariado). Destarte, sua plataforma política e econômica está centrada em um programa liberalizante austero, com diminuição da participação do setor público na economia (algo já iniciado por Temer) e afrouxamento de normativos jurídicos da seguridade social e proteção ambiental, via cortes orçamentários e diminuição do efetivo técnico (OREIRO; PAULA, 2019).

O perfil sociometabólico dos oito anos de governo Lula e quatro de Temer/Bolsonaro pode ser expresso nos níveis brutos de consumo material, dispostos na Figura 33, os quais apresentaram níveis majoritariamente ascendente. Durante o auge do ciclo neoextrativista se observa um crescimento mais abrupto nos indicadores de DE, DMI e DMC. A partir de 2014, os resultados seguem o ritmo “*stop and go*” e, ao final do 2019, os três indicadores ultrapassaram 3,3 bilhões de toneladas métricas extraídas e/ou consumidas.

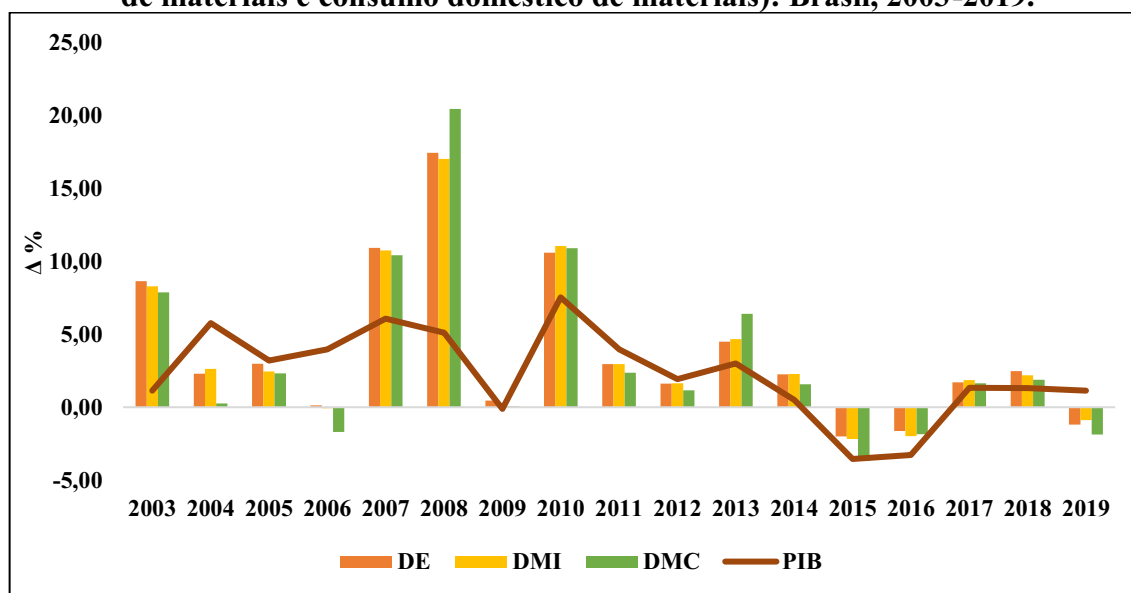
**Figura 33. Extração doméstica, entrada direta de materiais e consumo doméstico de materiais em toneladas métricas: Brasil, 2003-2019.**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.

As evoluções dos dados acima podem ser melhor visualizadas na Figura 34. A maior expansão material ocorre entre os anos de 2006-08, com crescimento de 20% para o indicador de DMC e 17% para os demais. Os impactos da crise financeira de 2008 foram sentidos no ano seguinte, quando os indicadores estagnaram. Já em 2015, onde a economia brasileira sente mais fortemente os efeitos da desaceleração chinesa e, consequentemente, mundial, se observa uma nova diminuição nos três indicadores supracitados, que retomam o ritmo de crescimento até 2018, seguido de um novo declínio do ano subsequente, primeiro ano do Governo Bolsonaro.

**Figura 34. Evolução anual (%) no fluxo de materiais (extração doméstica, entrada direta de materiais e consumo doméstico de materiais): Brasil, 2003-2019.**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.

Em termos monetários, os dois mandatos de Lula são caracterizados pelo crescimento econômico. A variação média do PIB entre 2003 e 2010 foi de 4,60%. Vale destacar que o segmento agropecuário também se expandiu no período supracitado, com taxas médias de 4,80%; assim como o segmento industrial, que avançou de 3,15% e o setor de serviços, com variação média de 4,55%. Complementando, a utilização de capacidade orbitou em 83,5%.

No período que compreende os governos Dilma, Temer e o início da gestão Bolsonaro, o crescimento econômico foi menor, com variação média de 1,20%. A análise desagregada do período 2011-2019 expressa os seguintes indicadores: na produção agropecuária, a variação média foi de 2,80%; na indústria, o resultado foi de -0,70%; no setor de serviços, 1,5% e; por fim, a utilização de capacidade média foi de 78%.

A análise desagregada do DMC (Tabela 10) expressa a ampliação no segmento econômico interno e corroboram com os dados econômicos. No campo da biomassa, trajetória positiva do segmento agropecuário é refletida no tópico “colheitas e resíduos”, com crescimento médio anual de 1%.

**Tabela 10. Variação Biofísica do consumo doméstico de materiais, por categoria: Brasil, 2003-2019.**

<b>Categoria Material</b>	<b>Crescimento Acumulado<sup>1</sup></b>	<b>Crescimento Médio Anual<sup>2</sup></b>
<b>PIB</b>	33,14%	2,18%
<b>População</b>	17,80%	0,87%
<b>Biomassa</b>	42,82%	2,12%
<b>Minerais Metálicos</b>	154,81%	5,66%
<b>Minerais Não Metálicos</b>	65,95%	3,02%
<b>Combustíveis Fósseis</b>	36,08%	1,83%

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa. 1) Fórmula de variação acumulada:  $((\text{valor final/valor inicial}) - 1) * 100$ . 2) Fórmula de crescimento médio anual:  $((\text{valor final/valor inicial}) - 1) * 100$ .

Já categoria de minerais metálicos expressou os maiores resultados dentre as categorias analisadas<sup>64</sup>. Em relação aos minerais não metálicos, são registrados resultados positivos, onde o segmento “minerais químicos e fertilizantes” obteve crescimento médio anual de 1%. Por último, a categoria dos combustíveis fósseis também registrou ampliação no consumo interno, onde a demanda por petróleo cresceu a uma média anual de 1%.

O “consenso da *commodities*” é mais nítido nos dados do comércio exterior biofísico, expostos na Figura 35. A balança biofísica deficitária se amplia fortemente no período supracitado (chegando a quase triplicar ao longo da série histórica), sobretudo pela expansão nas exportações materiais. A maior evolução no indicador de PTB acontece entre 2018-19, quando os níveis de exportações crescem 151% em relação a 2002.

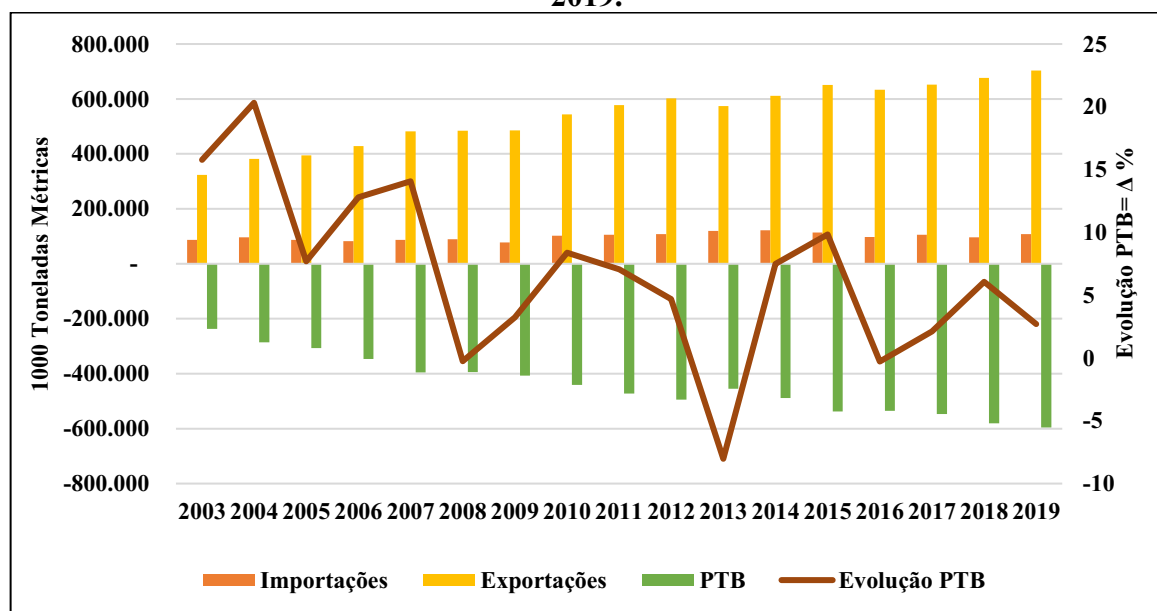
Outro destaque está relacionado aos maiores níveis de importações, que inicia a série impactada pela “pânico” dos mercados com o novo governo progressista, que fizeram o câmbio subir em 2002<sup>65</sup> e diminuíram o volume total no anuênio seguinte (ABREU, 2015; GIAMBIAGI et al., 2011).

Nos anos seguintes, houve uma forte expansão do quantitativo importado (com exceção de 2008-9), sobretudo no período 2009-2014, quando se registraram os maiores percentuais de crescimento, ultrapassando as 120 milhões de toneladas.

<sup>64</sup> A variação média da FBCF entre 2003 e 2019 foi de 4,03%.

<sup>65</sup> Segundo dados oficiais, em 4/1/2002 a taxa câmbio oficial média (compra e venda) foi de R\$2,30/ US\$1,00, atingindo R\$3,53/ US\$1,00 em 31/12/2002.

**Figura 35. Importação, exportação e evolução do PTB em dados biofísicos: Brasil, 2003-2019.**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.

Analisando o comércio exterior biofísico desagregado (Figura 36), é observável um crescimento nas exportações, que confirma o mega ciclo das *commodities*. No tocante aos minerais metálicos, o volume de minério de ferro exportado<sup>66</sup> cresce ininterruptamente entre 2003-2011, atingindo um crescimento médio de 8%. Em 2012<sup>67</sup>, uma retração nos preços internacionais diminui o volume exportado dos minérios, que retoma nos anos seguintes e se amplia até 2018, atingindo o patamar histórico de 405.515 mil Ton.<sup>68</sup>.

Em relação à biomassa, o quantitativo exportado manteve a tradição no segmento de grãos (em especial, soja)<sup>69</sup>. Assim, o grupo “culturas oleaginosas” cresceu, em média anual, 8% entre 2003 e 2019.

Já a produção de carne bovina consolidou o Brasil como um dos maiores exportadores mundiais em 2003 (RUBIN et al., 2008), onde no mesmo ano foram ofertadas 1,3 milhão de toneladas, chegando a 1,8 milhão em 2019<sup>70</sup>. A análise sociometabólica indica que o grupo “carne e preparados de carne” cresceu, em média anual, 27% entre 2003 e 2019.

Em relação à categoria energia fóssil, a ampliação do volume de petróleo exportado é outro fator em destaque, cujo crescimento médio anual foi de 22% entre 2003 e 2019. Com a

<sup>66</sup> Para o período compreendido entre 2003-2019, o crescimento médio anual foi de 4%.

<sup>67</sup> Conforme informes do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC)

<sup>68</sup> Conforme informes da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX), o crescimento mais expressivo neste último ano é fruto da expansão da maior empresa do segmento no Estado do Pará.

<sup>69</sup> Segundo dados da SECEX, entre 2003-2019 o volume de grãos de soja exportado saltou de 19,8 milhões de toneladas para 85,6 milhões.

<sup>70</sup> Dados da Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes.

maturação dos investimentos no segmento (como as obras do PAC para prospecção petrolífera em águas profundas)<sup>71</sup>, os resultados absolutos foram significativos a partir de 2014, batendo recorde em 2019, quando foram exportadas cerca de 62.000 mil toneladas do produto fóssil (um crescimento de 416%, quando comparado aos dados de 2003).

No campo das importações, o destaque é a expansão na demanda do grupo materiais/transportadores de energia fóssil, resultando em um crescimento médio anual de 2% entre 2003 e 2019. O maior poder de compra pela classe média gerou aumento da frota automotiva<sup>72</sup>, bem como dos modais de transporte, como viagens aéreas (CARDOSO; NAVARRO,2016).

Em relação aos minerais não metálicos importados, se observa uma tendência declinante na demanda por fertilizantes (sobretudo após um acréscimo de 200% nos preços internacionais, em 2007)<sup>73</sup> e, um aumento por produtos de biomassa, em especial o grupo de cereais primários e processados, resultando em um crescimento médio anual de -6% e 2%, respectivamente.

Destarte, a Balança biofísica brasileira expressa a consolidação do modelo neoextrativista: o Brasil se posicionando como grande exportador de minerais metálicos, biomassa e energia fóssil.

---

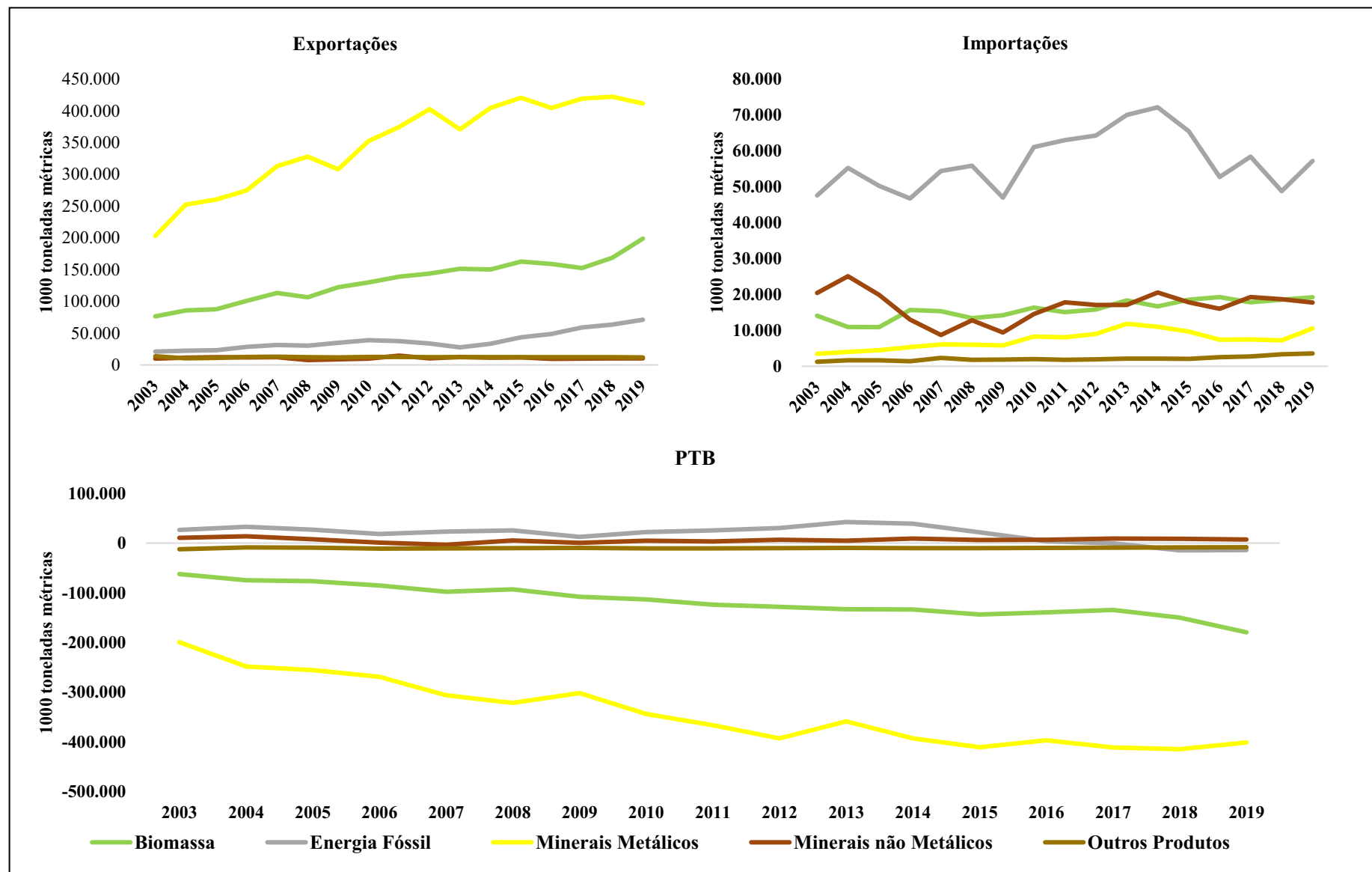
<sup>71</sup> Machado (2021) e Moraes (2013)

<sup>72</sup> Segundo dados da Agência Nacional do Petróleo (ANP), houve expansão no consumo de gasolina e Diesel nos anos de 2009,2010 e 2014

<sup>73</sup> Disponível em <https://brasil.mongabay.com/2008/03/os-precos-dos-fertilizantes-do-mundo-sobrem-200-em-2007/>. Acesso em 20 de fevereiro de 2022.



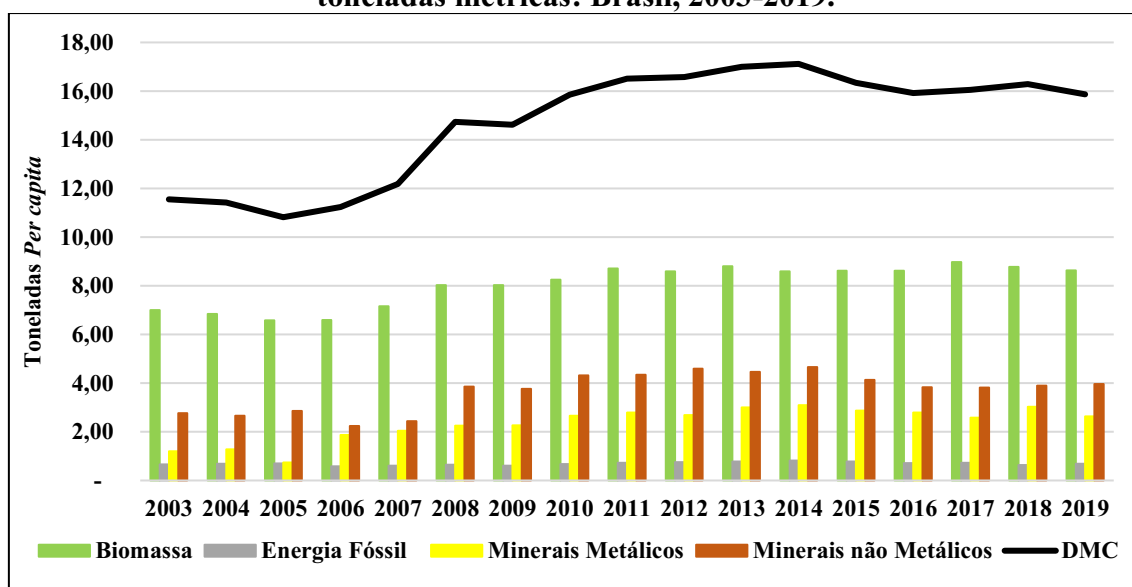
**Figura 36. Importações, exportações e PTB por categorias de materiais em 1000 toneladas métricas: Brasil, 2003-2019.**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.

Os índices de taxa metabólica para os anos 2003-19 estão dispostos na Figura 37. Houve uma ampliação nos níveis de DMC *per capita* para todas as categorias materiais, apesar do acréscimo populacional do período<sup>74</sup>. É também perceptível a duplicação (comparada ao ciclo FHC) da extração e consumo domésticos de minerais metálicos (minério de ferro), além de uma contínua expansão no grupo de minerais não metálicos, em especial insumos para a construção civil, cujas obras do PAC expandiram o consumo<sup>75</sup>.

**Figura 37. Taxa Metabólica do consumo doméstico por categorias de materiais, em toneladas métricas: Brasil, 2003-2019.**



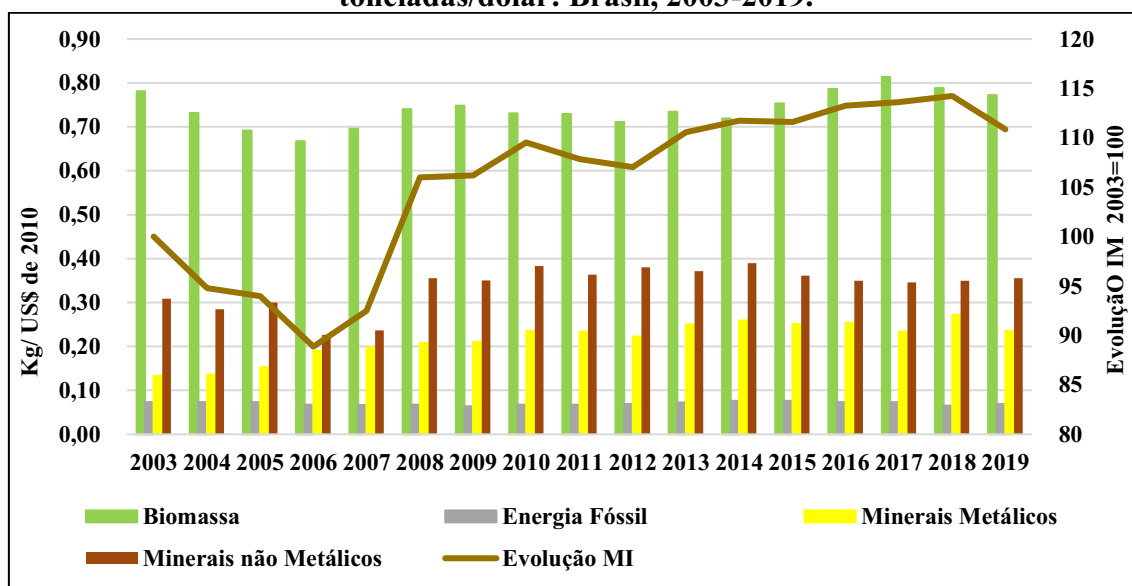
Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.

Os índices de intensidade material para o DMC (Figura 38) apresentaram períodos de oscilação, com maior queda em 2006. A partir de 2007, houve incremento no  $IM_{DMC}$  até 2018, quando uma nova diminuição é registrada. Já a análise desagregada continua destacando o grande volume de biomassa consumida, apesar do quantitativo semelhante às décadas anteriores (média de 0,73). O grande aumento foi no segmento de minérios metálicos (cujo quociente se ampliou de 0,13 tonelada/dólar em 2003, para 0,27 no ano de 2018), com média de 0,23 Tonelada/Dólar, demonstrando que o auge do período neoextrativista foi ecologicamente ineficiente.

<sup>74</sup> Segundo os dados populacionais do IBGE, entre 2003-2019 a população brasileira aumentou em 15,84%.

<sup>75</sup> Em 2007, um dos grandes gargalos do PAC estava ligados a esses grupos minerais, conforme matéria publicada na imprensa especializada: <https://ibram.org.br/noticia/governo-avalia-capacidade-do-setor-mineral>. Acesso em 21/2/2022.

**Figura 38. Intensidade Material (DMC) por grupo de materiais em toneladas/dólar: Brasil, 2003-2019.**



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados levantados na pesquisa.

Os índices de desacoplamento indicam que o auge e declínio do modelo neoextrativista é marcado pelo acoplamento ( $I_d=1,4$ ). Isso significa que houve aumento no consumo material superior ao crescimento do PIB.

Em virtude dos fatos mencionados, as transformações políticas e econômicas dos governos progressistas (e no quadriênio liberal/conservador) implicaram em uma grande demanda material nas primeiras décadas do século XXI. O acúmulo financeiro do Brasil no período neoextrativista (com ênfase na exportação de *commodities*) permitiu que os governos progressistas atendessem os interesses rentistas, mas com grandes avanços sociais. Com o fim do grande megaciclo da *commodities*, se observou um novo paradigma econômico e político, uma vez que a manutenção do mesmo padrão sociometabólico está associado a indicadores socioeconômicos mais adversos.

#### 4.4.1 A política ambiental e os níveis de emissões (2002-2019)

O ciclo neoextrativista, que encabeçou o consenso da *commodities* interferiu diretamente na atuação dos órgãos ambientais. Como destaca Ferreira e Salles (2017, p. 12): “[...] a partir de 2004 verificou-se a atuação do governo como indutor da oferta de ampliação e modernização da infraestrutura logística do país. Disso decorreu um aumento exponencial da demanda de serviços ambientais dos órgãos licenciadores”.

Destarte, a ampliação das fronteiras agropecuárias, as atividades mineradoras (com a descoberta de campos petrolíferos na camada subterrânea do pré-sal) e os

investimentos do PAC (como a expansão energética via hidroelétricas) deveriam trazer uma realidade diferente dos mega projetos da década de 1970, onde as questões acerca da preservação ambiental não foram levadas em consideração. Na prática, houve enfraquecimento de regulações ambientais e até conflito junto a Organizações Ambientistas (COSTA; VASCONCELOS, 2019; WERNER, 2019; MARTINS, 2012).

As questões ambientais nunca foram sistematicamente consideradas previamente (*ex ante*) nas etapas de concepção dos grandes projetos produtivos no Brasil. Nem de forma indutiva, explorando potencialidades, nem restritiva, considerando os limites ecológicos e socioeconômicos. (FERREIRA; SALLES, 2017, p. 12)

Vale considerar que nas gestões petistas houve uma ampliação da interlocução social (efetivados na maior participação da sociedade civil junto aos conselhos ambientais) e novos ordenamentos jurídicos. Em 2006, é incorporado o Sistema Florestal Brasileiro ao MMA. Já em 2007 é criado o Instituto Chico Mendes para Conservação da Biodiversidade (ICMBio), segmentação do IBAMA (que ficou responsável pelo licenciamento e fiscalização ambiental) para gestão das unidades de conservação (MOURA, 2016).

Em meio aos grandes debates internacionais acerca das mudanças climáticas, são aprovadas as Leis 12.114/2009 e 12.187/2009, que estabelecem o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima e a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), com metas para emissões até 2020, o que pretende ser postergado para as décadas seguintes<sup>76</sup>. No último ano do Governo Lula, em 2009, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), por meio da Lei 12. 305/2010, criou mecanismos sustentáveis para o tratamento residual, sob tutela dos três entes da federação.

Já na gestão Dilma, é executada uma nova cúpula do clima, 20 anos após a Rio-92, novamente sediada no Brasil. A Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável (Rio+20) não teve o mesmo entusiasmo de 1992, em meio a um cenário majoritariamente pessimista, com ampliação das mudanças climáticas e perda de biodiversidade.

[..] a Rio+20 se deu em um contexto internacional pouco favorável. Muitos países encontravam-se em uma conjuntura econômica ou política

---

<sup>76</sup> O projeto de Lei 6.539/2019, aprovado pelo Senado em novembro de 2021 (e encaminhado para Câmara de Deputados), pretende revogar o dispositivo de 2009, estabelecendo novas metas e prazos para neutralização dos Gases do Efeito Estufa até 2050.

difícil. A Europa em grave crise financeira e os Estados Unidos em processo de prévias para as eleições presidenciais não deram prioridade à conferência em suas agendas – o presidente americano e a *chanceler* alemã eram aguardados até o último momento, mas não compareceram, apenas enviaram representantes. Além disso, o próprio sistema das Nações Unidas vinha sofrendo uma erosão do seu poder real de intervenção. (MOURA, 2016, p.22)

Em termos práticos, se efetivaram poucos compromissos concretos dentre os principais poluidores, como os EUA. Já as grandes nações europeias, embora embasassem um discurso ambientalmente sustentável, colocaram a restauração econômica como prioridade<sup>77</sup>.

Alguns observadores, porém, assinalaram avanços nas tratativas e discussões sobre temas como os oceanos, a participação do C40 (grupo formado pelos prefeitos das principais metrópoles do mundo), o Relatório sobre a Economia dos Ecossistemas e da Biodiversidade (TEEB) e a Iniciativa Internacional de Contratação Sustentável (SPPI). (SADER et al., 2015, p. 228)

Na segunda gestão Dilma, a pauta ambiental é arrefecida pela crise econômica, e não se observam grandes transformações. Já no período comandado por M. Temer, apesar de propostas para afrouxamento do licenciamento ambiental (através de um novo marco legal), a manutenção de gestores técnicos não permitiu o retrocesso (COSTA, 2017).

Entretanto, foi aprovada a regularização fundiária na Amazônia legal (beneficiando atividades de grilagem) através da Lei 13.465/2017, e manutenção da expansão mineradora (ampliando o ciclo neoextrativista dos governos petistas), sendo que a partir de agora, a utilização dos recursos seria destinada ao setor financeiro (DIAS, 2020).

Já no espectro conservacionista, incentivou o uso de recursos renováveis e uma política nacional de biocombustíveis através da Lei 13.576/2017, que previa a redução na emissão de gases desse tipo de matriz energética (GALVÃO; NOVELI, 2020).

Durante o primeiro ano do Governo Bolsonaro, a política ambiental retroage significativamente. Já durante a campanha presidencial, a forte aliança com os segmentos ruralistas e do agronegócio o fez “abraçar” bandeiras que iam contra a conservação, demarcação de terras indígenas e regras mais rigorosas para o licenciamento ambiental (FEARNSIDE, 2019).

Já em 2019, o planejamento começou a se concretizar.

---

<sup>77</sup> Apesar dos planos de recuperação verde, que serão mencionados no capítulo seguinte.

A nomeação de dirigentes em sintonia com a agenda ruralista e do agronegócio para os órgãos ambientais federais explica o retrocesso legislativo e institucional da proteção ao meio ambiente e aos povos originários. Ao mesmo tempo, a promoção de um discurso antiambientalista por integrantes do governo, seu empenho em promover a revisão de áreas de proteção ambiental, assim como em questionar e paralisar a demarcação de terras indígenas e quilombolas, intensificam a expropriação e a violência contra povos tradicionais. Os resultados saltam aos olhos: aumento da área devastada pelo fogo, pelo garimpo, pela extração de madeira e mineração, aumento do desmatamento e da grilagem; da liberação de centenas de agrotóxicos proibidos em outros países; e do número de assassinato de lideranças, sobretudo de indígenas. (GALVÃO; NOVELI, 2020, P. 15)

O desmonte das pautas ambientais se consolidou com a ideia inicial de transformar o MMA em uma Secretaria, algo descartado pelo setor do agronegócio, que necessitava de algumas certificações para a exportação. Contudo, como destaca Gusmão e Pavão. (2020), o ministério foi esvaziado, assim como participação da sociedade civil nos conselhos deliberativos (caso do CONAMA e ICMBio).

Ainda, o aumento nas queimadas da Amazônia, liberação de agrotóxicos proibidos em outros países, estímulo ao garimpo ilegal e diminuição das fiscalizações do IBAMA tem sido a realidade desde 2019 (SILVA et. al., 2021; PEREIRA et. al., 2021; MISSIATTO et. al., 2021).

A síntese ambiental dos parágrafos anteriores estão diretamente ligadas aos níveis de emissões de CO<sub>2</sub>, mais especificamente nos resultados consolidados (Figura 39). Entre 2003-9, se observa um crescimento em menor ritmo, tanto nos níveis brutos, quanto na intensidade de emissões.

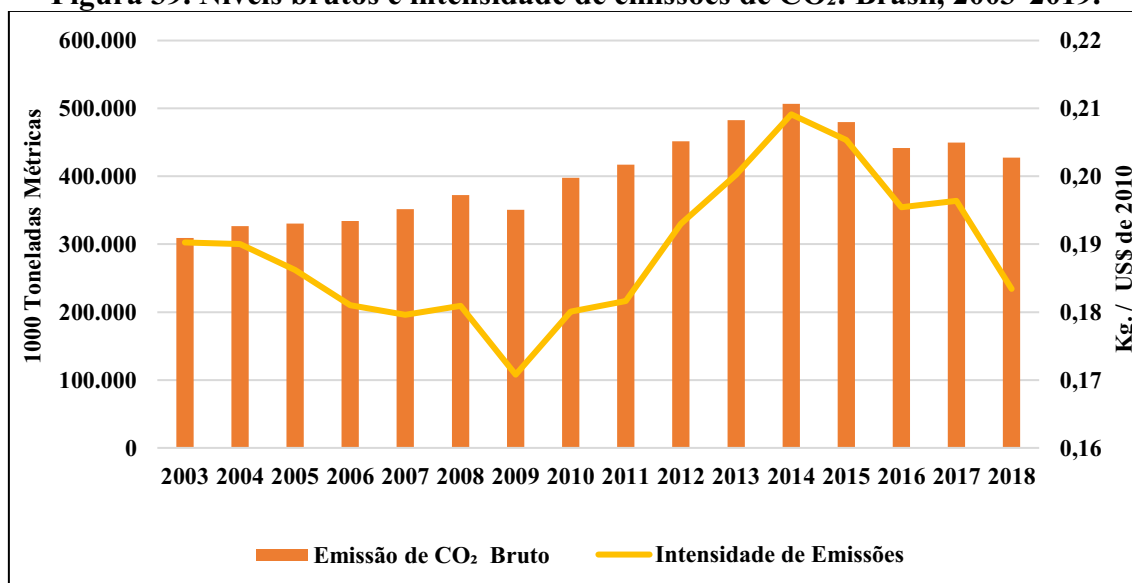
Nos anos seguintes, os níveis aumentaram consideravelmente e em 2014<sup>78</sup> chegou a ser 63% maior que o ano de 2003. Isso levanta a hipótese que a expansão na produção de *commodities*, o PAC, a aquisição de bens duráveis pela nova classe média e o aumento da produção industrial (ao menos para alguns segmentos beneficiados pelo crédito governamental, denominado “campeões nacionais”) influenciaram os indicadores supracitados.

Já entre 2015-19, a desaceleração na atividade econômica em setores ligados ao agronegócio impacta no ritmo de emissões, com involução nos níveis brutos e de intensidade.

---

<sup>78</sup> Segundo dados da SEEG para 2014, houve uma diminuição nas emissões causadas pelo desmatamento, que foram compensadas pela ampliação na geração de eletricidade termoeletrica, subsectores de transportes e produção e combustíveis (ALBUQUERQUE et al., 2020).

**Figura 39. Níveis brutos e intensidade de emissões de CO<sub>2</sub>: Brasil, 2003-2019.**



Fonte: Elaborado pelo autor. Dados do *World Bank*.

Desagregando as informações, os dados do relatório-síntese da SEEG<sup>79</sup> se observa as seguintes nas emissões entre 2005-2010: na agropecuária, o crescimento das emissões foi de 3,5%; na produção e consumo de combustíveis e energia elétrica, 17,62%; nas emissões diretas decorrentes de processos de transformação química e/ou física de materiais 14,45%; nos resíduos industriais e domésticos, não houve variação e; em relação à mudança de uso da terra, houve uma diminuição de 161,50% no quantitativo de emissões.

Já nas gestões governamentais compreendidas entre 2015-2019, os resultados da SEEG indicam as seguintes emissões por setor: agropecuária (aumento de 1,99%), produção e consumo de combustíveis e energia elétrica (diminuição de 10,43%), emissões diretas decorrentes de processos de transformação química e/ou física de materiais (diminuição de 3,03%), resíduos industriais e domésticos (aumento de 8,43%) e, mudança de uso da terra (diminuição de 8,06%).

#### 4.5 O sociometabolismo brasileiro de 1970 a 2019: um balanço geral

Os últimos cinquenta anos de extração material brasileira se confundem com o próprio processo de colonização da América Latina, e como aponta Galeano (1999, p. 197), essa região “[...]continua exportando seu desemprego e sua miséria: as matérias-primas que o mercado mundial necessita, e de cuja venda depende a economia da região,

<sup>79</sup> Albuquerque (2020). Angelo e Rittl (2019).

e certos produtos industriais elaborados, com mão de obra barata, por filiais das corporações internacionais”.

Tendo se consolidado como uma economia agrária-exportadora, o Brasil se industrializa tardiamente, no segundo decênio do século XX. Após da forte indução desenvolvimentista, sobretudo nos anos que sucedem o fim da segunda Guerra mundial, edifica um parque industrial que foi se expandindo. (ABREU, 2015)

A partir da década de 1970, esse novo modelo industrializante tem forte auxílio do rendimento de bens primários, situação que foi permanecendo e se ampliando, mesmo com as inovações tecnológicas. Esse modelo repaginado mantém a mesma essência do extrativismo colonial, onde o intercâmbio ecológico desigual de matérias-primas financia a desigualdade social (MARTÍNEZ-ALIER, 2015).

Utilizando a análise de fluxos materiais para compreender o processo socioeconômico, foi possível observar que cada ciclo atravessado pela economia brasileira gerou impactos diretos na demanda material dos recursos renováveis e não renováveis, além de financiar os períodos de (de)crescimento econômico: projetos nacionais de desenvolvimento, estabilização macroeconômica e políticas sociais. A linha evolutiva e pontos de pico para cada indicador sociometabólico (conforme apêndices 14 a 18) corroboram com tais pressupostos.

Já a Tabela 11 permite complementar a análise proposta nos apêndices mencionados, destacando que os principais volumes de investimentos (nos anos onde houve crescimento econômico) foram na década de 1970 e 2000, enquanto o maior volume financeiro de exportações e importações se consolidaram no ultimo decênio.

**Tabela 11. Taxas de Investimento, Exportações e Importações: Brasil, 1970-2019.**

Ano	Taxa de Investimento (FBCF/ PIB)	Exportações (US\$ Bilhões)	Importações (US\$ Bilhões)
1970	18,8	2,73	11,5
1975	23,3	15,2	12,2
1980	23,6	20,13	22,9
1985	18,0	25,6	13,15
1990	20,7	31,4	20,6
1995	18,3	46,5	49,9
2000	16,8	55,0	56,9
2005	15,9	118,3	74,82
2010	18,4	201,9	182,3
2015	17,8	183,3	172,4
2019	15,5	225,7	199,2

Fonte: Elaborado pelo autor. Dados do IBGE e Banco Central do Brasil



Já a síntese dos dados biofísicos (Tabela 12) indica que a variação do crescimento do PIB nos últimos cinquenta anos foi majoritariamente maior que a utilização material, embora os dados de exportações biofísicas sejam maiores que as demais médias.

Os resultados para a década de 1970 tem forte influência no milagre econômico, cujo momento histórico foi acompanhado de uma expressiva demanda material (apesar da menor intensidade material e, portanto, maior eficiência ecológica), sobretudo com ampliação da importação na área energética fóssil, além da expansão no setor mineral voltado a exportações.

A intensidade de emissões de CO<sub>2</sub> sente os efeitos dos choques do petróleo e diminuem a partir de 1976 (gerando um resultado consolidado negativo). Vale também enfatizar que os dispositivos políticos ambientais eram quase ausentes, aliada a uma ênfase no crescimento econômico e autossuficiência energética (além da inexistência de dados para “mudança no uso da terra”), o que contribuem para o resultado.

Na década seguinte (1981-1990), o baixo crescimento econômico não impacta (proporcionalmente) o quantitativo de matéria utilizada, uma vez que a intensidade material foi significativa. A balança comercial biofísica é influenciada pela desvalorização cambial e estagnação econômica, e apresenta os menores resultados ao longo de toda série histórica, sobretudo nos itens materiais importados.

Em relação ao nível de emissões, é sentido os impactos do baixo crescimento (que justificam o resultado negativo), e mesmo com todo o ordenamento jurídico ambiental criado, se observa expansão de atividades poluidoras, caso da mineração, que implica em um resultado consolidado maior, quando comparado a década anterior.

**Tabela 12. Taxas de crescimento médio anual do PIB, extração doméstica, entrada direta de material, consumo doméstico de materiais, exportações, importações, intensidade material, taxa metabólica, intensidade de emissões e emissões *per capita*: Brasil, 1970-2019.**

VARIÁVEL (em %)	1970- 2019	1970- 1980	1981- 1990	1991- 2002	2003- 2019
Taxa crescimento anual da População	1,58%	2,17%	1,84%	1,37%	0,87%
Taxa crescimento anual do PIB	7,66%	2,13%	4,31%	2,18%	3,37%
Taxa de crescimento anual de Extração Doméstica	5,88%	2,63%	2,80%	3,14%	3,80%
Taxa de crescimento anual Entrada Direta de Material	5,97%	2,46%	2,81%	3,09%	3,75%
Taxa de crescimento anual do consumo Doméstico de Materiais	5,75%	2,39%	2,55%	2,80%	3,50%
Taxa de crescimento anual das exportações em toneladas	8,64%	3,05%	4,82%	4,67%	5,71%
Taxa de crescimento anual das importações em toneladas	7,52%	-1,32%	3,08%	1,31%	2,48%
Taxa de crescimento anual da IM <sub>DMC</sub>	-1,33%	0,26%	0,13%	0,61%	0,22%
Taxa de crescimento anual da Taxa Metabólica	2,50%	4,01%	1,76%	2,10%	0,89%
Taxa de crescimento anual da intensidade de emissões de CO <sub>2</sub> <sup>1</sup>	-1,09%	-0,67%	1,26%	- 0,23%	-3,89%
Taxa de crescimento das Emissões <i>per capita</i> <sup>1</sup>	1,88%	4,64%	-0,95%	1,81%	2,01%

Fonte: Elaborado pelo autor. Dados do IBGE e *World Bank*. 1) 1970-2018

Ainda na Tabela 12, o processo de redemocratização, posterior abertura comercial no início da década de 1990 e a estabilização inflacionária explicam os resultados biofísicos do período. O crescimento material e os níveis de intensidade incluem uma balança biofísica mais deficitária, com aumento nas exportações das *commodities* e, importações (com ênfase em energia fóssil e minerais não metálicos). Mesmo com a efetivação das políticas ambientais criadas na década anterior, a estabilização pós 1994 traz consigo um crescimento nos níveis de emissões, os maiores resultados nos cinquenta anos analisados.

No último ciclo da série em análise (2003-2019), o neoextrativismo se expande, indo do consenso das *commodities* à escalada política conservadora. A gestão petista é marcada pelo continuísmo da expansão material (os maiores resultados em cinquenta anos) pós estabilização, e aumento do *déficit* biofísico (o maior resultado médio para os níveis de materiais exportados em meio século). Com a política cambial favorável em grande parte do ciclo, os níveis de importações também se expandem, mas não superam os volumes de minérios de ferro, biomassa e petróleo exportados.

Quanto aos níveis de emissões, a taxa média anual apresenta a maior desaceleração (em relação as décadas anteriores), justificadas pelo aumento na renda (PIB), que resultaram em números menores.

#### 4.6 Considerações finais

É importante salientar que uma análise da economia brasileira utilizando dados biofísicos apresenta alguns desafios. Levando em consideração apenas os descritores sociometabólicos, estes não são suficientes para identificação de causalidades entre variáveis econômicas e ambientais. O capítulo 5 buscará equacionar tal gargalo, englobando outros indicadores e analisando-as inferencialmente.

Uma segunda limitação, de caráter epistemológico, reside ao se considerar taxas metabólicas e indicadores de intensidade material, como comumente tais indicadores são utilizados, uma vez que não se obtém resultados finalísticos. Em uma economia dinâmica como a brasileira, indicadores biofísicos podem apresentar resultados idênticos (ou até menores), quando comparados a nações de menor expressão socioeconômica (DITTRICH et al., 2012; DORNINGER; EISENMENGER, 2016).

Destarte, foi necessária uma análise individualizada por ciclos econômicos, o que permite uma comparação entre os resultados biofísicos e econômicos. Diferentemente de outras análises biofísicas já mencionadas<sup>80</sup>, a abordagem aqui proposta buscou sanar tal lacuna, fornecendo uma dimensão da escala econômico-ecológica real.

Também é importante reconhecer outra terceira limitação: a não quantificação dos estoques de materiais (reservas subterrâneas de petróleo e minério de ferro, por exemplo). Diferente das demais lacunas apresentadas, não foi possível solucionar tal questão, algo recomendável para estudos futuros.

Em linhas gerais, o capítulo 4 pretendeu analisar os fluxos metabólicos em uma perspectiva biofísica e macroeconômica, isto é, como as conduções econômicas e os dispositivos ambientais interferiram na utilização dos recursos materiais (portanto, qual a real escala econômico-ecológica para cada ciclo econômico). Diferentemente das tradicionais análises econômicas (que enfatizam o fluxo financeiro), a ênfase biofísica aqui proposta partiu do pressuposto que tais decisões econômicas e ambientais exploraram os estoques naturais finitos e ampliaram a produção material renovável, mas não criaram um ambiente econômico-ecológico sustentável, uma vez que períodos de crise econômica não são acompanhados de redução na extração material.

É o que ficou mais nítido no ciclo neoextrativista (2003-2019), onde o processo de ampliação das receitas financeiras (apesar de ter parte dos lucros investidos em

---

<sup>80</sup> Vide Quadro 6.

políticas sociais) vem se mostrando ineficiente nos últimos anos, uma vez que os novos gestores políticos com viés conservador não só minam os poucos avanços sociais conquistados, como promovem o desmonte das políticas ambientais. Ou seja, a análise do capítulo permite concluir que, de maneira geral, a expansão material brasileira vem reduzindo sua eficiência econômico-ecológica ao longo do tempo, o que ameaça a sua sustentabilidade, principalmente se se levar a persistente dependência de recursos não renováveis.

Ademais, a própria intensidade material tornou maiores os desafios contemporâneos para o controle governamental e geração de bem-estar social. Além do aumento nos níveis de emissões, o Brasil protagonizou conflitos ambientais na construção da Usina de Belo Monte; desastres ecológicos ocorridos nas cidades de Brumadinho em 2015 e Mariana em 2019 e; mais recentemente, a derrubada da floresta amazônica para disponibilização de novas pastagens (FLEURY, 2013; NAKANO, 2017; MILANEZ et. al, 2019; PEREIRA et. al, 2019; ALENCAR et al., 2020).

Uma última questão ecológica está relacionada ao aumento nas emissões oriundas da extração/consumo material, visto que mais de 80% das emissões de GEE estão ligadas a essa categoria analítica (BEHRENS, 2016).

A expansão material vem ampliando consideravelmente os níveis de emissões mundiais, embora a transição geopolítica das últimas décadas venha modificando os protagonistas. Entre 1995-2015, a China quadruplicou seus níveis de emissões (com ênfase no segmento industrial), enquanto países como Índia e Brasil triplicaram seus resultados. Já os Países da União Europeia tendem a diminuir seus níveis, uma vez que comércio vem migrando para países emergentes, mais especificamente, terceirizados para a China (HERTWICH, 2021).

Diante de tais constatações, tanto a proposição de políticas econômicas e ambientais no Brasil, quanto o estabelecimento de estratégias ecológicas em acordos multilaterais, devem levar em consideração o uso material e seus impactos para as gerações futuras, sobretudo ampliando as taxas de descarbonização, reutilização e reciclagem.

## **CAPÍTULO 5: CONSUMO DE MATERIAIS, FATORES ECONÔMICOS E AMBIENTAIS NO BRASIL: EFEITOS CAUSAIS UTILIZANDO SÉRIES DE TEMPO NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA**

Partindo dos principais elementos constantes nos capítulos anteriores, pode-se afirmar que os fluxos materiais estão diretamente interligados aos processos de crescimento econômico. Em nações historicamente ofertantes de recursos renováveis e não renováveis, como o Brasil, observa-se relações de causa/efeito entre as esferas socioeconômicas e ambientais, impactando significativamente no alcance de um ecossistema minimamente equilibrado.

A análise do sociometabolismo brasileiro apresentada no capítulo 4 também indicou períodos de intensificação no uso de recursos em fases de crescimento econômico ou em períodos de crises internas ou externas. Todavia, por se valer de uma abordagem majoritariamente descritiva, surgiu a necessidade de um aprofundamento analítico, tanto com o uso de um ferramental inferencial, quanto na inserção de outras variáveis anteriormente omitidas.

O objetivo do presente capítulo é desenvolver um estudo econométrico, tendo como ponto de partida os indicadores de fluxo material construídos no capítulo 3. Parte-se da necessidade de analisar as relações causais entre as séries temporais brasileiras de fluxo material (Biomassa, Minerais Metálicos, Não Metálicos e Combustíveis Fósseis), em conjunto com dados referentes ao crescimento econômico, política ambiental, uso de energia e emissões de resíduos.

Na busca por uma metodologia que se enquadre a um dos objetivos propostos, que versa no perfil sociometabólico da economia brasileira a partir de 1970 e suas respectivas relações causais, a causalidade de Granger para domínio de frequência demonstra ser viável. Assim, o presente capítulo parte da hipótese que o maior consumo material tem relações causais com variáveis econômicas e ambientais.

De antemão, é necessário investigar a literatura existente de modo a encontrar aderências, similaridades e resultados já apontados. A partir daí, descrever a respectiva metodologia e aplicar os testes estatísticos necessários para estimação do modelo, seguido dos principais resultados e conclusões (SARKODIE, 2020; YANFENG, 2013).

Além dessa introdução, uma breve revisão será feita no item 5.1. Na sequência, o arcabouço metodológico e os dados utilizados são descritos no item 5.2. Já os testes de diagnósticos necessários para a estimação do modelo serão apresentados no subitem 5.3. No item 5.4, os principais resultados serão elencados. O item 5.5 se apoia nos resultados

encontrados e discute alternativas para um desenvolvimento sustentável no Brasil. Por fim, encontram-se as considerações finais resultantes do trabalho realizado.

### *5.1 Evidências disponíveis*

O levantamento de evidências disponíveis para testes de causalidade de Granger no domínio de frequência apontou aplicações metodológicas para países (ou grupos de nações) utilizando o consumo doméstico de materiais e o crescimento econômico, embora também se observe utilização metodológica para os níveis de preços, como em Tiwari (2002), Ciner (2011) e Pradhan et. al. (2020).

Bozoklu e Yilanci (2013) utilizam como variáveis o consumo de energia elétrica (em toneladas de óleo equivalente) e o crescimento econômico em 20 países da OCDE, e séries históricas distintas, que se iniciam em 1965 e vão até 2011. Os resultados implicam na existência de relações causais de alta frequência (chamadas temporárias) e/ou de baixa frequência (chamadas permanentes), dependendo do país em questão.

Utilizando o consumo primário de energia elétrica e o PIB dos Estados Unidos entre 1973-2009, Tiwari (2014) verifica a existência de cointegração e relações causais em frequências de curto e longo prazo, confirmando as hipóteses de causalidade entre as duas variáveis.

Já para Ahmed e Azam (2016), o nexos causal entre consumo de energia e crescimento econômico natural para 119 países (com níveis baixos, médios e altos de renda) também implicou na existência de causalidade de curto e longo prazo, em séries diversas, que se iniciam em 1960 e vão até 2012. No Brasil, se observa causalidade de Granger para as duas frequências analisadas, no período compreendido entre 1971-2011.

Gorus e Aydin (2018) investigam as relações causais entre consumo de energia, crescimento econômico e emissão de CO<sub>2</sub> em 8 Nações localizadas nas regiões do Oriente Médio e Norte da África, entre 1975-2014. Utilizando o teste de causalidade individual e em painel, os autores concluem que existem diferentes nexos causais para cada país, tanto no curto, quanto no longo prazo. Já a análise conjunta em painel indica que a conservação ambiental não impacta negativamente o crescimento econômico.

Também utilizando causalidade de Granger com domínio de frequência individuais e em painel, Aydin (2018) analisa as relações entre 10 países consumidores de gás natural e seus respectivos indicadores de crescimento, compreendendo o período de 1994-2015. Os resultados expressam relações permanentes entre o consumo de gás e

o crescimento econômico no painel e também relações temporárias na análise individual, a depender do país selecionado.

Quanto ao uso de indicadores de fluxos materiais, as evidências são mais restritas, sendo encontrado um único trabalho que utiliza a metodologia. Utilizando dados de 1990-2019 para a África do Sul, Sarkodie (2020) analisa relações causais entre os consumos de biomassa, carvão, energia (total e renovável), minerais metálicos e combustíveis fósseis. Na sequência, também utiliza um indicador para política ambiental (Índice de Rigidez da Política Ambiental), outro para o nível de emissões, o consumo doméstico de materiais (DMC) e o crescimento econômico. Utilizando causalidade de Granger para domínio de frequência, identifica relações fortes e fracas e nulas em 96 combinações, inferindo cenários de curto e longo prazo.

## 5.2 Arcabouço metodológico

Na literatura econométrica, destacam-se estudos que optam por métodos cointegração em séries de tempo, derivações dos métodos inicialmente desenvolvidos e aperfeiçoados por Granger (1969,1988) e Engle e Granger (1987). O método conhecido como Causalidade Granger busca compreender processos uni ou bidirecionais em um conjunto de dados, bem como a ausência de cointegração.

A partir dos métodos propostos por Granger, Geweke (1982) e Hosoya (1991) buscaram analisar as relações causais de curto e longo prazo através da decomposição de funções de densidade espectral, isto é, identificar periodicidade por meio da frequência do processo estocástico no tempo, utilizando testes do tipo Wald<sup>81</sup>. Conforme Yanfeng (2013) e Akdag et al. (2020), a causalidade no domínio de frequência é mais preferível, uma vez que avalia diferentes frequências em um modelo de fácil aplicação, baseado em restrições lineares.

Breitung e Candelon (2006) sugerem um procedimento mais eficiente, utilizando um vetor bivariado autorregressivo (VAR). Considere  $w_t = [x_t + y_t]'$  um vetor bidimensional de séries temporais observadas em  $t=1, \dots, T$ . Assume-se que  $w_t$  é um vetor autoregressivo de primeira ordem finito representado por  $\theta(L)w_t = \varepsilon_t$ , onde  $\theta(L) = I - \theta_1 L - \dots - \theta_p L^p$  é um operador de defasagem polinomial com  $L^k w_t = w_{t-k}$ . Continuando,

---

81 Testes baseados na distribuição assintótica normal dos estimadores de máxima verossimilhança dos parâmetros do modelo, com o objetivo de identificar as restrições nos parâmetros estatísticos.

denota-se que o termo de erro  $\varepsilon_t$  é ruído branco com  $E(\varepsilon_t) = 0$  e  $E(\varepsilon_t \varepsilon_{t'}) = \Sigma$ , sendo  $\Sigma$  definido positivo.

Seja  $G$  a decomposição de *Cholesky* do termo de erro definido positivo, onde  $G'G = \Sigma^{-1}$ , tal que  $E(\eta_t \eta_{t'}) = I$  e  $\eta_t = G \varepsilon_t$ . A média móvel assume um processo estacionário, cuja matriz triangular inferior é expressa por:

$$\begin{aligned} w_t &= \phi(L) \varepsilon_t = \begin{bmatrix} \phi_{11}(L) & \phi_{12}(L) \\ \phi_{21}(L) & \phi_{22}(L) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \end{bmatrix} \\ &= \Psi(L) \eta_t = \begin{bmatrix} \Psi_{11}(L) & \Psi_{12}(L) \\ \Psi_{21}(L) & \Psi_{22}(L) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_{1t} \\ \eta_{2t} \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (6)$$

em que  $\phi(L) = \theta(L)^{-1}$  e  $\Psi(L) = \phi(L)G^{-1}$ . A densidade espectral de  $x_t$  é descrita como:

$$f_x(\omega) = \frac{1}{2\pi} \{ |\Psi_{11}(e^{-i\omega})|^2 + |\Psi_{12}(e^{-i\omega})|^2 \}. \quad (7)$$

Mensurando a relação causal estabelecida por Geweke (1982) e Hosoya (1991), teremos:

$$M_{y \rightarrow x}(\omega) = \log \left[ \frac{2\pi f_x(\omega)}{|\Psi_{11}(e^{-i\omega})|^2} \right] = \log \left[ 1 + \frac{|\Psi_{12}(e^{-i\omega})|^2}{|\Psi_{11}(e^{-i\omega})|^2} \right]. \quad (8)$$

Vale destacar que a média é zero se  $|\Psi_{12}(e^{-i\omega})| = 0$ , não existe causalidade de Granger entre  $y$  e  $x$ , na frequência  $\omega$ . Dando continuidade, se os elementos de  $w_t$  forem cointegrados  $I(1)$ , a forma de autorregressão de vetores de ordem finita  $\theta(L)w_t = \varepsilon_t$  se tornará:

$$\Delta w_t = (\theta_1 - I) d_{t-1} + \theta_2 d_{t-2} + \dots + \theta_p d_{t-p} + \varepsilon_t = \tilde{\theta}(L) d_{t-1} + \varepsilon_t. \quad (9)$$

A estimativa de causalidade para elementos cointegrados  $(x_t, y_t)$  em um domínio de frequência é expresso por:

$$\Delta w_t = \tilde{\phi}(L) \varepsilon_t = \tilde{\psi}(L) \eta_t, \quad (10)$$



onde  $\tilde{\Phi}(L) = \tilde{\Psi}(L)G^{-1}$ ,  $\eta_t = G\varepsilon_t$ , e  $G$  é uma matriz triangular inferior tal que  $E(\eta_t \eta_t') = I$ . Assim, a cointegração entre os elementos  $(x_t, y_t)$  é expressa como  $\beta' \tilde{\Phi}(1) = 0$ , onde o vetor de cointegração  $\beta$  é estacionário em  $\beta' w_t$ .

A causalidade da série estacionária estimada utiliza a abordagem de Hosoya (2001), o qual condiciona a terceira variável (conforme equação 8), resultando em:

$$M_{y \rightarrow x}(\omega) = \log \left[ 1 + \frac{|\Psi_{12}(e^{-i\omega})|^2}{|\Psi_{11}(e^{-i\omega})|^2} \right]. \quad (11)$$

Para testar a hipótese de que  $y$  não causa (ou prediz)  $x$  em uma certa frequência para uma determinada estrutura bivariada  $M_{y \rightarrow x}$ , é expressa por:

$$M_{y \rightarrow x}(\omega) = 0. \quad (12)$$

Sintetizando, Breitung e Candelon (2006) também estimam a hipótese nula de causa efeito entre duas variáveis, a partir de um teste F em um modelo genérico, cuja equação VAR resulta em:

$$\Delta w_t = \alpha_1 x_{t-1} + \dots + \alpha_p x_{t-p} + \beta_1 y_{t-1} + \dots + \beta_1 y_{t-p} + \varepsilon_{1t}. \quad (13)$$

A hipótese da restrição linear é comparável a  $M_{y \rightarrow x}(\omega) = 0$ , o equivalente à restrição:

$$H_0: R(\omega) \beta = 0, \quad (14)$$

$$\text{onde } \beta = [\beta_1, \dots, \beta_p]' \text{ e } R(\omega) = \begin{bmatrix} \cos(\omega) & \cos(2\omega) & \dots & \cos(p\omega) \\ \sin(\omega) & \sin(2\omega) & \dots & \sin(p\omega) \end{bmatrix}.$$

Para testar a nulidade de nenhuma causalidade, a estatística F ordinária, que é aproximadamente distribuída por F (2, T-2p), para  $(\omega) \in (0, \pi)$ . Destarte, os autores supracitados concluem que a abordagem pode ser estendida a sistemas de maior dimensão, possibilitando a estimação de relações causais entre duas ou mais variáveis selecionadas em diferentes pontos no horizonte de frequências, isto é, relações causais de curto prazo (alta frequência) e longo prazo (baixa frequência).

### 5.3 Análise descritiva

Uma vez apresentada a metodologia econométrica que será aplicada, antes de executar o estudo é necessário descrever os dados utilizados, bem como suas respectivas fontes informacionais.

Foram selecionadas doze séries temporais, referentes a 1970-2015<sup>82</sup>. Prioritariamente, os dados do consumo material brasileiro originam-se do levantamento já descrito no capítulo 3, sendo selecionados o consumo doméstico de materiais (DMC) em toneladas de Biomassa, Minerais Metálicos, Minerais não Metálicos, Combustíveis Fósseis, Minério de Ferro, Fertilizantes e Petróleo Bruto. Para verificar o impacto ambiental, optou-se pelo material particulado com diâmetro  $< 2,5\mu\text{m}$  próximo a superfície (PM<sub>2,5</sub>)<sup>83</sup>, disponibilizado pelo *Emissions Database for Global Atmospheric Research* (EDGAR, 2020).

As demais variáveis são oriundas da base de dados do Banco Mundial (*World Bank*, 2020), respectivamente: Produto Interno Bruto e Produto Interno Bruto *Per Capita*, em dólares correntes; uso de energia, em quilogramas (kg) de óleo equivalente e; Comércio (soma das exportações e importações de bens e serviços), em percentual do PIB.

Destarte, é possível verificar as relações causais entre os fluxos materiais e os indicadores econômicos, sociais e ambientais. A representação descritiva dos dados é expressa no apêndice 19, e indicam que junto a maior demanda material (já explicitado no capítulo anterior), houve acréscimo nos níveis de emissões de PM<sub>2,5</sub>, em conjunto com uma maior demanda por energia utilizada.

Considerando as especificidades em trabalhos com séries de tempo, a análise estatística dos dados anteriormente descritos é expressa na tabela a seguir:

---

<sup>82</sup> A princípio, objetivou-se utilizar o mesmo horizonte temporal do capítulo anterior (1970-2019). Todavia, a ausência de algumas fontes de dados imprescindíveis para robustez do estudo acabou reduzindo o número de anos em análise.

<sup>83</sup> Partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar na forma de poeira, aerossol, fumaça (ou outras formas), que permanecem na atmosfera e podem percorrer longas distâncias. Tais partículas, que no Brasil originam-se do processo de queimadas, são capazes de atingir o sistema respiratório, provocando lesões pulmonares (MACHIM; NASCIMENTO, 2018; MASCARENHAS et al., 2008).

**Tabela 13. Estatísticas descritivas e Testes para as variáveis selecionadas: Brasil, 1970-2015.**

ESTATÍSTICAS	BIOMASSA <sup>1</sup>	MINÉRIO METÁLICO <sup>1</sup>	MINÉRIO NÃO METÁLICO <sup>1</sup>	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS <sup>1</sup>	FERRO <sup>1</sup>
<b>Média</b>	1.01e+09	4.33e+08	4.33e+08	9.59e+07	9.28e+07
<b>Mediana</b>	9.60e+08	3.49e+08	3.49e+08	8.40e+07	8.77e+07
<b>Máximo</b>	1.77e+09	9.44e+08	9.44e+08	1.85e+08	2.15e+08
<b>Mínimo</b>	4.22e+08	1.03e+08	1.03e+08	3.24e+07	7271646
<b>Desvio padrão</b>	3.94e+08	2.37e+08	2.37e+08	4.07e+07	5.78e+07
<b>Skewness</b>	.3195039	.7460334	.745925	.4278593	.745925
<b>Curtose</b>	2.243227	2.440558	2.440427	2.265505	2.336808
<b>Jarque-Bera</b>	1,88	4,86	4,83	2,43	2,77
<b>ADF Trend Test (ln)</b>	-2,01	-3,25	-3,25	-4,15	-4,11
<b>Prob.</b>	0,59	0,07	0,07	0,00	0,00
<b>ADF Trend Test (I Diff.)</b>	-1,90	-7,79	-7,29	-19,66	-5,43
<b>Prob.</b>	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Portmanteau (Q) Test</b>	211.7384	171.9820	171.9609	223.3845	162.9027
<b>Bartlett's (B) statistic</b>	3.3841	3.3887	3.3886	3.2055	2.9687
<b>Shapiro-Wilk Test</b>	0.95237	0.90400	0.90402	0.95335	0.93786

Fonte: Elaborado pelo autor. 1) Em toneladas. 2) quilogramas (kg) de óleo equivalente. 3) Dólares correntes. 4) % do PIB.

**Tabela 13 (Continuação). Estatísticas descritivas e Testes para as variáveis selecionadas: Brasil, 1970-2015.**

ESTATÍSTICAS	FERTILIZANTES <sup>1</sup>	PETRÓLEO <sup>1</sup>	PM2.5 <sup>1</sup>	USO ENERGIA <sup>2</sup>	PIB <sup>3</sup>	PIB PER CAPITA <sup>3</sup>	COMÉRCIO <sup>4</sup>
<b>Média</b>	3.12e+07	6.80e+07	1096288	1041.757	1.37e+12	8569.99	20.28
<b>Mediana</b>	3.22e+07	6.05e+07	999810	993.245	1.24e+12	8347.52	19.33
<b>Máximo</b>	5.38e+07	1.09e+08	1728171	1550.02	2.42e+12	12071.87	29.67
<b>Mínimo</b>	2837407	2.56e+07	737418	715.84	4.47e+11	4661.39	14.39
<b>Desvio padrão</b>	1.53e+07	2.25e+07	298532.1	203.7003	5.48e+11	18217.03	4.631597
<b>Skewness</b>	-.3382073	.1158316	.9627078	.785956	.3963474	.251365	.4092817
<b>Curtose</b>	2.040101	2.121696	2.618247	3.029583	2.257187	2.933985	1.835113
<b>Jarque-Bera</b>	2,64	1,58	7,38	4,73	2,26	0,49	3,88
<b>ADF Trend Test (ln)</b>	-3,14	-4,45	-1,13	-1,66	-4,01	-3,47	-3,15
<b>Prob.</b>	0,09	0,00	0,92	0,76	0,00	0,04	0,09
<b>ADF Trend Test (I Diff.)</b>	-7,95	-18,91	-5,96	-5,64	-4,48	-4,35	-5,84
<b>Prob.</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Portmanteau (Q) Test</b>	204.9358	215.4913	183.6323	167.2439	215.1797	153.2897	131.1954
<b>Bartlett's (B) statistic</b>	3.3736	3.1323	3.4012	3.0020	3.3290	3.1094	2.9578
<b>Shapiro-Wilk Test</b>	0.94140	0.95826	0.84935	0.93488	0.95658	0.95417	0.91546

Fonte: Elaborado pelo autor. 1) Em toneladas. 2) quilogramas (kg) de óleo equivalente. 3) Dólares correntes. 4) % do PIB.

Além da estatística descritiva autoexplicativa (media, máximo, mínimo e desvio padrão), os testes apresentam os seguintes resultados: a curtose e assimetria são corroboradas no teste Jarke-Bera, indicando que a distribuição é normal, com exceção de PM2,5; os testes de raiz unitária expressam a existência de variáveis estacionárias e não estacionárias; e os testes de *Portmanteau*, *Bartlett's* e *Shapiro-Wilk* comprovam que as variáveis são normalmente distribuídas.

Os apêndices 20 e 21 complementam o diagnóstico temporal, através da identificação de autocorrelação e autocorrelação parcial (com 21 defasagens), concluindo que os componentes são estatisticamente significativos e a autocorrelação das variáveis é diferente de zero.

Continuando, a análise das taxas de variação anual com destaque para os pontos de pico, disposta nos apêndices 22 e 23. Como já descrito no capítulo anterior, a maior demanda por petróleo e fertilizantes no período do milagre econômico coincide com as maiores taxas de PIB e PIB *per capita* na década de 1970, além das maiores evoluções no consumo de ferro e fertilizantes. Na década de 1980, o destaque é a evolução no indicador comércio, em 1983, após uma forte desaceleração ocorrida no ano anterior<sup>84</sup>. Além disso, os dados de maior consumo de biomassa, minérios metálicos e não metálicos ocorrem no ciclo neoextrativista, em 2008. Já o maior resultado positivo de PM2,5 na atmosfera brasileira também ocorre no mesmo ciclo, em 2003.

As análises de pico indicam possíveis causalidades entre as variáveis em destaque. Levando em consideração os testes de diagnóstico das séries temporais, a causalidade de Granger no domínio de frequência, por ser aplicável tanto em variáveis estacionárias, como não estacionárias, e não requerer cointegração entre as variáveis de destino e seus regressores, demonstra uma melhor robustez para estimação do modelo.

#### 5.4 Causalidade com domínio da frequência: resultados

Antes de analisar o domínio de frequência entre variáveis selecionadas<sup>85</sup>, é necessário confirmar o número de *lags*, isto é, o número de defasagens. O número ótimo é estimado por meio de modelos vetoriais autorregressivos (VAR).

---

<sup>84</sup> Em 1983, também ocorre uma maxidesvalorização cambial e superávits comerciais recordes (GIAMBIAGI et al., 2011).

<sup>85</sup> A análise é realizada com *software* estatístico STATA, versão 16.

A Tabela 14 expressa tais defasagens em 84 estimações entre as variáveis do estudo. Ademais, através da combinação de testes proposta por Bayer e Hanck (2013), são determinados os níveis de cointegração entre as séries temporais.

**Tabela 14. Cointegração e número de defasagens: Brasil, 1970-2015.**

RELAÇÃO		LAGS	COINTEGRAÇÃO
lnBIOMASSA	lnPIB	1	<i>Ba-Bo</i>
lnBIOMASSA	LnENERGIA	1	<i>Não</i>
lnBIOMASSA	LnPIBPERCAPITA	1	<i>Ba</i>
lnBIOMASSA	lnCOMERCIO	1	<i>Não</i>
LnPETROLEO	lnPIB	1	<i>Ba-Bo</i>
LnPETROLEO	LnFOSSIL	1	<i>Jo</i>
LnPETROLEO	LnPIBPERCAPITA	1	<i>Não</i>
LnMINERAISNAOMETALICOS	lnPIB	1	<i>Não</i>
LnMINERAISNAOMETALICOS	LnENERGIA	1	<i>Não</i>
LnMINERAISNAOMETALICOS	LnPIBPERCAPITA	1	<i>Não</i>
LnMINERAISNAOMETALICOS	lnCOMERCIO	1	<i>Não</i>
LnMINERAISNAOMETALICOS	LnFERTILIZANTES	1	<i>Jo</i>
LnFERTILIZANTES	LnMINERAISNAOMETALICOS	1	<i>Jo-Ba-Bo</i>
LnFERTILIZANTES	LnENERGIA	1	<i>Jo-Bo</i>
LnFERTILIZANTES	lnCOMERCIO	1	<i>Jo-Ba-Bo</i>
LnFERRO	lnPIB	1	<i>EG-Jo-Ba</i>
LnFERRO	LnENERGIA	1	<i>Bo</i>
LnFERRO	LnPIBPERCAPITA	1	<i>Não</i>
LnFERRO	LnMINERAISMETALICOS	1	<i>Não</i>
LnENERGIA	lnBIOMASSA	1	<i>Não</i>
LnENERGIA	LnFERRO	1	<i>Não</i>
LnENERGIA	LnFOSSIL	1	<i>Não</i>
LnENERGIA	LnMINERAISNAOMETALICOS	1	<i>Não</i>
LnENERGIA	lnPIB	1	<i>Não</i>
LnENERGIA	LnFOSSIL	1	<i>Não</i>
LnENERGIA	LnPIBPERCAPITA	1	<i>Jo</i>
LnENERGIA	LnMINERAISMETALICOS	1	<i>Não</i>
LnFOSSIL	lnPIB	1	<i>Não</i>
LnFOSSIL	LnPETROLEO	1	<i>Jo</i>
LnFOSSIL	LnENERGIA	1	<i>Não</i>
LnFOSSIL	LnPIBPERCAPITA	1	<i>Não</i>
LnFOSSIL	lnCOMERCIO	1	<i>Não</i>
lnPIB	lnBIOMASSA	1	<i>EG</i>
lnPIB	LnPETROLEO	1	<i>Não</i>
lnPIB	LnMINERAISNAOMETALICOS	1	<i>Não</i>
lnPIB	LnFERRO	1	<i>Jo</i>
lnPIB	LnENERGIA	1	<i>Bo</i>
lnPIB	LnFOSSIL	1	<i>Não</i>
lnPIB	LnPIBPERCAPITA	1	<i>Jo-Ba-Bo</i>
lnPIB	LnMINERAISMETALICOS	1	<i>Não</i>
lnPIB	lnCOMERCIO	1	<i>Ba</i>
LnPIBPERCAPITA	lnBIOMASSA	1	<i>Não</i>
LnPIBPERCAPITA	LnMINERAISNAOMETALICOS	1	<i>Não</i>
LnPIBPERCAPITA	LnENERGIA	1	<i>Jo-Ba-Bo</i>
LnPIBPERCAPITA	LnFERRO	1	<i>Não</i>
LnPIBPERCAPITA	LnMINERAISMETALICOS	1	<i>Não</i>
LnPIBPERCAPITA	lnCOMERCIO	1	<i>Ba-Bo</i>
LnMINERAISMETALICOS	LnENERGIA	1	<i>Não</i>
LnMINERAISMETALICOS	lnPIB	1	<i>Não</i>
LnMINERAISMETALICOS	LnPIBPERCAPITA	1	<i>Não</i>

LnMINERAISMETALICOS	LnFERRO	1	Não
LnMINERAISMETALICOS	lnCOMERCIO	1	Não
lnCOMERCIO	lnBIOMASSA	1	Não
lnCOMERCIO	LnMINERAISNAOMETALICOS	1	Ba
lnCOMERCIO	LnFOSSIL	1	Ba
lnCOMERCIO	lnPIB	1	Não
lnCOMERCIO	LnMINERAISMETALICOS	1	Ba
lnCOMERCIO	LnPIBPERCAPITA	1	Não
lnCOMERCIO	LnFERTILIZANTES	1	Jo
LnPM25	lnBIOMASSA	1	Não
LnPM25	LnPETROLEO	1	Não
LnPM25	LnMINERAISNAOMETALICOS	1	Não
LnPM25	LnFERTILIZANTES	1	EG-Jo
LnPM25	LnFERRO	1	Jo
LnPM25	LnENERGIA	1	Não
LnPM25	LnFOSSIL	1	Não
LnPM25	lnPIB	1	Não
LnPM25	LnPIBPERCAPITA	1	Jo
LnPM25	LnMINERAISMETALICOS	1	Não
LnPM25	lnCOMERCIO	2	Jo-Ba-Bo
LnENERGIA	LnPETROLEO	2	Não
LnPETROLEO	lnENERGIA	2	Não
LnPETROLEO	lnCOMERCIO	2	Não
LnFERRO	lnCOMERCIO	2	Não
LnFERTILIZANTES	lnPIB	2	Não
LnFERTILIZANTES	LnPIBPERCAPITA	2	Não
LnENERGIA	lnCOMERCIO	2	Não
LnENERGIA	LnFERTILIZANTES	2	Não
lnCOMERCIO	LnENERGIA	2	Não
lnCOMERCIO	LnPETROLEO	2	Ba-Bo
lnCOMERCIO	LnFERRO	2	Não
lnPIB	LnFERTILIZANTES	2	Não
lnPIBPERCAPITA	LnPETROLEO	2	Não
LnPIBPERCAPITA	LnFOSSIL	2	Não
LnPIBPERCAPITA	LnFERTILIZANTES	2	Não
LnPIBPERCAPITA	lnPIB	3	Não

Fonte: Elaborado pelo autor. *Não* significa ausência de cointegração, *EG* significa cointegração de Engle-Granger, *J* denota Cointegração de Johansen, *Ba* de Banerjee e *Bo*, cointegração de Boswijk.

A partir dos critérios de Hasoya (1991) e Breitung e Candelon (2006), a causalidade de Granger para domínio de frequência implicou em 34 resultados, segmentados em seis conclusões<sup>86</sup>: Unidirecional FORTE, acima do intervalo de confiança de 10%; Unidirecional MIX (entre forte e fraco), cujo teste estatístico atravessa o(s) intervalo(s) de confiança 5% e 10%; Unidirecional FRACO, onde o teste é uma linha horizontal situada entre os intervalos de confiança( 5% e 10%); Unidirecional MIX-FRACA, cujos valores-p (*p-value*) dos testes estatísticos são menores que 5%; Bidirecional MIX-FRACO, também menores que 5% e; não causalidade, cujo teste estatístico é inferior aos intervalos de confiança 5% e 10%.

<sup>86</sup> Utilizando os mesmos critérios classificatórios de Sarkodie (2020).

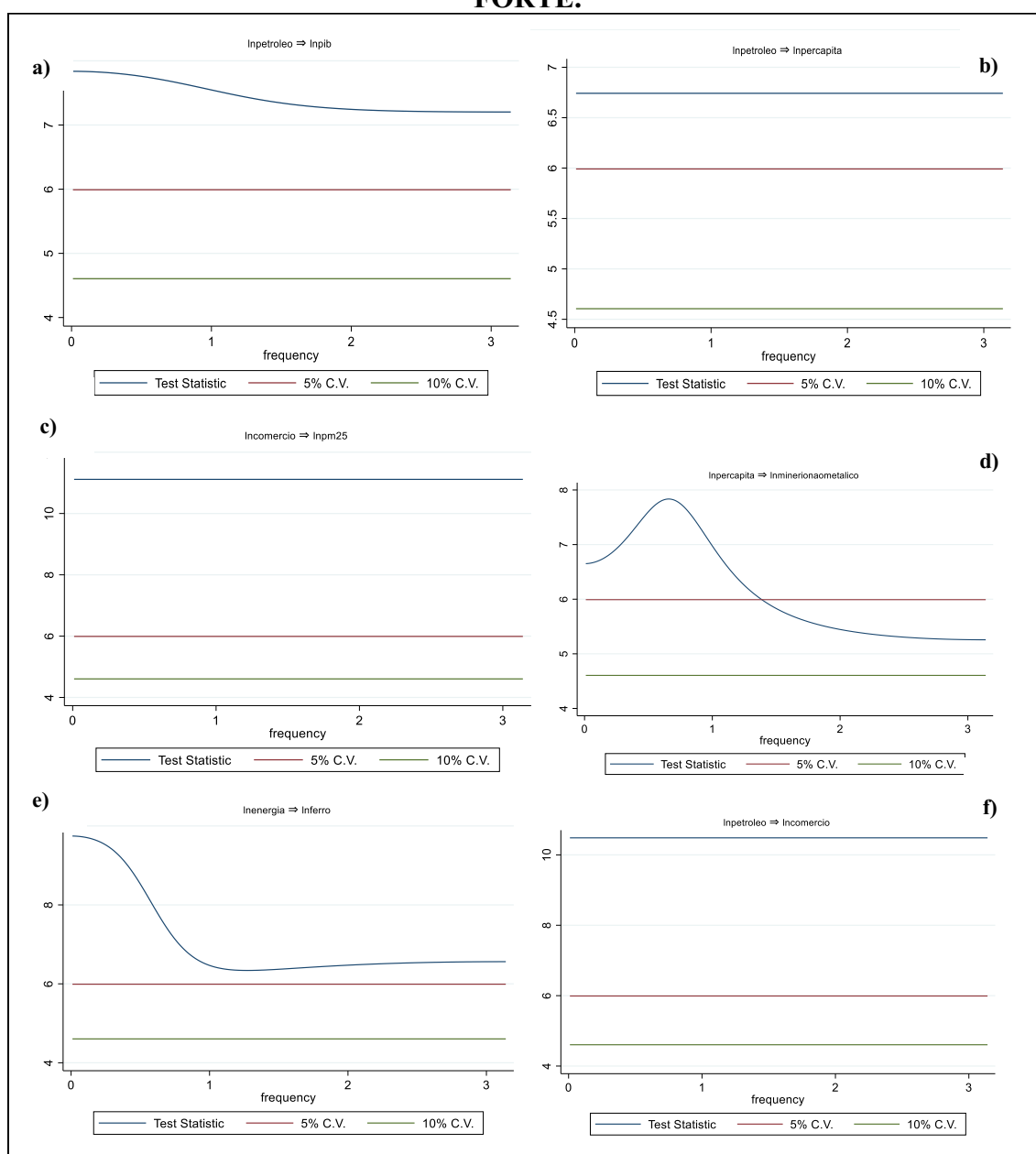
Tais classificações levam em consideração a frequência ( $\omega$ ) na escala dos intervalos  $(0, \omega)$ , cuja hipótese nula é rejeitada a um  $p\text{-value} < 0,05$  nas frequências FORTE e MIX e, um  $p\text{-value} < 0,10$  nas frequências FRACAS e MIX FRACA.

As Figuras 40 e 41 rejeitam a hipótese nula de ausência de previsibilidade, ou seja, considerando os níveis de significância de 5 e 10% ( $p\text{-value} < 0,05$ ), no intervalo de frequência máximo  $\omega [0; 3,14]$  existe uma forte relação de causalidade sem flutuações futuras nas variáveis em destaque. Em 40(a) e 40(b), o consumo de petróleo (LnPETROLEO) implicará fortemente o crescimento econômico no longo prazo (LnPIB), utilizando VAR (1) e também o PIB *per capita*, utilizando VAR (2).

Continuando, temos em 40(c), utilizando VAR (2) no mesmo intervalo  $\omega$ , a variável de transações comerciais (LnCOMERCIO) prediz fortemente os níveis de emissões (LnPM25). Também é previsto para o futuro que o crescimento *per capita* (LnPIBPERCAPITA) implica em uma maior demanda por minerais não metálicos (LnMINERAISNAOMETALICOS), utilizando VAR(1) em 40(d), embora flutue entre a frequência  $\omega \in [0; 1,2]$ , gerando uma previsão fraca na frequência  $\omega \in [1,2; 3,14]$ ; a intensidade energética (LnENERGIA) influencia o uso de ferro (LnFERRO), para um VAR (1) em 40(e), com alguma flutuação na frequência  $\omega \in [0; 1]$ , predizendo uma alta relação em  $\omega \in [1,0; 3,14]$  e; o consumo de petróleo bruto (LnPETROLEO) tenha impacto (sem flutuações) nas relações comerciais futuras (LnCOMERCIO), a partir de um VAR (2), em 40(f).



**Figura 40. Causalidade de Granger no domínio da frequência Unidirecional: FORTE.**



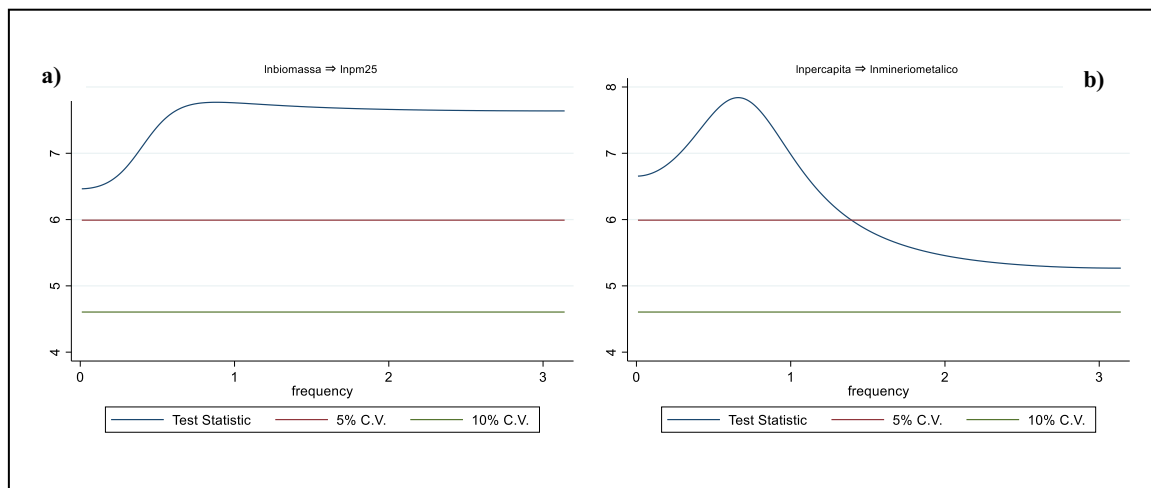
Fonte: Elaborado pelo autor. a)  $\ln\text{PETROLEO} \rightarrow \ln\text{PIB}$  b)  $\ln\text{PETROLEO} \rightarrow \ln\text{PIBPERCAPITA}$  c)  $\ln\text{COMERCIO} \rightarrow \ln\text{PM25}$  d)  $\ln\text{PIBPERCAPITA} \rightarrow \ln\text{MINERAISNAOMETALICOS}$  e)  $\ln\text{ENERGIA} \rightarrow \ln\text{FERRO}$  f)  $\ln\text{PETROLEO} \rightarrow \ln\text{COMERCIO}$ .

Na Figura 41(a), são ilustradas as relações de causalidade entre biomassa ( $\ln\text{BIOMASSA}$ ) e emissões ( $\ln\text{PM25}$ ), em um VAR (1). No intervalo de frequência  $\omega \in [0; 0,8]$ , observa-se uma previsão crescente, sendo que na sequência,  $\omega \in [0,8; 3,14]$  o parâmetro se torna estável, concluindo que a relação causa/efeito ocorrerá fortemente, e sem flutuações.

Em 41(b), existe instabilidade entre PIB *per capita* ( $\ln\text{PERCAPITA}$ ) e minerais metálicos ( $\ln\text{MINERAISMETALICOS}$ ), considerando um VAR (1), na frequência  $\omega \in$

$[0; 1,2]$ . Contudo, o parâmetro se torna estável na frequência  $\omega \in [1,2; 3,14]$ , predizendo uma relação forte, e de longo prazo entre as duas variáveis supracitadas.

**Figura 41. Causalidade de Granger no domínio da frequência Unidirecional: FORTE.**



Fonte: Elaborado pelo autor. a) LnBIOMASSA → LnPM25 b) LnPIBPERCAPITA → LnMINERAISMETALICOS.

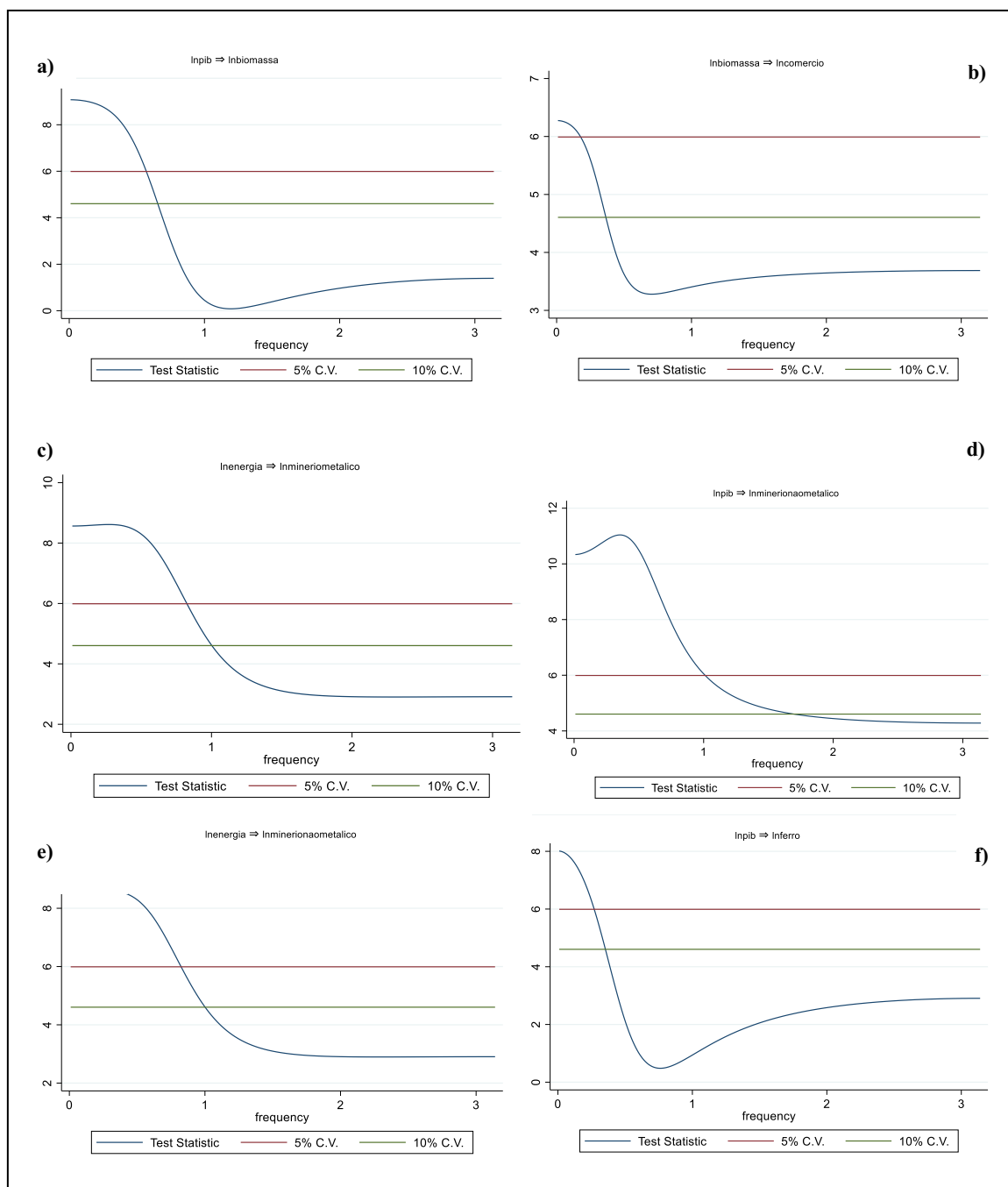
Já relações apresentadas na Figura 42 indicam processos causais de Granger no domínio da frequência unidirecional mais complexas, uma vez que se alternam entre relações fracas e fortes ( $p\text{-value} < 0,05$ ). Em 42(a), para um VAR (1), inicialmente tem-se uma previsão forte entre causalidade de PIB e biomassa ( $\text{LnPIB} \rightarrow \text{LnBIOMASSA}$ ) na frequência  $\omega \in [0; 0,5]$ , que desacelera no intervalo  $\omega \in [0,5; 0,6]$ , se anulando após  $\omega > 0,6$ .

No processo causal indicado na Figura 42(b), entre biomassa ( $\text{LnBIOMASSA}$ ) e comércio ( $\text{LnCOMERCIO}$ ) para um VAR (1), ocorre uma predição forte na frequência  $\omega \in [0; 0,1]$ , que diminui após  $\omega > 0,4$ , até se tornar nula. Situação semelhante entre uso de energia e consumo mineral metálico ( $\text{LnENERGIA} \rightarrow \text{LnMINERAISMETALICOS}$ ), Figura 42(c), que para um VAR (1) apresentou frequência forte em  $\omega \in [0; 0,8]$ , diminuindo em  $\omega \in [0,8; 1]$ , não prevendo uma relação causal após  $\omega > 1$ .

Considerando o domínio de frequência para PIB e minerais metálicos, conforme Figura 42(d), os parâmetros são estáveis até uma frequência  $\omega \in [0; 1]$ , baseado em um VAR (1), também anulando após  $\omega > 1,8$ . Em 42(e), a causalidade entre energia e minerais não metálicos, para um VAR (1) indicou frequência forte em  $\omega \in [0; 0,8]$ , diminuindo em  $\omega \in [0,8; 1]$ , não prevendo uma relação causal após  $\omega > 1$ .

Por fim, estimado em um VAR (1), a predição entre crescimento econômico e ferro ( $\text{LnPIB} \rightarrow \text{LnFERRO}$ ), disposta na Figura 42(f), se mostrou efetiva na frequência  $\omega \in [0; 0,2]$ , sendo nula após  $\omega > 0,4$ .

**Figura 42. Causalidade de Granger no domínio da frequência Unidirecional: MIX.**



Fonte: Elaborado pelo autor. a)  $\text{LnPIB} \rightarrow \text{LnBIOMASSA}$  b)  $\text{LnBIOMASSA} \rightarrow \text{LnCOMERCIO}$  c)  $\text{LnENERGIA} \rightarrow \text{LnMINERAISMETALICOS}$  d)  $\text{LnPIB} \rightarrow \text{LnMINERAISMETALICOS}$  e)  $\text{LnENERGIA} \rightarrow \text{LnMINERAISNAOMETALICOS}$  f)  $\text{LnPIB} \rightarrow \text{LnFERRO}$ .

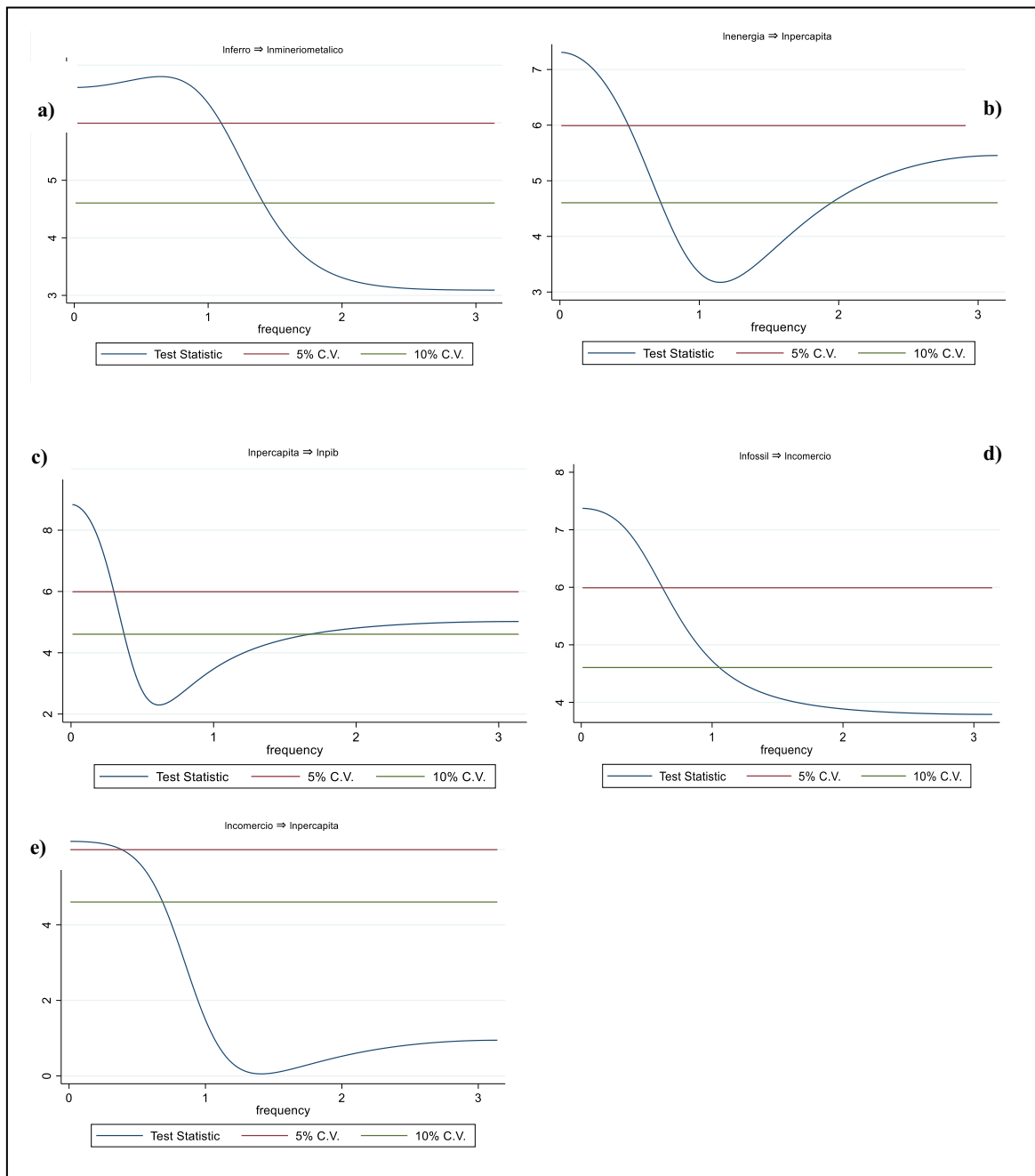
A Figura 43 ilustra as cinco últimas causalidades no domínio de frequência unidirecional MIX. Em 43(a) em um VAR (1), a interação entre minério de ferro

(LnFERRO) e minerais metálicos (LnMINERAISMETALICOS), apresentou predição forte, para a frequência  $\omega \in [0; 1,1]$ , fraca para  $\omega \in [1,1; 1,5]$  e nula para  $\omega > 1,5$ .

Em 43(b), o efeito foi distinto dos já apresentados nessa escala. Temos uma curva de “U” oriunda da causalidade entre LnENERGIA  $\rightarrow$  LnPIBPERCAPITA para um VAR (1), isto é, a frequência foi forte no intervalo  $\omega \in [0; 1,5]$  e fraca nas frequências  $\omega \in [0,5; 0,8]$  e  $\omega \in [2; 3,14]$ . O mesmo ocorre em 43(c), para um VAR (3), quando a predição entre PIB *per capita* e PIB indica uma frequência forte em  $\omega \in [0; 0,3]$  e fraca nas frequências  $\omega \in [0,3; 0,6]$  e  $\omega \in [1,8; 3,14]$ .

A causalidade entre energia fóssil (LnFOSSIL) e comércio (LnCOMERCIO) para um VAR (1) expressa uma frequência forte  $\omega \in [0; 0,8]$ , mas enfraquece e se anula para  $\omega > 0,8$ , conforme 43(d). Já para 43(e), considerando um VAR (1), as relações comerciais (LnCOMERCIO) causam crescimento econômico *per capita* (LnMINERAISMETALICOS), forte na frequência  $\omega \in [0; 0,5]$ , que se enfraquece em  $\omega \in [0,5; 0,8]$ , se tornando ausente em  $\omega > 0,8$ .

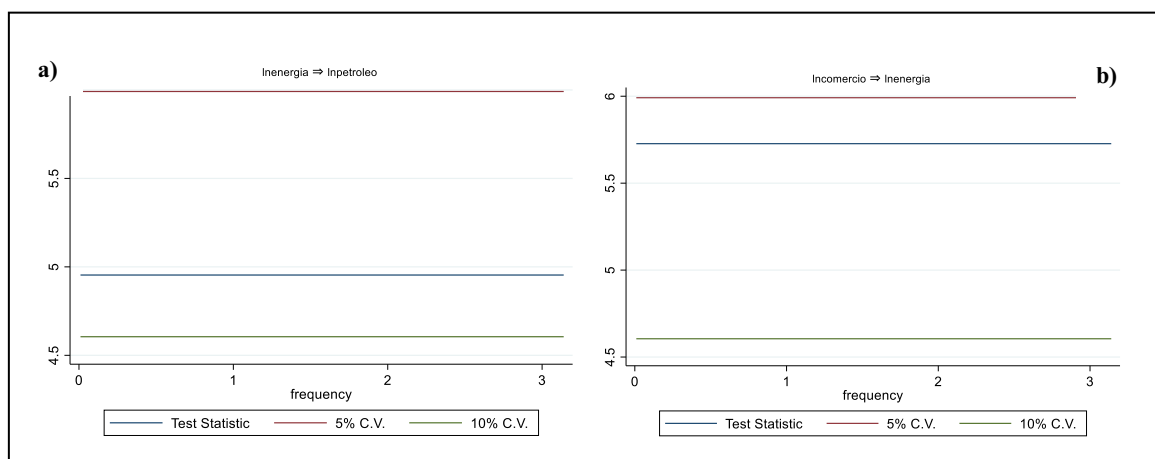
**Figura 43. Causalidade de Granger no domínio da frequência Unidirecional: MIX.**



Fonte: Elaborado pelo autor. a)  $\text{LnFERRO} \rightarrow \text{LnMINERAISMETALICOS}$  b)  $\text{LnENERGIA} \rightarrow \text{LnPIBPERCAPITA}$  c)  $\text{LnPIBPERCAPITA} \rightarrow \text{LnPIB}$  d)  $\text{LnFOSSIL} \rightarrow \text{LnCOMERCIO}$  e)  $\text{LnCOMERCIO} \rightarrow \text{LnPIBPERCAPITA}$ .

Em relação às causalidades permanentemente fracas ( $p\text{-value} < 0,10$ ), foram encontradas duas evidências, dispostas na Figura 44, ambas partindo de um VAR(2). Na primeira, 44(a), ocorre uma relação causal entre energia e petróleo ( $\text{LnENERGIA} \rightarrow \text{LnPETROLEO}$ ), a partir de um no intervalo de frequência  $\omega \in [0; 3,14]$ . Já em 44(b), a predição é fraca para  $\text{LnCOMERCIO} \rightarrow \text{LnENERGIA}$ , no mesmo intervalo de frequência.

**Figura 44. Causalidade de Granger no domínio da frequência Unidirecional: FRACA.**

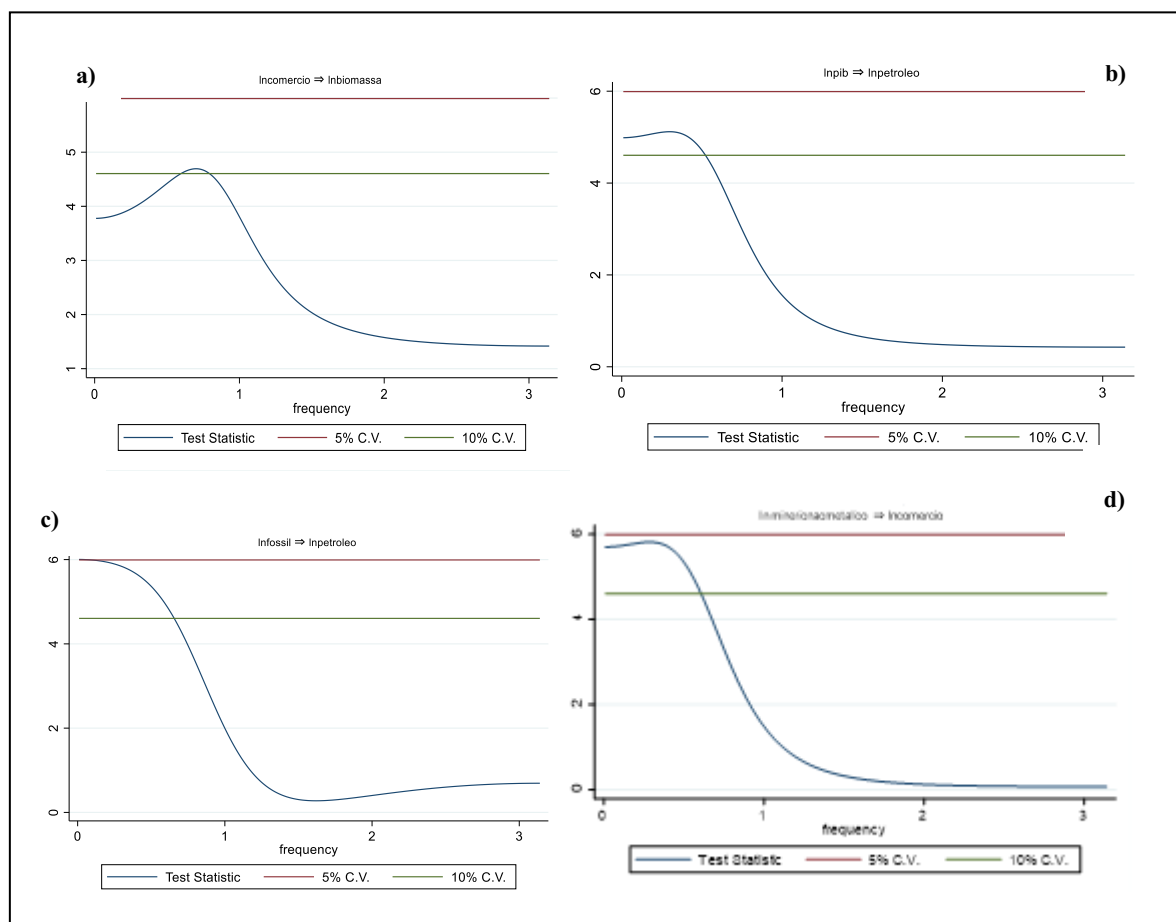


Fonte: Elaborado pelo autor. a) LnENERGIA → LnPETROLEO b) LnCOMERCIO → LnENERGIA.

O penúltimo caso (Figura 45) aborda o domínio causal de frequência que também são fracos ( $p\text{-value} < 0,10$ ), mas não apresentam características permanentes. Em 45(a), a relação entre comércio (LnCOMERCIO) e biomassa (LnBIOMASSA), para um processo VAR(1), onde a frequência é fraca em  $\omega \in [0,8; 0,9]$ , se anulando em  $\omega > 0,9$ .

Para 45(b), utilizando um VAR (1), examina-se a causalidade entre o crescimento econômico (LnPIB) e consumo de petróleo bruto (LnPETROLEO). No intervalo de frequência  $\omega \in [0; 0,8]$ , a relação é fraca, se anulando em  $\omega > 0,9$ . A mesma frequência é observada entre LnFOSSIL → LnPETROLEO e LnMINERAISNAOMETALICOS → LnCOMERCIO, em um VAR (1), conforme Figuras 45(c) e 45(d).

**Figura 45. Causalidade de Granger no domínio da frequência Unidirecional: MIX FRACA.**



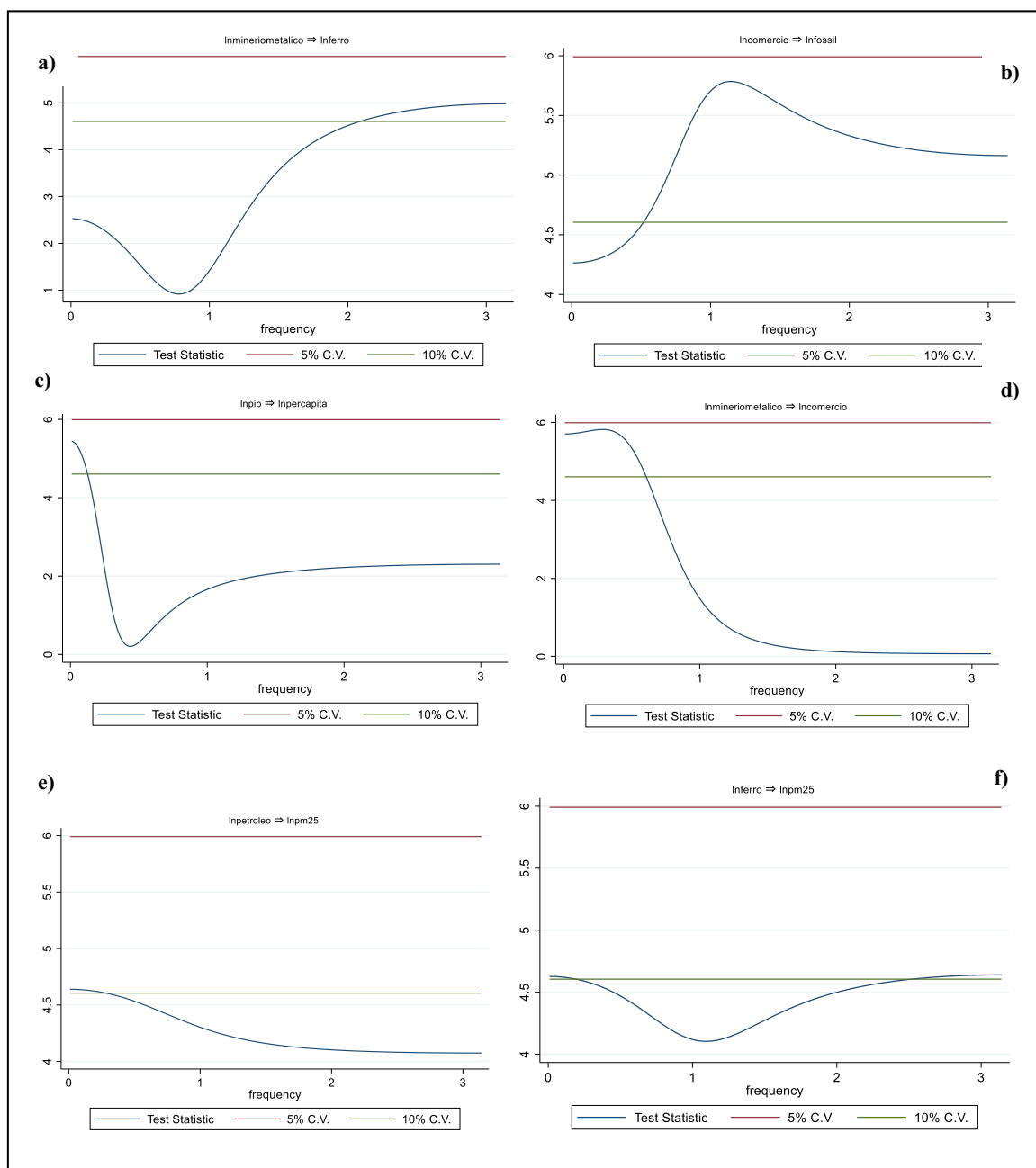
Fonte: Elaborado pelo autor. a)  $\text{LnCOMERCIO} \rightarrow \text{LnBIOMASSA}$  b)  $\text{LnPIB} \rightarrow \text{LnPETROLEO}$  c)  $\text{LnFOSSIL} \rightarrow \text{LnPETROLEO}$  d)  $\text{LnMINERAISNAOMETALICOS} \rightarrow \text{LnCOMERCIO}$ .

Dando continuidade, seis causalidades de frequência unidirecional MIX FRACA são ilustradas na Figura 46. Em 46(a), com um VAR (1), a relação de causalidade entre minério metálico e ferro ( $\text{LnMINERAISMETALICOS} \rightarrow \text{LnFERRO}$ ) possui frequência nula no intervalo  $\omega \in [0; 2,1]$ , tornando-se fraca em  $\omega > 2,1$ .

Em 46(b) e com um VAR (1), a predição é fraca entre  $\text{LnCOMERCIO} \rightarrow \text{LnFOSSIL}$  para a frequência  $\omega > 0,5$ . Para 46(c), com um VAR (3); 46(d), e 46(e) para um VAR (1) as causalidades se iniciam fracas, e tonam-se nulas para cada relação destacada.

Quanto a predição entre ferro ( $\text{LnFERRO}$ ) e emissões de PM25 ( $\text{LnPM25}$ ), a Figura 46(f) utiliza um processo VAR (1), o intervalo de frequência segue um formato “U”, fraca em  $\omega \in [0; 0,2]$  e  $\omega \in [2,5; 3,14]$  e nula no intervalo  $\omega \in [0,2; 2,5]$ .

**Figura 46. Causalidade de Granger no domínio da frequência Unidirecional: MIX FRACA.**

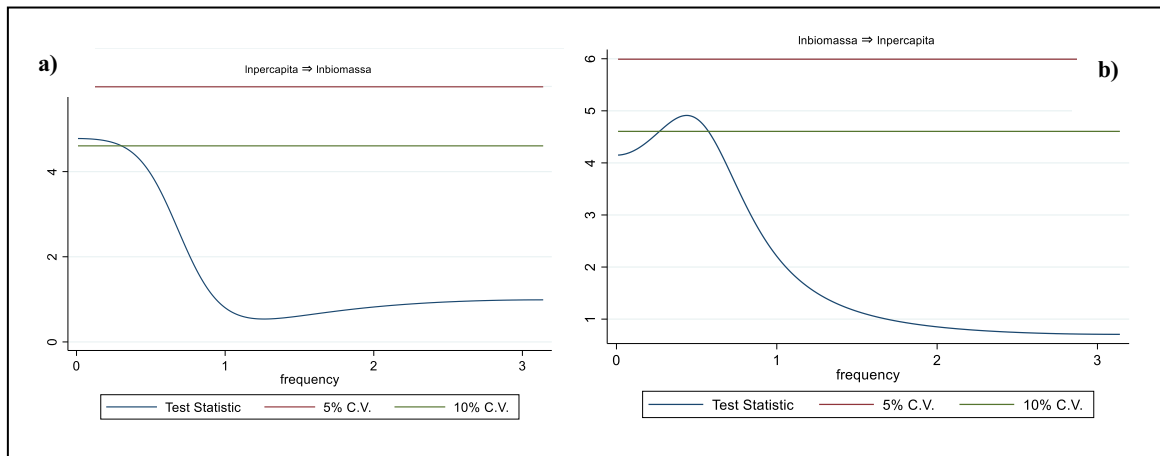


Fonte: Elaborado pelo autor. a)  $\ln \text{MINERAISMETALICOS} \rightarrow \ln \text{FERRO}$  b)  $\ln \text{COMERCIO} \rightarrow \ln \text{FOSSIL}$  c)  $\ln \text{PIB} \rightarrow \ln \text{PIBPERCAPITA}$  d)  $\ln \text{MINERAISMETALICOS} \rightarrow \ln \text{COMERCIO}$  e)  $\ln \text{PETROLEO} \rightarrow \ln \text{PM25}$  f)  $\ln \text{FERRO} \rightarrow \ln \text{PM25}$ .

A única relação de causalidade bidirecional (Figura 47) também é MIX FRACA, entre PIB *per capita* e biomassa, em um processo VAR (1) para as duas direções. Em  $\ln \text{PIBPERCAPITA} \rightarrow \ln \text{BIOMASSA}$ , a frequência é fraca em  $\omega \in [0; 0,4]$ , tornando-se nula em  $\omega > 0,4$ . Para  $\ln \text{BIOMASSA} \rightarrow \ln \text{PIBPERCAPITA}$ , o intervalo de frequência  $\omega \in [0,2; 0,8]$  é fraco, sendo nulo em  $\omega \in [0; 0,2]$  e  $\omega > 0,8$ .



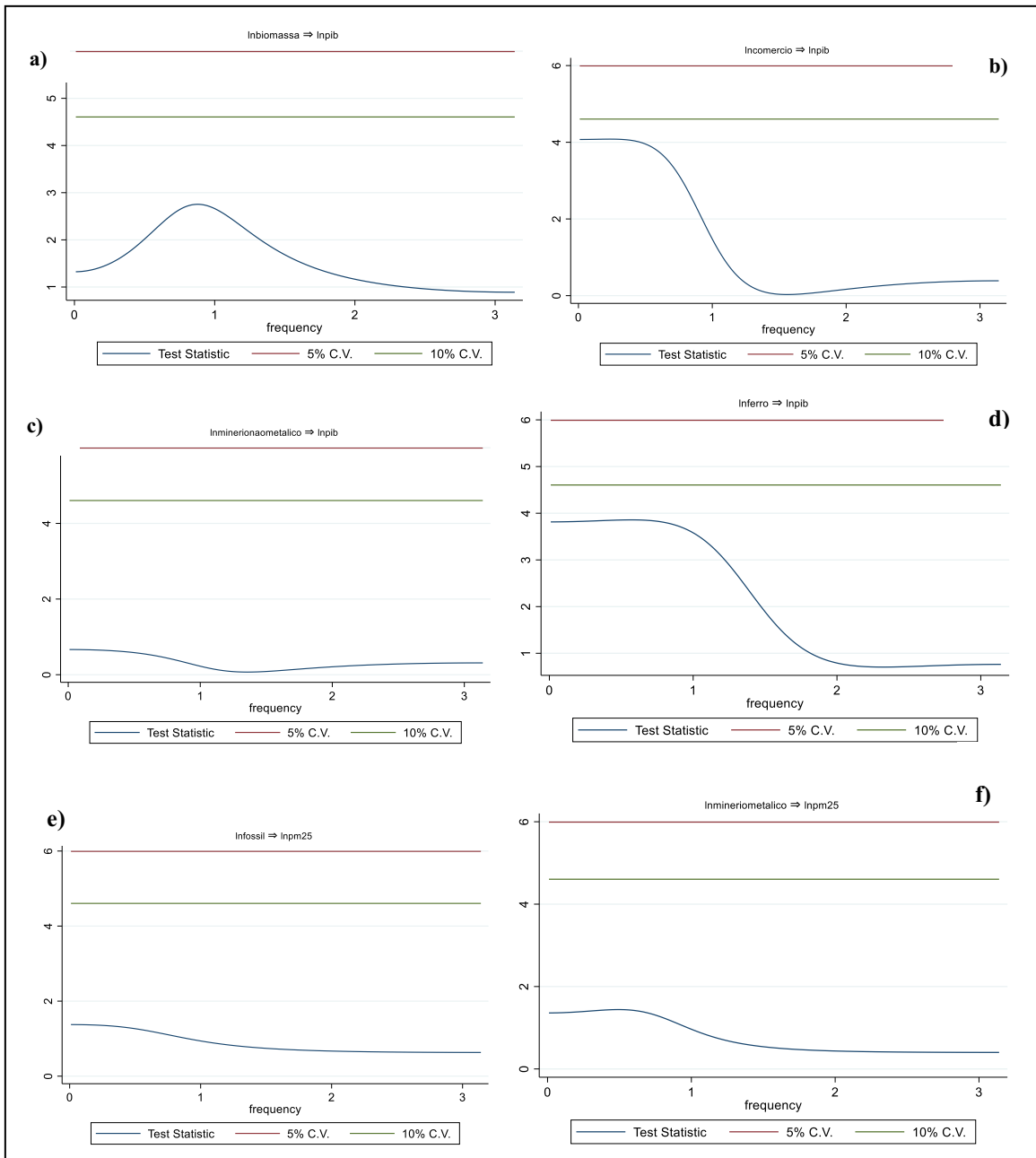
**Figura 47. Causalidade de Granger no domínio da frequência Bidirecional: MIX FRACA.**



Fonte: Elaborado pelo autor. a)  $\text{LnPIBPERCAPITA} \rightarrow \text{LnBIOMASSA}$  b)  $\text{LnBIOMASSA} \rightarrow \text{LnPIBPERCAPITA}$ .

Concluindo a análise com ocorrências espectrais, foram mapeadas 60 evidências de ausência de causalidade, conforme Breitung e Candelon (2006). Na Figura 48, são listadas seis ocorrências, com ênfase no crescimento econômico e emissões de PM25.

**Figura 48. Causalidade de Granger no domínio da frequência Bidirecional: NÃO CAUSALIDADE.**



Fonte: Elaborado pelo autor. a)  $\text{LnPIBPERCAPITA} \rightarrow \text{LnPIB}$  b)  $\text{LnCOMERCIO} \rightarrow \text{LnPIB}$  c)  $\text{LnMINERAISMETALICOS} \rightarrow \text{LnPIB}$  d)  $\text{LnFERRO} \rightarrow \text{LnPIB}$  e)  $\text{LnFOSSIL} \rightarrow \text{LnPM25}$  f)  $\text{LnMINERAISMETALICOS} \rightarrow \text{LnPM25}$ .

Para validar os modelos estimados, foi testada a soma cumulativa dos resíduos recursivos, *Cumulative sum test for parameter stability* (CUSUM), o qual produz estimativas gráficas com 95% de confiança acerca da estabilidade dos parâmetros. (HAWKINS, 1981, LEE et al.,2003).

Os resultados do teste para as doze variáveis selecionadas estão disponíveis nos apêndices 24 e 25, os quais demonstram que todos os parâmetros estão no intervalo de aceitação (sem quebras), concluindo que os resultados foram estáveis.

### 5.5 Iniciativas para o desenvolvimento sustentável no Brasil

Analisando a economia brasileira nos últimos 45 anos, os resultados presentes nesse capítulo tendem a se aproximar da análise biofísica do capítulo 4. Pode ser reafirmado que a escala econômico-ecológica configura o Brasil como um importante produtor e consumidor de minério de ferro, biomassa e petróleo bruto, e que tais variáveis contribuem para o crescimento econômico. Assim, os resultados encontrados encontram aderência junto a outros autores, como: Junior (2020), Rhoden et. al. (2020), Sousa (2020) e Da Silva et. al, (2019).

O aumento nos índices de desmatamento está relacionado ao consumo de biomassa, que implica nos índices de emissões, como estima Albuquerque et. al (2019). Além disso, a maior dependência por *commodities* minerais e fósseis configuram um problema para o futuro, uma vez que o esvaziamento das reservas implica em uma extração mais intensiva, acarretando em maiores níveis de poluição (MATOS, 2013).

Considerando que o cenário de longo prazo implica em relações de causalidade entre variáveis materiais, econômicas e ambientais, faz-se necessário propor alternativas para um crescimento econômico sustentável. Assim, algumas teorias buscam lidar com as questões do crescimento econômico desmedido no longo prazo, propondo mudanças de paradigmas.

Uma delas é o decrescimento (*degrowth*), caracterizado como um movimento crescente no norte global, alternativo ao *green growth*<sup>87</sup>, focado na transformação socioecológica (WIEDMANN et al., 2020; ACOSTA, BRAND, 2019).

Os teóricos do decrescimento reforçam a adesão de iniciativas que visem eliminar o estilo de vida consumista desregrado e ilimitado, próprio do capitalismo contemporâneo, reforçando a narrativa que a manutenção do modelo vigente resultará em um colapso social e ecológico. Além disso, defendem uma redução no crescimento econômico (mas corrigindo as distorções sociais dos países pobres), e ações para o

---

<sup>87</sup> É importante mencionar que no âmbito da preposição de políticas em organismos como a OCDE, ganhou notoriedade a visão do *green growth*, defendendo ações que busquem a inovação e o aumento da produtividade (via progresso técnico), defendendo-os como indutores de um novo modelo de crescimento sustentável.

desestímulo do consumo de energia fóssil (intensificando a produção de fontes de energias menos poluidoras). Trata-se de uma mudança de rumos, tanto nas instituições políticas e econômicas, como nos valores individuais. (KALLIS et al, 2012; KALLIS, 2011).

Outra abordagem é o pós-crescimento (*post-growth*), que compreende a necessidade de um estilo de vida mais sustentável, propondo modelos alternativos de organização socioeconômica para além do mero objetivo de expansão material.. Essa abordagem também aceita os limites biofísicos do planeta, enfatizando que o crescimento econômico gera benefícios até certo ponto, e uma vez atingidos, geraria a necessidade de outras métricas para garantia de bem-estar (SCHULZ, BAILEY, 2014).

Outra iniciativa está intimamente relacionada aos países latino americanos, mais especificamente nos rumos que essas economias devem tomar após o período de intensificação no consumo de matérias primas (denominado neoextrativismo, já mencionado em outros capítulos da tese). Trata-se dos pós extrativismo, cujo fundamento reside em:

[...] deixar para trás os modelos econômicos extrativistas dependentes e não sustentáveis, que são primário-exportadores, excessivamente orientados ao mercado externo, desindustrializados, promotores de exclusão em massa e pobreza, concentradores de renda e riqueza, depredadores e contaminadores. A intenção é construir economias sustentáveis, ou seja, diversificadas em produtos e mercados, industrializadas e terciarizadas, com capacidade de geração de emprego de qualidade, equitativas, que respeitem as culturas e a Natureza. (ACOSTA, 2016, p. 82)

A efetivação desse novo modelo aparece nas modificações das relações de poder e na forma de lidar com o desenvolvimento econômico ecologicamente sustentável. Como pontuam Acosta e Brand (2019), tanto o pós extrativismo, quanto o decrescimento pretendem avançar no debate progressista em torno da distribuição de renda, e elevá-los a uma discussão política estrutural.

Além das três iniciativas mencionadas, o pensamento macroeconômico também vem incorporando as questões da sustentabilidade em seus modelos desenvolvimentistas alternativos a Economia Ambiental Neoclássica. A transição para uma sociedade com menor intensidade material necessita da atuação mais ativa do estado.

Uma alternativa política de desenvolvimento econômico sustentável é articulada pela Comissão Econômica para a América Latina (CEPAL), denominado *Big Push Ambiental*. Este propõe estimular os investimentos sustentáveis, via políticas fiscais que

intensifiquem projetos de baixo carbono e gerem maior eficiência energética, rompendo os gargalos socioeconômicos das economias subdesenvolvidas sob uma ótica ecologicamente eficiente. Dessa forma, pretende-se gerar um modelo de redução da desigualdade, crescimento econômico e geração de emprego, com iniciativas de menor deterioração terrestre (CEPAL, 2016; GRAMKOW, 2019).

Andrade et al. (2021) resgatam o pensamento desenvolvimentista clássico, com ênfase no pensamento estrutural cepalino, e defendem um desenvolvimento verde sustentável e inclusivo. O “*Green Up*” é colocado como uma nova opção para o *Big Push Ambiental*, reforçando que as propostas políticas devem considerar os problemas estruturais da periferia.

O desafio teórico que se coloca para um *Big Push* sustentável é articular as contribuições de diferentes marcos teóricos, robustecendo-as e emprestando-lhes organicidade suficiente para uma leitura realista dos problemas que afligem as sociedades contemporâneas. Como elementos norteadores para esta empreitada, aponta-se: (i) o abandono da epistemologia mecanicista e a adoção de uma perspectiva termodinâmica; (ii) a consideração dos fluxos metabólicos entre natureza, sociedade e sistema econômico; (iii) a incorporação dos serviços ecossistêmicos como categoria analítica relevante para a mediação de variáveis ecológicas, sociais e econômicas. (ANDRADE et al., 2021, p.80)

Por fim, após a eclosão da pandemia de COVID-19, Mathias et al. (2021) destacam a necessidade de um *Green New Deal*<sup>88</sup>, com mudança no paradigma político e econômico, unindo ações de estabilização econômica, diminuição nos níveis de desemprego e redução nas emissões de carbono (através de investimento em novas tecnologias que possibilitem essa transição). Um dos fatores que tornariam a iniciativa vitoriosa é a restauração do estado como protagonista, indo de encontro ao modelo neoclássico vigente, que prega a eficiência do mercado frente a atuação governamental.

## 5.6 Considerações finais

Ao examinar as relações entre tais recursos materiais, indicadores econômicos e ambientais utilizando a causalidade de Granger no domínio da frequência, alguns resultados gerais podem ser sintetizados. O Brasil é o segundo maior exportador líquido de minério de ferro (JUNIOR, 2020), e tal mineral (em conjunto com o grupo de minerais metálicos) também apresentou relações causais de curto e longo prazo (junto ao comércio,

---

<sup>88</sup> Conjunto de propostas que busquem a diminuição da desigualdade econômica e o combate as mudanças climáticas, através de políticas ambientalmente sustentáveis.

PIB e Pm<sub>2,5</sub>) no presente estudo. A relação entre essa variável e uso de energia, assim como o crescimento econômico corroboram com tal afirmação, isto é, existe uma dependência na extração mineral para manutenção das atividades comerciais geradoras de renda. Isso também é corroborado com os resultados causais descobertos por Macedo et. al (2021), Da Silva et al. (2021) e Ampofo, et al. (2020).

Já a biomassa, que engloba as *commodities* agrícolas e parte da base energética (a partir do etanol, por exemplo), confirmou sua relevância para o crescimento econômico e comércio, confirmando a dependência material. Brandão e Vogt (2021) também analisam tais relações causais entre variáveis agrícolas, minerais e macroeconômicas, concluindo a existência de relações de longo prazo entre Brasil e um importante parceiro comercial, a China.

Também há uma forte tendência de dependência do petróleo bruto para o crescimento econômico e o comércio, sobretudo após a expansão das reservas disponíveis, ocorrida nas duas últimas décadas. Tal pressuposto é confirmado por Mortari (2019), que enfatiza a importância do segmento de refino na indústria nacional de transformação e seus encadeamentos comerciais.

A questão econômico-ecológica pode ser apontada nas relações entre os grupos de materiais e níveis de emissões. As evidências indicam relações causais entre comércio, biomassa, minerais metálicos, energia fóssil e emissões de PM<sub>2,5</sub>, isto é, a utilização material geradora de renda traz consigo externalidades ambientais negativas.

Assim, é possível afirmar que o sociometabolismo brasileiro (entre 1970-2015), para as relações causais identificadas no estudo (BIOMASSA, MINERAIS METÁLICOS e ENERGIA FÓSSIL → PM<sub>2,5</sub>) resulta em um possível aumento nos níveis de emissões. Resultados similares foram apontados por Albuquerque et. al (2019), Mataveli et al. (2018) e Gonçalves et. al (2012).

Em virtude dos fatos mencionados, o presente capítulo ilumina algumas considerações acerca da proposição de políticas públicas. A efetivação de um modelo de desenvolvimento sustentável no Brasil está diretamente relacionada a transição para uma sociedade com menores níveis de materialização. Os resultados econométricos endossam a necessidade de políticas governamentais que incentivem uma maior eficiência energética, economia de materiais e substituição de combustíveis fósseis. Como reforça Gramkow, (2019, p. 19): “[...] políticas de estímulos verdes reduziram a vulnerabilidade externa do país, ao diminuir as importações de combustíveis fósseis, que podem ser

voláteis frente às flutuações dos preços internacionais das *commodities* energéticas e sujeitos a disrupções de oferta”.

Em caráter mais imediatista, uma proposta de política ambiental que penalize de maneira mais efetiva os segmentos poluidores é justificada pelos resultados empíricos encontrados. Ao se enfatizar a extração de recursos não renováveis (terras agricultáveis, minerais e combustíveis fósseis) em prol do crescimento econômico, torna-se urgente estabelecer diretrizes para um retorno mais eficiente, que vise um efetivo desenvolvimento sustentável econômico e social, que possa contribuir para uma melhor qualidade de vida.

Por último, considerando as tendências de longo prazo mapeadas, avaliar as recentes mudanças nos padrões mundiais de consumo material e a inevitável exaustão dos estoques disponíveis, o que amplia a necessidade de pesquisas e desenvolvimento de tecnologias ecologicamente mais eficientes.

## CONCLUSÕES GERAIS

Esta tese buscou quantificar a dimensão biofísica da economia brasileira no período 1970 a 2019, utilizando o metabolismo socioeconômico como aporte teórico/metodológico.

Segundo a OCDE (2019), o consumo de materiais no planeta terra avançou significativamente: enquanto em 1970, foram 27 bilhões de toneladas, em 2017 foram contabilizadas 89 bilhões de toneladas, um crescimento de 602%. Segundo a mesma instituição, projeta-se uma utilização de 167 bilhões de toneladas em 2060, trazendo como consequências: ampliação do efeito estufa, poluição (solo, água e ar) e diversos efeitos tóxicos em humanos e outras formas de vida.

Segundo maior exportador de minério de ferro do mundo e figurando como importante fornecedor de outras categorias materiais renováveis e não renováveis, a economia brasileira também seguiu a tendência da expansão mundial destacada (um crescimento de 477%, entre 1970 e 2019), além de crescimento deficitário da balança comercial biofísica: -31,4 milhões de toneladas em 1970, atingindo -595,8 milhões em 2019, ou seja, uma variação de 1794%. Em contrapartida, o crescimento econômico nesse período foi de 422%.

É reconhecendo o Brasil como importante consumidor e exportador de materiais renováveis e não renováveis que se justifica a construção da presente tese. Vale salientar que os dados da balança comercial brasileira (tanto monetária, quanto biofísica) motivaram também diversos outros trabalhos com esse objeto de estudo, alguns já mencionados nos capítulos anteriores.

Todavia, a linha teórica e metodológica aqui escolhida procurou fugir das tradicionais análises econômicas já publicizadas, que enfatizam apenas os fluxos financeiros, ganhos ou perdas monetárias. Mesmo na utilização de uma análise biofísica, a presente tese buscou ir além de outras referências já conhecidas, as quais mensuram apenas o quantitativo consumido, extraído ou negociado no Brasil. Assim, a maioria dos casos mapeados não quantificam as tendências do sociometabolismo a partir de fatores econômicos, políticos e ambientais, uma vez que estes interferem diretamente nos volumes de utilização, intensidade material, assim como os quocientes de (des) acoplamento.

Para o alcance dos objetivos propostos, optou-se pela utilização dos fundamentos da Economia Ecológica (EE) como campo de estudo, já ressaltado na introdução desta



tese. A aceitação de que existem limites biofísicos para a extração e utilização material não encontra aderência na sustentabilidade fraca da teoria econômica neoclássica, e mesmo após trinta anos da formalização da EE como área de estudos e pesquisa, tais argumentos permanecem válidos (DALY, 2019).

No arcabouço interdisciplinar da EE, o sociometabolismo demonstrou viabilidade como ferramental teórico e metodológico para a análise brasileira proposta. Como reforça Melgar-Melgar e Hal (2020), os indicadores do MSE estão incluídos na lista de metodologias necessárias para uma maior aproximação da EE aos indicadores biofísicos, fundamentais para uma transição rumo à sustentabilidade.

Contudo, a própria amplitude da abordagem sociometabólica tornou necessária uma maior investigação sobre sua convergência as questões fundamentais da EE, para assim utilizá-lo em uma análise econômica e biofísica. Assim, a tese inicia o seu primeiro capítulo buscando não somente conceituar o MSE e descrever seus principais indicadores, mas também confirmar a convergência mencionada.

Na conclusão do primeiro capítulo, alguns pontos que harmonizam a EE e o MSE foram destacados: visão sistêmica, integrada e coevolucionária entre os sistemas naturais e sociais; o conceito da sustentabilidade necessária à resiliência ecossistêmica; a rejeição da visão mecanicista do mundo; a compreensão dos limites do crescimento e; a quantificação da escala econômico-ecológica.

Destarte, além de servir como uma síntese teórica para a tese, é possível afirmar que o primeiro capítulo também contribuiu com o aperfeiçoamento de soluções metodológicas da EE, ampliando a defesa do uso dos indicadores sociometabólicos para estudos biofísicos econômicos. Todavia, esse mesmo tópico também destacou algumas limitações do MSE, como a dificuldade de capturar os ativos sociometabólicos intangíveis e a ausência de pesquisas que avaliam o comportamento de agentes individuais.

O segundo capítulo também partiu da amplitude conceitual do sociometabolismo, e seu expressivo volume de publicações existentes. Sabendo que o termo é utilizado em diversas áreas do pensamento científico, foi necessário realizar um filtro, para assim poder mapear os metadados aderentes aos objetivos propostos.

A opção por um mapeamento bibliométrico nasceu da expansão de estudos similares em áreas das ciências sociais aplicadas, incluindo estudos sobre outros campos da EE. O mapeamento identificou outras ligações entre o MSE e a economia ecológica, como destacado nos periódicos mais referenciados e autores mais relevantes. Outro

indício que une as duas áreas foi apontado no mapa temático, onde os principais tópicos com potencial para estudos futuros são confluentes.

Dentre as contribuições do capítulo 2, destacam-se aquelas ligadas às assimetrias regionais existentes, uma vez que os resultados para o Brasil e os demais países da América Latina não foram significativos no mapeamento, em que pese a extensa produção científica acerca da região. Mesmo configurando como uma grande exportadora de recursos materiais, o interesse da comunidade científica por essa área geográfica não é semelhante a outras regiões globais, como a Europa e o continente asiático.

Uma última constatação do capítulo está relacionada à baixa menção de economistas ecológicos tradicionais. Paradoxalmente, uma das exceções, Martinez-Alier, possui uma vasta produção no campo da ecologia política, inclusive denunciando as injustiças ambientais na América Latina e demais países em desenvolvimento (PEREZ RINCÓN, 2020).

Já o terceiro capítulo objetivou descrever o arcabouço metodológico utilizado na descrição sociometabólica da economia brasileira. A análise de fluxos materiais (MFA), dada sua consistência com as tradicionais contas nacionais, aliada aos resultados do mapeamento bibliométrico, confirmou sua confiabilidade como o principal indicador a ser utilizado.

No desenvolvimento do terceiro capítulo, viu-se a necessidade de refletir sobre o uso do MFA abordagem econômico-ecológica. Nesse levantamento, os trabalhos que enfatizam o intercâmbio ecológico desigual e o fenômeno neoextrativista tendem a apoiar-se no uso da MFA como indicador biofísico. Outro ponto destacável nesses trabalhos é a ênfase em países latino americanos, um segundo elemento contribuinte, uma vez que abre a possibilidade de desenvolvimento de novos trabalhos correlatos.

Já as evidências mapeadas no capítulo 3 confirmaram um pressuposto que motivou a elaboração dessa tese: o contingente de aplicações da MFA para o Brasil aborda as categorias de materiais consumidos e/ou extraídos, mas poucos trabalhos refletem acerca das causas econômicas e ambientais que motivam os níveis de intensidade material, seja para o passado, presente ou futuro. Vale observar que tais referências destacaram pontos relevantes em comum: após 1970, houve um aumento na escala de consumo material brasileira, além da expansão nos volumes importados e exportados.

Outra questão apontada no levantamento de evidências foi utilização de dados oficiais agregados por categorias (biomassa, minerais metálicos, minerais não metálicos e combustíveis fósseis). As estatísticas biofísicas disponíveis ressaltaram a necessidade

de construir uma base de dados desagregada, que aprimorou a descrição sociometabólica brasileira, esforço realizado nesse trabalho. Essa adaptação dos guias oficiais para aferição das categorias sociometabólicas, em conjunto com a descrição dos indicadores selecionados, podem ser considerados em futuros trabalhos que utilizem a MFA, ou seja, uma das contribuições da tese encontra-se na disponibilização dessa base de dados.

Infelizmente, a escassez de dados nacionais para emissões (e resíduos) segmentadas por categoria material, impossibilitou a aferição do indicador “Processo de saída doméstica – DPO”<sup>89</sup>, o qual adicionaria mais uma contribuição do capítulo.

A continuação da tese chega ao capítulo 4, onde já estão disponíveis os elementos teóricos e metodológicos para a descrição biofísica brasileira, elaborados no capítulo anterior. Para sua construção desta seção (a mais longa da tese), optou-se por segmentar os cinquenta anos de consumo material em ciclos econômicos, uma vez que já era esperado que a conjuntura política e econômica, em conjunto com os dispositivos ambientais, implicaria em modificações nas trajetórias dos indicadores sociometabólicos.

Os dados biofísicos indicam que os ciclos econômicos apresentaram diferentes impactos sobre as escalas econômico-ecológicas, resultando em períodos onde o crescimento econômico impactou na extração doméstica (com ênfase na década de 1970 e no ciclo neoextrativista), também influenciando os níveis de exportações. Assim, mesmo em diferentes regimes políticos e ideologias econômicas, os últimos cinquenta anos foram progressivamente ampliando o crescimento no intercâmbio de recursos materiais (exportação de soja, carne bovina, minério de ferro e petróleo) para outras economias.

Vale destacar que nas cinco décadas analisadas também ocorreu um aumento significativo no consumo doméstico de materiais. Isso é confirmado pela taxa metabólica brasileira: em 1970 correspondia a aproximadamente 5,96 tonelada/*per capita*, e atingiu 15,87 ton. por habitante em 2019, um crescimento acumulado de cerca de 166%. Ao mesmo tempo, a intensidade material da economia brasileira para o período analisado cresceu 10,85%.

Além da evidente utilização de parte da extração doméstica, os maiores níveis de DMC também foram resultantes do crescimento no volume de importações. Analisando a trajetória por itens desagregados, destacam-se a ampliação no volume de fertilizantes e

---

<sup>89</sup> A *global material flows database* não estima os resultados de saída doméstica para o Brasil.

combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) importados, indicando que essa escalada de consumo nacional foi intensiva em recursos poluidores.

Os demais indicadores contribuem com os apontamentos já realizados: após auge e declínio do fenômeno neoextrativista (1999-2019), permaneceram os níveis crescentes de intensidade material, bem como a preponderância dos indicadores de acoplamento.

Na ausência de dados de saída doméstica, os níveis de emissões foram mapeados com dados de CO<sub>2</sub>. Embora tais estatísticas contemplem informações generalizadas, foi possível observar uma tendência nos níveis emitidos em áreas diretamente ligadas à extração material e consumo doméstico, como a agropecuária, extração mineral e extração de combustíveis fósseis.

No último capítulo da tese, tem-se a validação dos resultados até então descritos. É importante salientar que a utilização do referencial econométrico é oportuna, uma vez que justificou alguns pressupostos afirmados nos capítulos que o antecederam, sobretudo na análise biofísica brasileira.

A partir da possibilidade de utilizar resultados biofísicos, econômicos e ambientais, foi possível estimar possíveis tendências futuras. Os resultados apontaram as relações causais entre categorias de consumo doméstico de materiais e crescimento econômico, bem como as possíveis externalidades negativas, como os níveis de emissões resultantes.

Vale salientar que após diversos levantamentos, confirmou-se a inexistência de outras séries temporais (e que contemplassem o período analisado na tese), o que impossibilitou a utilização de outras variáveis inicialmente pretendidas, como indicadores de performance ambiental, institucionais, e de impacto tecnológico, além de outras ligadas ao consumo de energia renovável e processos de reutilização ou reciclagem. Todavia, essas ausências não inviabilizaram o modelo, uma vez que os dados disponíveis geraram resultados significativos.

Assim, a partir da junção entre os resultados descritivos e a estimação econométrica, é possível afirmar que o período de 1970 a 2019 é marcado por uma maior ineficiência ecológica.

Diante do exposto, todas as questões levantadas até então são suficientes para descrever quatro pontos centrais que orientam essa tese de doutoramento: 1) o metabolismo socioeconômico demonstrou viabilidade teórico/metodológica para análises biofísicas, sendo um importante instrumental para a economia ecológica; 2) o processo biofísico brasileiro de 1970 a 2019 é caracterizado pela expansão da extração doméstica,

com ênfase na exportação de recursos materiais; 3) é perceptível um crescimento nos níveis de consumo doméstico no Brasil, geradores de externalidades negativas; 4) houve uma grande crescimento na taxa metabólica e nos níveis de intensidade material brasileiro; 5) desde 1981, o Brasil se caracteriza pelo acoplamento de recursos materiais, expondo uma tendência preocupante para as gerações seguintes e; 6) os dados sociometabólicos devem ser levados em consideração na elaboração de propostas que busquem cenários futuros ecologicamente eficientes.

Ainda em relação ao quarto tópico, embora não configure como um dos objetivos dessa tese, vale mencionar algumas alternativas para incentivo de recursos materiais ecologicamente sustentáveis. No caso das colheitas primárias, um sistema produtivo que não priorizem a destruição das reservas naturais, como iniciativas na Amazônia, que mesclam a produção agrícola com reflorestamento (HOMMA et. al, 2020).

Ainda no segmento da biomassa, tem-se aprimorado métodos de manejo e criação pecuária sustentável, que buscam diminuir a contaminação do ambiente por gases e resíduos químicos. Outro grande gargalo está ligado à criação de alternativas ao tradicional método de criação em pastagem, uma vez que o mecanismo de queima das reservas nativas amplia os níveis de emissões de CO<sub>2</sub> (PASQUALINI,2020; SILVA; GARCIA,2019).

No campo dos minérios metálicos e não metálicos, além da busca por mecanismos inovativos ecologicamente eficientes, uma legislação mais efetiva, que busque fiscalizar e, principalmente, penalizar os crimes ambientais advindos das atividades mineradoras (MATOS; LEITE, 2020; DA ROCHA et al. 2015).

Em relação aos combustíveis fósseis, o incentivo a tecnologias mais limpas encontra potencialidade no Brasil, como o desincentivo ao uso de combustíveis fósseis, alternativas como uma produção de carvão vegetal sustentável e a busca pela autossuficiência energética de baixa degradação ambiental (PAULA, 2021; SAMPAIO, BATISTA, 2021).

Por fim, entende-se que muitos pressupostos defendidos nessa tese servem como parâmetro para aprofundamento em estudos futuros, os quais podem ser destacados: 1) uma análise da transição sociometabólica à luz da economia ecológica; 2) o desenvolvimento de indicadores de saída doméstica, utilizando dados estatísticos nacionais; 3) a incorporação dos fluxos energéticos as análises sociometabólicas; 4) estudos que avaliem os impactos ecológicos por categoria material e; 4) análises sociometabólicas dos estados e municípios brasileiros.

## REFERÊNCIAS

ABREU, M. P. (Org.). **A Ordem do Progresso Edição Atualizada: Dois Séculos de Política Econômica no Brasil**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. 453 p.

ACOSTA, A. **Descolonizar o imaginário. Debates sobre pós-extrativismo e alternativas ao desenvolvimento**. Editora Elefante, São Paulo, 2016. 264 p.

ACOSTA, A.; BRAND, U. **Pós-extrativismo e decrescimento: saídas do labirinto capitalista**. Editora Elefante, São Paulo, 2019. 224 p.

AHMED, M.; AZAM, M. Causal nexus between energy consumption and economic growth for high, middle and low income countries using frequency domain analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 60, p. 653-678, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.174>

AKDAG, S.; İSKENDEROGU, Ö.; ALOLA, A. A. The volatility spillover effects among risk appetite indexes: insight from the VIX and the rise. **Letters in Spatial and Resource Sciences**, Berlin, v. 13, n. 1, p. 49-65, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12076-020-00244-3>

ALBUQUERQUE, I et al. **SEEG 8 Análise Das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e Suas Implicações Para as Metas de Clima Do Brasil 1970-2019**. 2020. Disponível em: [https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG\\_8/SEEG8\\_DOC\\_ANALITICO\\_SINTESE\\_1990-2019.pdf](https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG_8/SEEG8_DOC_ANALITICO_SINTESE_1990-2019.pdf). Acesso em 20 fev. 2022.

ALBUQUERQUE, T. T. et al. Analysis of PM2.5 concentrations under pollutant emission control strategies in the metropolitan area of São Paulo, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, Berlin, v. 26, n. 32, p. 33216-33227, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06447-6>

ALENCAR, A.; RODRIGUES, L.; CASTRO, I. Amazônia em chamas: o que queima-e onde. **Nota Técnica, IPAM**, v. 5, p. 1-14, 2020. Disponível em: <https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2020/06/NT4-pt-desmate-fogo-covid-1.pdf>. Acesso em 13 jan. 2022.

ALMEIDA, R. D. Bolsonaro presidente: conservadorismo, evangelismo e a crise brasileira. **Novos estudos CEBRAP**, São Paulo, v. 38, n. 1, p. 185-213, 2019.

ALMIND, T. C.; INGWERSEN, P. Informetric analyses on the world wide web: methodological approaches to 'webometrics'. **Journal of documentation**, Bingley, 1997. <https://doi.org/10.1108/EUM0000000007205>

ALONSO-FERNANDEZ, P.; FERREIRA, R. M. R. Del Extractivismo Al Neoextractivismo En Argentina: Análisis De La Evolución Del Impacto Ambiental Y La Dependencia Externa (1990-2017). **Regional and Sectoral Economic Studies**, Espanha, v. 21, n. 1, p. 33-46, 2021.

ALVAREZ-MELGAREJO, M.; TORRES-BARRETO, M. L. Resources and capabilities from their very outset: A Bibliometric comparison between Scopus and the web of science. **Rev. Eur. Stud.**, Ontario, v. 10, p. 1, 2018.1. <https://doi.org/10.5539/res.v10n4p1>

AMPOFO, G. K. M. et al. Total natural resource rents, trade openness and economic growth in the top mineral-rich countries: New evidence from nonlinear and asymmetric analysis. **Resources Policy**, Amsterdam, v. 68, p. 101710, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101710>

ANDRADE, D. C.; CARDOSO, F. G.; CARVALHO, A. R.; SOUZA, L. R. **Green up or perish: o Big Push verde e os ecos do Desenvolvimento**. Dossiê especial AKB-ECOECO. 2021. Disponível em: <http://ecoeco.org.br/wp-content/uploads/2021/03/DossieAKB-ECOECO-2021-1-1.pdf>. Acesso em 1 mar. 2022.

ANDRADE, D. C., DE MENDONÇA, T. G., ROMEIRO, A. R. Tendências do metabolismo da economia brasileira: uma análise preliminar à luz da Economia Ecológica. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, Rio de Janeiro, v. 28, p. 66-86, 2018.

ANDRADE, D. C., ROMEIRO, A. R., SIMÕES, M. S. From an Empty to a Full World: a nova natureza da escassez e suas implicações. **Economia e Sociedade**, Campinas, v. 21, p. 695-722, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0104-06182012000300009>

ANGELO, C.; RITTL, C. Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas implicações para as metas do Brasil, 1970-2018. **Sist. Estim. Emiss. Gases Efeito Estufa**, [S.l.] p. 1-33, 2019.

ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO (AMB), A. M. (Vários anos). Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília: Ministério de Minas e Energia, (Vários Anos).

ARAÚJO, A. H. D. S., ANDRADE, D. C.; SOUZA, H. F. D. Metabolismo socioeconômico (MSE). **Revibec: revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica**, Rio de Janeiro, v. 31, p. 0127-143, 2020.

ARAÚJO, V. L.; MATTOS, F. A. M. (Org.). **A economia brasileira de Getúlio a Dilma-Novas interpretações**. São Paulo: Hucitec, 2021. 539 p.

ARROW, K. et al. Economic growth, carrying capacity, and the environment. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 15(2), p. 91-95, 1995. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(95\)00059-3](https://doi.org/10.1016/0921-8009(95)00059-3)

AYDIN, M. Natural gas consumption and economic growth nexus for top 10 natural Gas–Consuming countries: A granger causality analysis in the frequency domain. **Energy**, Amsterdam, v. 165, p. 179-186, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.149>

AYRES, R. U. Industrial metabolism. **Technology and environment**, London, v. 1989, p. 23-49, 1989.

AYRES, R. U.; SIMONIS, U. E. (Eds.). **Industrial metabolism: Restructuring for sustainable development**. Tokyo: United Nations University Press, 1994. 390 p.

AZEVEDO, T. R. Análise das emissões de GEE no Brasil (1970-2013) e suas implicações para políticas públicas. **Documento síntese do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**, [S.l.], 52p, 2015.

BAYER, C.; HANCK, C. Combining non-cointegration tests. **Journal of Time series analysis**, Nova Jersey, v. 34, n. 1, p. 83-95, 2013. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9892.2012.00814.x>

BEHRENS, A. The climate change impact of material use. **Intereconomics**, Berlim, v. 51, n. 4, p. 209-212, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10272-016-0604-0>

BELLONI, P.; PEINADO, G. Inserción externa, capitales transnacionales e intercambio ecológicamente desigual en la América del Sur posneoliberal. **Sociedad y Economía**, Cali, n. 25, p. 15-38, 2013.

BELLUZZO, L. G. M. et al. Mesa I- A financeirização do capitalismo e a geração de pobreza. **Cadernos do Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 3, p. 23-110, 2018.

BENDELS, M. H. et al. Gender disparities in high-quality research revealed by Nature Index journals. **PloS one**, São Francisco, v. 13, n. 1, p. e0189136, 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189136>

BIRO, P.A.; STAMPS, J. A. Do consistent individual differences in metabolic rate promote consistent individual differences in behavior?. **Trends in ecology & evolution**, [S.l.], v. 25, n. 11, p. 653-659, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.08.003>

BISTENE, M. V. R. S.; GUIMARÃES, J. L. C. Desmatamento, população e desenvolvimento econômico no oeste do Pará nos eixos das Rodovias Santarém-Cuiabá e Transamazônica. **Natural Resources**, Albuquerque, v. 9, n. 2, p. 19-35, 2019. <https://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2019.002.0003>

BJÖRNEBORN, L.; INGWERSEN, P. Perspective of webometrics. **Scientometrics**, Berlin, vol. 50(1), p. 65-82, 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1005642218907>

BLACK, C. Termos de troca e crescimento econômico no Brasil. **Indicadores Econômicos FEE**, Porto Alegre, v. 45, n. 4, p. 27-40, 2018.

BLANCO, E., et al. Substitution of social sustainability concerns under the Covid-19 pandemic. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 192, 107259, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107259>

BOULDING, K. **The economics of the coming spaceship earth**, em Boulding K. (ed.) **Environmental quality in a growing economy**. New York: Earthscan Publications, 1966. 437 p.

BOZOKLU, S.; YILANCI, V. Energy consumption and economic growth for selected OECD countries: Further evidence from the Granger causality test in the frequency



domain. **Energy Policy**, Amsterdam, v. 63, p. 877-881, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.09.037>

BRADFORD, S.e. Sources of information on scientific subjects. **Engineering**, [S.l.], v. 137: 85-6, Jan. 1934.

BRANDÃO, J. C.; & VOGT, C. M. Os efeitos macroeconômicos do superciclo de commodities e a influência da china na economia brasileira. **Revista Tempo do Mundo**, Brasília, n. 24, p. 283-318, 2020. <https://doi.org/10.38116/rtm24art10>

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado federal, 1988

\_\_\_\_\_. **Emenda constitucional nº 95**, de 15 de dezembro de 2016. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/emendas/emc/emc95.htm.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/emendas/emc/emc95.htm.htm). Acesso em: 19 de fev. 2022.

BRASIL. **Lei 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm). Acesso em: 16 de fev. 2022.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 7.927** de 14 de dezembro de 1989. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/1989\\_1994/l7927.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1989_1994/l7927.htm). Acesso em: 16 de fev. 2022.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 7.735** de 22 de fevereiro de 1989. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l7735.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7735.htm). Acesso em: 16 de fev. 2022.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 9.605**, de 12 de fevereiro de 1998. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm). Acesso em: 16 de fev. 2022.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 9.985**, de 18 de julho de 2000. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm). Acesso em: 16 de fev. 2022.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 12.114**, de 9 de dezembro de 2009. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/l12114.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12114.htm). Acesso em: 22 de fev. 2022.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 12.187**, de 29 de dezembro de 2009. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm). Acesso em: 22 de fev. 2022.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 22 de fev. 2022.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 13.465**, de 11 de julho de 2017. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/lei/113465.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/113465.htm). Acesso em: 22 de fev. 2022.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 13.576**, de 26 de dezembro de 2017. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/lei/113576.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/113576.htm). Acesso em: 22 de fev. 2022.

BREITUNG, J.; CANDELON, B. Testing for short-and long-run causality: A frequency-domain approach. **Journal of econometrics**, Amsterdam, v. 132, n. 2, p. 363-378, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2005.02.004>

BROADUS, R. N. (1987). toward a definition of “bibliometrics”. **Scientometrics**, Berlin, v. 12, n. 5, p. 373-379, 1987. <https://doi.org/10.1007/BF02016680>

BROECKER, W. S. Climatic change: are we on the brink of a pronounced global warming?. **Science**, [S.l.] , v. 189, n. 4201, p. 460-463, 1975. <https://doi.org/10.1126/science.189.4201.460>

\_\_\_\_\_. Global warming: Take action or wait?. **Chinese Science Bulletin**, Amsterdam, v. 51, n. 9, p. 1017-1029, 2006.

BRUNNER, P. H. (1991). **Metabolism of the Anthroposphere**. Springer Verlag, Berlin, 1991. <https://doi.org/10.1007/s11434-006-1017-4>

BUESCU, M. **História econômica do Brasil**. São Paulo: Apec, 1970. 505 p.

CARLO, G. ¿Por qué es importante la ecología política? **Nueva sociedad**, Buenos Aires, v. (244), p. 47-60, 2013.

CALLON, M., COURTIAL, J. P.; LAVILLE, F. Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: The case of polymer chemistry. **Scientometrics**, v. 22, n. 1, p. 155-205, 1991. <https://doi.org/10.1007/BF02019280>

CARDOSO JR, J. C.; NAVARRO, C. A. O planejamento governamental no Brasil e a experiência recente (2007 a 2014) do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). Texto para discussão, **IPEA**, Brasília, v. 2174, 2016.

CARNEIRO, R. D. M. **Commodities, choques externos e crescimento: reflexões sobre a América Latina**. 2012. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/5349>. Acesso em 26 jun. 2021.

CARPINTERO, O. **El metabolismo económico regional español**. Madrid: FUHEM Ecosocial, 2015. 1127 p.

CARPINTERO, O., NAREDO, J. M. **El metabolismo de la economía española**. Madrid: Fundación César Manrique, colección Economía vs Naturaleza, 2005. 647 p.

CARSON, R. **Silent Spring**. New York: Pinguim Books, 1962. 320p.

CECHIN, A. D. **A natureza como limite da economia: a contribuição de Nicholas Georgescu-Roegen**. São Paulo: Editora Senac, 2010. 364 p.

CECHIN, A. D.; VEIGA, J. E. A economia evolucionária e ecológica de Georgescu-Roegen. **Revista de Economia Política**, São Paulo, v. 30 (3), p. 438-454, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0101-31572010000300005>

CEPAL, N. (2016). **Horizontes 2030: a igualdade no centro do desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/40161>. Acesso em 15/2/2022.

CHAMIÇO, E. D. **A nova matriz econômica: uma interpretação**. 2018. 83 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Instituto de Economia e Relações Internacionais, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2018.

CINER, C. Commodity prices and inflation: Testing in the frequency domain. **Research in International Business and Finance**, Amsterdam, v. 25, n. 3, p. 229-237, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2011.02.001>

CLARK, B.; YORK, R. Carbon metabolism: Global capitalism, climate change, and the biospheric rift. **Theory and society**, Berlim, v. 34, n. 4, p. 391-428, 2005. <https://doi.org/10.1007/s11186-005-1993-4>

COBO, M. J. et al. An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the Fuzzy Sets Theory field. **Journal of informetrics**, Berlin, v. 5, n. 1, p. 146-166, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.10.002>

CONGILIO C. R. Mineração, trabalho e conflitos amazônicos no sudeste do Pará. **Revista de Políticas Públicas**, Maranhão, p. 195-199, 2014. <https://doi.org/10.18764/2178-2865.v18nEp195-199>

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 010**, de 6 de dezembro de 1990. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/1990\\_Res\\_CONAMA\\_10.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/1990_Res_CONAMA_10.pdf) Acesso em: 6 de fev. 2022.

\_\_\_\_\_. **Resolução CONAMA nº 237**, de 19 de dezembro de 1997. Disponível em:

[https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/CONAMA%20237\\_191297.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/CONAMA%20237_191297.pdf). Acesso em: 16 de fev. 2022.

CORSI, F. L.; SANTOS, A.; CAMARGO, J. M. A América Latina: ciclo de commodities e crise do capitalismo global. **Austral: Revista Brasileira de Estratégia e Relações Internacionais**, Porto Alegre, vol. 8(15), p. 168-194, 2019.

CORREIA, E. L. Proálcool-do sucesso à polêmica. **Agroanalysis**, São Paulo, v. 16, n. 8, p. 12-16, 1996.

COSTA, M., KLUG, L.; PAULSEN, S. **Licenciamento ambiental e governança territorial**. Rio de Janeiro: Ipea, 2017. 254 p.

COSTA, W. M.; VASCONCELOS, D. B. Geografia e geopolítica da América do Sul. São Paulo: FFLCH/USP, 2019. 363 p. <https://doi.org/10.11606/9788575063552>

COSTA MACHADO, J. A.; FENZL, N.; MATHIS, A.. The Sustainability of Complex Economic Systems. An Application of National Material Flow Analysis (MFA) to the Brazilian Economy. **tripleC: Communication, Capitalism & Critique. Open Access Journal for a Global Sustainable Information Society**, [S.l.] v. 2, n. 1, p. 1-5, 2004. <https://doi.org/10.31269/triplec.v2i1.11>

COSTANZA, R. What is Ecological Economics?. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 1, p. 1-7, 1989. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(89\)90020-7](https://doi.org/10.1016/0921-8009(89)90020-7)

\_\_\_\_\_. **Ecological economics: the science and management of sustainability**. Nova York: Columbia University Press, 1992. 526 p.

\_\_\_\_\_. Economia ecológica: uma agenda de pesquisa. Valorando a natureza: análise econômica para o desenvolvimento sustentável. **Campus**, Rio de Janeiro, p. 111-144, 1994.

COSTANZA, R. et al. **An introduction to ecological economics**. Florida: CRC Press, 2015. 356 p.

COUTO, C. G.; BAIA, P. F. O governo Lula: uma avaliação política e econômica. **Brasil e Argentina hoje: política e economia**. Bauru: EDUSC, 2004. 32 p.

CRESPO-MARÍN, Z.; PEREZ RINCÓN, M. El metabolismo social en las economías andinas y centroamericanas, 1970-2013. **Sociedad y economía**, Cali, n. 36, p. 53-81, 2019. <https://doi.org/10.25100/sye.v0i36.5866>

CUI, X. (2018). How can cities support sustainability: A bibliometric analysis of urban metabolism. **Ecological indicators**, Amsterdam, v. 93, p. 704-717, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.056>

DALY, H. E. On economics as a life science. **Journal of political economy**, Chicago, v. 76, n. 3, p. 392-406, 1968. <https://doi.org/10.1086/259412>

\_\_\_\_\_. **Beyond growth: the economics of sustainable development**. Boston: Beacon Press, 1996. 264 p.

\_\_\_\_\_. **Ecological economics and sustainable development**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2007. 288 p.

\_\_\_\_\_. Some overlaps between the first and second thirty years of ecological economics. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 164, p. 106372, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106372>

DALY, H. E.; FARLEY, J. **Ecological economics: Principles and applications**. Washington, DC.: Island Press, 2003.

\_\_\_\_\_. **Ecological economics: principles and applications**. Washington, D.C : Island press, 2011. 484 p.

DA ROCHA, A. C. et al. Gestão Sustentável da Cadeia de Suprimentos e Desempenho Inovador: um estudo multicaso no setor mineral brasileiro. **RAI Revista de Administração e Inovação**, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 293-316, 2015. <https://doi.org/10.11606/rai.v12i2.100343>

DA SILVA, A. A.; DE OLIVEIRA FERREIRA, M.; DE LIMA, J. R. F. Crescimento econômico Brasil-China: uma análise da validade da hipótese Export-led-growth no período de 1960 a 2018. **Estudos Internacionais: revista de relações internacionais da PUC Minas**, Belo Horizonte, v. 9, n. 3, p. 53-74, 2021. <https://doi.org/10.5752/P.2317-773X.2021v9n3p53-74>

DA SILVA, L. M.; DE SOUZA DANEU, R. C.; DE ALMEIDA SANTOS, F. O desempenho da exportação de minério de ferro em relação a produção para consumo interno no Brasil. **Revista Liceu On-Line**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 46-59, 2019.

DE MOLINA, M. G.; TOLEDO, V. M. **The social metabolism: a socio-ecological theory of historical change**. Switzerland: Springer, 2014. 355p.

DIAS, M. T. F.; FRATTARI, R. NOVO MARCO LEGAL DO SETOR MINERAL: avanços e retrocessos das propostas legislativas contemporâneas de alteração do Código Minerário Brasileiro. **Revista Brasileira de Filosofia do Direito**, Rio Grande do Sul, v. 6, n. 1, p. 173-193, 2020. <https://doi.org/10.26668/IndexLawJournals/2526-012X/2020.v6i1.6708>

DILGER G. et al. (Org.) **Descolonizar o imaginário: debates sobre o pós-extrativismo e alternativas ao desenvolvimento**. Traduzido por Igor Ojeda. São Paulo: Fundação Rosa Luxemburgo, 2016. 474 p.

DITTRICH, M.; BRINGEZU, S.; SCHÜTZ, H. The physical dimension of international trade, part 2: Indirect global resource flows between 1962 and 2005. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 79, p. 32-43, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.04.014>

DONTHU, N. et al. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, Amsterdam, v. 133, p. 285-296, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>

DORNINGER, C. **Bio-physical North-South trade as an unequal ecological exchange**. Tese de Doutorado. Vienna: Institute for Social Ecology-AAU. Vienna. 2014.

DORNINGER, C.; EISENMENGER, N. South America's biophysical involvement in international trade: the physical trade balances of Argentina, Bolivia, and Brazil in the

light of ecologically unequal exchange. **Journal of Political Ecology**, Arizona, v. 23, n. 1, p. 394-409, 2016. <https://doi.org/10.2458/v23i1.20240>

DORNINGER, C.; HORNBORG, A. Can EEMRIO analyses establish the occurrence of ecologically unequal exchange?. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 119, p. 414-418, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.08.009>

ECK, N. J.; WALTMAN, L. VOS: A new method for visualizing similarities between objects. In: **Advances in data analysis**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 299-306, 2007. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-70981-7\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-540-70981-7_34)

. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, Berlin, v. 84, n. 2, p. 523-538, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>

EISENMENGER, N.; MARTÍN, J. R.; SCHANDL, H. Análisis del Metabolismo energético y de materiales de Brasil, Venezuela y Chile. **Revibec: revista iberoamericana de economía ecológica**, Rio de Janeiro, v. 6, p. 17-39, 2007.

EHRlich, P. R. **The Population Bomb**. 1a Edição. New York: Ballantine Books, 1968. 223 p.

ELLIS, E. C. Ecology in an anthropogenic biosphere. **Ecological Monographs**, Washington, v. 85, n. 3, p. 287-331, 2015. <https://doi.org/10.1890/14-2274.1>

**EMISSIONS DATABASE FOR GLOBAL ATMOSPHERIC RESEARCH (EDGAR)**. Disponível em: [https://edgar.jrc.ec.europa.eu/country\\_profile/BRA](https://edgar.jrc.ec.europa.eu/country_profile/BRA). Acesso em 11 fev. 2022.

ENGLE, R. F., & GRANGER, C. W. Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. **Econometrica: journal of the Econometric Society**, New Haven, p. 251-276, 1987. <https://doi.org/10.2307/1913236>

EUROSTAT. **Economy-wide material flow accounts and derived indicators: a methodological guide**. 2001. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2001. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/1798247/6191533/3-Economy-wide-material-flow-accounts...-A-methodological-guide-2001-edition.pdf/>. Acesso em: 20/11/2020.

\_\_\_\_\_. **DOMESTIC MATERIAL CONSUMPTION**. 2007. Disponível em: [https://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/methodology\\_sheets/consumption\\_production/domestic\\_material\\_consumption.pdf](https://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/methodology_sheets/consumption_production/domestic_material_consumption.pdf). Acesso em: 2/12/2020.

\_\_\_\_\_. **Economy-wide material flow accounts HANDBOOK**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/9117556/KS-GQ-18-006-EN-N.pdf/b621b8ce-2792-47ff-9d10-067d2b8aac4b?t=1537260841000>. Acesso em: 20 nov. 2021.

FARLEY, J.; MALGHAN, D. (Ed.). **Beyond uneconomic growth: economics, equity and the ecological predicament**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2016. 358 p. <https://doi.org/10.4337/9781783472499>

FEARNSIDE, P. M. Retrocessos sob o Presidente Bolsonaro: um desafio à sustentabilidade na Amazônia. **Sustentabilidade International Science Journal**, [S.l.] v. 1, n. 1, p. 38-52, 2019.

FERNANDES, F. R. C.; ARAUJO, E. R. **Mineração no Brasil: crescimento econômico e conflitos ambientais**. 2016. Disponível em: [http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1909/1/conflitos\\_ambientais\\_cap.2%20p65.pdf](http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1909/1/conflitos_ambientais_cap.2%20p65.pdf). Acesso em: 6 de fev. 2022.

FERREIRA, M. B. M.; SALLES, A. O. T. Política ambiental brasileira: análise histórico-institucionalista das principais abordagens estratégicas. **Revista de Economia**, Curitiba, v. 42, n. 2, 2017. <https://doi.org/10.5380/re.v42i2.54001>

FISCHER-KOWALSKI, M. Society's Metabolism. The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part I, 1860-1970. **Journal of Industrial Ecology**, New Haven, v. 2, cap. 4, p. 107–136, 1998. <https://doi.org/10.1162/jiec.1998.2.4.107>

FISCHER-KOWALSKI, M.; AMANN, C. Beyond IPAT and Kuznets curves: globalization as a vital factor in analysing the environmental impact of socio-economic metabolism. **Population and Environment**, Berlin, v. 23, n. 1, p. 7-47, 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1017560208742>

FISCHER-KOWALSKI, M.; HABERL, H. Sustainable development. Long-term changes in socio-economic metabolism and colonization of nature. **International Social Science Journal**, United Kingdom, v. 158(4), p. 573-587, 1998. <https://doi.org/10.1111/1468-2451.00169>

\_\_\_\_\_. Social metabolism: a metric for biophysical growth and degrowth. **Handbook of ecological economics**, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, p. 100-138, 2015. <https://doi.org/10.4337/9781783471416.00009>

FISCHER-KOWALSKI, M.; HÜTTLER, W. Society's Metabolism: The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part II, 1970-1998. **Journal of Industrial Ecology**, New Haven, v. 2(4), p. 107-136, 1998. <https://doi.org/10.1162/jiec.1998.2.4.107>

FISCHER-KOWALSKI M.; WEISZ H. Society as a hybrid between material and symbolic realms. Toward a theoretical framework of society-nature interaction. **Advances in Human Ecology** 8, United Kingdom, p. 215–51, 1999.

FISCHER-KOWALSKI, M. et al. **Socio-ecological transitions: definition, dynamics and related global scenarios**. Vienna: Institute for Social Ecology-AAU, Centre for European Policy Studies, Brussels, 2012. 304 p.

FLEURY, L. C. **Conflito ambiental e cosmopolíticas na Amazônia brasileira: a construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte em perspectiva**. 2013. 320 f. Tese (Doutorado em Sociologia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de

Pós-Graduação em Sociologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2013.

FLORES, R. J. G. **Teste da hipótese da curva de Kuznets ambiental para os países do BRICS**. 2017. 144 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Instituto de Economia e Relações Internacionais, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2017.

FONTANELI, R. S.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. **Gramíneas forrageiras anuais de verão**. Forrageiras para integração lavoura-pecuária floresta na região sul-brasileira. Passo Fundo: Embrapa Trigo, v. 1, p. 231-240, 2009.

FOSTER, J. B. **Marx's ecology: Materialism and nature**. New York: NYU Press, 2000. 306 p.

\_\_\_\_\_. Marxismo e Ecologia: fontes comuns de uma Grande Transição. **Revista Lutas Sociais**, São Paulo, v. 19 (35), p. 81-97, 2015.

FURTADO, C. **Formação econômica do Brasil**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2005. 238 p.

GALDOS, M. V., CERRI, C. C.; CERRI, C. E. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 153, n. 3-4, p. 347-352, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.08.025>

GALEANO, E. **As veias abertas da América Latina**. 12. Edição. São Paulo: L&PM, 1999. 400 p.

GALVÃO, A.; NOVELLI, J. M. N. **Neoliberalismo exacerbado: devastação ambiental e degradação social**. 2020. Disponível em: <https://cienciapolitica.org.br/web/index.php/system/files/documentos/eventos/2021/01/neoliberalismo-exacerbado-devastacao-ambiental-e-degradacao.pdf>. Acesso em 20 jan. 2022.

GEORGESCU-ROEGEN, N. **The entropy law and the economic process**. Cambridge: Harvard University Press, 1971. 457 p. <https://doi.org/10.4159/harvard.9780674281653>

\_\_\_\_\_. Energy and economic myths. **Southern Economic Journal**, Kentucky, v. 41 (3), p. 347-381, 1975. <https://doi.org/10.2307/1056148>

GEWEKE, J. Measurement of linear dependence and feedback between multiple time series. **Journal of the American statistical association**, Routledge, v. 77, n. 378, p. 304-313, 1982. <https://doi.org/10.1080/01621459.1982.10477803>

GIAMBIAGI, F. et al. (Org.). **Economia Brasileira Contemporânea: 1945-2010**. Rio de Janeiro. Campus, 2011. 290 p.

GIAMPIETRO, M.; MAYUMI, K.; RAMOS-MARTIN, J. Multi-scale integrated analysis of societal and ecosystem metabolism (MuSIASEM): Theoretical concepts and basic rationale. **Energy**, Amsterdam, v. 34, n. 3, p. 313-322, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.07.020>



GIAMPIETRO, M.; SORMAN.; A. H., GAMBOA.; G. Using the MuSIASEM approach to study metabolic patterns of modern societies. **Energy Options Impact on Regional Security**. Springer, Berlin, v. 1, p. 37-68, 2010. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-9565-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-90-481-9565-7_2)

GIANNAKOS, Michail et al. Mapping child–computer interaction research through co-word analysis. **International Journal of Child-Computer Interaction**, Amsterdam, v. 23, p. 100165, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2020.100165>

GOMES, M. A. M. Crítica à cobertura midiática da Operação Lava Jato. **Revista brasileira de ciências criminais**, São Paulo, n. 122, p. 229-253, 2016.

GONÇALVES, K. D. S.; CASTRO, H. A. D.; HACON, S. D. S. As queimadas na região amazônica e o adoecimento respiratório. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, p. 1523-1532, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600016>

GORUS, M. S.; AYDIN, M. The relationship between energy consumption, economic growth, and CO2 emission in MENA countries: Causality analysis in the frequency domain. **Energy**, Amsterdam, v. 168, p. 815-822, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.139>

GRAMKOW, C. (2019). *O Big Push Ambiental no Brasil: Investimentos coordenados para um estilo de desenvolvimento sustentável*. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/44506>. Acesso em 1 de fev. de 2022.

GRANGER, C. W. Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. **Econometrica: journal of the Econometric Society**, New Haven, p. 424-438, 1969. <https://doi.org/10.2307/1912791>

\_\_\_\_\_. Some recent development in a concept of causality. **Journal of econometrics**, Amsterdam, v. 39, n. 1-2, p. 199-211, 1988. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(88\)90045-0](https://doi.org/10.1016/0304-4076(88)90045-0)

GUDYNAS, E. Estado compensador y nuevos extractivismos: Las ambivalencias del progresismo sudamericano. **Nueva sociedad**, Buenos Aires, n. 237, p. 128-146, 2012.

\_\_\_\_\_. Extracciones, extractivismos y extrahecciones. Un marco conceptual sobre la apropiación de recursos naturales. **Observatorio del desarrollo**, San Pedro, v. 18, p. 1-18, 2013.

GUSMÃO, P. P.; PAVÃO, B. B. M. (Des) construção da gestão ambiental no Brasil: De Paulo Nogueira Neto (1973) a Ricardo Salles (2020). **AMBIENTES: Revista de Geografia e Ecologia Política**, Cascavel, v. 2, n. 2, p. 218-218, 2020. <https://doi.org/10.48075/amb.v2i2.26588>

HAAS, W. et al. How circular is the global economy? An assessment of material flows, waste production, and recycling in the European Union and the world in 2005. **Journal of industrial ecology**, New Haven, v. 19, n. 5, p. 765-777, 2015. <https://doi.org/10.1111/jiec.12244>

HABERL, H. et al. Progress towards sustainability? What the conceptual framework of material and energy flow accounting (MEFA) can offer. **Land use policy**, Amsterdam, v. 21, n. 3, p. 199-213, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2003.10.013>

HABERL, H. et al. **Social ecology: society-nature relations across time**. Cham: Springer International Publishing, 2016. 610 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-33326-7>

HABERL, H. et al. Contributions of sociometabolic research to sustainability science. **Nature Sustainability**, Berlin, v. 2, n. 3, p. 173-184, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0225-2>

HARDIN, G. The tragedy of the commons. **Science**, [S.l.] v. 162, n. 3859, p. 1243-1248, 1968. <https://doi.org/10.1126/science.162.3859.1243>

HAWKINS, D. M. A CUSUM for a scale parameter. **Journal of Quality Technology**, Routledge, v. 13, n. 4, p. 228-231, 1981. <https://doi.org/10.1080/00224065.1981.11978762>

HIRSCH, J. E. Does the h index have predictive power?. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, EUA, v. 104, n. 49, p. 19193-19198, 2007. <https://doi.org/10.1073/pnas.0707962104>

HAQ, S. M. A., et al. Unequal ecological exchange and its underlying causes. **Journal of Environmental Protection and Ecology**, Bulgaria, v. 12, n. 2, p. 698-707, 2011.

HERMELE, K. (2010). **Ecologically unequal exchange**. In: International Society for Ecological Economics 11th Biennial Conference. 2010. Disponível em: <https://lucris.lub.lu.se/ws/portalfiles/portal/6094485/1662283.pdf>. Acesso em 2 jul. 2021.

HERTWICH, E. G. Increased carbon footprint of materials production driven by rise in investments. **Nature Geoscience**, Berlin, v. 14, n. 3, p. 151-155, 2021 <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00690-8>

HOSOYA, Y. The decomposition and measurement of the interdependency between second-order stationary processes. **Probability theory and related fields**, Berlin, v. 88, n. 4, p. 429-444, 1991. <https://doi.org/10.1007/BF01192551>

HOMMA, A., MARCOLAN, A.; VALENTIM, J. Amazônia como polo mundial de produção agrícola sustentável. **Embrapa Acre-Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E)**, Acre, n. 869, p. 42-4, 2021.

HUISINGH, D. et al. Recent advances in carbon emissions reduction: policies, technologies, monitoring, assessment and modeling. **Journal of cleaner production**, Amsterdam, v. 103, p. 1-12, 2015. <https://doi.org/10.1007/BF01192551>

INFANTE-AMATE, J.; KRAUSMANN, F. Trade, ecologically unequal exchange and colonial legacy: the case of France and its former colonies (1962–2015). **Ecological**

**Economics**, Amsterdam, v. 156, p. 98-109, 2019.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.09.013>

INFANTE-AMATE, J.; MOLINA, M. G.; TOLEDO, V. M. El metabolismo social Historia, métodos y principales aportaciones. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, Rio de Janeiro, v. 27, p. 130-152, 2017.

INFANTE-AMATE, J.; URREGO MESA, A.; TELLO ARAGAY, E. Las venas abiertas de América Latina en la era del antropoceno: un estudio biofísico del comercio exterior (1900-2016). **Diálogos Revista Electrónica de Historia**, Costa Rica, v. 21, n. 2, p. 177-214, 2020. <https://doi.org/10.15517/dre.v21i2.39736>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa agropecuária municipal (Vários anos). Rio de Janeiro: IBGE, (Vários anos).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Anuário estatístico do Brasil (Vários anos). Departamento de Divulgação Estatística, Fundação IBGE (Vários anos).

JÚNIOR, Caio Prado. **História econômica do Brasil**. São Paulo: Editora brasiliense, 1978. 280 p.

JUNIOR, L. C. O metabolismo econômico do minério de ferro no Brasil e na China. **Revibec: revista iberoamericana de economía ecológica**, Rio de Janeiro, v. 33, p. 78-98, 2020.

KALLIS, Giorgos. In defence of degrowth. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 70, n. 5, p. 873-880, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.12.007>

KALLIS, G.; KERSCHNER, C.; MARTINEZ-ALIER, J. The economics of degrowth. **Ecological economics**, Amsterdam, v. 84, p. 172-180, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.017>

KENNEDY, C.; CUDDIHY, J.; ENGEL-YAN, J. The changing metabolism of cities. **Journal of industrial ecology**, New Haven, v. 11, n. 2, p. 43-59, 2007. <https://doi.org/10.1162/jie.2007.1107>

KENNEDY, C.; PINCETL, S.; BUNJE, P. The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. **Environmental pollution**, Amsterdam, v. 159, n. 8-9, p. 1965-1973, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.10.022>

KENNEDY, C. et al. **Greenhouse gas emissions from global cities**. 2009. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es900213p>. Acesso em 20 set. 2021.

KENNEDY, C. et al. Methodology for inventorying greenhouse gas emissions from global cities. **Energy policy**, Amsterdam, v. 38, n. 9, p. 4828-4837, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.08.050>

KESSLER, M. M. Bibliographic coupling between scientific papers. **American documentation**, EUA, v. 14, n. 1, p. 10-25, 1963. <https://doi.org/10.1002/asi.5090140103>

KRAUSMANN, F. Milk, manure, and muscle power. Livestock and the transformation of preindustrial agriculture in Central Europe. **Human Ecology**, Berlim, v. 32, n. 6, p. 735-772, 2004. <https://doi.org/10.1007/s10745-004-6834-y>

KRAUSMANN, F.; HABERL, H. The process of industrialization from the perspective of energetic metabolism: Socioeconomic energy flows in Austria 1830–1995. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 41, n. 2, p. 177-201, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00032-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00032-0)

KRAUSMANN, F.; SCHANDL, H.; SIEFERLE, R. P. Socio-ecological regime transitions in Austria and the United Kingdom. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 65, n. 1, p. 187-201, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.06.009>

KRAUSMANN, F. et al. Material flow accounting: measuring global material use for sustainable development. **Annual Review of Environmental Resources**, San Mateo, v. 42, p. 647–675, 2007. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060726>

KRAUSMANN, F. et al. Global patterns of socioeconomic biomass flows in the year 2000: A comprehensive assessment of supply, consumption and constraints. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 65, n. 3, p. 471-487, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.07.012>

KRAUSMANN, F. et al. The global sociometabolic transition: past and present metabolic profiles and their future trajectories. **Journal of Industrial ecology**, New Haven, v. 12, n. 5-6, p. 637-656, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2008.00065.x>

KRAUSMANN, F. et al. Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 68, n. 10, p. 2696-2705, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.05.007>

KRAUSMANN, F. et al. Global socioeconomic material stocks rise 23-fold over the 20th century and require half of annual resource use. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, EUA, v. 114, n. 8, p. 1880-1885, 2017. <https://doi.org/10.1073/pnas.1613773114>

LACERDA, A. C. et al. (Org.). **Economia brasileira**. 5ª edição. São Paulo: Saraiva Educação AS, 2017. 424 p.

LAWN, P. A. Scale, prices, and biophysical assessments. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 38, p. 369-382, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00172-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00172-0)

LEE et al. The cusum test for parameter change in time series models. **Scandinavian Journal of Statistics**, Nova Jersey, v. 30, n. 4, p. 781-796, 2003.

LEITE, R. A. S. et al. Bibliometria como trilha de conhecimento e pesquisa. Bibliometria Como Trilha De Conhecimento E Pesquisa. **V Enpi**, Itajaí, v. 5, p. 1094-1105, 2019.

LIEDTKE, C. et al. Resource use in the production and consumption system—The MIPS approach. **Resources**, Amsterdam, v. 3, n. 3, p. 544-574, 2014. <https://doi.org/10.3390/resources3030544>

LIMA, R. A. et al. The erosion of biodiversity and biomass in the Atlantic Forest biodiversity hotspot. **Nature communications**, Berlim, v. 11, n. 1, p. 1-16, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20217-w>

LOTKA, A. J. Science Progress in the Twentieth Century (1919-1933). **Elements of physical biology**, [S.l.], v. 21, p. 341-343, 1926.

LUIS, E. C.; CELMA, D. Circular Economy. A review and bibliometric analysis. **Sustainability**, Basileia, v. 12, n. 16, p. 6381, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12166381>

MACEDO, S. V. et al. **Realidade ou mito? a influência dos royalties da mineração no desenvolvimento local**. Encontro Brasileiro de Administração Pública, 2021. Disponível em: <https://sbap.org.br/ebap/index.php/home/article/view/59/54>. Acesso em 1 fev. 2022.

MACHADO, J. D. D. O. A.; DE CARVALHO, R. A. Exploração de Petróleo no Brasil e Estados Unidos: história e relevância. **Brazilian Journal of Development**, Paraná, v. 7, n. 5, p. 52499-52515, 2021.

MACHIN, A. B.; NASCIMENTO, L. F. C. Efeitos da exposição a poluentes do ar na saúde das crianças de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. **Cadernos de saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 34, 2018. <https://doi.org/10.1590/0102-311x00006617>

MALGHAN, D. **On being the right size: A framework for the analytical study of\* scale, economy, and ecosystem**. College Park: University of Maryland, 2006. 312 p.

MARÇAL, E. F. Há realmente uma tendência a deterioração dos termos de troca? Uma análise dos dados brasileiros. **Revista Economia**, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 307-329, 2006.

MARCONDES, L. O. **Modelo de desenvolvimento neoextrativista latino-americano: um olhar biofísico para o comércio exterior do Brasil e das regiões brasileiras (1997-2019)**. 2021. 174 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Instituto de Economia e Relações Internacionais, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2021. <https://doi.org/10.29327/153477.14-10>

MARIANO, C. M. Emenda constitucional 95/2016 e o teto dos gastos públicos: Brasil de volta ao estado de exceção econômico e ao capitalismo do desastre. **Revista de investigações constitucionais**, Curitiba, v. 4, p. 259-281, 2019. <https://doi.org/10.5380/rinc.v4i1.50289>

MARTINEZ ALIER, J. Los conflictos ecológico-distributivos y los indicadores de sustentabilidad. **REVIBEC-Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, Rio de Janeiro, v.: n/d. p. 21-30, 2004.

\_\_\_\_\_. Social metabolism, ecological distribution conflicts, and languages of valuation. **Capitalism Nature Socialism**, Londres, v. 20(1), p. 58-87, 2009. <https://doi.org/10.1080/10455750902727378>

\_\_\_\_\_. **2 Social metabolism, ecological distribution conflicts and languages of valuation**. In: Beyond Reductionism. Londres: Routledge, p. 35-61. 2013. <https://doi.org/10.4324/9780203112281-11>

\_\_\_\_\_. Ecología política del extractivismo y justicia socio-ambiental. **Interdisciplina**, [S.l.] v. 3, n. 7, 2015. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2015.7.52384>

\_\_\_\_\_. **O ecologismo dos pobres: conflitos ambientais e linguagens de valoração**. São Paulo: Contexto, 2018. 384 p.

MARTINEZ-ALIER, J. et al. Social metabolism, ecological distribution conflicts, and valuation languages. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 70, n. 2, p. 153-158, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.09.024>

MARTINEZ-ALIER J. et al. Changing social metabolism and environmental conflicts in India and South America. **Journal of Political Ecology**, Arizona, v. 23, n. 1, p. 467-491, 2016. <https://doi.org/10.2458/v23i1.20252>

MARTINEZ-ALIER, J.; WALTER, M. **Social metabolism and conflicts over extractivism**. In: Environmental Governance in Latin America. London: Palgrave Macmillan. p. 58-85, 2016. [https://doi.org/10.1007/978-1-137-50572-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-137-50572-9_3)

MARTINS, A. Conflitos ambientais em unidades de conservação: dilemas da gestão territorial no Brasil. **Revista bibliográfica de geografia y ciencias sociales**, Brasília, v. 17, n. 989, p. 1-11, 2012.

MASCARENHAS, M. D. M. et al. Poluição atmosférica devida à queima de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doença respiratória em Rio Branco, Brasil-setembro, 2005. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, Brasília, v. 34, p. 42-46, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1806-37132008000100008>

MATAVELI, G. A. V. et al. Modelagem da Contribuição do Cerrado sobre as Emissões Brasileiras de Material Particulado Fino (PM<sub>2.5</sub>, 5 µm) Associadas à Queima de Biomassa. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, p. 118-128, 2018. <https://doi.org/10.1590/S1806-37132008000100008>

MATHIAS, J. F. C. M.; YOUNG, C. E. F., COUTO, L. C. C. B.; ALVARENGA JR, M. *Green New Deal* como estratégia de desenvolvimento pós-pandemia: lições da experiência internacional. **Revista Tempo do Mundo**, Brasília, n. 26, p. 145-174, 2021

MATOS, A. T. **Poluição ambiental: impactos no meio físico**. Editora UFV, 2013. 433 p. <https://doi.org/10.17564/2359-4942.2020v4n1p160-174>

MATOS, R. G. F.; LEITE, D. E. O. et al. Da tutela do meio ambiente: a desproporcionalidade na aplicação das sanções. **Interfaces Científicas-Exatas e Tecnológicas**, Farolândia, v. 4, n. 1, p. 160-174, 2020.

MAY, P.; LUSTOSA, M. C.; VINHA, V. **Economia do meio ambiente**. 2ª Edição. São Paulo: Elsevier Brasil, 2010. 322 p.

\_\_\_\_\_. **Economia do meio ambiente**. 3ª Edição. São Paulo: Elsevier Brasil, 2018. 400 p.

MAYER, A. **Zurück zur Fläche?: eine Untersuchung der biophysischen Ökonomie Brasiliens zwischen 1970 und 2005**. Inst. of Social Ecology, IFF-Fac. for Interdisciplinary Studies, Alpen-Adria-Univ., 2010.

MAYER, A.; HAAS, W. Cumulative material flows provide indicators to quantify the ecological debt. **Journal of Political Ecology**, Arizona, v. 23, n. 1, p. 350-363, 2016. <https://doi.org/10.2458/v23i1.20222>

MCCLINTOCK, N. Why farm the city? Theorizing urban agriculture through a lens of metabolic rift. **Cambridge journal of regions, Economy and Society**, Cambridge, v. 3, n. 2, p. 191-207, 2010. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsq005>

MEADOWS, et al. The limits to growth: a report for the Club of Rome project on the predicament of mankind. New York: Potomac Associates Group, 1972. 211 p. <https://doi.org/10.1349/ddlp.1>

MELGAR-MELGAR, R. E.; HALL, C. A. Why ecological economics needs to return to its roots: The biophysical foundation of socio-economic systems. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 169, p. 106567, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106567>

MILANEZ, B.; MAGNO, L.; PINTO, R. G. Da política fraca à política privada: o papel do setor mineral nas mudanças da política ambiental em Minas Gerais, Brasil. **Cadernos de saúde pública**, v. 35, p. e00051219, 2019. <https://doi.org/10.1590/0102-311x00051219>

MISSIATTO, L. A. F. et al. A colonialidade nas políticas ambientais do governo Bolsonaro e a inversão dos órgãos de defesa do meio ambiente. **Margens**, Abaetetuba, v. 15, n. 24, p. 85-102, 2021. <https://doi.org/10.18542/rmi.v15i24.10049>

MONTIBELLER, G. Espaço socioambiental e troca desigual. **Revista Internacional Interdisciplinar INTERthesis**, Florianópolis, v. 1, n. 2, p. 1-20, 2004.

MORA, A.; PEINADO, G.; PASSALÍA, C.. EL metabolismo socioeconómico argentino bajo los distintos patrones de acumulación. **Realidad Económica**, Buenos Aires, v. 52, n. 346, p. 43-80, 2022.

MORTARI, V. S. Evidências empíricas da importância da indústria brasileira de refino de petróleo. 2019. 119 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Instituto de Economia e Relações Internacionais, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2019.

MORAIS, J. M. **Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da Petrobras na exploração e produção offshore**. Brasília: Ipea, 2013. 424 p.

MOURA, A. M. M. **Governança ambiental no Brasil: instituições, atores e políticas públicas**. Brasília: IPEA, 2016. 352 p.

MUELLER, C. **Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente**. Brasília: Editora UnB. (No. 333.7 M946), 2012. 305 p.

MURÁNYI, A.; VARGA, B. (2021). Relationship Between the COVID-19 Pandemic and Ecological, Economic, and Social Conditions. **Frontiers in public health**, v. 9, 2021. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.694191>

NAKANO, P. et al. Política Industrial e Política Ambiental no Brasil: convergência ou divergência durante os governos Lula e Dilma?. **A Economia em Revista-AERE**, Maranhão, v. 25, n. 1, p. 13-30, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.694191>

NALIMOV, V. V.; MUL'CHENKO, Z. M. Measurement of Science. **Study of the Development of Science as an Information Process**, [S.l.], 1971.

NORGAARD, R. B. The case for methodological pluralism. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 1, n. 1, p. 37-57, 1989. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(89\)90023-2](https://doi.org/10.1016/0921-8009(89)90023-2)

OCTAVIANO, C. Muito além da tecnologia: os impactos da Revolução Verde. **ComCiência**, Campinas, n. 120, p. 0-0, 2010.

O'HARA, S.; TOUSSAINT, E. C. Food access in crisis: Food security and COVID-19. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 180, 106859, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106859>

OLIVEIRA, L. D. Da Eco-92 à Rio+ 20: uma breve avaliação de duas décadas. **Boletim Campineiro de Geografia**, Campinas, v. 2, n. 3, p. 479-499, 2013. <https://doi.org/10.54446/bcg.v2i3.72>

OREIRO, J. L.; PAULA, L. F. D. **A economia brasileira no governo Temer e Bolsonaro: Uma avaliação preliminar**. ResearchGate. set. 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Joseluis-Oreiro/publication/336147850>. Acesso em: 20 de fev. 2022.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). *Measuring material flows and resource productivity*. **The OECD guide**, v. 1, 2008. 164 p.

\_\_\_\_\_. **Global Material Resources Outlook to 2060 Economic Drivers and Environmental Consequences**. Paris: OECD publishing, 2019. Disponível em: <https://read.oecd.org/10.1787/9789264307452-en?format=pdf>. Acesso em: 20 nov. 2021.

PARRA, M. R., COUTINHO, R. X.; PESSANO, E. F. C. Um breve olhar sobre a cienciometria: origem, evolução, tendências e sua contribuição para o ensino de



ciências. **Revista Contexto & Educação**, Ijuí, v. 34, n. 107, p. 126-141, 2019. <https://doi.org/10.21527/2179-1309.2019.107.126-141>

PASQUALINI, A. A. Aplicação dos biodigestores na pecuária sustentável. **Revista Faculdades do Saber**, Mogi Guaçu, v. 5, n. 09, 2020.

PATAKI, D. E. et al. Urban ecosystems and the North American carbon cycle. **Global Change Biology**, United Kingdom, v. 12, n. 11, p. 2092-2102, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01242.x>

PAULA, M. X. **Siderurgia sustentável: uma análise ampliada dos desafios do carvão vegetal como estratégia para mitigação de emissões de dióxido de carbono**. 2021. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares) Departamento de Engenharia Nuclear, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2020.

PAULIUK, S.; MÜLLER, D. B. The role of in-use stocks in the social metabolism and in climate change mitigation. **Global Environmental Change**, Amsterdam, v. 24, p. 132-142, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.11.006>

PAULIUK, S.; HERTWICH, E. G. Socioeconomic metabolism as paradigm for studying the biophysical basis of human societies. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 119, p. 83-93, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.11.006>

PEINADO, G. Intercambio ecológicamente desigual e Intercambio desigual en Oscar Braun: nexos, puntos en común y especificidades. **REVIBEC-Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, Rio de Janeiro, v.: 24, p. 187-202, 2015.

\_\_\_\_\_. **Inserción internacional e intercambio ecológicamente desigual: el desarrollo de un subdesarrollo desigual e insustentable en Argentina**. 2019. 118 f. Dissertação de Mestrado. Buenos Aires: FLACSO. Sede Académica Argentina. Buenos Aires. 2019

PEINADO, G. et al. Las huellas de la contradicción entre desarrollo y ambiente. Un análisis del metabolismo socioeconómico en América del Sur a través de sus huellas ecológica e hídrica. **Revista del CESLA. International Latin American Studies Review**, Warsaw, n. 25, p. 103-122, 2020. <https://doi.org/10.36551/2081-1160.2020.25.103-122>

PEREIRA, L. F.; DE BARROS CRUZ, G.; GUIMARÃES, R. M. F. Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, Recife, p. 122-129, 2019. <https://doi.org/10.24221/jeap.4.2.2019.2373.122-129>

PEREIRA, L. I.; ORIGUÉLA, C. F.; FREITAS COCA, E. L. A política agrária no governo Bolsonaro: as contradições entre a expansão do agronegócio, o avanço da fome e o antiambientalismo. **REVISTA NERA**, Presidente Prudente, n. 58, p. 8-27, 2021

PEREZ RINCÓN, M. A. Colombian international trade from a physical perspective: Towards an ecological “Prebisch thesis”. **Ecological Economics**, Amsterdam. 59, n. 4, p. 519-529, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.11.013>

\_\_\_\_\_. **Conflictos ambientales en Colombia: inventario, caracterización y análisis. Estrategia de manejo ambiental de la zona media y baja de la subcuenca del Río Pance.**, 2014. Disponível em: <https://censat.org/apc-aa-files/3ba8718d4f467249a9a9449394c8bcd6/conflictos-ambientales-col-corto-72-m-perez-univalle-cinara.pdf>. Acesso em 2 jul. 2021.

\_\_\_\_\_. Joan Martínez Alier-un maestro, un referente académico y un activista de la economía ecológica y de la ecología política. **Revibec: revista iberoamericana de economía ecológica**, Rio de Janeiro, v. 33, p. 55-77, 2020.

PEREZ RINCÓN, M.; VARGAS-MORALES, J.; CRESPO-MARÍN, Z. Trends in social metabolism and environmental conflicts in four Andean countries from 1970 to 2013. **Sustainability Science**, Berlin, v. 13, n. 3, p. 635-648, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11625-017-0510-9>

PINAR, E. P. **El neoextractivismo en América Latina**. 2020. Disponível em: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/108389>. Acesso em 2 out. 2021.

PINTO, E. C. et al. A guerra de todos contra todos e a Lava Jato: a Crise Brasileira e a vitória do Capitão Jair Bolsonaro. **Revista da sociedade brasileira de economia política**. Rio de Janeiro. N. 54 (set. /dez. 2019), p. 108-147, 2019.

PRADHAN, A. K. et al. Macroeconomic factors and frequency domain causality between gold and silver returns in India. **Resources policy**, Amsterdam, v. 68, p. 101744, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101744>

PREBISCH, R. O desenvolvimento econômico da América Latina e alguns de seus problemas principais. Cinquenta anos de pensamento na CEPAL-Rio de Janeiro: Record/CEPAL, 2000-v. 1, p. 69-136, 2000. 516 p.

PURVES, W. K.; ORIAN, G. H.; HELLER H. C. Life. **The science of biology**. Sunderland: Sinauer, 3d ed., 1992.

RHODEN, A. C. et al. Análise das tendências de oferta e demanda para o grão, farelo e óleo de soja no Brasil e nos principais mercados globais. **Desenvolvimento em Questão**, Ijuí, v. 18, n. 51, p. 93-112, 2020.

RICE, J. Ecological unequal exchange: Consumption, equity, and unsustainable structural relationships within the global economy. **International Journal of Comparative Sociology**, Thousand Oaks, v. 48, n. 1, p. 43-72, 2007. <https://doi.org/10.1177/0020715207072159>

ROCKSTRÖM et al. 2009. A safe operating space for humanity. **Nature**, Berlim, v. 461, n. 7263, p. 472-475, 2009. <https://doi.org/10.1038/461472a>

ROCHA, J. S.; DE OLIVEIRA, N. A.; NOLASCO, L. G. Breve análise da evolução técnico-científica da Vale. **Revista Jurídica Direito, Sociedade e Justiça**, Mato Grosso do Sul, v. 6, n. 8, 2019.

RODRIGUES, D. A. **Os investimentos no Brasil nos anos 90: cenários setorial e regional**. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2000. p. 134-135.

RUBIN, L. D. S.; ILHA, A. D. S.; WAQUIL, P. D. O comércio potencial brasileiro de carne bovina no contexto de integração regional. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 46, n. 4, p. 1067-1093, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032008000400007>

RUFFING, K. Indicators to measure decoupling of environmental pressure from economic growth. **Sustainability indicators: A scientific assessment**, Washington, v. 67, p. 211, 2007.

RUME, T.; ISLAM, S. D. U. Environmental effects of COVID-19 pandemic and potential strategies of sustainability. **Heliyon**, v. 6(9), e04965, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04965>

SADER, E. (Ed.). **10 anos de governos pós-neoliberais no Brasil: Lula e Dilma**. São Paulo: Boitempo Editorial, 2015. 386 p.

SAES, B. M.; ROMEIRO, A. R.. O debate metodológico na economia ecológica: indefinição ou pluralismo?. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 28, p. 127-153, 2018. <https://doi.org/10.1590/0103-6351/2690>

SAMANIEGO, P.; VALLEJO, M. C.; MARTÍNEZ-ALIER, J. Commercial and biophysical deficits in South America, 1990–2013. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 133, p. 62-73, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.11.012>

SAMPAIO, K. R. A.; BATISTA, V. O atual cenário da produção de energia eólica no Brasil: Uma revisão de literatura. Research, **Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 1, p. e57710112107-e57710112107, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.12107>

SARKODIE, S. A. Causal effect of environmental factors, economic indicators and domestic material consumption using frequency domain causality test. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 736, p. 139602, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139602>

SCHANDL, H.; SCHULZ, N. Changes in the United Kingdom's natural relations in terms of society's metabolism and land-use from 1850 to the present day. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 41, n. 2, p. 203-221, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00031-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00031-9)

SCHANDL, H. et al. Global material flows and resource productivity. **Assessment report for the UNEP international resource panel. United Nations Environment Programme, Nairobi**, 2016.

SCHANDL, H. et al. Global material flows and resource productivity: forty years of evidence. **Journal of Industrial Ecology**, New Haven, v. 22, n. 4, p. 827-838, 2018. <https://doi.org/10.1111/jiec.12626>

SCHULZ, C.; BAILEY, I. The green economy and post-growth regimes: opportunities and challenges for economic geography. **Geografiska Annaler: Series B, Human Geography**, v. 96, n. 3, p. 277-291, 2014. <https://doi.org/10.1111/geob.12051>

SHARIFI, A. Urban sustainability assessment: An overview and bibliometric analysis. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 121, p. 107102, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107102>

SILVA, J. L. C. T.; GARCIA, E. Vantagens da substituição da utilização do fogo por práticas agrícolas sustentáveis. **Anais Sintagro**, Ourinhos, v. 11, n. 1, 2019.

SILVA, S. S. et al. Burning in southwestern Brazilian Amazonia, 2016–2019. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 286, p. 112189, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112189>

SINGH, S. J.; TALWAR, S.; SHENOY, M. Why Socio-metabolic Studies are Central to Ecological Economics. **Ecology, Economy and Society—the INSEE Journal**, [S.l.] v. 4, n. 2, p. 21-43, 2021. <https://doi.org/10.37773/ees.v4i2.461>

SNEEGAS, G. et al. Using Q-methodology in environmental sustainability research: A bibliometric analysis and systematic review. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 180, p. 106864, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106864>

SOARES, L. D. R. **Crescimento econômico e desacoplamento do uso de recursos naturais e de impactos ambientais: evidências para o Brasil**. 2015.144 f. Dissertação (Mestrado Em Economia) - Programa de Pós-Graduação em Economia. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Araraquara. 2015.

SOUZA, F. C. A campanha que começa antes da campanha: a prisão de Lula e sua interferência na agenda pública no período das eleições presidenciais de 2018. **Policromias-Revista de Estudos do Discurso, Imagem e Som**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 2, p. 79-96, 2019.

SOUZA, N. A. **Economia brasileira contemporânea: de Getúlio a Lula**. São Paulo: Editora Atlas SA, 2007. 368 p.

SOUSA, R. M. D. **Comportamento e determinantes das exportações de petróleo no Brasil**. 2020. 70 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Instituto de Economia e Relações Internacionais, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2020.

STANLEY, C. Living to spend another day: exploring resilience as a new fourth goal of ecological economics. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 178, 106805, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106805>

STEFFEN, W., CRUTZEN, P., MCNEILL, J., 2008. The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature. **Ambio-Journal of Human Environment Research and Management**, Stockholm, v. 36, n. 8, p. 614-621, 2007. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[614:TAAHNO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[614:TAAHNO]2.0.CO;2)

STEINBERGER, J. K. et al. Development and dematerialization: an international study. **PloS one**, São Francisco, v. 8, n. 10, p. e70385, 2013. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070385>

SVAMPA, M. N. **Consenso de los Commodities y lenguajes de valoración en América Latina**. 2013. Disponível em: <http://nuso.org/articulo/consenso-de-los-commodities-y-lenguajes-de-valoracion-en-america-latina/>. Acesso em 2 jul. 2021

\_\_\_\_\_. As Fronteiras Do Neoextrativismo Na América Latina. **Conflitos Socioambientais, Giro Ecoterritorial E Novas Dependências**. São Paulo: Elefante. 2019. 150 p.

TIWARI, A. K. An empirical investigation of causality between producers' price and consumers' price indices in Australia in frequency domain. **Economic Modelling**, Amsterdam, v. 29, n. 5, p. 1571-1578, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2012.05.010>

\_\_\_\_\_. The frequency domain causality analysis between energy consumption and income in the United States. **Economia Aplicada**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 51-67, 2014. <https://doi.org/10.1590/1413-8050/ea307>

TOLEDO, V. El metabolismo social: una nueva teoría socioecológica. **Relaciones. Estudios de historia y sociedad**, Michoacán, v. 34, n. 136, p. 41-71, 2013. <https://doi.org/10.1590/1413-8050/ea307>

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth, A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel**. Fischer Kowalski, M. et al. United Nations Environment Programme. 2011. 174 p. Disponível em: <https://www.resourcepanel.org/file/400/download?token=E0TEjf3z>. Acesso em: 08 dez. 2021.

US GEOLOGICAL SURVEY & ORIENTEERING S (ED.). (Vários anos). **Mineral Commodity Summaries**, (Vários anos). Government Printing Office. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/mineral-commodity-summaries>. Acesso em: 20 nov. 2021.

VANTI, N. A. P. Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento. **Ciência da informação**, Rio de Janeiro, v. 31, p. 369-379, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-19652002000200016>

VAZ, V. R. C.; MERLO, E. M. O Consenso de Washington no Brasil: Estabilização Conservadora e Estagnação. **Revista Aurora**, Marília, v. 13, n. 1, p. 37-58, 2020. <https://doi.org/10.36311/1982-8004.2020.v13n1.p37-58>

VENES, F. S.; GALÁRRAGA, M. C. V. Relaciones comerciales de China con Colombia y Perú. Un intercambio ecológicamente desigual. **Ecología Política**, Arizona, n. 56, p. 70-79, 2018.

VIEIRA, A. S. Meio ambiente e desenvolvimento sustentável: fontes para compreensão do discurso político-ambiental do governo brasileiro. **Ciência da informação**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 1, 1992.

WALKER, R., et al. **A expansão da agricultura intensiva e pecuária na Amazônia brasileira**. v. 5, 2009 Disponível em: [https://daac.ornl.gov/LBA/lbaconferencia/amazonia\\_global\\_change/5\\_A%20Expansao\\_Agricultura\\_Walker.pdf](https://daac.ornl.gov/LBA/lbaconferencia/amazonia_global_change/5_A%20Expansao_Agricultura_Walker.pdf). Acesso em: 6 fev. 2022.

WANG, B.; ZHANG, Q.; CUI, F. Scientific research on ecosystem services and human well-being: A bibliometric analysis. **Ecological Indicators**, v. 125, p. 107449, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107449>

WARLENIUS, R. Linking ecological debt and ecologically unequal exchange: stocks, flows, and unequal sink appropriation. **Journal of Political Ecology**, Arizona, v. 23, n. 1, p. 364-380, 2016. <https://doi.org/10.2458/v23i1.20223>

WARREN, I. S.; VIOLA, E. J. **Meio ambiente, desenvolvimento e cidadania: desafios para as ciências sociais**. São Paulo: Cortez Editora, 1998. 224 p.

WEISZ, H. et al. The physical economy of the European Union: Cross-country comparison and determinants of material consumption. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 58, n. 4, p. 676-698, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.08.016>

\_\_\_\_\_. Economy-wide material flow accounting. A compilation guide. Eurostat and the European Commission, 2007.

WERNER, D. D. As reformas neoliberais do setor elétrico brasileiro à luz do referencial teórico das escalas espaciais. **Biblio3W Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales**, Brasília, 2019.

WEST, J.; SCHANDL, H. Material use and material efficiency in Latin America and the Caribbean. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 94, p. 19-27, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.06.015>

WIEDMANN, T.; LENZEN, M.; KEYßER, L. T.; STEINBERGER, J. K. Scientists' warning on affluence. **Nature communications**, Verlag, v. 11, n. 1, p. 1-10, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16941-y>

WIRSENIUS, S. **Human use of land and organic materials: modeling the turnover of biomass in the global food system**. Gotemburgo: Chalmers University of Technology, 2000. 279 p.

WOLF, E. Ownership and political ecology. **Anthropological quarterly**, Washington, v. 45, n. 3, p. 201-205, 1972. <https://doi.org/10.2307/3316532>

WOLMAN, A. The metabolism of cities. **Scientific American**, EUA, v. 213, n. 3, p. 178-193, 1965. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0965-178>

WORLD BANK. **Open data**. 2020. Disponível em: <https://data.worldbank.org/>. Acesso em 11 dez. 2021.

YANFENG, W. The dynamic relationships between oil prices and the Japanese economy: A frequency domain analysis. **Review of Economics & Finance**, London, v. 3, p. 57-67, 2013.

ZHANG, C. et al. Bibliometric analysis of trends in global sustainable livelihood research. **Sustainability**, Basileia, v. 11, n. 4, p. 1150, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11041150>

ZHANG, Z. Decoupling China's carbon emissions increase from economic growth: An economic analysis and policy implications. **World Development**, Amsterdam, v. 28, n. 4, p. 739-752, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(99\)00154-0](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(99)00154-0)

ZIPF, G. K. Human behaviour and the principle of least-effort. Cambridge MA edn. **Reading: Addison-Wesley**, v. 24, 1949.

ZUPIC, I.; ČATER, T. Bibliometric methods in management and organization. **Organizational research methods**, Thousand Oaks, v. 18, n. 3, p. 429-472, 2015. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>

## APÊNDICE

**Apêndice 1.** Extração Doméstica de Biomassa. Colheitas primárias.

MF. 1 BIOMASSA
----------------

<b>MF. 1.1. Colheitas Primárias</b>	
MF. 1.1.1. Cereais	
	Trigo
	Arroz
	Cevada
	Milho
	Centeio
	Aveia
	Sorgo
	Trigo Sarraceno
	Triticale
MF. 1.1.2. Raízes, Tubérculos	
	Batata
	Batata Doce
	Mandioca
	Inhame
MF. 1.1.3. Açúcar	
	Cana de Açúcar
MF. 1.1.4. Grãos	
	Feijão Seco
	Fava Seca
	Ervilhas Secas
MF. 1.1.5. Nozes	
	Castanha do Pará
	Castanha de caju
	Castanha
	Nozes
	Ouras Nozes
MF. 1.1.6. Culturas oleaginosas	
	Soja
	Amendoim Com Casca
	Cocos
	Óleo De Palma
	Azeitona
	Mamona
	Sementes De Girassol
	Colza
	Óleo De Tungue
	Semente De Gergelim
	Linhaça
	Sementes Oleaginosas
MF. 1.1.7. Vegetais	
	Tomates
	Cebola seca
	Alho
	Outros Legumes frescos
	Palmito
MF. 1.1.8. Frutas	
	Bananas
	Laranjas
	Tangerina
	Limões



	Toranja e pomelos
	Maças
	Peras
	Marmelos
	Pêssegos e Nectarinas
	Morangos
	Uvas
	Melancia
	Melões
	Figos
	Mangas
	Abacates
	Abacaxis
	Caqui
	Caju
	Mamão
	Outras Frutas tropicais fresca
	Urucum
MF. 1.1.9. Fibras	
	Fibras semelhantes à juta
	Rami
	Sisal
	Outras Culturas de fibras
	Algodão
	Malva
MF. 1.1.10. Outras Culturas (Temperos. Culturas estimulantes, tabaco, borracha e outras safras brasileiras)	
	Café verde
	Sementes de cacau
	Chá-da-índia (folha verde)
	Mate
	Pimenta, Branco / Longo / Preto
	Piretro, flores secas
	Folhas de Tabaco
	Borracha natural

Fonte: IBGEa (Pesquisa Agropecuária Municipal-vários anos). *Food & Agriculture Organization FAOSTAT Database.*

## **Apêndice 2. Extração Doméstica de Biomassa. Resíduos de Colheita, Madeira e Peixes.**

<b>MF. 1 BIOMASSA</b>	
<b>MF. 1.2. Resíduos de colheita (Utilizados)</b>	
MF. 1.2.1. Palha	
	Trigo (Total)
	Arroz
	Cevada (total)
	Centeio
	Sorgo
MF. 1.2.2. Outros Resíduos de Colheita <sup>1</sup> (açúcar e folhas de beterraba forrageira, outras)	
	Canola
	Soja
	Cana De Açúcar
<b>MF. 1.3. Culturas forrageiras (incluindo colheita de pastagem)</b>	
MF. 1.3.1. Culturas forrageiras <sup>1</sup>	

	Cevada
	Milho
	Alfafa
MF. 1.3.2. Biomassa colhida de pastagens <sup>2</sup>	
	Bovinos (e búfalos)
	Ovinos e Caprinos
	Equinos
	Muares e Asinos
<b>MF. 1.4. Madeira<sup>3</sup></b>	
MF. 1.4.1. Madeira (madeira redonda industrial)	
	Logs de serra + Logs de folheado
	Madeira para celulose, redonda e dividida
	Madeira para celulose + partículas
	Outras Madeiras arredondadas
	madeira redonda industrial (Outras categorias)
MF. 1.4.2. Combustível de madeira e outras extrações	
<b>MF. 1.5. Captura de peixes, crustáceos, moluscos e invertebrados aquáticos</b>	
	Crustáceos
	Peixes de Água Doce
	Peixes <i>Diadromous</i>
	Peixes Marinhos
	Animais Aquáticos Diversos
	Moluscos
	Baleias, Focas e Outros Mamíferos Aquáticos

Fonte: IBGEa (Pesquisa Agropecuária Municipal-várias edições). *Food & Agriculture Organization FAOSTAT Database*. 1) Conforme fatores expressos em Fontaneli, e Santos (2009). 2) Conforme fatores expressos em Wirsenius (2000). 3) Conforme fatores expressos em Eurostat (2018).

### **Apêndice 3. Extração Doméstica de Minérios De Metal (Minérios Brutos).**

<b>MF. 2. MINÉRIOS DE METAL (MINÉRIOS BRUTOS)</b>	
<b>MF. 2.1. Minério de Ferro<sup>1</sup></b>	
<b>MF. 2.2. Minérios de metais não ferrosos<sup>2</sup></b>	
MF.2.2.1. Minérios de cobre	
MF.2.2.2. Minérios de níquel	
MF.2.2.3. Minérios de chumbo <sup>3</sup>	
MF.2.2.4. Minérios de zinco <sup>4</sup>	
MF.2.2.5. Minérios de estanho	
MF.2.2.6. Ouro, prata, platina e outros minérios de metais preciosos	
MF.2.2.7. Outros minérios de alumínio	
	Bauxita
	Manganês
	Ilmenita
	Rutilo
	Cromo
	Tungstênio
	Tântalo
	Zircônio
	Monazita
	Anastasio

Fonte: DNPM-AMB (Anuário Mineral Brasileiro-várias edições). IBGEb (Anuário Estatístico Brasileiro-Várias Edições). 1) Inclui valores estimados (1970-1984), baseados em IBGE. Valores de 2010 a 2014 recalculados, baseados em DNPM-AMB. 2) Inclui valores estimados (1970-1989), baseados em IBGE e

AMB. 3) Valores estimados (2016 a 2019), baseados em *US Geological Survey*. 4) Valor estimado (2016), baseados em *US Geological Survey*

#### **Apêndice 4. Extração Doméstica de Minérios Não Metálicos.**

<b>MF. 3. MINERAIS NÃO METÁLICOS<sup>1</sup></b>	
<b>MF. 3.1. Pedra ornamental ou de construção</b>	
	Mica <sup>2</sup>
	Rochas Ornamentais
<b>MF. 3.2. Calcário, gesso, giz e dolomita</b>	
	Calcário <sup>2</sup>
	Rochas calcárias
	Gipsita <sup>2</sup>
	Dolomita
	Magnésio
<b>MF. 3.3. Ardósia</b>	
<b>MF.3.4. Cascalho e Areia</b>	
	Granito
	Areia <sup>3</sup>
	Areia Industrial
	Cascalho e Areia
	Rochas Britadas e Cascalho
	Pedras Britadas
<b>MF.3.5. Argilas e caulim</b>	
	Caulim
	Argila
	Bentonita
<b>MF.3.6. Minerais químicos e fertilizantes</b>	
	Rocha Fosfática
	Fertilizantes Fosfáticos Naturais <sup>2</sup>
	Potássio
	Fluorite
<b>MF.3.7. Sal<sup>2</sup></b>	
<b>MF.3.8. Outros produtos de mineração e pedreiras</b>	
	Amianto <sup>2</sup>
	Grafita <sup>2</sup>
	Quartzo
	Diatomita
	Talco
	Feldspato <sup>2</sup>
	Barita
	Gemas
	Sílex
	Vermiculita
	Quartzito Industrial

Fonte: DNPM-AMB (Anuário Mineral Brasileiro-várias edições). IBGEb (Anuário Estatístico Brasileiro-Várias Edições). 1) Inclui valores estimados (1970-1974), baseados em IBGE. 2) Valores estimados (2017-2020), baseados em *US Geological Survey*. 3) Conforme fatores expressos em Eurostat (2018).

#### **Apêndice 5. Extração Doméstica de Energia Fóssil.**

<b>MF. 4. MATERIAIS / TRANSPORTADORES DE ENERGIA FÓSSIL</b>
<b>MF.4.1. Carvão marrom (inclui xisto betuminoso e areias betuminosas)</b>

<b>MF.4.2. Carvão</b>	
<b>MF.4.3. Petróleo</b>	
	Óleo Cru
	Gás Natural Líquido
<b>MF.4.4. Gás Natural<sup>1</sup></b>	

Fonte: *IEA Database*. 1) Valores convertidos de 10m³ para kton.

## Apêndice 6. Exportação de Biomassa.

<b>MF. 1 BIOMASSA</b>	
<b>MF. 1.1. Colheitas Primárias</b>	
MF. 1.1.1. Cereais	
	Arroz
	Cevada não moída
	Milho (não moído)
	Cereais não moídos, (exceto trigo, arroz, cevada e milho)
	Farinha e farinha de trigo (ou de meslin)
	Farinha e farinha de cereais (exceto trigo meslin)
	Preparações de cereais e preparações de farinha de frutas e vegetais
MF. 1.1.2. Açúcar	
	Açúcar e Mel
	Açúcar de Confeiteiro, preparações de açúcar
MF. 1.1.6. Culturas oleaginosas	
	Sementes oleaginosas, nozes e grãos de óleo
MF. 1.1.7. Vegetais	
	Legumes, raízes e tubérculos, frescos ou secos
	Vegetais, raízes e tubérculos presos ou não incluído nas demais categorias
MF. 1.1.8. Frutas	
	Frutas frescas e nozes excl. Óleo de nozes
	Frutas secas, incluindo desidratadas artificialmente
	Frutas, conservas e preparações de frutas
MF. 1.1.9. Fibras	
	Algodão
	Juta
	Fibras vegetais (exceto algodão e juta)
MF. 1.1.10. Outras Culturas (Temperos. Culturas estimulantes, tabaco, borracha e outras safras brasileiras)	
	Café
	Cacau
	Chocolate e outros preparados alimentares
	Chá e mate
	Especiarias
	Tabaco não manufaturado
	Fabricantes de tabaco
<b>MF. 1.2. Resíduos de colheita (Utilizados)</b>	
MF. 1.2.1. Alimentos para animais, exceto cereais não moídos	
<b>MF. 1.3. Madeira primária e processada</b>	
MF. 1.3.1. Madeira (madeira redonda industrial)	
	Madeira em bruto ou quase quadrada
	Madeira, moldada ou simplesmente trabalhada
	Cortiça, crua e desperdício
MF. 1.3.2. Combustível de madeira e outras extrações	

	Borracha bruta (Sintética e recuperada)
	Lenha e carvão vegetal
	Materiais de borracha
	Artigos de borracha (não incluído nas demais categorias)
	Folheados, placas de contraplacado e outras madeiras, trabalhadas 7(não incluído nas demais categorias)
	Fábrica de madeira (não incluído nas demais categorias)
	Fabricantes de cortiça
<b>MF. 1.4. Captura de peixes, crustáceos, moluscos e invertebrados aquáticos</b>	
	Peixe, fresco e simplesmente conservado
	Peixes, em recipientes herméticos e preparados de peixe (não incluído nas demais categorias)
<b>MF. 1.5. Animais vivos (exceto em 1.4.), carne e produtos à base de carne</b>	
MF. 1.5.1 Animais Vivos (exceto em 1.4.)	
MF. 1.5.2 Carne e preparados de carne	
	Carnes frescas, resfriadas ou congeladas
	Carne seca, salgada ou defumada
	Carne em recipientes herméticos e preparados de carne (não incluído nas demais categorias)
MF. 1.5.2 Produtos lácteos, ovos de pássaros e mel	
	Leite e creme
	Manteiga
	Queijo e requeijão
	Ovos
MF. 1.5.2 Outros produtos de origem animal (fibras animais, peles, peles, couro etc.)	
	Peles e pelos (exceto peles despidas)
	Pele despida
	Seda
	Lã e outros pelos de animais
	Óleos e gorduras animais
	Óleos e gorduras vegetais e animais, processados e ceras
	Couro
	Fabricação de couro, couro artificial ou reconstituído
	Peles com pelo, curtidas ou vestidas, inclusive tingidas
<b>MF 1.6 Outros Produtos de biomassa</b>	
	Margarina e gordura vegetal
	Preparações alimentares (não incluído nas demais categorias)
	Bebidas não alcoólicas (não incluído nas demais categorias)
	Bebidas alcoólicas
	Celulose e resíduos de papel
	Materiais animais em bruto (não incluído nas demais categorias)
	Materiais vegetais crus (não incluído nas demais categorias)
	Óleos vegetais fixos, macios

Fonte: UN Comtrade Database

### Apêndice 7. Exportação de Minerais Metálicos.

<b>MF. 2. MINÉRIOS DE METAL (MINÉRIOS BRUTOS)</b>	
<b>MF. 2.1. Minérios de ferro e concentrados, ferro e aço</b>	
	Ferro gusa, <i>spiegeleisen</i> , esponja de ferro
	Lingotes e outras formas primárias de ferro ou aço
	Barras de ferro e aço, hastes, ângulos, formas, seções
	Universais, placas e folhas de ferro ou aço

	Aro e tira de ferro ou aço
	Materiais de construção de ferro ou aço
	Fio de ferro e aço (exceto fio-máquina)
	Tubos, canos e acessórios de ferro ou aço
	Fundições de aço de ferro forjadas não trabalhadas (não incluído nas demais categorias)
	Produtos principalmente de metais
<b>MF. 2.2. Minérios e concentrados de metais não ferrosos, metais processados</b>	
MF.2.2.1. Minérios de cobre	
MF.2.2.2. Minérios de níquel	
MF.2.2.3. Minérios de chumbo	
MF.2.2.4. Minérios de zinco	
MF.2.2.5. Minérios de estanho	
MF.2.2.6. Ouro, prata, platina e outros minérios de metais preciosos	
MF.2.2.7. Outros minérios de alumínio	
MF.2.2.7. Outros metais	
<b>MF. 2.3. Outros produtos metálicos (não incluído nas demais categorias)</b>	

Fonte: *UN Comtrade Database*

### Apêndice 8. Exportação de Minérios Não Metálicos.

<b>MF. 3. MINERAIS NÃO METÁLICOS</b>	
<b>MF.3.1. Argilas e caulim</b>	
	Argila e materiais de construção refratários
<b>MF.3.6. Minerais químicos e fertilizantes</b>	
	Fertilizantes fabricados
<b>MF.3.7. Sal<sup>2</sup></b>	
<b>MF.3.8. Outros produtos de mineração e pedreiras</b>	
	Pedra, areia e cascalho
	Abrasivos naturais, incluindo diamantes industriais
	Elementos químicos inorgânicos, óxidos, sais de halogênio
	Outros produtos químicos inorgânicos
	Materiais radioativos e associados
	Lima, cimento e tecidos
	Manufaturas minerais (não incluído nas demais categorias)
	Pérolas e pedras preciosas e semipreciosas

Fontes: *UN Comtrade Database*

### Apêndice 9. Exportação de Energia Fóssil

<b>MF. 4. MATERIAIS / TRANSPORTADORES DE ENERGIA FÓSSIL</b>	
<b>MF.4.1. Carvão</b>	
<b>MF.4.2. Petróleo</b>	
<b>MF.4.3. Outros transportadores de energia fóssil</b>	

Fonte: *IEA Database*

### Apêndice 10. Importação de Biomassa.

<b>MF. 1 BIOMASSA</b>	
<b>MF. 1.1. Colheitas Primárias</b>	
MF. 1.1.1. Cereais	
	Trigo, incluindo espelta e meslin, não moído
	Arroz
	Cevada não moída
	Milho (moído e não moído)

	Cereais não moídos, exceto trigo, arroz, cevada e milho
	Farinha de trigo ou de meslin
	Farinha e farinha de cereais, exceto trigo / meslin
	Preparações de cereais e preparações de farinha de frutas e vegetais
MF. 1.1.2. Açúcar	
	Açúcar e Mel
	Açúcar de Confeiteiro, preparações de açúcar
MF. 1.1.6. Culturas oleaginosas	
	Sementes oleaginosas, nozes e grãos de óleo
MF. 1.1.7. Vegetais	
	Legumes, raízes e tubérculos, frescos ou secos
	Vegetais, raízes e tubérculos presos ou não incluído nas demais categorias
MF. 1.1.8. Frutas	
	Frutas frescas e nozes excl. Óleo de nozes
	Frutas secas, incluindo desidratadas artificialmente
	Frutas, conservas e preparações de frutas
MF. 1.1.9. Fibras	
	Algodão
	Juta
	Fibras vegetais (exceto algodão e juta)
MF. 1.1.10. Outras Culturas (Temperos. Culturas estimulantes, tabaco, borracha e outras safras brasileiras)	
	Café
	Cacau
	Chocolate e outros preparados alimentares
	Chá e mate
	Especiarias
	Tabaco não manufaturado
	Fabricantes de tabaco
<b>MF. 1.2. Resíduos de colheita (Utilizados)</b>	
MF. 1.2.1. Alimentos para animais, exceto cereais não moídos	
<b>MF. 1.3. Madeira primária e processada</b>	
MF. 1.3.1. Madeira (madeira redonda industrial)	
	Madeira em bruto ou quase quadrada
	Madeira, moldada ou simplesmente trabalhada
	Cortiça, crua e desperdício
MF. 1.3.2. Combustível de madeira e outras extrações	
	Borracha bruta (incluindo sintética e recuperada)
	Lenha e carvão vegetal
	Materiais de borracha
	Artigos de borracha (não incluído nas demais categorias)
	Folheados, placas de contraplacado e outras madeiras, trabalhadas, (não incluído nas demais categorias)
	Fábrica de madeira (não incluído nas demais categorias)
	Outras extrações de madeira
<b>MF. 1.4. Captura de peixes, crustáceos, moluscos e invertebrados aquáticos</b>	
	Peixe, fresco e simplesmente conservado
	Peixes, em recipientes herméticos e preparados de peixe (não incluído nas demais categorias)
<b>MF. 1.5. Animais vivos (exceto em 1.4.), carne e produtos à base de carne</b>	
MF. 1.5.1 Animais Vivos (exceto em 1.4.)	

MF. 1.5.2 Carne e preparados de carne	
	Carnes frescas, resfriadas ou congeladas
	Carne seca, salgada ou defumada
	Carne em recipientes herméticos e preparados de carne (não incluído nas demais categorias)
MF. 1.5.2 Produtos lácteos, ovos de pássaros e mel	
	Leite e creme
	Manteiga
	Queijo e requeijão
	Ovos
MF. 1.5.2 Outros produtos de origem animal (fibras animais, peles, peles, couro etc.)	
	Peles e pelos (exceto peles despidas)
	Pele despida
	Seda
	Lã e outros pelos de animais
	Óleos e gorduras animais
	Óleos e gorduras vegetais e animais, processados e ceras
	Couro
	Fabricação de couro, couro artificial ou reconstituído
	Peles com pelo, curtidas ou vestidas, inclusive tingidas
<b>MF 1.6 Outros Produtos de Biomassa</b>	
	Margarina e gordura vegetal
	Preparações alimentares (não incluído nas demais categorias)
	Bebidas não alcoólicas (não incluído nas demais categorias)
	Bebidas alcoólicas
	Celulose e resíduos de papel
	Materiais animais em bruto (não incluído nas demais categorias)
	Materiais vegetais crus (não incluído nas demais categorias)
	Óleos vegetais fixos, macios
	Papel e cartolina
	Artigos de papel, celulose, papelão

Fonte: UN Comtrade Database.

### Apêndice 11. Importação de Minérios De Metal (Minérios Brutos).

<b>MF. 2. MINÉRIOS DE METAL (MINÉRIOS BRUTOS)</b>	
<b>MF. 2.1. Minérios de ferro e concentrados, ferro e aço</b>	
	Minério de ferro e concentrados
	Sucata de ferro e aço
	Minérios e concentrados de urânio e tório
	Ferro gusa, <i>spiegeleisen</i> , esponja de ferro
	Lingotes e outras formas primárias de ferro ou aço
	Barras de ferro e aço, hastes, ângulos, formas, seções
	Universais, placas e folhas de ferro ou aço
	Aro e tira de ferro ou aço
	Materiais de construção com ferro e aço
	Fio de ferro e aço, exceto fio-máquina
	Tubos, canos e acessórios de ferro ou aço
	Fundições de aço de ferro forjadas não trabalhadas (não incluído nas demais categorias)
<b>MF. 2.2. Minérios de metais não ferrosos</b>	
MF.2.2.1. Minérios de cobre	
MF.2.2.2. Minérios de níquel	



MF.2.2.3. Minérios de chumbo	
MF.2.2.4. Minérios de zinco	
MF.2.2.5. Minérios de estanho	
MF.2.2.6. Ouro, prata, platina e outros minérios de metais preciosos	
MF.2.2.7. Outros minérios de alumínio	
MF.2.2.7. Outros metais	
	Minérios e concentrados de metais básicos não ferrosos
	Sucata de metal não ferroso
	Outros metais não ferrosos
<b>MF. 2.3. Outros produtos metálicos (não incluído nas demais categorias)</b>	

Fonte: UN Comtrade Database

### Apêndice 12. Importação de Minérios Não Metálicos.

<b>MF. 3. MINERAIS NÃO METÁLICOS</b>	
<b>MF.3.1. Argilas e caulim</b>	
	Argila e materiais de construção refratários
<b>MF.3.6. Minerais químicos e fertilizantes</b>	
	Fertilizantes fabricados
<b>MF.3.7. Sal<sup>2</sup></b>	
<b>MF.3.8. Outros produtos de mineração e pedreiras</b>	
	Pedra, areia e cascalho
	Abrasivos naturais, incluindo diamantes industriais
	Elementos químicos inorgânicos, óxidos, sais de halogênio
	Outros produtos químicos inorgânicos
	Materiais radioativos e associados
	Lima, cimento e tecidos
	Manufaturas minerais (não incluído nas demais categorias)
	Pérolas e pedras preciosas e semipreciosas

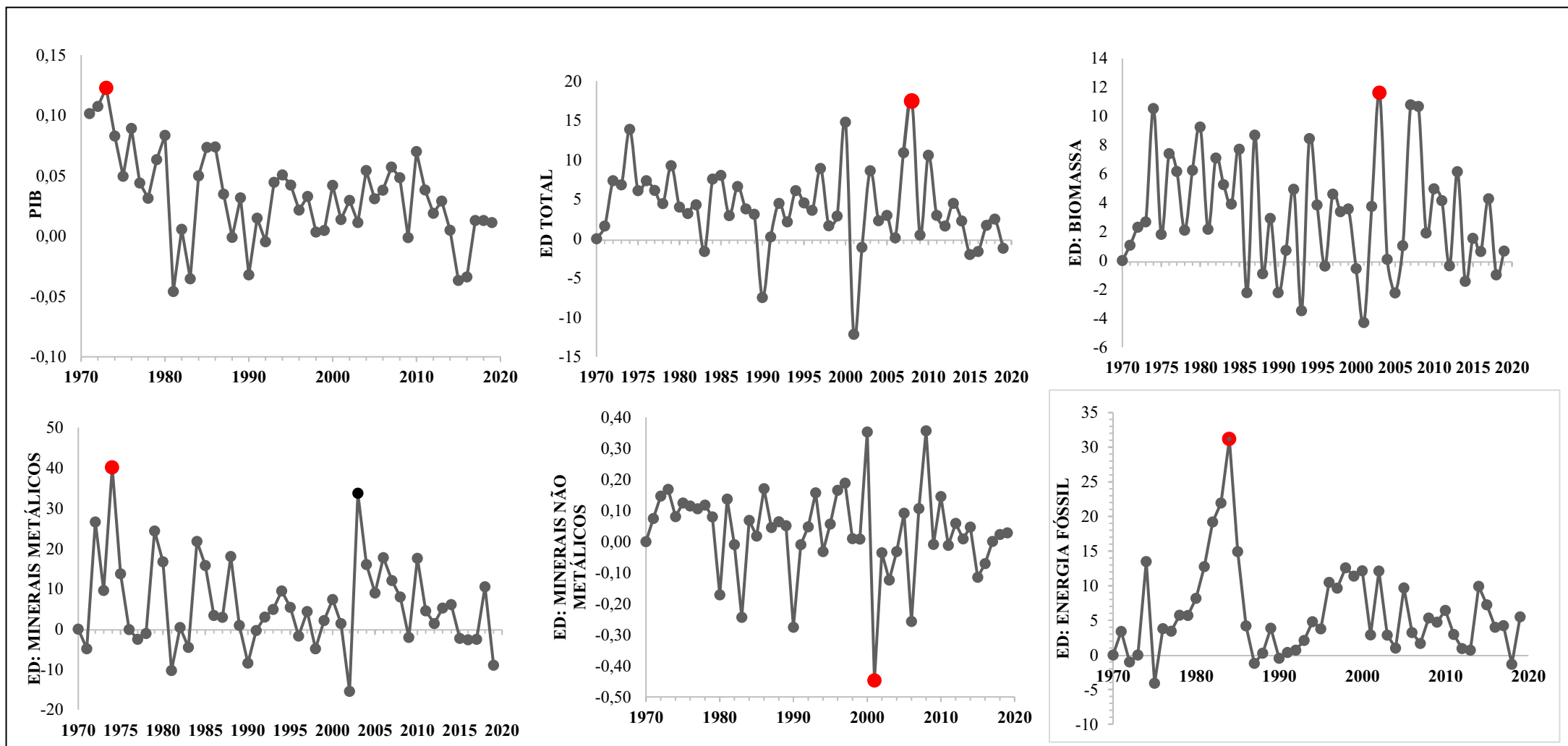
Fonte: UN Comtrade Database

### Apêndice 13. Importação de Energia Fóssil.

<b>MF. 4. MATERIAIS / TRANSPORTADORES DE ENERGIA FÓSSIL</b>	
<b>MF.4.1. Carvão</b>	
<b>MF.4.2. Petróleo</b>	
<b>MF.4.3. Gás Natural<sup>1</sup></b>	
<b>MF.4.4. Outros transportadores de energia fóssil</b>	

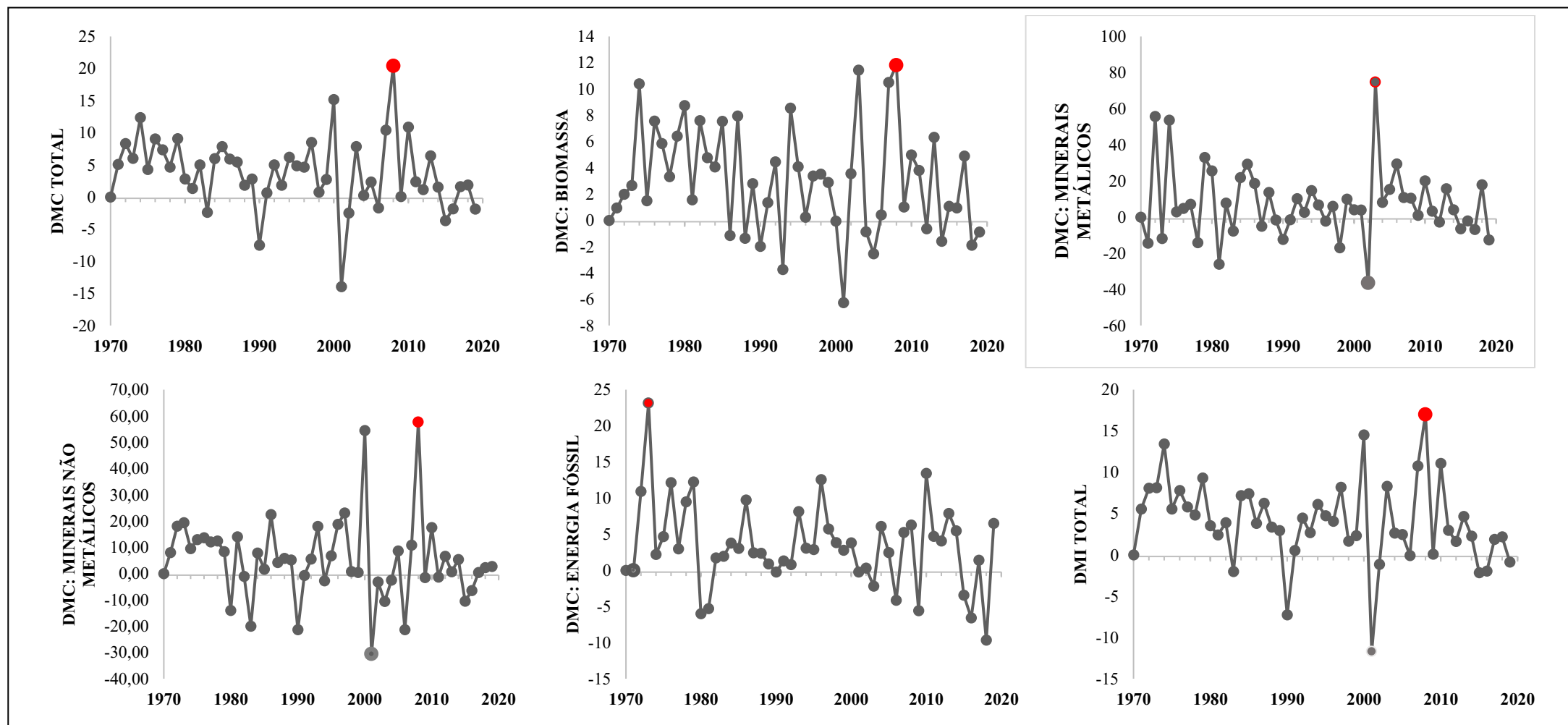
Fonte: IEA Database. 1) Valores convertidos de 10m³ para kton. Dados a partir de 1999.

**Apêndice 14.** Análise das Taxas de Variação (em %), com destaque para os pontos de Pico.



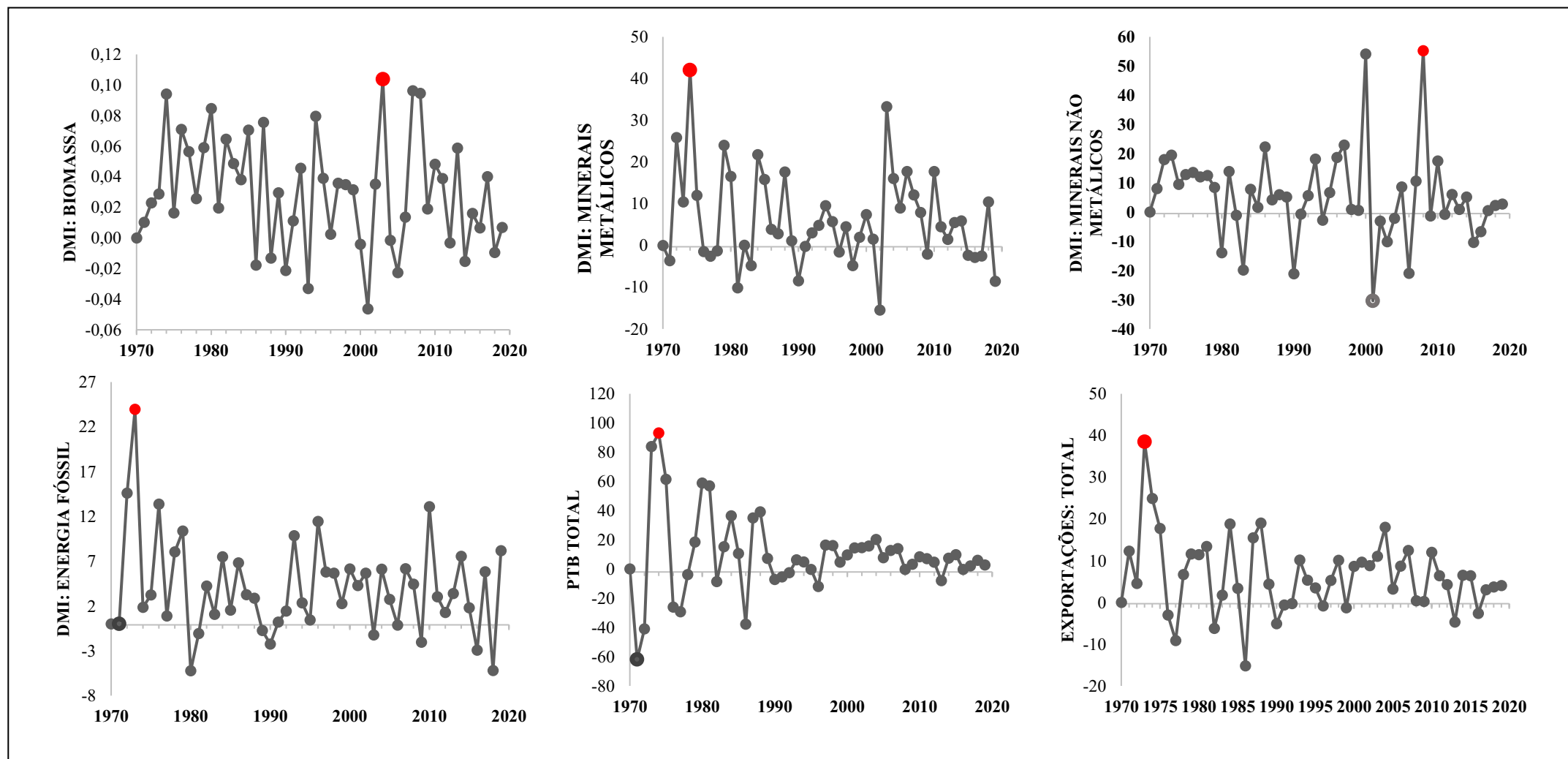
Fonte: Elaborado pelo autor. Adaptado de Eurostat (2018). Pontos de Pico em vermelho.

**Apêndice 15.** Análise das Taxas de Variação (em %), com destaque para os pontos de Pico.



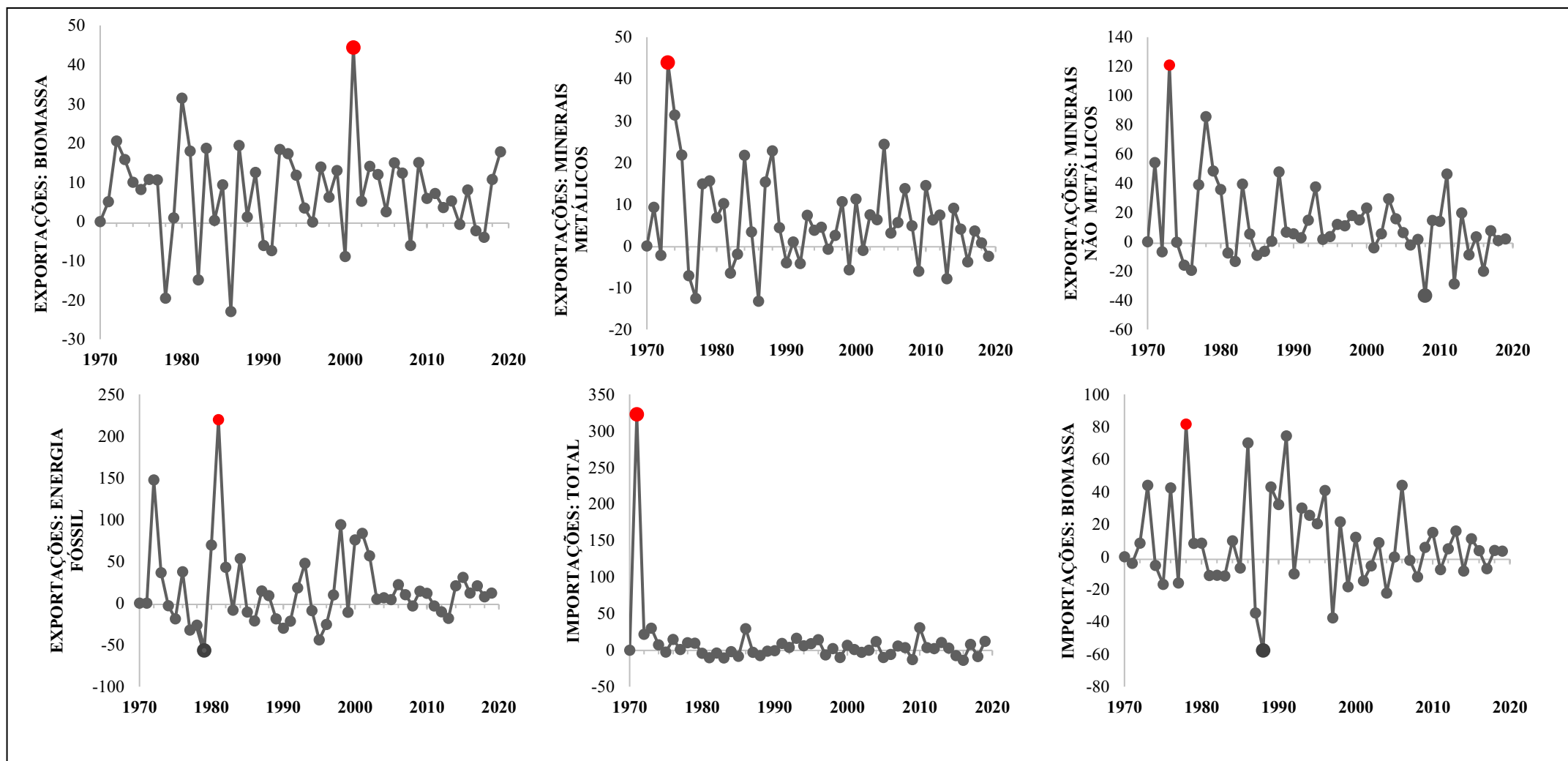
Fonte: Elaborado pelo autor. Adaptado de Eurostat (2018). Pontos de Pico em vermelho.

**Apêndice 16.** Análise das Taxas de Variação (em %), com destaque para os pontos de Pico.



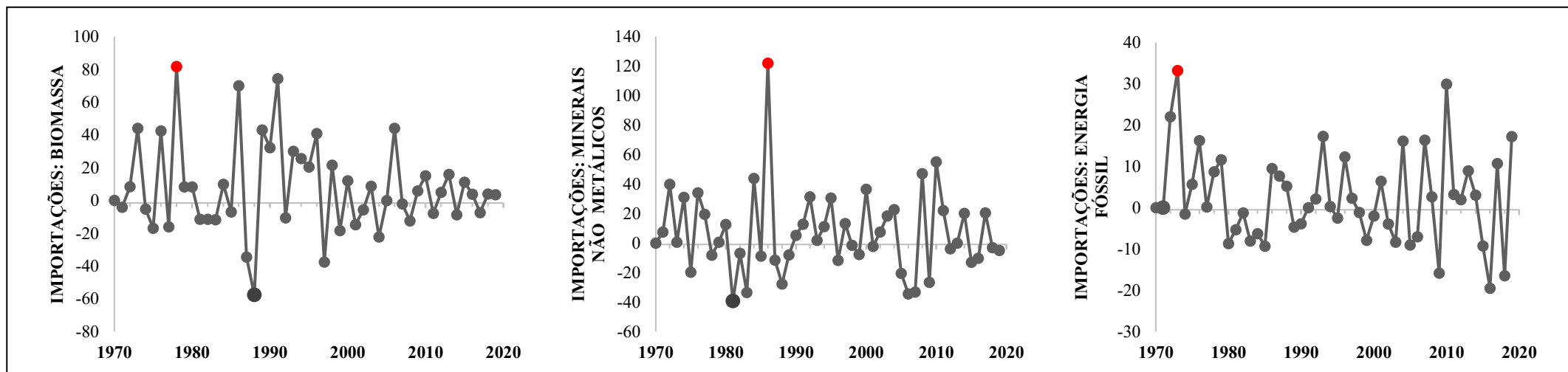
Fonte: Elaborado pelo autor. Adaptado de Eurostat (2018). Pontos de Pico em vermelho.

**Apêndice 17.** Análise das Taxas de Variação (em %), com destaque para os pontos de Pico.



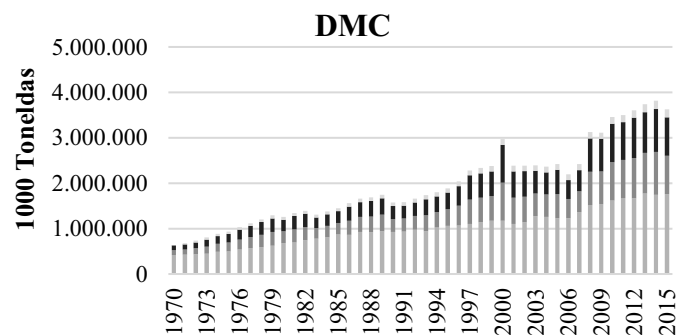
Fonte: Elaborado pelo autor. Adaptado de Eurostat (2018). Pontos de Pico em vermelho.

**Apêndice 18.** Análise das Taxas de Variação (em %), com destaque para os pontos de Pico.

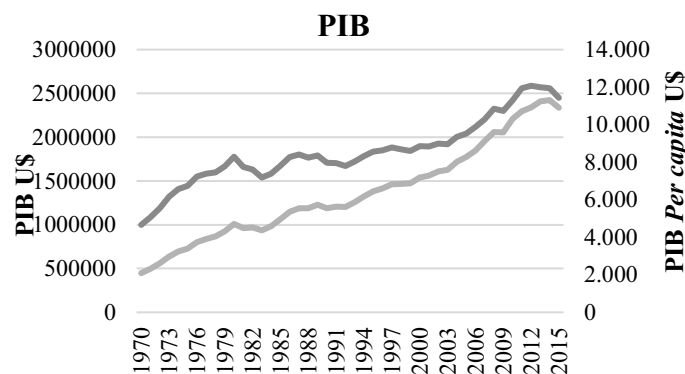


Fonte: Elaborado pelo autor. Adaptado de Eurostat (2018). Pontos de Pico em vermelho.

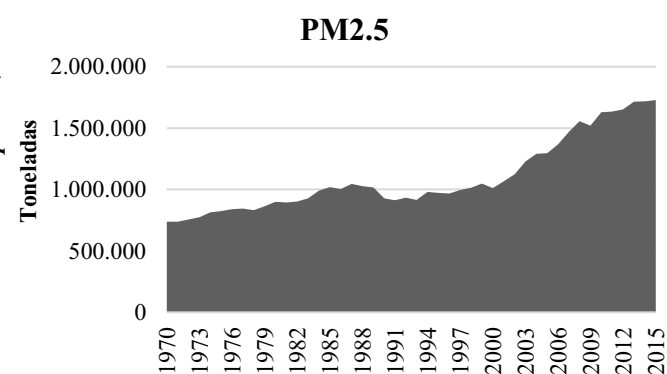
## Apêndice 19. Síntese Descritiva dos Dados.



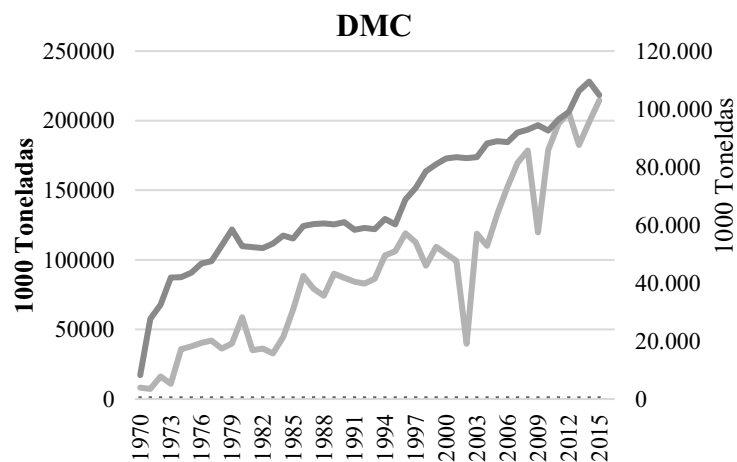
■ Biomassa      ■ Minerais Metálicos  
■ Minerais não Metálicos      ■ Energia Fóssil



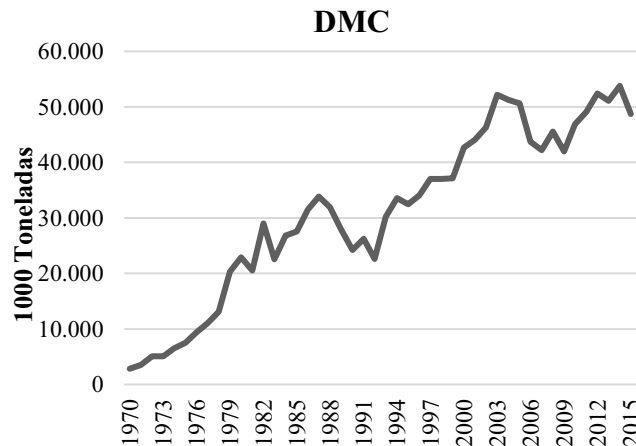
— PIB — PIB Per Capita



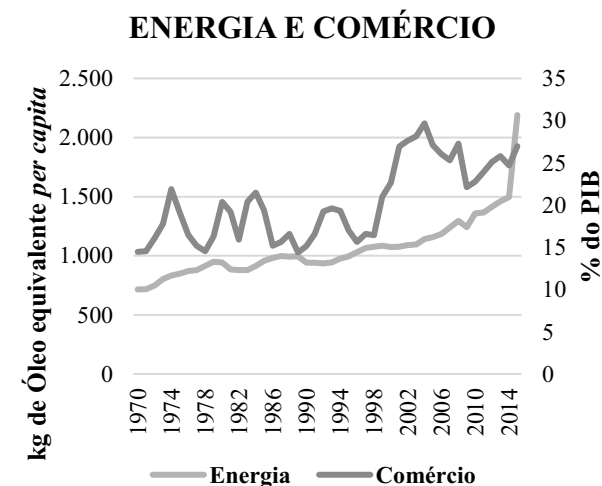
■ Poluição do Ar (PM2.5)



— Minério de Ferro — Petróleo



— Fertilizantes



— Energia — Comércio

Fonte: Elaborado pelo autor.

## Apêndice 20. Diagnóstico de Séries Temporais.

### BIOMASSA

LAG	AC	PAC	Q	Prob>Q	-1 0 1 -1 0 1 [Autocorrelation] [Partial Autocor]
1	0.9256	1.0094	42.038	0.0000	
2	0.8483	0.0542	78.152	0.0000	
3	0.7650	0.2194	108.21	0.0000	
4	0.6884	0.0339	133.12	0.0000	
5	0.6085	0.0534	153.06	0.0000	
6	0.5265	-0.3933	168.36	0.0000	
7	0.4539	0.3612	180.02	0.0000	
8	0.3840	0.1873	188.59	0.0000	
9	0.3282	0.0977	195.02	0.0000	
10	0.2860	0.3982	200.03	0.0000	
11	0.2452	0.4011	203.83	0.0000	
12	0.1981	-0.4562	206.38	0.0000	
13	0.1515	-0.0198	207.91	0.0000	
14	0.1173	-0.1730	208.86	0.0000	
15	0.0870	0.5312	209.4	0.0000	
16	0.0511	-0.1035	209.59	0.0000	
17	0.0099	0.0473	209.6	0.0000	
18	-0.0230	1.0166	209.64	0.0000	
19	-0.0557	1.2952	209.9	0.0000	
20	-0.0853	-0.0084	210.51	0.0000	
21	-0.1178	1.5700	211.74	0.0000	

### MINÉRIO METÁLICO

LAG	AC	PAC	Q	Prob>Q	-1 0 1 -1 0 1 [Autocorrelation] [Partial Autocor]
1	0.8825	0.9487	38.217	0.0000	
2	0.7764	0.2561	68.47	0.0000	
3	0.6702	0.0078	91.534	0.0000	
4	0.5559	-0.1037	107.78	0.0000	
5	0.4580	0.0233	119.08	0.0000	
6	0.3566	0.0202	126.1	0.0000	
7	0.3055	0.3100	131.38	0.0000	
8	0.2838	0.5802	136.06	0.0000	
9	0.2832	0.1028	140.85	0.0000	
10	0.3069	0.2288	146.62	0.0000	
11	0.3010	0.2561	152.34	0.0000	
12	0.2912	0.1197	157.85	0.0000	
13	0.2609	-0.0885	162.4	0.0000	
14	0.2120	0.4619	165.5	0.0000	
15	0.1405	-0.0882	166.91	0.0000	
16	0.0367	0.4989	167.01	0.0000	
17	-0.0199	0.1944	167.04	0.0000	
18	-0.0665	2.1196	167.39	0.0000	
19	-0.1062	0.5228	168.31	0.0000	
20	-0.1356	0.5965	169.87	0.0000	
21	-0.1545	3.7511	171.98	0.0000	

### MINÉRIO NÃO METÁLICO

LAG	AC	PAC	Q	Prob>Q	-1 0 1 -1 0 1 [Autocorrelation] [Partial Autocor]
1	0.8825	0.9487	38.215	0.0000	
2	0.7764	0.2557	68.463	0.0000	
3	0.6701	0.0082	91.523	0.0000	
4	0.5558	-0.1041	107.76	0.0000	
5	0.4579	0.0238	119.06	0.0000	
6	0.3565	0.0199	126.07	0.0000	
7	0.3054	0.3103	131.35	0.0000	
8	0.2838	0.5796	136.03	0.0000	
9	0.2832	0.1032	140.82	0.0000	
10	0.3070	0.2290	146.6	0.0000	
11	0.3011	0.2569	152.32	0.0000	
12	0.2913	0.1202	157.83	0.0000	
13	0.2610	-0.0892	162.38	0.0000	
14	0.2120	0.4619	165.48	0.0000	
15	0.1406	-0.0878	166.89	0.0000	
16	0.0367	0.4994	166.99	0.0000	
17	-0.0199	0.1897	167.02	0.0000	
18	-0.0665	2.1195	167.37	0.0000	
19	-0.1062	0.5197	168.29	0.0000	
20	-0.1356	0.6017	169.85	0.0000	
21	-0.1545	3.7560	171.96	0.0000	

### COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

LAG	AC	PAC	Q	Prob>Q	-1 0 1 -1 0 1 [Autocorrelation] [Partial Autocor]
1	0.8964	0.9875	29.428	0.0000	
2	0.8043	0.0626	71.889	0.0000	
3	0.7191	-0.0048	98.44	0.0000	
4	0.6466	-0.2646	120.42	0.0000	
5	0.5784	0.0953	138.44	0.0000	
6	0.5177	0.2714	153.23	0.0000	
7	0.4754	-0.0740	166.02	0.0000	
8	0.4232	-0.0094	176.43	0.0000	
9	0.3807	-0.2261	185.08	0.0000	
10	0.3509	0.2127	192.63	0.0000	
11	0.3081	0.2990	198.62	0.0000	
12	0.2608	0.1654	203.04	0.0000	
13	0.2177	-0.2475	206.21	0.0000	
14	0.1691	-0.0007	208.18	0.0000	
15	0.1161	-0.0678	209.14	0.0000	
16	0.0590	-0.0085	209.4	0.0000	
17	0.0105	0.2731	209.4	0.0000	
18	-0.0389	0.0728	209.52	0.0000	
19	-0.0864	-0.2215	210.13	0.0000	
20	-0.1291	0.3670	211.55	0.0000	
21	-0.1635	0.2079	213.91	0.0000	

### FERRO

LAG	AC	PAC	Q	Prob>Q	-1 0 1 -1 0 1 [Autocorrelation] [Partial Autocor]
1	0.8473	0.9441	35.226	0.0000	
2	0.7581	0.3647	64.068	0.0000	
3	0.6829	0.1747	88.017	0.0000	
4	0.6005	0.2605	106.98	0.0000	
5	0.5086	0.0099	120.91	0.0000	
6	0.4271	-0.0464	130.98	0.0000	
7	0.4388	0.4840	141.88	0.0000	
8	0.3494	-0.1912	148.97	0.0000	
9	0.2834	0.1300	153.77	0.0000	
10	0.2216	0.2406	156.78	0.0000	
11	0.1968	0.1731	159.22	0.0000	
12	0.1424	-0.0848	160.54	0.0000	
13	0.0785	-0.0662	160.95	0.0000	
14	0.1006	0.9182	161.65	0.0000	
15	0.0677	-0.0423	161.97	0.0000	
16	0.0425	0.0476	162.11	0.0000	
17	0.0334	1.2524	162.19	0.0000	
18	0.0213	0.2470	162.23	0.0000	
19	-0.0084	0.9408	162.23	0.0000	
20	-0.0460	1.3262	162.41	0.0000	
21	-0.0744	1.4979	162.9	0.0000	

### FERTILIZANTES

LAG	AC	PAC	Q	Prob>Q	-1 0 1 -1 0 1 [Autocorrelation] [Partial Autocor]
1	0.9196	0.9488	41.495	0.0000	
2	0.8376	0.1935	76.703	0.0000	
3	0.7519	-0.1315	105.73	0.0000	
4	0.6605	-0.0329	128.67	0.0000	
5	0.5847	0.2449	147.08	0.0000	
6	0.5186	0.2826	161.92	0.0000	
7	0.4647	0.1285	174.15	0.0000	
8	0.3978	-0.2024	183.34	0.0000	
9	0.3410	0.0589	190.28	0.0000	
10	0.2891	-0.0021	195.4	0.0000	
11	0.2363	0.2785	198.93	0.0000	
12	0.1735	0.1088	200.88	0.0000	
13	0.1341	0.1043	202.08	0.0000	
14	0.0978	0.6097	202.74	0.0000	
15	0.0672	0.3069	203.06	0.0000	
16	0.0364	0.0719	203.16	0.0000	
17	0.0211	0.3959	203.2	0.0000	
18	0.0005	0.2457	203.2	0.0000	
19	-0.0322	0.4993	203.28	0.0000	
20	-0.0731	0.0222	203.73	0.0000	
21	-0.1166	0.3281	204.94	0.0000	

Fonte: Elaborado pelo autor.

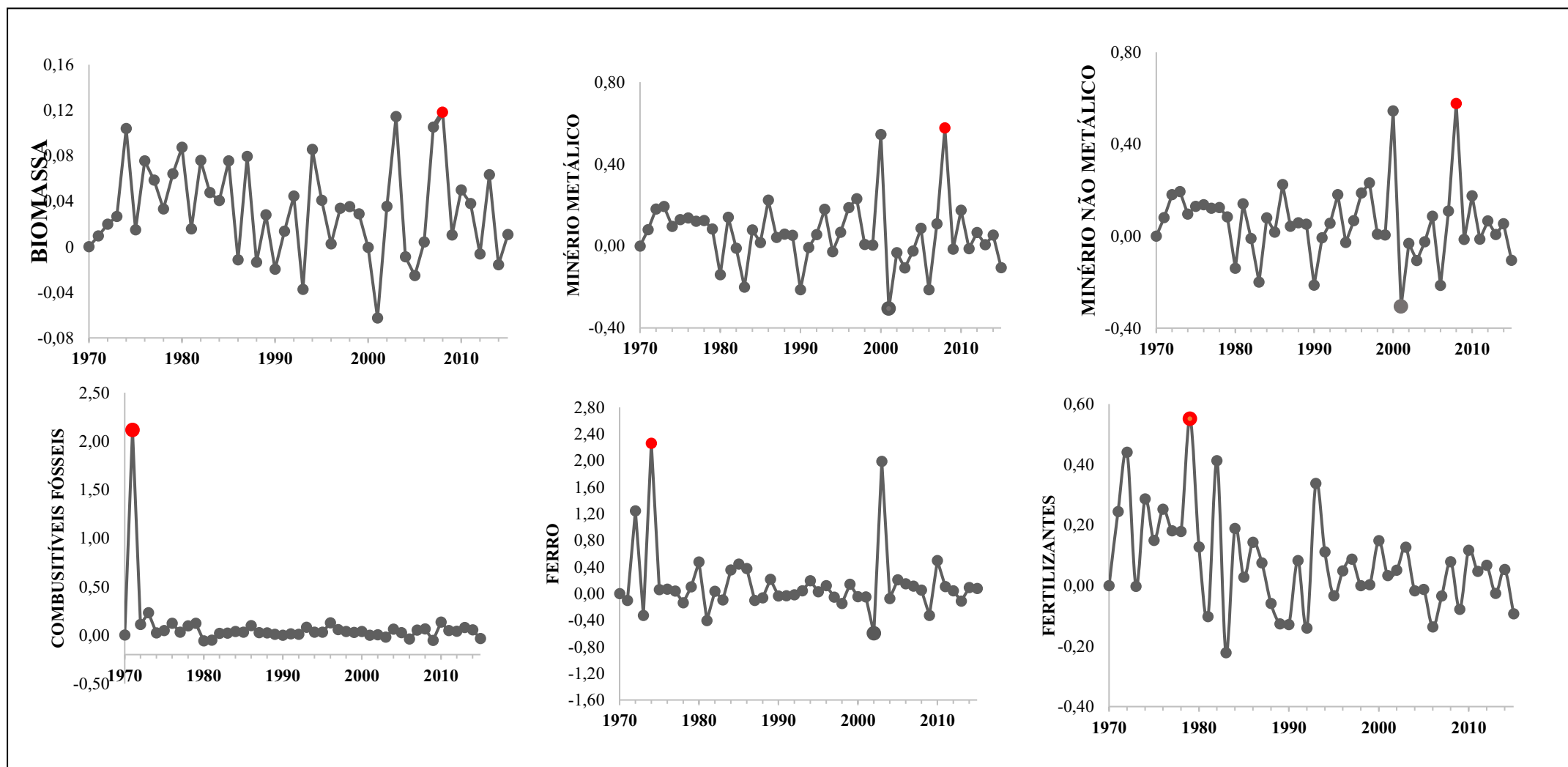


## Apêndice 21. Diagnóstico de Séries Temporais.

</

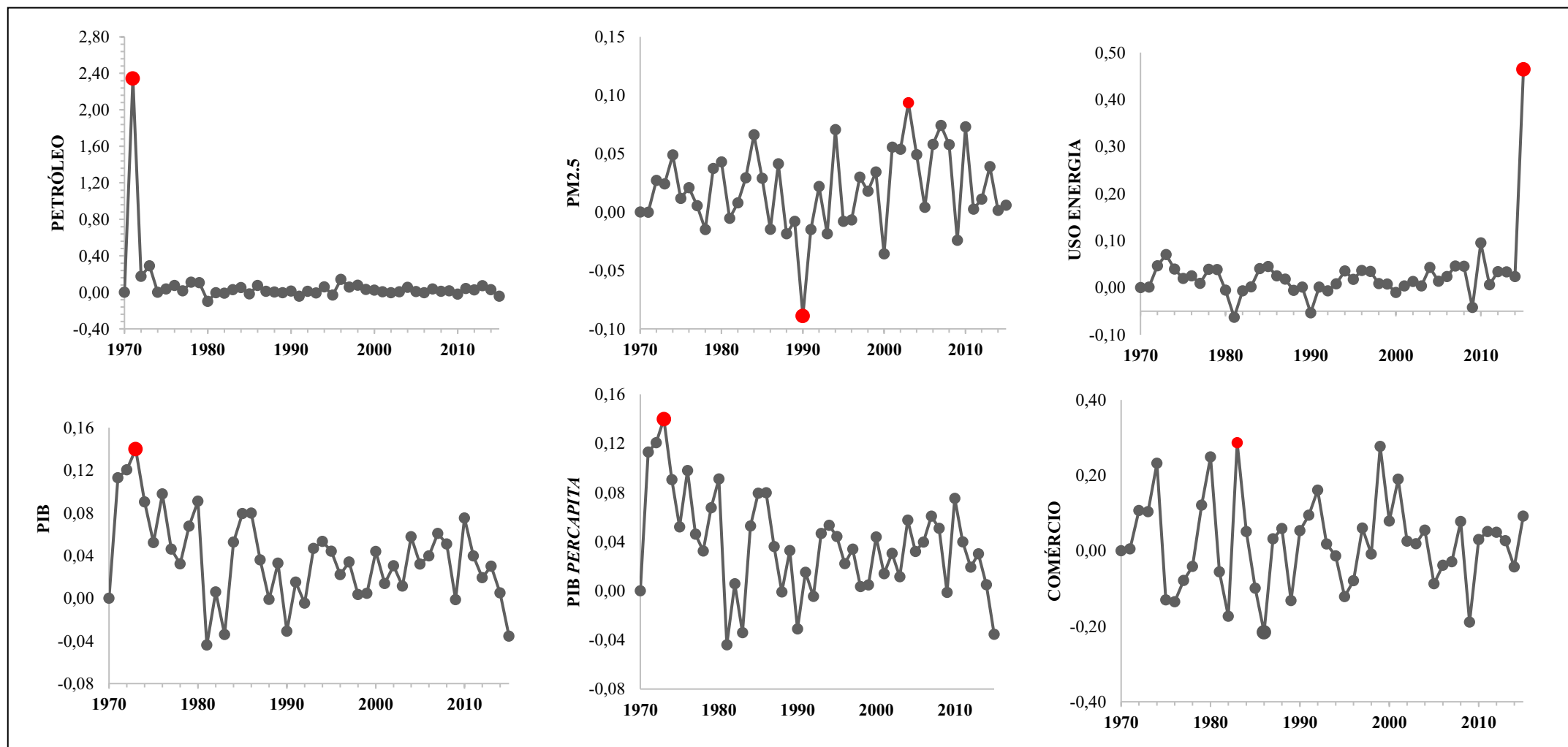
Fonte: Elaborado pelo autor.

**Apêndice 22.** Análise das Taxas de Variação (em %), com destaque para os pontos de Pico.



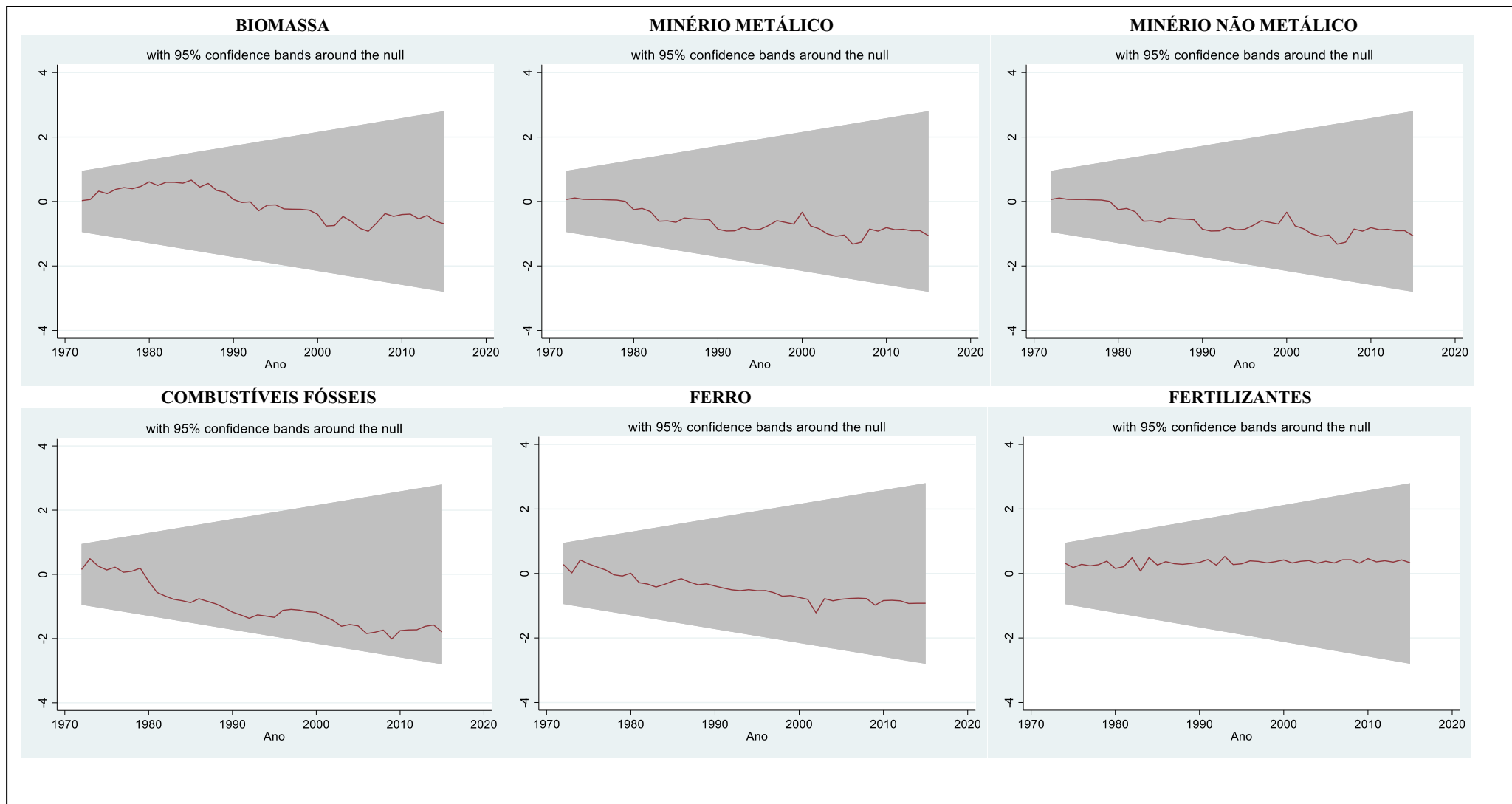
Fonte: Elaborado pelo autor. Pontos de Pico em vermelho.

**Apêndice 23.** Análise das Taxas de Variação (em %), com destaque para os pontos de Pico.



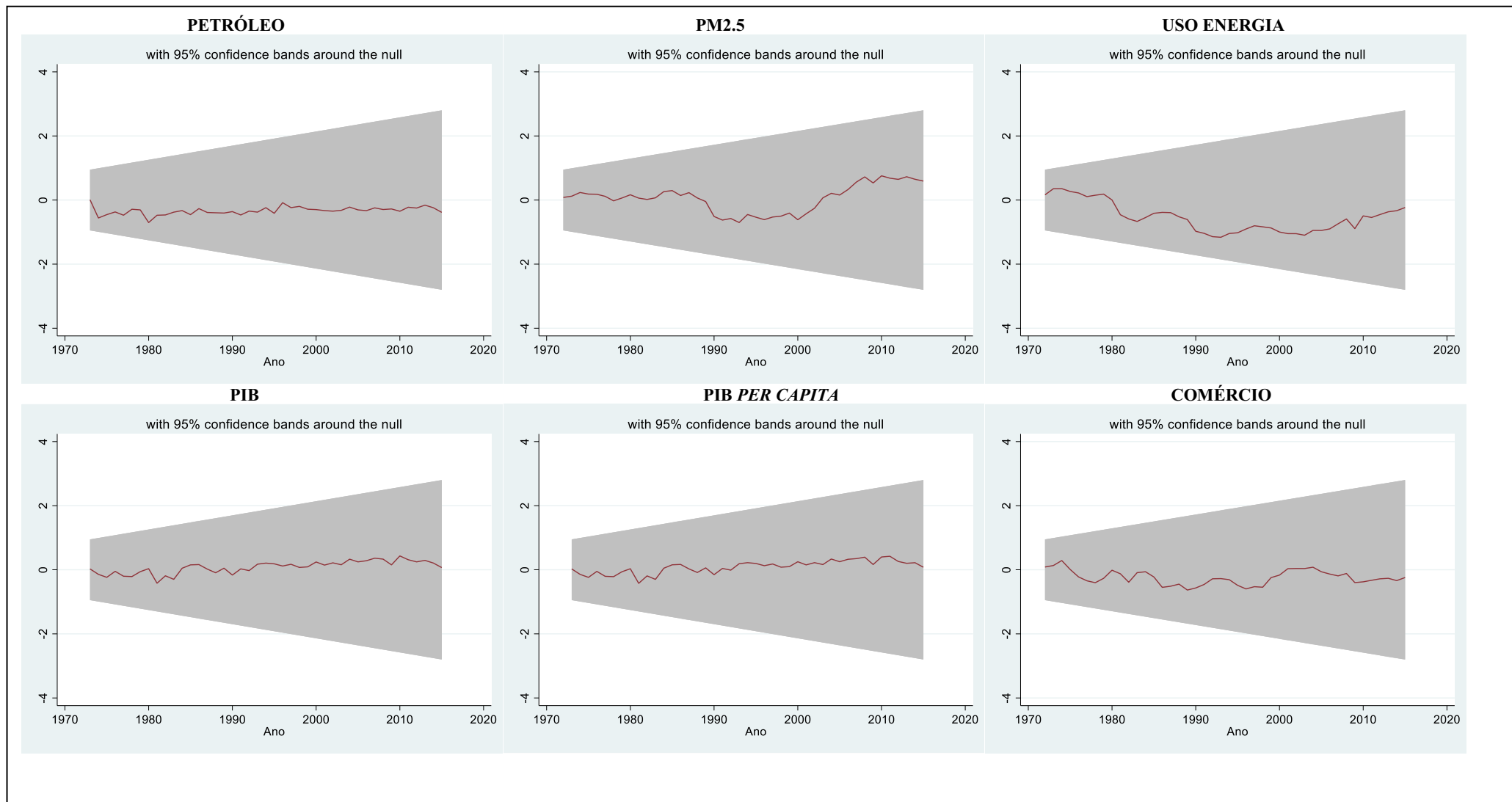
Fonte: Elaborado pelo autor. Pontos de Pico em vermelho.

## Apêndice 24. Estabilidade dos parâmetros utilizando o teste CUSUM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

## Apêndice 25. Estabilidade dos parâmetros utilizando o teste CUSUM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

