

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**A PERSPECTIVA DO METABOLISMO SOCIAL E SUA
CONTRIBUIÇÃO PARA MENSURAÇÃO DA
(IN)SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DO
DESENVOLVIMENTO HUMANO**

**JÚLIA BEATRIZ SILVA DE ALMEIDA
ORIENTADOR: ANDREI DOMINGUES CECHIN
COORIENTADOR: CONCEIÇÃO DE MARIA
ALBUQUERQUE ALVES**

**MONOGRAFIA DO PROJETO FINAL DE ENGENHARIA
AMBIENTAL II**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**A PERSPECTIVA DO METABOLISMO SOCIAL E SUA
CONTRIBUIÇÃO PARA MENSURAÇÃO DA
(IN)SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DO DESENVOLVIMENTO
HUMANO**

JÚLIA BEATRIZ SILVA DE ALMEIDA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

APROVADA POR:

**ANDREI DOMINGUES CECHIN (FACE/UnB)
(ORIENTADOR)**

**CONCEIÇÃO DE MARIA ALBUQUERQUE ALVES (ENC/UnB)
(COORIENTADORA)**

**JOAQUIM JOSÉ GUILHERME ARAGÃO (ENC/UnB)
(EXAMINADOR)**

**SAULO RODRIGUES FILHO (CDS/UnB)
(EXAMINADOR)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 09 DE NOVEMBRO DE 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

ALMEIDA, JÚLIA BEATRIZ SILVA DE

A perspectiva do metabolismo social para mensuração da (in)sustentabilidade ambiental do desenvolvimento humano.

x, 62p., 297mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2021)

Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Desenvolvimento Humano

3. Sustentabilidade

2. Metabolismo Social

4. Fluxo de Materiais

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALMEIDA, J. B. S., (2021). *A PERSPECTIVA DO METABOLISMO SOCIAL PARA MENSURAÇÃO DA (IN)SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DO DESENVOLVIMENTO HUMANO*. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 62p.

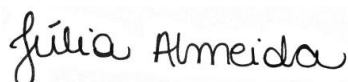
CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Júlia Beatriz Silva de Almeida

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: A perspectiva do metabolismo social para mensuração da (in)sustentabilidade ambiental do desenvolvimento humano.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2021

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósito acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Júlia Beatriz Silva de Almeida

juliabsalmeida@hotmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me abençoado durante toda minha vida e principalmente nessa fase. Por nunca ter me abandonado e ter me dado forças para continuar.

Agradeço a minha família, minha irmã e minha mãe por serem exatamente quem são e por me inspirarem em tantos aspectos. Um agradecimento em especial ao meu pai, Amauri, por ser meu melhor amigo e parceiro. Por ter me apoiado durante toda a vida, por me dar espaço para ser quem eu sou e me amar. Pai, você é e sempre será minha maior inspiração e força. Te amo

Agradeço também aos meus avós e avôs, meus ancestrais. Respeito e honro toda a jornada e vida de cada um deles que me trouxe ao lugar que estou.

Agradeço minha irmã de alma, Fernanda Marques. Obrigada por sempre me apoiar, ouvir, ajudar, animar e ser minha twin. Só nós sabemos da nossa ligação. Um pedaço dessa conquista é para você.

Agradeço a Ana Clara Miranda e Bianca Werneck por representarem tanto na minha vida. Vocês são minha base.

Agradeço a Carol Feliz, Marinna Dias Pereira, Ana Luiza Rabelo, Letícia Morais por estarem comigo durante esses anos todos. Espero que possamos celebrar outras várias conquistas nessa vida juntas.

Agradeço aos amigos que fiz durante a jornada na UnB, que sozinha eu não ter conseguido. A Rayssa Kleftakis, Vitor Aviani, Marcus Villar, Shayan, Felipe Damasceno, Matheus Mello, Gabriel Klein, Mario, Tainá Guimarães, Lorena Henriques. Em especial, quero agradecer a Thainah Freitas, Isabella Lima, Paulo Buta, Diego Godoy e Erick Valadares por estarem comigo desde o primeiro dia de faculdade. Vocês têm um lugar especial no meu coração e levarei nossa amizade pelo resto da vida.

Agradeço a Universidade de Brasília por ter me proporcionado tantos momentos enriquecedores. Essa fase da minha vida será lembrada com muito carinho e amor. Agradeço

aos meus professores, por exercerem essa profissão tão admirável, ensinando e moldando futuros profissionais e seres humanos.

Agradeço ao meu orientador Andrei Cechin que transmitiu seu amor por dar aula durante a disciplina de Economia Ambiental, que tive a sorte de cursar. A partir dela que meu interesse pela área surgiu e motivo pelo qual escolhi esse tema de projeto final. Obrigada por ter me orientado, me guiado, me ensinado e dividido um pouco desse amor com os alunos.

Por fim, agradeço a mim mesma. Por ter crescido durante esse processo de graduação, me permitido a novas experiências. Hoje termino essa etapa tendo orgulho da minha trajetória e de quem me tornei. Obrigada.

RESUMO

Com o passar dos anos, o aumento do desenvolvimento trouxe consigo a melhora na qualidade de vida de alguns países, principalmente daqueles que detinham um PIB alto. Porém, o modelo predominante de desenvolvimento veio acompanhado do uso acelerado dos recursos naturais, causando impactos ambientais que podem se tornar irreversíveis. A consequência foi tamanha que cientistas começaram a debater o surgimento de uma nova época geológica, conhecida como Antropoceno, causada, pela primeira vez, através das ações antropogênicas. A ideia de desenvolvimento sustentável foi então vista como um meio necessário para evitar maiores pressões no meio ambiente. Como meio de entender os processos ocorridos nos países e identificar a sua (in)sustentabilidade, o presente trabalho faz uma análise do metabolismo social das economias, ou seja, um estudo sobre os processos de troca de materiais entre a sociedade e o meio ambiente, analisando a estrutura da dinâmica de fluxo de estoque e as conexões entre os processos físicos, econômicos e as atividades humanas de produção e consumo. Para isso, serão utilizados os indicadores DMC (Domestic Material Consumption) e pegada material para analisar os fluxos de materiais dos países que mais sofreram ajustes com o IDH ajustado as pressões planetárias do Relatório de Desenvolvimento Humano 2020 desenvolvido pelo PNUMA. Além disso, será analisado o fluxo através da complexidade econômica de um país. O objetivo é entender como o uso dos recursos e o fluxo dos mesmos tem contribuído para a (in)sustentabilidade do modelo de desenvolvimento humano vigente.

ABSTRACT

Over the years, the increase in development was accompanied by the improvement in the quality of life of some countries, especially those with high GDP. However, development came with the intensive use of natural resources, causing irreversible environmental impacts. The consequences were such that scientists began the debate of the Anthropocene, a new geological epoch caused, for the first time, through anthropogenic actions. The idea of sustainable development was then seen as a necessary means to avoid greater pressures to the environment. As means of understanding the processes occurring in countries and identify the (un)sustainability, this study aims to analyse the social metabolism in economies, which is a study on the processes of exchange between society and the environment, analysing the material flow and connections between physical, economic and human activity. To reach this understanding, two indicators will be: DMC (domestic material consumption) and material footprint to analyse the material flow in countries listed in the Human Development Report 2020 developed by UNEP. The research aims to understand how the use of resource and their flow have contributed to the (un)sustainability of human development.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1. O QUE É E COMO TEM SIDO MEDIDO O DESENVOLVIMENTO?	17
3.1.1. Desenvolvimento como crescimento da renda per capita vs desenvolvimento humano	17
3.1.2 Os componentes do IDH.....	19
3.2 O QUE É E COMO TEM SIDO MEDIDA A (IN)SUSTENTABILIDADE? ...	22
3.2.2 Sustentabilidade	23
3.2.3 Sustentabilidade fraca vs sustentabilidade forte	25
3.2.4 Metabolismo social: teoria e indicadores.....	28
4. MATERIAIS E MÉTODOS	34
Análise do Relatório de Desenvolvimento Humano 2020.....	34
Complexidade Econômica	35
Fluxo dos Materiais.....	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5.1. Cota justa hipotética.....	37
5.2. Composição e complexidade das economias	39
5.2 Perfil de uso de materiais na produção e consumo dos países.....	47
6. CONCLUSÃO.....	54
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Comparação entre o indicador de PNB per capita e o IDH. Fonte: Adaptado traduzido do Relatório de Desenvolvimento 1990.....	21
Figura 2: Limites planetários. Fonte: Adaptado traduzido do ROCKSTRÖM et al, 2009	28
Figura 3: Tendência do PIB, população, extração doméstica dos materiais, exportação e exportação de matéria prima equivalente. Fonte: Adaptado traduzido do Global Material Flows and Resource Productivity (2016)	32
Figura 4: Representação do desacoplamento e impactos. Fonte: Adaptado traduzido do PNUMA, 2011	33
Figura 5: Mudanças relativas no uso total de recursos (DMC e pegada material) e PIB entre os anos de 1990 e 2008. Fonte: Adaptado traduzido do WIEDMANN, 2015	34
Figura 6: Tabela do índice de desenvolvimento humano ajustado às Pressões sobre o Planeta. Fonte: Adaptado do RDH, 2020.....	35
Figura 7: Fronteiras Planetárias per capita ou por unidade de área. Fonte: RDH (2020)	38
Figura 8: Balanço das transgressões dos 10 países mais bem classificados no Índice de Desenvolvimento Humano, com informações sobre os cinco indicadores de índice de pressão excessiva sobre o planeta. Fonte: RDH (2020).....	39
Figura 9: Emissões absolutas de Gases do Efeito Estufa (GEE) dos seis principais emissores. Fonte: Adaptado traduzido do Relatório sobre a Lacuna de Emissões, PNUMA (2020)	40
Figura 10: Exportações da China no ano 2018. Fonte: Adaptado do The Observatory of Economic Complexity (OEC)	41
Figura 11: Gráfico dos setores de mais emissão de dióxido de carbono no Brasil. Fonte: Adaptado traduzido do WRI Brasil apud Climate Watch, 2016.	42
Figura 12: Exportações do Brasil para o ano 2017. Fonte: DataViva, 2021.....	43

Figura 13: Importações do Brasil para o ano 2017. Fonte: DataViva, 2021.....	44
Figura 14: Porcentagem de importações de Singapura. Fonte: The Observatory of Economic Complexity (OEC), 2019.	45
Figura 15: Emissões de gases de efeito estufa por setor econômico no Canadá, entre os anos de 1990 a 2019. Fonte: Adaptada traduzida do Governo do Canadá.	46
Figura 16: Evolução da complexidade dos países. Fonte: The Atlas of Economic Complexity	47
Figura 17: DMC da China e Estados Unidos no ano 2016 em toneladas.. Fonte: Adaptado traduzido do Material Flows. Disponível em: http://www.materialflows.net/visualisation-centre/data-visualisations	49
Figura 18: DMC da Austrália, Brasil, Canadá e Singapura em 2015 em toneladas. Fonte: Adaptado traduzido do Material Flows. Disponível em: http://www.materialflows.net/visualisation-centre/data-visualisations)	50
Figura 19: Comparação entre os indicadores DMC e Pegada Material para os 6 países selecionados no ano de 2013. Fonte: Adaptado traduzido do Material Flow Analysis.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Indicadores de fluxo de materiais	37
---	----

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.1 – Índice de expectativa de vida

Equação 3.2 – Índice de educação

Equação 3.3 – Índice de renda

Equação 3.4 – Poupança genuína

Equação 3.5 – DMC (Domestic Material Consumption)

Equação 3.6 – DMI (Domestic Material Inputs)

LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

DMC	Domestic Material Consumption
EUA	Estados Unidos da América
IDG	Índice de Desigualdade de Gênero
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDHAD	IDH Ajustado a Desigualdade
IDHP	IDH ajustado as pressões sobre o planeta
IEA	Internacional Energy Agency
IPM	Índice de Pobreza Multidimensional
K	Estoque de Capital Total
Kh	Capital Humano
Kn	Capital Natural
Kp	Capital Produzido
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PIB	Produto Interno Bruto
PNB	Produto Nacional Bruto
PNUMA	Programa das Nações Unidas Para o Meio Ambiente
RDH	Relatório de Desenvolvimento Humano
SEEG	Sistema de Estimativa de Gases do Efeito Estufa
Sfor	Sustentabilidade Forte
Sfra	Sustentabilidade Fraca

1. INTRODUÇÃO

O uso global de materiais tem crescido nas últimas décadas, enquanto o crescimento econômico e populacional desacelerado (PNUMA, 2016). Quanto maior for a quantidade de material utilizado, mais pressão ambiental estaremos exercendo no meio ambiente. Isso resultará em mudanças climáticas, níveis mais elevados de acidificação e eutrofização dos solos e corpos d'água, diminuição da biodiversidade, erosão e aumento da quantidade de resíduos e poluição do ar.

A elevada utilização dos recursos naturais intensificou-se com a melhora do desenvolvimento humano. Se os países em desenvolvimento seguirem o mesmo caminho, a pressão exercida no planeta será ainda maior do que a atual. A continuação dessa forma de desenvolvimento leva ao questionamento acerca da disponibilidade das fontes de energia, e principalmente do equilíbrio ecológico necessário ao bem-estar humano.

Com essa preocupação, o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) desenvolveu o Relatório de Desenvolvimento Humano (RDH) 2020, com o objetivo de trazer luz às questões como mudanças climáticas, limites planetários, a nova época geológica do Antropoceno. Para classificar o desenvolvimento a partir dos impactos resultantes, viu-se necessária a criação do IDH Ajustado às Pressões sobre o Planeta (IDHP), que inclui as emissões de dióxido de carbono e a pegada material como nova variante (RDH, 2020).

Um país que não exerce qualquer pressão sobre o planeta terá o IDHP e o IDH equivalentes, tendo o IDHP inferior ao IDH à medida que a pressão aumenta (RDH, 2020). Apesar da grande importância da introdução desse índice, os números apresentados não levam em conta os determinantes dessa pressão em cada país. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo contribuir para o entendimento da relação entre desenvolvimento dos países e a (in)sustentabilidade global, através do RDH 2020 e comparação dos determinantes da pressão entre os países que mais tiveram redução nos valores do IDH depois de ajustado ambientalmente.

Para um entendimento mais detalhado da (in)sustentabilidade, é necessário avaliar a ciclo dos recursos naturais utilizados por uma economia. Com isso, algumas perguntas surgem: Qual a relação entre a sofisticação e complexidade da estrutura produtiva dessas sociedades com alto

desenvolvimento humano e o uso de recursos naturais por essas sociedades? Quando partimos de uma perspectiva do consumo dos países de alto IDH, é correto afirmar que há desacoplamento entre desenvolvimento e uso de recursos naturais?

Para responder a essas questões, o trabalho apresenta a seguinte estrutura: o capítulo 3 apresenta uma fundamentação teórica do que seria o desenvolvimento e como tem sido medido, a teoria da (in)sustentabilidade e o conceito de sustentabilidade forte vs fraca. O capítulo 4 lista os materiais e métodos que foram utilizados para obtenção dos dados necessários, seguindo para o capítulo 5 que expõem os dados obtidos de acordo com os países usados para o estudo e por fim, o capítulo 6 apresenta a conclusão.

2. OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Contribuir para o entendimento da relação entre desenvolvimento humano e a (in)sustentabilidade ambiental global.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o IDH ajustado a pressões ambientais no Relatório de Desenvolvimento Humano 2020
- Analisar e comparar os Determinantes da pegada material e das emissões dos países que mais sofrem com o ajuste ambiental do IDH

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. O QUE É E COMO TEM SIDO MEDIDO O DESENVOLVIMENTO?

3.1.1. Desenvolvimento como crescimento da renda per capita vs desenvolvimento humano

Silva (2018) afirma que aceitar como conceito de desenvolvimento a ideia que as políticas sociais são para a promoção da redução das desigualdades, com a noção de sustentabilidade aplicado nas esferas econômicas, sociais e ambientais, é apenas concordar com o senso comum. Para entender como a sociedade chegou na concepção do que é o desenvolvimento, é necessário voltar na história.

Sendo assim, partindo das influências das grandes guerras, a Primeira Guerra Mundial pautou o fim da superioridade europeia e sua capacidade na ciência e tecnologia em superar limitações materiais e intelectuais do progresso (SANTOS, 2014). A partir da Teoria do Liberalismo de Adam Smith, e do aprofundamento das teorias de David Ricardo e Karl Marx, começa então surgir a ideia de desenvolvimento como sinônimo de crescimento econômico (SILVA, 2018). A partir desses pensamentos foi constituído o debate sobre a economia, em relação à produção de riqueza e ao progresso como desenvolvimento (SANTOS, 2014).

Após a Segunda Guerra Mundial, a situação dos territórios coloniais que estavam se tornando independentes era de extrema pobreza, enquanto os países industrializados necessitavam de reconstrução (GOMEZ, 2002). Esse contexto levou a modificação da base do funcionamento do capitalismo, já que certos países, através de mudança na indução pública dos investimentos, controle estatal da oferta de bem públicos e novos monopólios nacionais no transporte, comunicação e energia, tiveram imediata ascensão pós-guerra (ALMEIDA, 2001). Juntamente com as ideias de Keynes, esse novo modelo trazia a intervenção na economia afim de elevar os níveis de desenvolvimento (GOMEZ, 2002), que no caso contaria com um elevado padrão de consumo, acumulação de bens e altas taxas de crescimento econômico (SILVA, 2018).

O modelo é evidenciado quando, em seu discurso inaugural como presidente dos Estados Unidos, Harry S. Truman utiliza o termo “países subdesenvolvidos” pela primeira vez, dando início a corrida desenvolvimentista (GOMEZ, 2002). Essa classificação se baseava em

indicadores econômicos, significando que desenvolvimento era sinônimo de industrialização, estabelecendo uma hierarquia entre os países (SILVA, 2018).

De acordo com Gomez (2002), esse plano desenvolvimentista pode ser dividido em três etapas. A primeira, começando nos anos 50, com as Nações Unidas definindo o Produto Nacional Bruto¹ (PNB) como indicador. Visto que o indicador contabiliza apenas a questão econômica do país, nos anos 1960 e 1970 começaram os debates sobre a utilização dele não reduzir a pobreza. A segunda etapa é então caracterizada pela necessidade de melhorar o nível quantitativo e qualitativo da produção para haver mudança nas condições de vida dos países então julgados como subdesenvolvidos, ao invés de simplesmente associar crescimento econômico como meio de incorporá-los no grupo de países desenvolvidos.

Nos anos 80, já na terceira etapa, o desenvolvimento econômico viria ligado ao social, mostrando a importância da educação e melhores condições de vida para um desenvolvimento econômico.

Como já visto, a sociedade busca o melhor meio para o desenvolvimento, de modo a incorporar várias esferas além da econômica. O economista Amartya Sen traz um novo termo para esse debate, afirmando que: “O desenvolvimento tem de estar relacionado sobretudo com a melhora da vida que levamos e das liberdades que desfrutamos” (SEN, 2000).

A perspectiva de desenvolvimento como liberdade apresentado por Sen (2000) parte do princípio que o desenvolvimento deve remover as principais fontes de privações, como: pobreza e tirania, carência de oportunidades econômicas e destruição social sistemática, negligência dos serviços públicos e intolerância ou interferência excessiva dos Estados repressivos. A privação de certos serviços restringe a possibilidade de escolha pelos indivíduos. A noção de liberdade adotada para essa teoria é a que envolve processos, permitindo a liberdade de ações, e decisões como as oportunidades que o indivíduo tem conforme suas circunstâncias.

Sen (2000) explica que a liberdade a qual ele se refere pode ser de vários tipos, seja instrumentais ou construtiva. A liberdade instrumental diz sobre a possibilidade de as pessoas

¹ Produto Nacional Bruto é índice calculado a partir do PIB, que seria a soma de todos os bens e serviços finais produzidos por um país, e a medida de toda entrada e saída de rendimento.

terem uma vida livre, como desejarem. Para garantir esse meio, a melhor forma que o governo pode proceder é a partir da democracia. A liberdade construtiva diz sobre o direito de voto e o exercício da cidadania, como liberdade de expressão.

Sen (2000) afirma que a liberdade é central para o processo de desenvolvimento por conta da razão avaliatória e a eficácia. A razão avaliatória estima o progresso de acordo com o aumento da liberdade das pessoas. Já a razão da eficácia diz que o desenvolvimento depende da livre condição de agente das pessoas.

Sendo a liberdade um elemento básico, deve-se levar em consideração a expansão das capacidades para que o indivíduo tenha a oportunidade de viver a vida que deseja ter. Para o autor, ter uma vida longa e saudável, ser instruído, ter acesso aos recursos necessários a um nível digno e ser capaz de participar da vida em comunidade são consideradas capacidades humanas elementares (SEN, 2000).

Vale ressaltar que a noção de desenvolvimento proposta pelo economista Sen não se desvincula do processo de crescimento econômico e acumulação de capital, mas abrange muitas outras variáveis. Não impõem como certeza e único critério de desenvolvimento a ser seguido pelos países, já que considera componentes distintos de liberdade, levando em conta a liberdade diferente para diversas pessoas. O ponto crucial desse conceito é trazer luz a aspectos importantes que compõem o processo.

Por meio dessa análise de desenvolvimento, Sen acredita que o estudo sobre o bem-estar humano deveria incidir sobre as liberdades geradas pelos bens e não pelos bens propriamente dito. Ou seja, uma observação sobre como as pessoas vivem, a vida real e a liberdade necessária para que cada indivíduo busque o que considerar importante. Esse conceito foi utilizado, juntamente com o economista Mahbub ul Haq, na criação do Relatório de Desenvolvimento Humano, em 1990, como tentativa de apresentar essa realidade (BOMFIM, 2012).

3.1.2 Os componentes do IDH

O primeiro Relatório de Desenvolvimento Humano (RDH) da ONU, em 1990, teve como foco colocar as pessoas como centro do processo de desenvolvimento. A ideia de Mahbub ul Haq, juntamente com o economista Amartya Sen, ao desenvolver o relatório, seria a criação de um

número para o desenvolvimento que chamaria atenção para concentração econômica no bem estar humano. O economista Mahbub afirma que, para a mensuração do desenvolvimento humano, o ideal seria a utilização de muitas variáveis, porém, por conta da disponibilidade de dados comparativos para análise, focaria nos três elementos essenciais para a vida humana: longevidade, educação e padrão de vida decente. A essa métrica foi atribuído o nome de Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (RDH, 1990).

Para o componente longevidade, foi utilizado o indicador de expectativa de vida, por estar indiretamente ligado a outros benefícios como alimentação e boa saúde. O componente educação está associado à alfabetização da população, sendo o início para o aprendizado. Já o último componente, padrão de vida decente, pela dificuldade de encontrar dados que indiquem por completo (acesso a propriedade, renda, crédito), foi escolhido o indicador de PIB per capita por ter ampla cobertura nacional. Mahbub afirma que as medidas escolhidas não apresentam o valor exato do desenvolvimento humano, por conta da grande disparidade na população, não incluindo a diferença de expectativa de vida em diferentes grupos sociais, a alfabetização entre homens e mulheres e a distribuição desigual da renda (RDH, 1990).

Como exemplificado na Figura 1, comparando a análise do IDH e o Produto Nacional Bruto (PNB) para 130 países, é observado que alguns países apresentam o PNB baixo, porém com o IDH alto. Isso indica que foram direcionados recursos da economia para aspectos do desenvolvimento humano. Esse exemplo demonstra a importância de um índice que engloba outras dimensões, para além da economia.

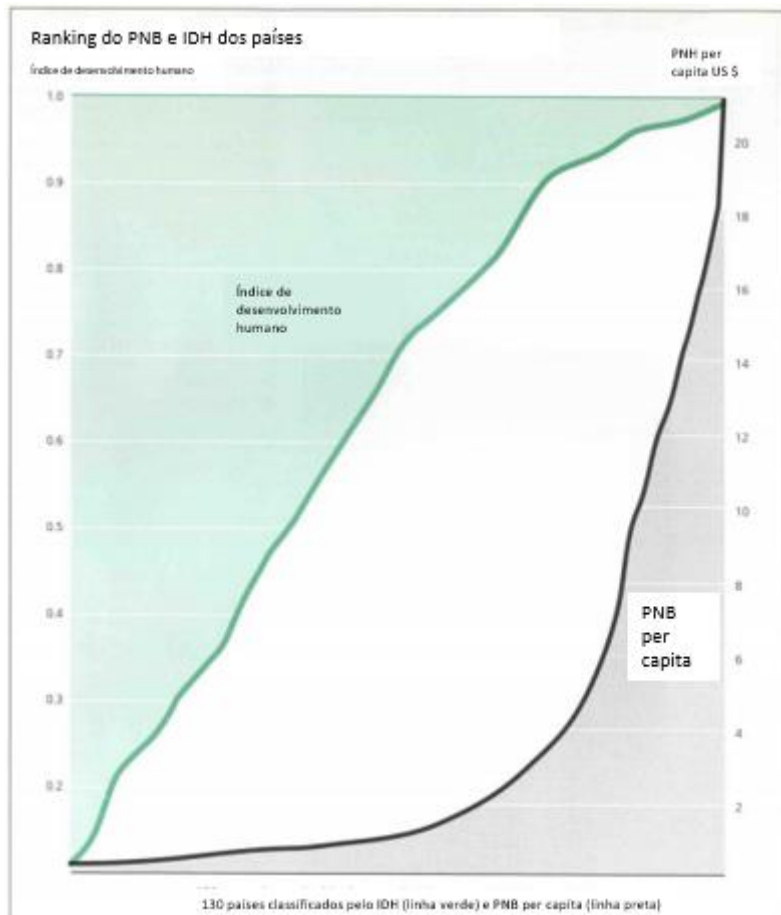


Figura 1: Comparação entre o indicador de PNB per capita e o IDH. Fonte: Adaptado traduzido do Relatório de Desenvolvimento 1990.

A partir do RDH 2010 até os dias atuais, o cálculo do IDH é feito a partir da média geométrica dos índices de expectativa de vida (EV), índice de educação (EI) e o índice de renda (IR):

$$EV = \frac{EV-20}{83,2-20} \quad (\text{Equação 3.1})$$

$$EI = \sqrt{\frac{IMAE \times IAEE}{0,951-0}} - 0 \quad (\text{Equação 3.2})$$

$$IR = \frac{\ln(PIBpc) - \ln(163)}{\ln(108.211) - \ln(163)} \quad (\text{Equação 3.3})$$

Onde:

IMAE = índice de anos médios de Estudo

IAEE = Índice de Anos Esperados de Escolaridade

PIBpc= Produto Interno Bruto per capita

Com a evolução dos RDH, em 2010 foram incluídos mais 3 indicadores, como já havia sido citado que o IDH não contemplava todas as dimensões. O IDH ajustado a desigualdades (IDHAD) “capta as perdas no desenvolvimento humano devido às desigualdades na saúde, educação e no rendimento” (RDH, 2010). O Índice de Desigualdade de Gênero (IDG) revela a diferença no mercado de trabalho, capacitação e saúde reprodutiva. Por último, o Índice de Pobreza Multidimensional (IPM) retrata as privações de famílias na área de saúde, educação e padrões de vida. (RDH, 2010).

3.2 O QUE É E COMO TEM SIDO MEDIDA A (IN)SUSTENTABILIDADE?

3.2.1 Antropoceno

O Holoceno é um termo geológico que define o período dos últimos 12 a 10 mil anos, quando terminaram os efeitos da última glaciação, até a contemporaneidade. Esse período foi propício para o desenvolvimento humano por conta das condições climáticas, quando a humanidade se expandiu. Porém, ao longo dos anos, esse desenvolvimento causou um aumento significativo no uso de recursos naturais e, conseqüentemente, nos impactos ambientais (ALVES, 2012).

Segundo Crutzen (2015), com o crescente impacto humano na terra e na atmosfera, começa a ser questionada a sua influência na mudança da geologia e ecologia. Sendo assim, é proposto o termo Antropoceno, para identificar uma nova época geológica, sucedendo o Holoceno. Crutzen (2015) designa uma data de início a esse novo período, datando o final do século XVIII. Nesse período, a revolução industrial, deu início ao maior uso dos combustíveis fósseis e da produção em massa. Passados 250 anos após esse acontecimento, a economia global cresceu 135 vezes, a população mundial cresceu 9,2 vezes e a renda per capita cresceu 15 vezes (ALVES, 2020). Se levar em consideração desde o surgimento do Homo Sapiens, há 200 mil anos atrás, até os dias atuais, os últimos 250 anos têm sido de marcados pelo aumento se precedentes do crescimento demográfico e econômico. Como consequência dos aumentos desses índices, combinado com o crescimento do uso dos recursos naturais, ocorreram impactos ambientais de grandes proporções, podendo ser citado: aumento do uso de metais e minerais, de combustíveis fósseis e fertilizantes agrícola, transformações nos ecossistemas

marinhos, perda de biomas naturais para a agricultura e construções humanas, substituição da vida selvagem e plantas por espécies domesticadas para atender à demanda de alimento, e alteração dos gases presentes na atmosfera (WATERS, 2016).

Não há consenso ainda sobre o momento exato em que ocorreu a mudança da época geológica, mas são incontestáveis as marcas deixadas em rochas sedimentares, camadas glaciais, solos e madeiras em um curto espaço de tempo, indicando uma nova dinâmica da Terra (FIGUEIREDO e MARQUESAN, 2020). Apesar dos debates que cercam o Antropoceno, o importante é entender que a humanidade continuará sendo uma força telúrica, modificando e ultrapassando os limites dos ecossistemas. Sendo assim, é necessário que sejam desenvolvidas estratégias que levem à sustentabilidade, através de pesquisas e aplicações de conhecimento para diminuição do estresse induzido pela humanidade no meio ambiente (CRUTZEN, 2015).

3.2.2 Sustentabilidade

O pessimismo da década de 1970 por conta dos impactos do sistema econômico no meio ambiente trouxe a percepção da necessidade de enfrentar os problemas ambientais (MULLER, 2004). E assim, em 1987, no relatório *Our Common Future* veio a primeira definição de desenvolvimento sustentável, como uma visão antropocênica e econocêntrica (MULLER, 2004). O relatório dá ênfase na palavra “necessidade”, como se o desenvolvimento significasse apenas o atendimento das necessidades humanas (VEIGA, 2015). E então entra o questionamento, o que seria sustentabilidade?

Veiga (2010) afirma que essa pergunta vem com três respostas padrões. A primeira com a ideia que conservação ambiental e crescimento econômico podem ser combinados, não existindo dilema entre as mesmas. Fato esse que é exposto pela concepção da Curva de Kuznets Ambiental (CKA).

Criada no começo da década de 1990, através de estudos sobre a relação da poluição de um país com o crescimento econômico, a CKA mostrou que, quando o país chega a um certo nível de renda per capita, suas prioridades mudam e começam a proteção pela qualidade do meio ambiente (CARVALHO, 2010). Semelhante a parábola de “fazer o bolo crescer para depois distribuí-lo”. Essa teoria não se sustentou, já que estatísticas demonstraram que a relação entre

crescimento e desenvolvimento em vários países poderiam gerar diversas curvas (VEIGA, 2010).

Seguindo para a segunda resposta, Georgescu-Roegen apresenta o extremo oposto com a sua teoria da economia juntamente com a segunda lei da termodinâmica. Georgescu-Roegen explica que as atividades econômicas transformam energia em formas de calor inaproveitáveis. (VEIGA, 2010). Afirma que o sistema produtivo produz resíduo, durante o processo de transformação, ficando a questão do que está se retornando a natureza, não podendo simplificar a economia como ciclo isolado e fechado da natureza (CECHIN, 2010).

Ainda nessa linha de pensamento, Veiga (2010) cita a corrente cética de Herman E. Daly, que apresenta o conceito de uma corrente estacionária, onde o país chegaria em um nível de desenvolvimento que necessitaria melhorar a economia em termos qualitativos, porém sem o crescimento do produto. O exemplo dado seria de uma biblioteca cheia, em que substituiria os livros por novos, sem a necessidade de mais espaço.

Por fim, o caminho intermediário dentre esses pensamentos seria o abordado como desenvolvimento sustentável no Relatório Brundtland, durante a Rio-92² Considerado por VEIGA (2010) como um processo de institucionalização do termo e visto como um documento político em busca de alianças. De acordo com o Relatório Brundtland (1987), desenvolvimento sustentável é: “A forma como as atuais gerações satisfazem as suas necessidades sem, no entanto, comprometer a capacidade de as gerações futuras satisfazerem suas próprias necessidades”.

Apesar de existirem outras correntes e pensamentos que são expostas por Veiga no seu livro Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI (2005), o importante é compreender que é um termo com diversas respostas e que as variações dependem da forma como é visto a relação natureza e homem.

² A conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, denominada Rio-92 foi um evento da ONU realizada no Rio de Janeiro em 1992. O objetivo principal da conferência era no debate da ideia de que todos os países alcançassem o desenvolvimento dos países ricos, não haveria recursos naturais disponível para todos sem que ocorressem danos irreversíveis ao meio ambiente. Foi celebrado a concepção do desenvolvimento sustentável e a criação da Agenda 21, assinado por 179 países criando um compromisso político que alinhasse desenvolvimento econômico com social e ambiental.

3.2.3 Sustentabilidade fraca vs sustentabilidade forte

Apesar da divergência entre os estudiosos quanto ao termo sustentabilidade, continua sendo necessário mensurar tal medida para se ter um parâmetro do quão danoso está sendo, ou não, o desenvolvimento dos países.

O economista Robert M. Solow, após a conferência Rio-92, foi convidado a apresentar sua visão sobre esse tema, em uma palestra em Massachusetts e começa afirmando que não será sobre “a incompatibilidade intrínseca do crescimento econômico e a preocupação ambiental. Nem sobre o apelo para a conservação estrita de recursos renováveis.” (SOLOW, 1992). Solow afirma que uma definição precisa sobre o desenvolvimento sustentável levaria a uma ideia de natureza intocada, o que não seria concebível. O economista leva em consideração o compromisso com as futuras gerações, de forma que deixemos uma possibilidade de bem estar pelo menos semelhante ao atual (MULLER, 2004).

Para que isso aconteça, deve se considerar, além dos recursos naturais, o desenvolvimento tecnológico que será gerado pelo conhecimento adquirido ao longo dos anos. Em sua teoria, é necessário a conservação do estoque de capital total (K) para haver sustentabilidade. Com isso, o **capital natural**³ (Kn) pode ser substituído pelo **capital produzido**⁴ (Kp) ou pelo **capital humano (Kh)**⁵ (MULLER, 2004).

Esse conceito é denominado sustentabilidade fraca (Sfra), onde os recursos naturais podem até chegar a um fator limite desde que seja substituído por acréscimos. Como Solow mesmo cita em sua conferência: “O que importa não é a forma como foi realizada a substituição, mas sua capacidade de produzir as coisas que a posteridade desfrutará” (SOLOW, 1992).

Essa teoria não vê a natureza como obstáculo para expansão e pode se dizer que acaba reduzindo o desenvolvimento sustentável a crescimento econômico. Como VEIGA (2010)

³ Capital natural (Kn) se trata essencialmente de recursos naturais. Inclui os estoques de baixa energia entropia e os materiais disponíveis à humanidade, assim como os estados biofísicos existentes no meio ambiente (como as estações climáticas, capacidade de regeneração do meio ambiente em meio as pressões antropogênicas) (Mueller, 2004)

⁴ Capital produzido (Kp) compreende o estoque de máquinas, equipamentos, construção. É o estoque físico gerado e acumulado pelo sistema econômico (Mueller, 2004)

⁵ Capital humano (Kh) compreende a capacitação e habilidade para produção da força de trabalho da sociedade. O aumento do capital humano necessita investimento em educação, capacitação. (Mueller, 2004)

afirma no seu livro: “é seu fortíssimo otimismo tecnológico que o leva a pregar pela fraqueza da sustentabilidade”.

Uma forma de mensuração da sustentabilidade fraca é através da poupança genuína do Banco Mundial, onde o estoque de riqueza total é determinado pela soma do capital físico, humano e natural. O cálculo é feito subtraindo da poupança interna bruta a depreciação do capital fixo e os recursos naturais, enquanto adiciona os investimentos com a educação (IPEA, 2020). A poupança genuína enxerga que, para que haja sustentabilidade, deve haver manutenção constante dos estoques de riqueza ampliados. Sendo assim, um valor negativo mostra que a perda do capital natural não está sendo compensado por investimentos em capital humano ou com aumento do capital físico, não sendo considerado sustentável. Um valor positivo indica que as perdas dos estoques naturais estão sendo compensadas com o aumento do capital humano e físico (FÉRES, 2014).

O índice é calculado a partir da equação:

$$GS = S + EDU - DE - DM - DF - DCO2 - DMP \text{ (Equação 3.4)}$$

Sendo:

GS = poupança genuína

S = poupança líquida

EDU = gastos com educação (proxy para capital humano)

DE = depleção dos recursos energéticos (petróleo, gás natural e carvão)

DM = depleção de recursos minerais

DF = depleção de recursos florestais

DCO2 = danos associados às emissões de CO2

DMP = danos associados à poluição do ar por materiais particulados

O cálculo contabiliza apenas alguns bens materiais, sendo esses os mais fáceis de atribuírem valores monetários, deixando de fora importantes bens como água potável, solo, particulados na atmosfera, nitrogênio, oxigênio e outros. O preço estimado pelo Banco Mundial tem como fundamento premissas que não levam em consideração a capacidade limitada dos sistemas naturais de se recuperarem das atividades antropogênicas. Com isso, o indicador assume que existe uma substituição perfeita entre o capital físico, humano e ambiental. Não supondo um

limite ecológico, o aumento do uso nos recursos naturais causaria impactos irreversíveis. (VEIGA, 2009; FÉRES, 2014).

Por apresentarem um alto estoque de capital físico, países desenvolvidos investem mais em educação o que resulta em um índice elevado de poupança genuína. Essa forma de cálculo acaba por desviar o foco das pressões ambientais exercidas pelo consumo dos países ditos como mais desenvolvidos. Enquanto os países ricos em recursos naturais de baixa renda, classificados como subdesenvolvidos, apresentam taxas baixas (FÉRES, 2014).

Em contraposição, a visão da sustentabilidade forte (Sfor) prevalece na economia ecológica, tendo uma ideia menos otimista em que a substitutabilidade é limitada. Com isso, o crescimento acompanhado com um aumento da escassez do Kn inviabilizaria a expansão econômica no longo prazo. Isso ocorreria pelo fato desses dois capitais terem uma relação de complementariedade, significando que, para produção adicional de uma quantidade de produto real, seria necessária uma quantidade adicional de ambas as categorias (MULLER, 2004).

Segundo os conceitos da economia ecológica, é imprescindível a criação de mecanismos que contabilizem os recursos naturais no processo produtivo, já que os mecanismos de mercado não conseguem solucionar essa problemática. Sendo assim, os indicadores se tornam meios necessários no auxílio das tomadas de decisões, levando em conta a necessidade de estabelecer um limite na utilização dos recursos naturais para manutenção do equilíbrio ambiental (AMARAL, 2010).

Os limites planetários surgem dessa urgência, diante ao debate do Antropoceno, de apresentar um espaço operacional seguro para humanidade de consumo dos recursos levando em consideração o sistema terrestre e seus subsistemas. Foram definidos através de uma observação de quais sistemas terrestres e seus limites, quando associados, podem gerar perturbações definitas na oferta de serviços ecossistêmicos à humanidade. São eles: mudança climática, taxa de perda de biodiversidade (terrestre e marinho), interferência nos ciclos globais de nitrogênio e fósforo, diminuição ou depleção da camada de ozônio estratosférico, acidificação dos oceanos, uso global da água doce, mudança no uso de terra, concentração de aerossóis atmosféricos e poluição química (ROCKSTRÖM ET AL. 2009).

Na Figura 2, a área em verde representa o limite considerado seguro para as 9 fronteiras planetárias. A área em vermelho é uma estimativa da posição atual para cada variável, onde é possível observar que os limites do sistema de biodiversidade, mudanças climáticas e interferência com os ciclos globais de nitrogênio e fósforo já foram ultrapassados.

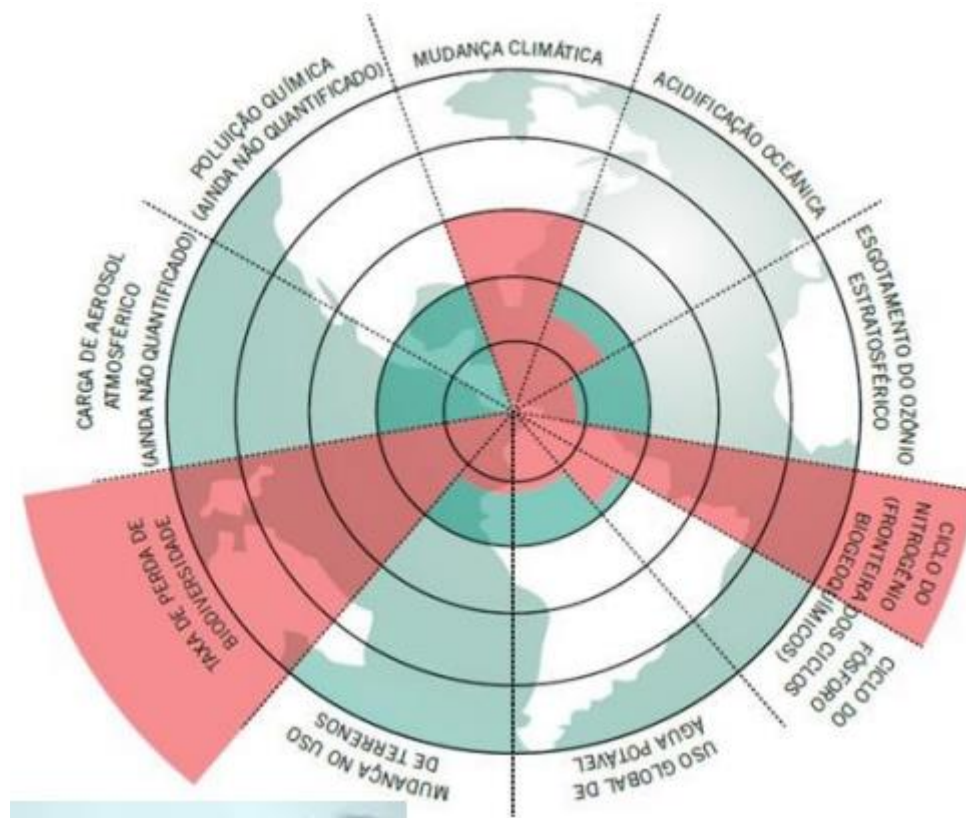


Figura 2: Limites planetários. Fonte: Adaptado traduzido do ROCKSTRÖM et al, 2009

Embora sejam apresentados e quantificados de forma separada, as fronteiras estão conectadas. Se um limite é transgredido, então as outras também correm riscos. Por exemplo, mudanças no uso da terra na Amazônia podem influenciar os recursos hídricos em lugares como Tibet (ROCKSTRÖM ET AL. 2009). Esses limites não determinam como a sociedade deve se desenvolver, mas atuam como contribuição nas tomadas de decisões no mapeamento do curso desejável para um desenvolvimento social.

3.2.4 Metabolismo social: teoria e indicadores

Uma grande parte dos problemas relacionados a sustentabilidade são consequências diretas ou indiretas do uso de materiais, seus respectivos resíduos e emissões resultantes. Com a industrialização, o uso aumentou rapidamente ocasionando mudança nos fluxos

biogeoquímicos como já mencionado na definição de fronteiras planetárias. Tendo um entendimento dos processos de troca de materiais entre a sociedade e o ambiente, incluindo os processos de produção e consumo e a relação entre o uso de material, desenvolvimento econômico e bem estar humano, é possível desenvolver estratégias para um consumo mais sustentável dos recursos naturais. Para o estudo dessa base biofísica das sociedades humanas, o entendimento de metabolismo social é imprescindível (KRAUSMANN e EISENMENGER, 2017).

Segundo Krausmann e Eisenmenger (2017), metabolismo social é “uma abordagem holística para investigar os padrões biofísicos e a dinâmica do material socioeconômico e dos fluxos de energia”. O conceito ressurgiu em 1960, anos depois da concepção de Marx de regulamentar e controlar o metabolismo entre homem e natureza pelo processo de trabalho (Marx, 1976/1867, p.283 apud FISCHER-KOWALSKI, 2015). No modelo básico, são definidos os estoques (geralmente composto por pecuária, infraestrutura e humanos), sendo eles físicos por existirem em um território e sociais por pertencerem ao sistema e serem reproduzidos. Através disso, é possível identificar os fluxos para a produção desse estoque (FISCHER-KOWALSKI, 2015).

Segundo Toledo (2013), essa seria a parte tangível do metabolismo social, com o agrupamento de material e energia constituindo a entrada do sistema e o depósito do resíduo a saída, mantendo a conservação de energia. O processo então pode ser dividido em cinco fenômenos, sendo: apropriação (A), transformação (T), circulação (C), consumo (Co) e excreção (E).

O ato de apropriação (A) constitui a troca entre sociedade humana e natureza, onde a sociedade é alimentada por materiais, água, energia e serviços pela necessidade biológica e por consumo. A apropriação pode ser realizada por uma empresa, família, indivíduo. O processo de transformação (T) são as mudanças produzidas no material extraído, mudando a forma original. O material é então circulado (C) por diferentes vias e por fim, excretado (E) de volta a natureza. (TOLEDO, 2013). A cada um dos processos indicados no modelo tem seu impacto ambiental, que dependerá da maneira que foi executado, da energia e quantidade de material utilizado.

O metabolismo social, logo, não só proporciona uma estrutura para análise da dinâmica de fluxo de estoque como também permite realizar uma conexão entre os processos físicos, econômicos e atividade humana. Dessa forma, contribui para junção das abordagens das

ciências sociais e naturais no entendimento do desenvolvimento sustentável (KRAUSMANN e EISENMENGER, 2017).

Para descrever e analisar de forma quantitativa o metabolismo, se utiliza a ferramenta de contabilização dos fluxos de materiais. Esse conceito segue o princípio da primeira lei da termodinâmica, onde o material de entrada deve equivaler a produção do material somado as mudanças no estoque, sendo esse a estrutura física da sociedade. Fornece um banco de dados detalhado do que entra e sai do sistema socioeconômico, sendo utilizada para monitorar o desenvolvimento da economia em relação ao fluxo, podendo ser aplicada no apoio ao desenvolvimento de estratégias para utilização dos recursos de uma forma mais sustentável (KRAUSMANN e EISENMENGER, 2017).

Existem alguns indicadores de fluxo de materiais, que medem a pressão sobre o meio ambiente. Dentre eles, é importante destacar o uso do DMC (Domestic Material Consumption) e a Pegada Material. O DMC consiste no total de materiais usados na economia, apenas capturando o uso direto dos materiais. O cálculo é feito através das equações abaixo:

$$DMC = DMI - \text{exportações de matéria prima bruta} \text{ (Equação 3.6)}$$

$$DMI = DE + \text{importações de matéria prima bruta} \text{ (Equação 3.7)}$$

Sendo:

DMI = Entrada direta de materiais

DE = Extração doméstica

Esse indicador não inclui os impactos do uso dos recursos, ou seja, ignora os recursos utilizados ao longo da cadeia de processo e que não são incluídos no produto final. Sendo assim, pode haver uma diminuição do DMC de um país, terceirizando a extração e o processamento intensivo de material em outros países (GILJUM, 2014). E resta a pergunta: quanto extraímos da biosfera para obter as utilidades que compõem a riqueza de um país? Para isso, se utiliza a Pegada Material, que mede a extração global de materiais na demanda final da economia de um país, isso inclui não só os impactos locais de consumo, mas das importações e exportações. Se utiliza quatro família materiais para quantificação da extração, sendo: biomassa, combustíveis fósseis, minerais metálicos e minerais não-metálicos (areia, cal, cimento) (KARAKAYA, 2021; ABRAMOVAY, 2016).

Importante salientar que, indicadores abrangentes com base no consumo, como a Pegada Material, são um complemento dos indicadores que medem o fluxo físico direto, no caso o DMC. A título de exemplo, o DMC é mais indicado para medir a pressão ambiental no território nacional por incluir os fluxos de materiais que adentraram a economia e que são posteriormente devolvidos ao ambiente doméstico na forma de resíduo ou emissão (GILJUM, 2014).

Como meio para entendimento desses processos, o PNUMA (Programa das Nações Unidas pelo Meio Ambiente) lançou um relatório intitulado Global Material Flows and Resource Productivity (2016) que contém dados de uso de materiais e seu fluxo na economia global dos últimos 40 anos. “O relatório analisa status, tendências, estrutura e dinâmica de uso de recursos, incluindo extração, comércio e consumo de biomassa, combustível fóssil, minérios metálicos e não metálicos” (PNUMA, 2016).

Segundo o relatório, houve uma aceleração global de uso de recursos naturais a partir dos anos 2000, por razão a transformação industrial da China, levando ao aumento do uso de ferro, aço, cimento e material de construção. O aumento da demanda da China reverberou na economia mundial, principalmente em países de exportação de produtos primários, causando um aumento da taxa metabólica global média, que seria o uso per capita de recursos naturais, de 7 toneladas em 1970 para 10 toneladas, em 2010.

Nos países de industrialização mais tardia e crescendo a altas taxas, a extração não conseguiu acompanhar a demanda dos materiais, ocasionando um aumento nas importações de matéria prima bruta. Intensificou-se então, um processo de especialização de extração de material nos países de produção primária, com objetivo de exportação. Observando a Figura 3 é possível observar esse fenômeno, onde a exportação dos materiais teve um aumento significativo ao longo dos anos, com uma média de 3,5% de aumento por ano. A extração gera um impacto maior por conta da grande quantidade de material requisitado ao longo da cadeia de produção o que gera resíduos e emissões nos países que produzem os bens (PNUMA, 2016).

A terceirização de extração de material ocasionou em um aumento na intensidade material⁶ nos países produtores primários, e um aumento na pressão ambiental, indo contra a ideia de desacoplamento econômico (BITHAS, 2017; PNUMA, 2016).

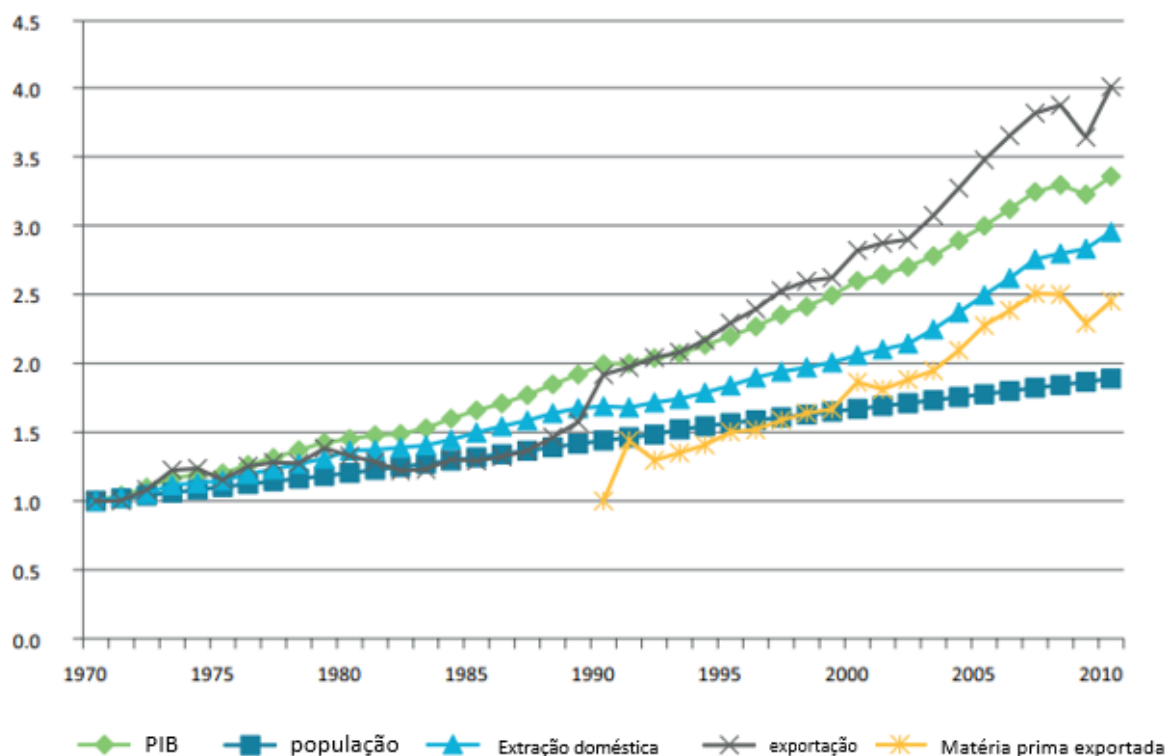


Figura 3: Tendência do PIB, população, extração doméstica dos materiais, exportação e exportação de matéria prima equivalente. Fonte: Adaptado traduzido do *Global Material Flows and Resource Productivity* (2016)

O conceito de desacoplamento econômico, segundo o relatório do PNUMA (2011), significa “a diminuição do uso de recursos naturais por unidade de produção econômica e redução dos impactos de qualquer recurso utilizado ou de atividade econômica realizada”. O desacoplamento absoluto consistiria em usar menos recursos ao longo do tempo. Já o relativo seria o aumento do uso dos recursos em uma taxa menor que o crescimento econômico. Para melhor exemplificar o conceito, a Figura 4 apresenta de forma teórica os tipos de desacoplamento.

⁶ Intensidade material significa a quantidade de recursos necessários para produzir uma unidade de PIB.

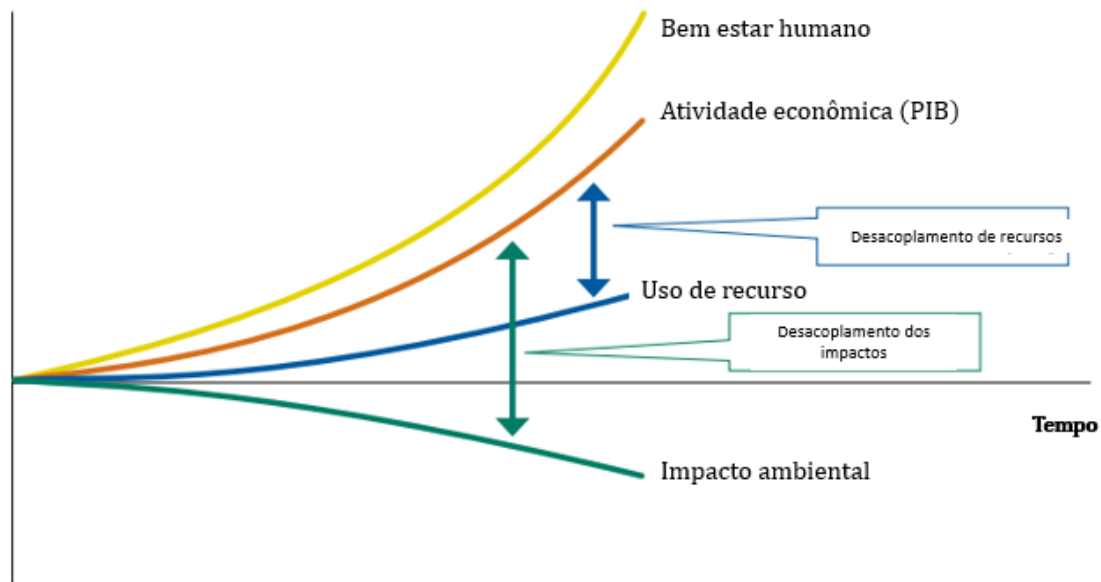


Figura 4: Representação do desacoplamento e impactos. Fonte: Adaptado traduzido do PNUMA, 2011

Wiedmann (2015) utiliza tanto o DMC quanto a Pegada Material para analisar o desacoplamento dos países. Segundo a Figura 5, países como EU-27, OCDE, Estados Unidos, Japão e Reino Unido cresceram economicamente com um DMC no mesmo nível, poderia dizer que houve um desacoplamento. Porém, quando se analisa a Pegada Material juntamente, observa-se um aumento indireto da dependência de materiais de construção, concluindo que a observação dos dois indicadores juntamente com o PIB demonstra uma visão mais clara dos fluxos materiais.

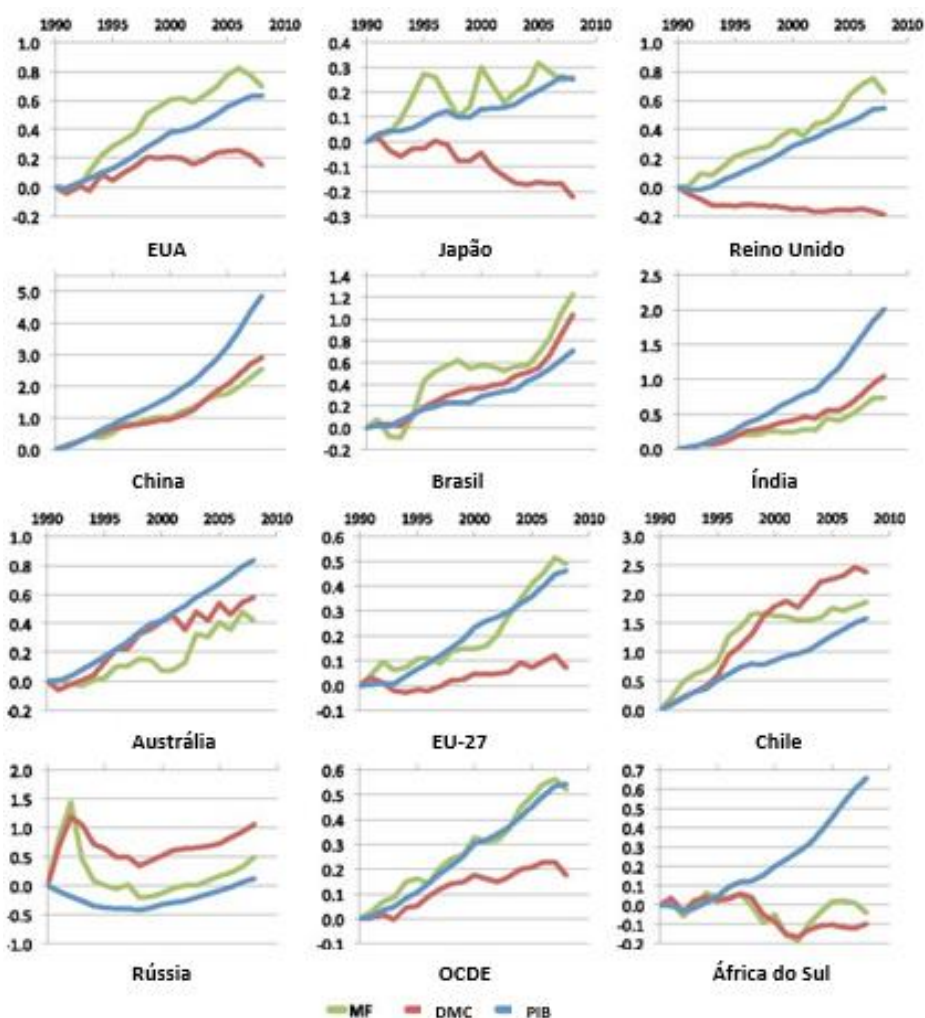


Figura 5: Mudanças relativas no uso total de recursos (DMC e pegada material) e PIB entre os anos de 1990 e 2008. Fonte: Adaptado traduzido do WIEDMANN, 2015

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Análise do Relatório de Desenvolvimento Humano 2020

Com o ajuste do IDH para pressões planetárias, observa-se uma alteração na classificação de alguns países. Nesse estudo, serão analisados dados econômicos e de uso de materiais de alguns países que mais sofreram ajustes no valor IDH - Austrália, Singapura, Canadá, Estados Unidos, - além de Brasil e China. A Figura 6 mostra a classificação original dos países (separados entre desenvolvimento muito elevado e elevado) de acordo com o IDH e a diferença da classificação quando introduzido o IDHP. O IDHP utiliza o IDH multiplicado por um fator de correção calculado pela média aritmética dos índices de emissões de dióxido de carbono per capita, com a transição energética em detrimento dos combustíveis fósseis e a pegada material per capita,

que diz respeito ao desafio do encerramento dos ciclos materiais (RDH, 2020). Sendo assim, é apresentado também os valores de emissões de dióxido de carbono e pegada material de cada país.

Índice de Desenvolvimento Humano Ajustado às Pressões sobre o Planeta

CLASSIFICAÇÃO DO IDH	Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)	IDH Ajustado às Pressões sobre o Planeta (IDHP)			Fator de correção relativo às pressões sobre o planeta	ODS 9.4 Emissões de dióxido de carbono per capita (produção)	ODS 8.4, 12.2 Índice de emissões de dióxido de carbono (produção)	Pegada material per capita	Índice de pegada material
	Valor	Valor	Diferença do valor do IDH (%)	Diferença de classificação do IDH	Valor	(toneladas)	Valor	(toneladas)	Valor
	2019	2019	2019	2019	2019	2018	2018	2017	2017
Desenvolvimento humano muito elevado									
8 Austrália	0,944	0,696	26,3	-72	0,737	16,9	0,758	43,4	0,716
11 Singapura	0,938	0,656	30,1	-92	0,700	7,1	0,898	76,1	0,501
16 Canadá	0,929	0,721	22,4	-40	0,776	15,3	0,781	34,9	0,771
17 Estados Unidos	0,926	0,718	22,5	-45	0,775	16,6	0,763	32,5	0,787
Desenvolvimento humano elevado									
84 Brasil	0,765	0,710	7,2	10	0,927	2,2	0,969	17,4	0,886
85 China	0,761	0,671	11,8	-16	0,881	7,0	0,899	20,9	0,863

Figura 6: Tabela do índice de desenvolvimento humano ajustado às Pressões sobre o Planeta. Fonte: Adaptado do RDH, 2020

Complexidade Econômica

Segundo HAUSMANN, HIDALGO (2011), a complexidade econômica expressa justamente a composição de produção de uma dada economia, de acordo com a diversidade do setor de exportação e o número de países capazes de produzir os mesmos bens. A complexidade está ligada a conhecimento, pois, um país com grande quantidade de conhecimento relevante, gera produtos diversificados que requerem mais conhecimento e processos coletivos. Uma economia mais simples, tendo uma base mais estreita de produção, produz produtos mais simples que requerem redes menores de interação. Para exemplificar, tomamos dois produtos como exemplo, uma máquina de Raio x e a soja. Para o primeiro produto é necessário de mais conhecimento para sua produção e digamos que poucos países detêm tal conhecimento, então ele é dito complexo. A soja, um produto agrícola, não necessita de muito conhecimento para produção, sendo produzido por muitos países, o que o torna menos complexo. Ou seja, para analisar se um país tem uma economia complexa, é preciso observar se os produtos produzidos

e exportados são produzidos por poucos países. A complexidade econômica é importante porque ajuda a explicar as diferenças no nível de renda dos países, e mais importante, porque projeta o potencial crescimento econômico futuro.

Para análise da complexidade, será utilizado The Observatory of Economic Complexity (OEC) que disponibiliza o TreeMap de produtos exportados e importados, de acordo com cada setor (máquinas, produtos químicos, metais e outros). O TreeMap separa por retângulos, cada um identificado de acordo com o setor de produto, e a área é proporcional à dimensão de exportação. Além disso, o OEC disponibiliza o ranking de complexidade econômica.

Fluxo dos Materiais

O fluxo dos materiais é uma importante forma de analisar os impactos ambientais. Entender que importar recursos naturais gera impacto no país produtor e contabilizar esse dado no resultado final da economia de um país, é imprescindível para se ter uma visão ampla do que se precisa para alcançar a sustentabilidade.

Sendo assim, para o seguinte trabalho, será analisado o fluxo dos materiais através da Pegada Material e o DMC. A Pegada Material e as emissões de um país ocorrem de acordo com como e quais recursos materiais são utilizados para consumo e exportação. Será utilizado o Material Flow Analysis Portal para obtenção dos dados. Na Tabela 1 é apresentado os indicadores que compõem o cálculo do DMC e a Pegada Material e suas respectivas descrições.

Tabela 1: Indicadores de fluxo de materiais

Sigla	Nome e definição	Descrição
DE	<i>Domestic Extraction</i> (Extração Doméstica)	Material extraído internamente para uso socioeconômico
PTB	<i>Physical trade balance</i> (Balança Comercial Física)	Mede o comércio líquido de matéria-prima bruta em termos físicos (valores positivos = importações líquidas; valores negativos =

	= importações – exportações de matéria-prima bruta.	exportações líquidas de matéria-prima bruta)
RMEim and RMEex	<i>Raw Material Equivalents of import and export</i> (Equivalentes de Matéria Prima de importação e exportação) = fluxo de comércio direto + os insumos materiais necessário para produção	Mede todos os materiais incorporados nas importações e exportações
DMC	<i>Domestic Material Consumption</i> (Consumo Doméstico Material) = DE + PTB	Materiais usados na economia nacional (na perspectiva da produção)
MF	<i>Material Footprint</i> (Pegada Material) = DE + RMEim - RMEex	Uso global de material associado ao produto final de consumo doméstico (perspectiva do consumo)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Cota justa hipotética

Na 21ª Conferência de Partes (COP-21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança de Clima (UNFCCC), ocorrida em Paris no ano de 2015, foi apresentado o Acordo de Paris onde os países se comprometiam a “deter o aumento da temperatura média global abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais e empenhar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, reconhecendo que isso reduziria significativamente os riscos e impactos da mudança climática” (SOUZA; CORAZZA, 2017).

Para atingir esse valor de emissões, quanto deveria ser a cota justa para cada país? O RDH 2020 apresenta uma seção do seu relatório debatendo sobre a introdução de dimensões ambientais e sustentabilidade ao IDH afim de se observar esse valor hipotético. Utilizam-se as fronteiras planetárias como referência do limite que cada país deveria respeitar e seus valores per capita. A Figura 7 abaixo, retirada do RDH (2020), apresenta dados de quantos países respeitam as fronteiras planetárias. Nesse caso, foram utilizadas 4 fronteiras, das 9 existentes. A pegada material foi incluída por ser um importante indicador da pressão ambiental exercida pelas atividades socioeconômicas.

Indicador biofísico	Fronteira planetária	Fronteira per capita ou por unidade de área	Países com dados	Países que respeitam as fronteiras ^a
Emissões de dióxido de carbono (produção)	Aquecimento de 2 graus Celsius	1,61 toneladas por ano	193	74
Utilização de azoto como fertilizante/nutriente	62 teragramas por ano	39,4 toneladas por 1.000 hectares de terrenos cultivados por ano	152	71
Consumo de água doce	4.000 quilômetros cúbicos por ano	565 metros cúbicos	179	122
Variação da área florestal	479 milhões de quilômetros quadrados até 2050	Crescimento anual médio da área florestal de 0,25 por cento desde 1990	187	53
Pegada material ^b	50 gigatoneladas por ano	7,2 toneladas por ano	172	72

a. Dados referentes a 2018 ou ao ano mais recente para o qual estão disponíveis.

b. A pegada material não integra o enquadramento das fronteiras planetárias, pelo que se trata do valor sustentável máximo.

Fonte: Cálculos do Gabinete do Relatório do Desenvolvimento Humano com base nos valores de Índice de Desenvolvimento Humano da Tabela 1 do anexo estatístico, dados sobre as emissões de dióxido de carbono do GCP (2020), dados sobre o consumo de azoto e água doce da FAO (2020a), dados sobre a área florestal do Banco Mundial (2020e) e dados sobre a pegada material do PNUA (2020d).

Figura 7: Fronteiras Planetárias per capita ou por unidade de área. Fonte: RDH (2020)

Observa-se a pressão ambiental exercida sobre o planeta de acordo com a contribuição de cada país. É então formulada a tabela expressa na Figura 8, onde mostra quantas fronteiras foram transgredidas para os 10 países mais bem classificados no IDH. Seis dos 10 países apresentam a maior transgressão de emissões de dióxido de carbono, três ao nível da pegada material e um deles ao nível do uso de fertilizante nitrogenado (azoto). De acordo com o RDH (2020), apenas quatro países respeitam as fronteiras, sendo eles: Gâmbia, Gana, República da Moldávia e Ruanda. Essa informação leva ao entendimento que o desenvolvimento observado nos países em geral causa impactos grandes o suficiente para transgredir fronteiras planetárias que foram concebidas a partir da necessidade de estabelecer um limite ao processo econômico.

País	Índice de Desenvolvimento Humano, 2019		Grau de transgressão					Índice de pressão excessiva sobre o planeta		
	Valor	Classificação	Emissões de dióxido de carbono (produção)	Utilização de azoto como fertilizante/nutriente	Consumo de água doce	Variação da área florestal	Pegada material	Valor	Classificação	Número de fronteiras transgredidas
Noruega	0,957	1	5,2	3,2	1,1	2,0	5,3	3,7	121	5
Suíça	0,955	2	2,7	2,7	0,0	0,0	4,5	2,6	84	3
Islândia	0,949	4	6,7	2,5	1,4	0,0	4,8	3,9	122	4
Alemanha	0,947	6	5,7	2,9	0,0	1,8	3,2	3,3	109	4
Suécia	0,945	7	2,6	1,8	0,0	2,0	4,5	2,6	83	4
Austrália	0,944	8	10,5	1,1	1,2	2,4	6,0	5,6	135	5
Dinamarca	0,940	10	3,8	2,0	0,0	0,0	3,4	2,4	73	3
Finlândia	0,938	11	5,3	1,6	2,2	1,8	5,0	3,6	118	5
Reino Unido	0,932	13	3,5	4,3	0,0	0,0	3,2	2,9	95	3
Bélgica	0,931	14	5,4	4,9	0,0	1,6	3,3	3,7	120	4

Nota: Abrange 142 países para os quais estão disponíveis dados relativos ao conjunto dos cinco indicadores. Um valor de 0 indica a ausência de transgressão.
Fonte: Cálculos do Gabinete do Relatório do Desenvolvimento Humano com base nos valores de Índice de Desenvolvimento Humano da Tabela 1 do anexo estatístico, dados sobre as emissões de dióxido de carbono do GCP (2020), dados sobre o consumo de azoto e água doce da FAO (2020a), dados sobre a área florestal do Banco Mundial (2020e) e dados sobre a pegada material do PNUA (2020d).

Figura 8: Balanço das transgressões dos 10 países mais bem classificados no Índice de Desenvolvimento Humano, com informações sobre os cinco indicadores de índice de pressão excessiva sobre o planeta. Fonte: RDH (2020)

5.2. Composição e complexidade das economias

Apesar de já ter sido ultrapassada a fronteira planetária de mudanças climáticas, as emissões de gases de efeito estufa continuaram aumentando pelo terceiro ano consecutivo em 2019, segundo o Relatório sobre a Lacuna de Emissões (PNUMA, 2020). Sendo que a maior parte desses gases é constituído pelo dióxido de carbono.

Durante o período da última década, a China, Estados Unidos, Índia e a União Europeia contribuíram com cerca de 55% do total global de emissão de gases do efeito estufa o que explica o valor obtido do IDHP para China e Estados Unidos. Para esses dois países, essas emissões se devem da queima de combustíveis fósseis para geração de eletricidade e aquecimento. Segundo a Figura 9, é possível observar que enquanto os Estados Unidos têm mantido um alto índice de emissões desde 1990, segundo os dados obtidos do Internacional Energy Agency (IEA), a China teve um alto crescimento a partir dos anos 2000 e continua aumentando a taxa de emissão, representando 25,76% das emissões globais. É importante ressaltar que a informação desse balanço de emissões globais não inclui as emissões pelo

desmatamento (mudanças do uso da terra), razão pelo qual o Brasil está ausente desse ranking. Caso fosse considerado, o Brasil então viria logo atrás da Rússia, na sexta posição do ranking.

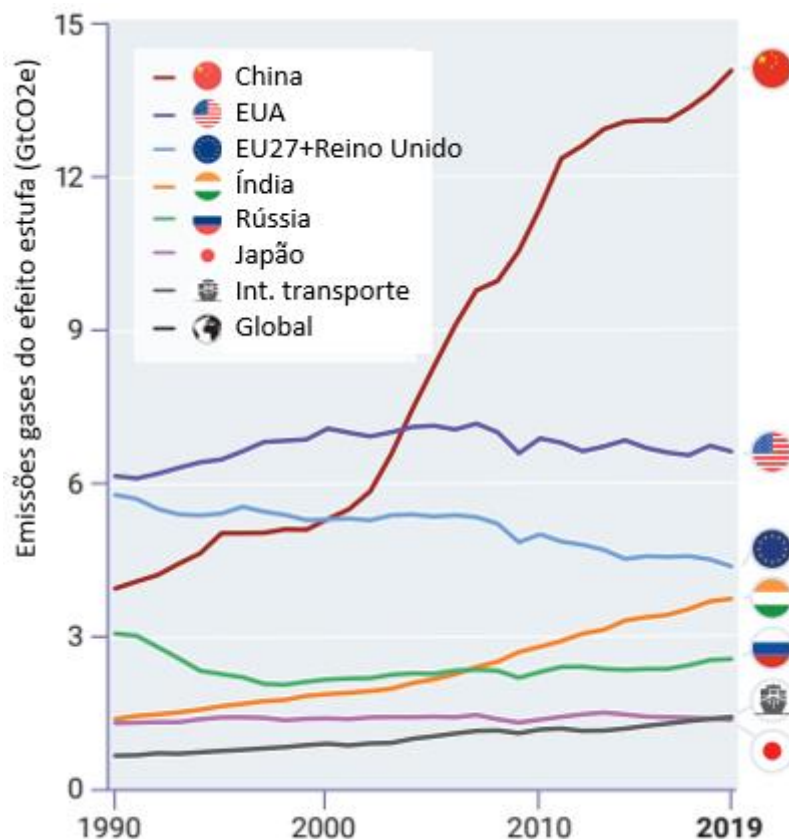


Figura 9: Emissões absolutas de Gases do Efeito Estufa (GEE) dos seis principais emissores. Fonte: Adaptado traduzido do Relatório sobre a Lacuna de Emissões, PNUMA (2020)

A Figura 10 ilustra uma parte da complexidade dos produtos exportados pela China. As cores indicam os setores produtivos e o tamanho dos retângulos são de acordo com o percentual de cada produto no valor final de exportações. O setor de maior exportação é o classificado pela cor azul claro, composto por máquinas. Porém, a família de produtos mais complexo é advindo do setor de químicos, representado pela cor roxo claro. As outras cores representam, respectivamente, produtos têxteis (verde), mercadoria e produtos diversos (cinza), metais comuns (marrom) e plástico e borracha (rosa claro). Nos últimos 20 anos, a China tem se tornado uma economia mais complexa, indo de 46 colocada no ranking para 16, de acordo com o Atlas of Economic Complexity. A Ásia foi seguida da América Latina como o segundo maior exportador mais importante (3,5 bilhões de toneladas) (GILJUM, 2014).

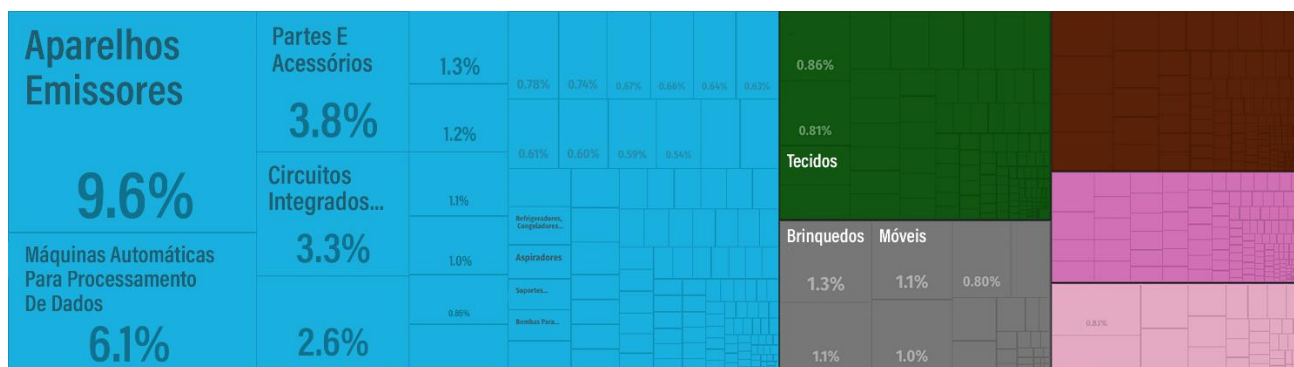


Figura 10: Exportações da China no ano 2018. Fonte: Adaptado do The Observatory of Economic Complexity (OEC)

O Brasil, diferentemente dos países apresentados, tem como principal fonte de emissão o setor da agricultura (Figura 11). Porém, no cálculo das emissões não está incluso o setor de mudança do uso de terra. Segundo o Sistema de Estimativa de Gases do Efeito Estufa (SEEG), uma grande parte das emissões de gases do efeito estufa são provenientes dos desmatamentos das florestas.

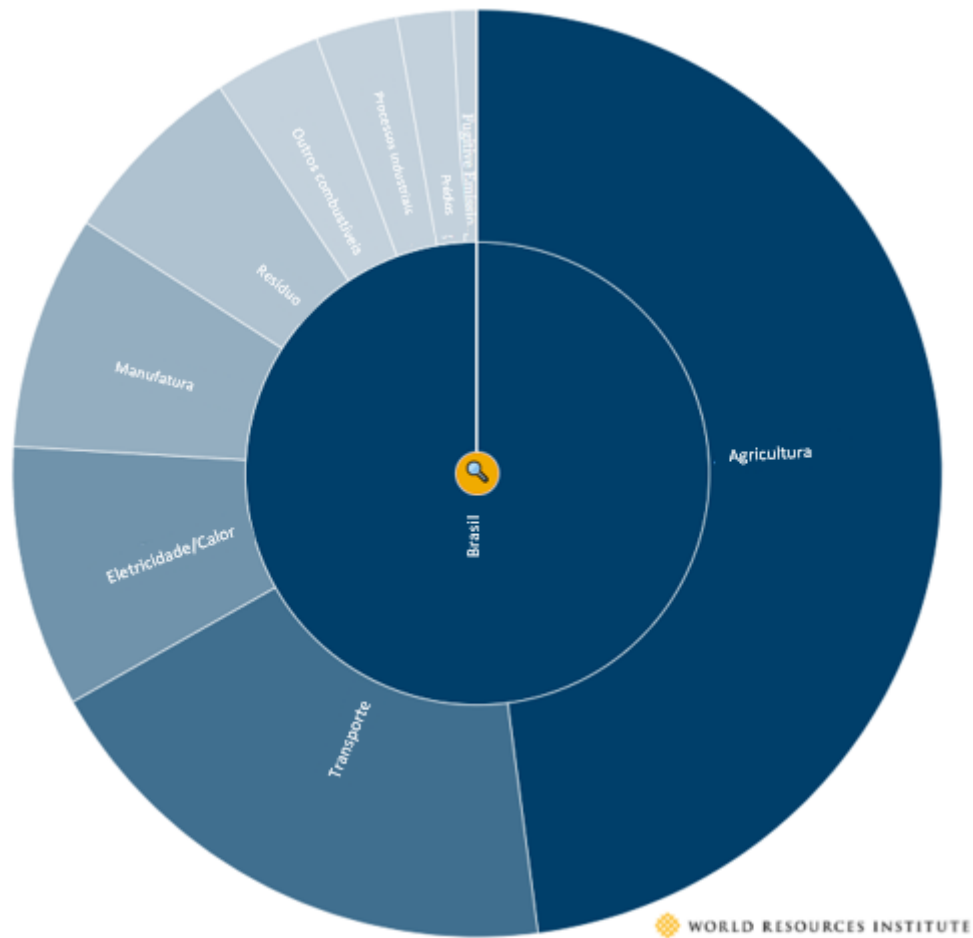


Figura 11: Gráfico dos setores de mais emissão de dióxido de carbono no Brasil. Fonte: Adaptado traduzido do WRI Brasil apud Climate Watch, 2016.

O Brasil, de acordo com o ranking de complexidade material do Atlas of Economic Complexity, configura em 53º, o que pode ser observado pela Figura 12, com os maiores setores de exportação sendo de produtos primários. A família de produto mais complexa exportado pelo Brasil é representado no setor de cor azul escura, o de máquinas.

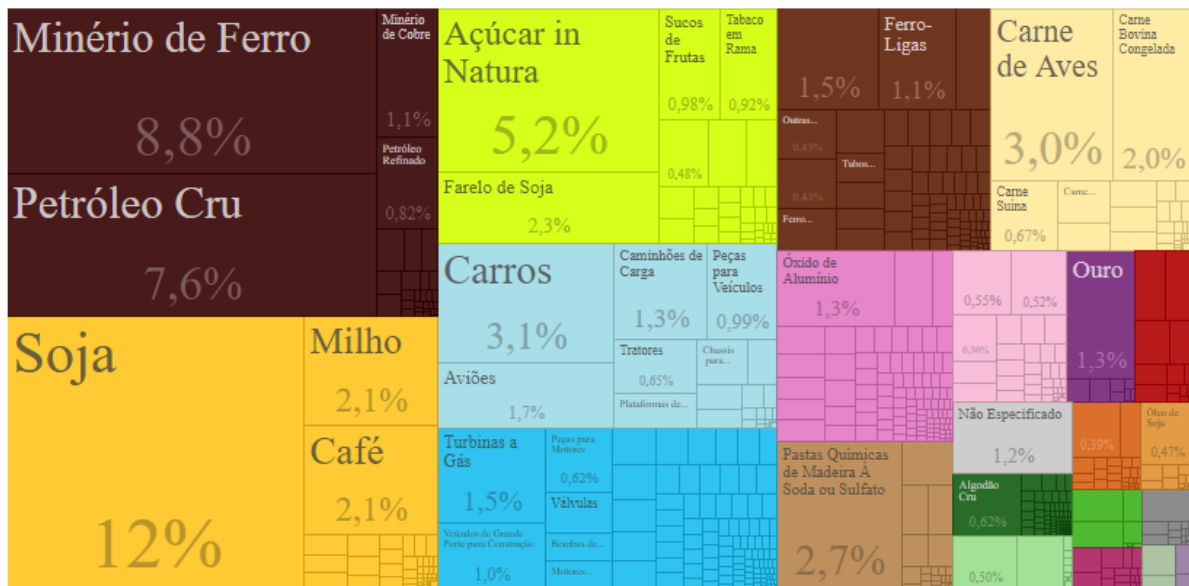


Figura 12: Exportações do Brasil para o ano 2017. Fonte: DataViva, 2021.

Para importações, o Brasil tende a concentrar em setores mais complexos, representados pela cor azul claro de eletrônicos e rosa escuro de químicos. Como observado na Figura 13. Salvo et al (2015) cita que o Brasil, entre os anos de 1997 e 2005, teve um considerável aumento na quantidade absoluta de material extraído e energia, assim como a intensidade material, ou seja, a quantidade material incorporada em cada unidade de PIB. Esse aumento foi devido à grande quantidade de área disponível para o cultivo, fazendo do Brasil uma das maiores potências agrícolas e mineiras do mundo (TOLLEFSON, 2010 apud SALVO et al, 2015). O desenvolvimento baseado na agricultura foi um dos fatores que impulsionou o crescimento econômico brasileiro, conquistando uma vantagem competitiva no mercado na produção de bens primários e em recursos naturais. Como consequência, a exportação brasileira tem um alto custo ambiental em termos de materiais e energia usados e emissão produzida. A expansão da agricultura teve como consequência um aumento no desmatamento, que foi uma das causas citadas anteriormente como causadora de uma grande parte das emissões de efeito estufa no território brasileiro. O aprofundamento no sistema agroexportador forçou a especialização produtiva, tornando o país um dos grandes exportadores de matéria prima (QUINZANI e BORGES, 2020).

(petróleo) e alimentos. Sendo um arquipélago de ilhas com uma quantidade elevada de população, há uma necessidade de consumo maior desses recursos, ocasionando em uma alta taxa de importação. No ranking do Atlas do Economic Complexity, Singapura está classificado em quinto lugar. Seus principais setores de exportação são de máquina e produto químico, onde estão boa parte dos seus produtos complexos. A Figura 14 ilustra que o país tende a importar maior quantidade do setor máquinas, ilustrado pela cor azul claro, seguido pelo setor de produto mineral (retângulo marrom) e metais preciosos (retângulo roxo). Tanto sua importação como exportação são realizadas entre países asiáticos.

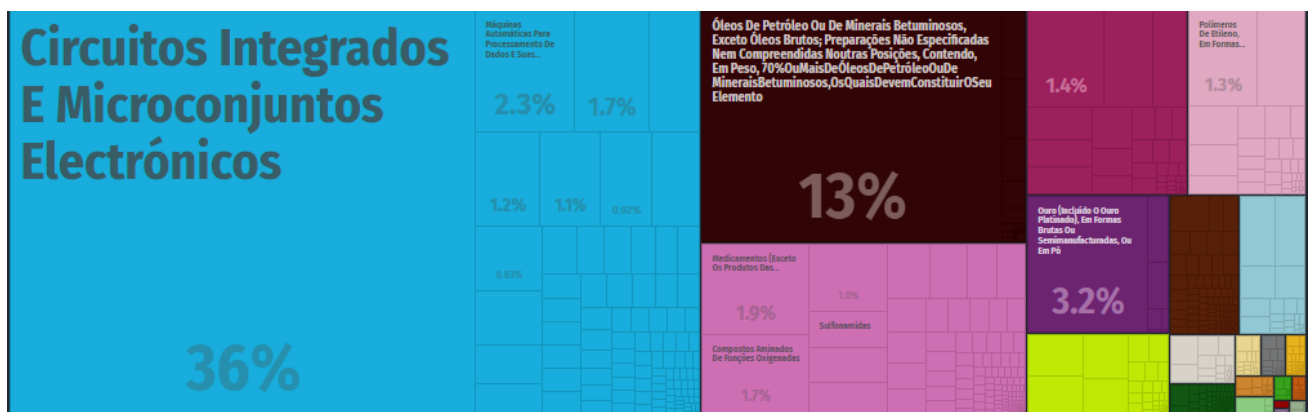


Figura 14: Porcentagem de importações de Singapura. Fonte: The Observatory of Economic Complexity (OEC), 2019.

A Austrália, depois da Singapura, foi o país que teve a maior queda no ranking com a introdução do IDHP. Analisando sua fonte de emissão, o setor dominante é o de energia, sendo responsável por 74% das emissões, segundo o Departamento de Mudanças climáticas e Eficiência Energética do Governo Australiano. Esse dado reflete a forte dependência em combustíveis fósseis como energia primaria e o carvão na produção de eletricidade. Apesar da Austrália representar apenas 1,3% das emissões globais, segundo o WRI Brasil, sua emissão per capita se assemelha ao dos Estados Unidos, sendo então o segundo maior.

Analisando o setor de exportação, segundo o Atlas of Economic Complexity, a Austrália se classifica em 86º colocado no ranking de complexidade econômica. A maior parte da sua economia de exportação se baseia em produtos minerais, seguido por pedras preciosas, tendo a China como seu principal parceiro de exportação. Em contrapartida, a importação se baseia em setores de máquina e transporte.

Os Estados Unidos em 2019 foram a maior economia do mundo em termo de PIB, segundo lugar total em exportação, primeiro lugar em importação, oitavo lugar em termos de PIB per capita e décimo primeiro colocado no ranking de complexidade econômica, de acordo com o Atlas of Economic Complexity. Seu principal setor de exportação é composto por máquinas, seguidos por produtos minerais. O setor de produtos químicos apresenta a família de produtos mais complexos, sendo o quarto setor mais exportado e constituindo uma boa parte da exportação do país.

O Canadá representa 1,31% das emissões globais, tendo o setor de óleo e gás e o de transporte como os principais emissores. De acordo com a Figura 15, as emissões desde 1999 até 2019 tiveram poucas alterações, se mantendo bastante altas.

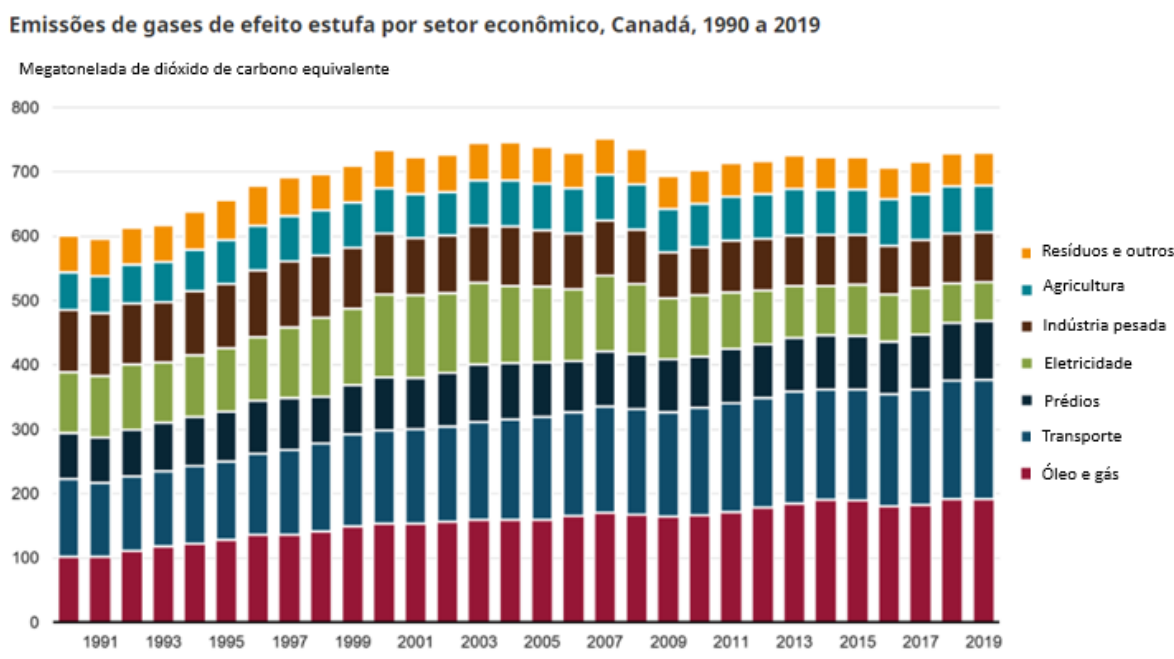


Figura 15: Emissões de gases de efeito estufa por setor econômico no Canadá, entre os anos de 1990 a 2019.
 Fonte: Adaptada traduzida do Governo do Canadá.

De acordo com OEC, a família de produto mais complexo exportado pelo Canadá é o setor de máquinas, sendo esse o terceiro setor mais exportado pelo país. O país tende a exportar mais produtos do setor de minerais, pedras preciosas, vegetais o que não são considerados como complexo. Por isso, seu quadro de produto de importação tende a se concentrar em produtos mais complexos. No ranking do Atlas of Economic Complexity, o país se classifica em 36º no

ranking de complexidade econômica. Segundo o Atlas, a melhora na complexidade do Canadá ocorreu apesar da queda na diversificação na exportação.

A Figura 16 abaixo apresenta uma evolução da complexidade dos países apresentados no estudo, observando uma queda em países como Canadá, Brasil e Austrália enquanto Singapura, Estados Unidos e China tiveram um aumento. Comparando com os valores do IDH e o IDHP, observa-se que a Austrália, por exemplo, teve uma alta queda no ranking com a introdução das pressões ambientais e com uma economia menos complexa. Singapura, que teve a maior queda do ranking, tem o maior aumento de complexidade da economia ao longo dos anos. Para melhor entendimento desses processos, é necessário avaliar os indicadores de fluxo de materiais.



Figura 16: Evolução da complexidade dos países. Fonte: The Atlas of Economic Complexity

5.2 Perfil de uso de materiais na produção e consumo dos países

Serão utilizados os indicadores DMC e pegada material para avaliação do consumo e produção, respectivamente, dos países selecionados. O consumo de matéria prima para avaliação da pegada ambiental pode ser separado em três setores de acordo com a utilização dos recursos para produção. Sendo eles: primário (matéria prima in natura), secundário (indústria) e terciário (serviços).

A China tem grande parte do consumo ligada a materiais de construção. Em 2010, a China representou 30% do total de pegada material global. (BALL, 2020). Dado o tamanho da sua economia (sendo a segunda maior do mundo, atrás apenas dos Estados Unidos) e o uso de materiais, a China desempenhará um papel fundamental no esforço de conter o aumento de temperatura e de tentar reverter a situação das fronteiras que já foram ultrapassadas. Uma única província pode ter uma população, PIB e pegada ambiental equivalente ao de um país de médio porte e alta renda. A título de exemplo, pode ser observada a cidade Guangdong, que em 2010 tinha um PIB equivalente a 81% da Holanda com uma população menor que do México. (Jiang, 2019) A Ásia foi o destino mais importante dos recursos naturais incorporados nas importações para a demanda final doméstica (GILJUM, 2014).

A partir dos dados disponíveis no Material Flow Analysis Portal, foram extraídos os gráficos apresentados nas Figura 17 e 18. Observa-se que a China apresentando um DMC composto da maior parte de materiais não metálicos, representado 68,5% do total. Examinando pela Pegada Material, a China depende da extração de recursos de quase todos os países do mundo, sendo quase 93% dos materiais originados da Ásia, até pela própria China. As importações de matéria-prima são usadas quase que inteiramente para produção de produtos com fins de exportação (GILJUM, 2014). A matéria prima consumida é utilizada no setor secundário da economia e se tem uma maior importação de metais minerais e combustíveis fósseis.

Em 2007, os Estados Unidos foram o maior importador líquido de matérias-primas (2,2 bilhões de toneladas). O DMC do país é composto por materiais não metálicos, combustíveis fósseis e biomassa como apresentado na Figura 17. A utilização dessas matérias primas vai principalmente para o setor secundário (60%) e seguido pelo setor terciário (38%).

Em valores absolutos, a China é o maior exportador de recursos primários incorporados no comércio e os Estados Unidos o maior importador de recursos primários incorporados no comércio (WIEDMANN, 2015).

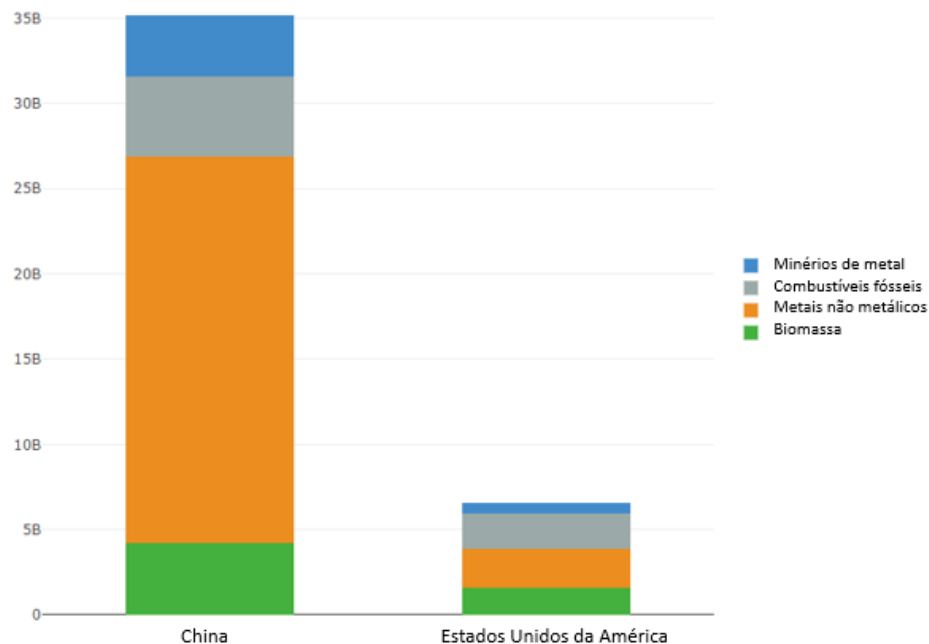


Figura 17: DMC da China e Estados Unidos no ano 2016 em toneladas.. Fonte: Adaptado traduzido do *Material Flows*. Disponível em: <http://www.materialflows.net/visualisation-centre/data-visualisations>

Segundo Giljum (2014), a participação do consumo de biomassa é maior nas economias em desenvolvimento e emergentes, o que pode ser constatado na Figura 16. O consumo brasileiro teve uma participação de 70% em 2007 por conta da expansão dos setores produtores de biomassa.

Apesar do mercado interno de Singapura necessitar de uma demanda por consumo de recurso, o país tem uma estrutura econômica aberta e orientada para exportação, fruto da forma de desenvolvimento dos Tigres Asiáticos, o que o localiza em uma posição intermediária de abastecimento global e interação comercial. A especialização do país em eletrônica, componentes de manufatura e tecnologia tem produzido componentes de infraestrutura essenciais e combustíveis para economias urbanas avançadas manterem seus fluxos (SCHULZ, 2007). Seu DMC é de maior parte composto por não metálicos e combustíveis fósseis, utilizado na maior parte no setor secundário (Figura 18). Há uma expansão no setor de serviços, que utiliza menos recursos. No entanto, isso não significa uma desmaterialização, quando se olha para a Pegada Material, determinante na redução do valor do IDH de Singapura, depois do ajuste ambiental (SCHULZ, 2007).

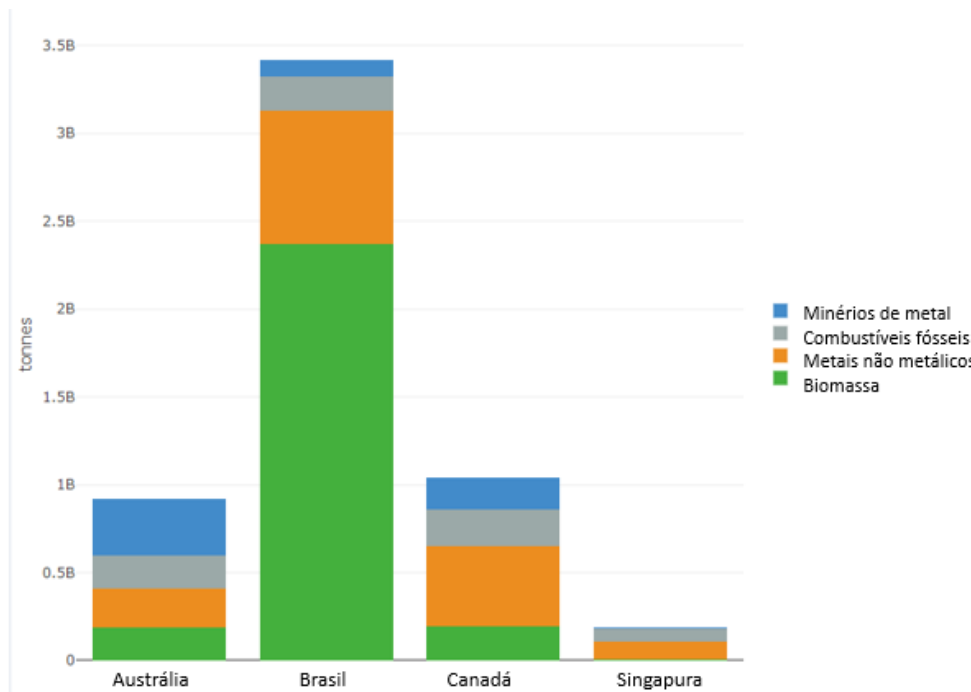


Figura 18: DMC da Austrália, Brasil, Canadá e Singapura em 2015 em toneladas. Fonte: Adaptado traduzido do Material Flows. Disponível em: <http://www.materialflows.net/visualisation-centre/data-visualisations>)

Austrália e Canadá se diferenciam por não estarem inclusos no modelo do comércio internacional, onde países de baixo consumo per capita e baixo PIB transferem os recursos naturais para os países com alto consumo e PIB alto (GILJUM, 2014). A economia da Austrália se concentrou em setores primários de mineração e agricultura, com declínio na manufatura nas últimas duas décadas. Essa diferenciação tem implicações no perfil de fluxo de material do país (SCHANDL, 2012). Porém, o país apresenta altos níveis de consumo per capita e com tendência de aumento. O setor secundário, representado por 56% do consumo dos recursos, tem como principal utilização a área de construção, seguido pelo setor terciário.

A Austrália apresenta um valor maior de DMC se comparado com a pegada material. O setor mais utilizado na pegada material é o de materiais não metálicos. Segundo o relatório do PNUMA (2016), na Austrália, o DMC cresceu mais rápido que o PIB em grande parte do período iniciando um declínio nos anos 2000. Essa tendência ocasionou em uma melhoria na produtividade do material, mas não foi refletido na diminuição da taxa de crescimento da pegada material que se manteve em um crescimento constante.

Já o Canadá apresenta uma pegada material maior que o DMC, com extrações advindas principalmente dos Estados Unidos, China e Índia. Esse fato demonstra que não houve uma desmaterialização da economia.

A ideia de que quanto mais avançada a sociedade, mais os materiais são utilizados com eficiência é uma ilusão. A realidade é que as sociedades mais avançadas terceirizam a extração e produção de bens intensivos em recursos naturais, em vez de produzi-los internamente (BALL, 2020). Tais sociedades se utilizam dos recursos dos países de economia emergente, como o Brasil, cujas atividades de mineração e agropecuária impulsionaram o crescimento econômico através das exportações, causando uma grande pressão sobre o meio ambiente (SALVO et al, 2015).

Analisando as tendências dessas economias de acordo com a pegada material e DMC (Figura 19), vemos que, de uma perspectiva do consumo, tais trajetórias de desenvolvimento não são exatamente sustentáveis. Singapura, por exemplo, tem um IDH alto, complexidade alta, setores da economia baseado em serviços, porém uma Pegada Material muito alta. O aumento da complexidade tende a ocasionar um crescimento econômico, e um aumento da demanda, apesar da diminuição da intensidade material, porém o aumento da complexidade pode significar a redução absoluta da demanda por matéria prima para se produzir no país. Em países em desenvolvimento, o aumento da complexidade econômica não diminui a extração de recursos naturais já que há uma dependência dos países desenvolvidos desses recursos.

No caso do Brasil, uma economia dita emergente, é possível observar que sua economia ainda é muito ligada a necessidade das demandas de recursos naturais dos países importadores. Apesar de isso ter sido a causa do crescimento econômico brasileiro, sua mercadoria exportada é formada por commodities (comercializados em bolsas de mercadorias e valores) minerais e de agropecuária, o que causou uma especialização desses bens, reduzindo sua lucratividade nas exportações e aumento dos impactos ambientais (TANIMOTO, 2010). Observando pelos indicadores, o aumento do DMC e da Pegada Material foi acompanhado do aumento do PIB. Segundo o relatório PNUMA (2016) e a Figura 19, seu consumo é maior no setor de biomassa enquanto a Pegada Material consiste em combustíveis fósseis e minérios de metais consumidos principalmente no setor secundário (64%).

Observou-se que, apesar da ideia de que a industrialização e desenvolvimento viriam acompanhados de uma desmaterialização, o fato de os países importarem bens intensivos em recursos naturais enquanto a produção desses bens em seus territórios diminui, demonstra a transferência dos impactos ambientais a países menos desenvolvidos.

Observando os países mais complexos (Estados Unidos, China e Singapura) os dados apresentados no Material Flow Analysis (Figura 19) demonstram que, com o aumento da complexidade dos países ao longo dos anos, houve um aumento da Pegada e do DMC. Os Estados Unidos apresentaram uma diminuição, sendo menor na Pegada Material. O que pode ser analisado dos dados obtidos nessa seção dos resultados é que o aumento do DMC acompanha o aumento do PIB dos países e a Pegada Material se mostrou bastante diferente de acordo com os países e sua forma de economia, analisando pela complexidade e estruturação ao longo dos anos.

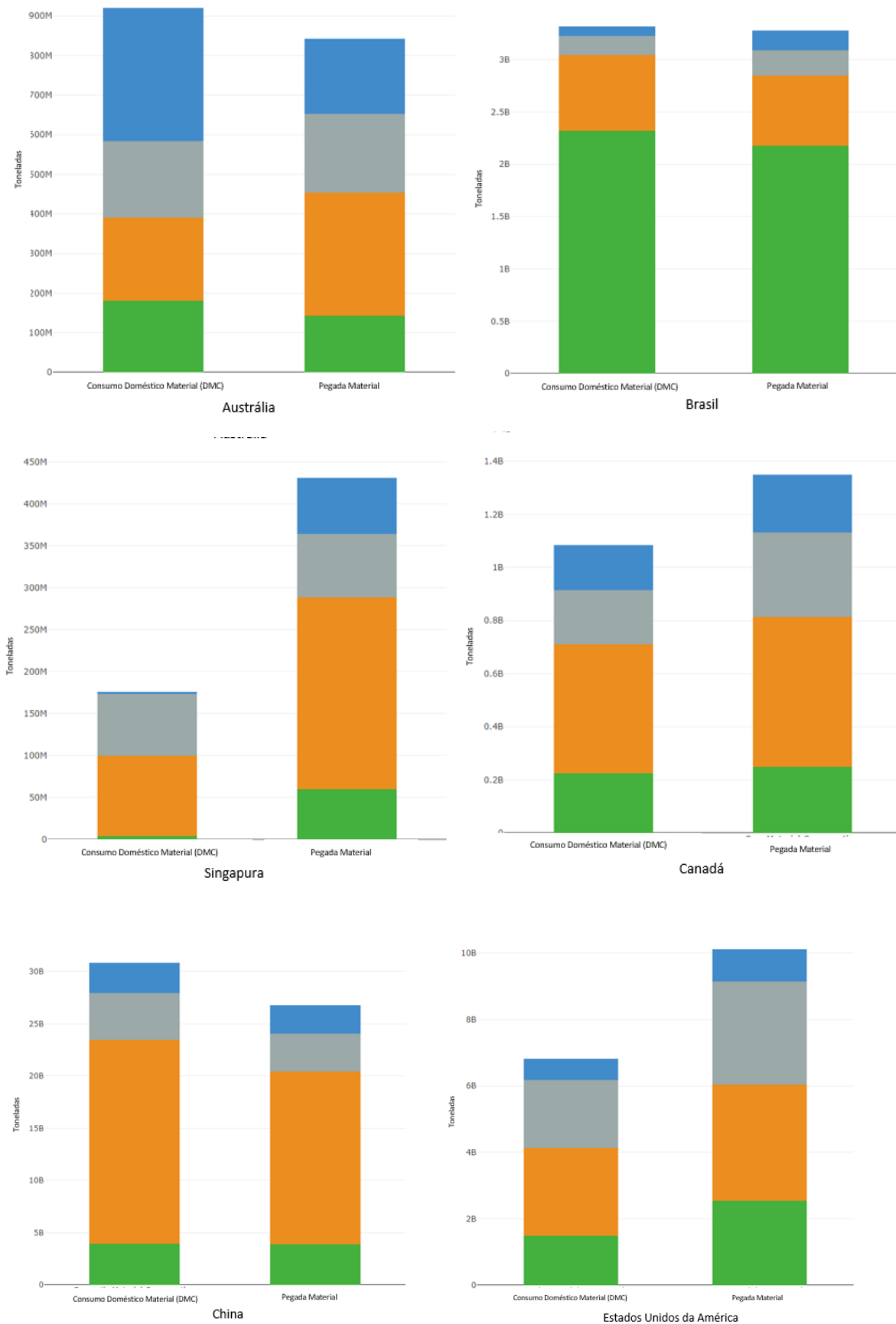


Figura 19: Comparação entre os indicadores DMC e Pegada Material para os 6 países selecionados no ano de 2013. Fonte: Adaptado traduzido do Material Flow Analysis.

6. CONCLUSÃO

O RDH 2020 trouxe uma nova perspectiva para um relatório tão utilizado e conhecido mundialmente, apresentando a problemática que os países considerados desenvolvidos são os que mais pressionam os ecossistemas e, portanto, os que mais contribuem para a insustentabilidade global.

Portanto, mostra-se necessária uma mudança na composição da economia, enquanto que o aumento da complexidade produtiva traz benefícios, como já citados por Romero e Gramkow (2021), porém, outros indicadores precisam ser levados em conta para uma visão mais ampla de sustentabilidade. Com a utilização da pegada ambiental, combinada com DMC, o presente trabalho demonstrou a realidade dos efeitos da economia em países com IDH altos. Apesar de serem classificados com alto índice de desenvolvimento humano, o resultado dessa conquista veio com um alto custo ambiental.

Ao invés de transferir suas emissões para países menos desenvolvidos e se certificarem como sustentáveis por estarem dentro da faixa aceitável de indicadores, a partir da perspectiva da sustentabilidade fraca, os países desenvolvidos ainda possuem um longo caminho a percorrer rumo à sustentabilidade, que irá demandar uma mudança significativa nas relações de trocas econômicas atualmente vigentes. A análise de metabolismo social serve para identificar as demandas materiais e energéticas desde o processo de extração até consumo de bens finais. Assim como o ciclo da natureza não produz resíduo, o ser humano deveria introduzir esse pensamento no consumo, fazer uma economia onde o fim do produto é tão importante quanto o estágio inicial de consumo e produção. A economia circular traz essa visão sistêmica, de forma a manter um fluxo circular dos recursos, contribuindo para um desenvolvimento verdadeiramente sustentável.

Já é possível observar os efeitos da insustentabilidade do desenvolvimento no mercado financeiro. Em 2020, o Bank for International Settlements (BIS) lançou o Relatório Cisne Verde, em que avalia tais efeitos, com foco nas mudanças climáticas. O relatório cita que os efeitos das mudanças climáticas podem levar a um evento de “cisne verde”, termo gerado a

partir da ideia do cisne negro⁷. Esse efeito pode trazer consequências a outros setores, podendo ocasionar uma crise financeira.

O relatório traz como urgência a necessidade dos bancos de coordenarem ações com um amplo conjunto de medidas a serem implementadas por outros atores, como o governo, para combate aos efeitos advindos das mudanças climáticas. Como solução óbvia é citada a necessidade de precificação do carbono e da divulgação dos riscos relacionados ao clima pelo setor privado. É importante observar como os custos e riscos caem desproporcionalmente em países de baixa e alta renda, sendo necessário compreender, abordar e estudar as consequências distributivas. (BIS, 2020).

Esses fatos mencionados no relatório foram enfatizados na recente Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas, ocorrida em 2021 em Glasgow. Na conferência foi citado como necessário a transição para uma economia de baixo carbono, reafirmando um acordo entre os países para diminuição de suas emissões.

Com os dados obtidos no trabalho, se mostra necessário uma mudança no rumo do desenvolvimento atual de modo a evitar maiores consequências para a sobrevivência humana. Os indicadores são necessários para identificar a problemáticas, mas ações precisam ser realizadas. Espera-se que o RDH 2020 seja apenas o início de um processo de mudanças. Se antes eles se baseavam no ranking do IDH, que futuramente outros indicadores ambientais possam ser incluídos dando uma visão mais realista e servindo como base para um caminho mais sustentável. Para futuros trabalhos, recomenda-se uma avaliação mais prática de meios a se atingirem a tão comentada sustentabilidade.

⁷ Cisne negro é um termo utilizado para se referir a eventos fora da curva e que tem forte impacto catastrófico na economia.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABRAMOVAY, Ricardo. *A pegada material da economia contemporânea está piorando*. NEXO jornal. Setembro, 2016. Disponível em: <<https://www.nexojornal.com.br/ensaio/2016/09/18/A-pegada-material-da-economia-contempor%C3%A2nea-est%C3%A1-piorando>>. Acesso em: 20/10/2021

ALMEIDA, Paulo Roberto de. *A Economia Internacional no século XX: um ensaio de síntese*. Revista bras. polít. int; vol.44 no.1, Brasília Jan./Jun, 2001.

ALVES, José Eustáquio Diniz. *Antropoceno: a Era do colapso ambiental*. Centro de Estudos Estratégicos da Fiocruz (CEE). 2020. Disponível em: <<https://cee.fiocruz.br/?q=node/1106>>. Acesso em: 13/10/2021

ALVES, José Eustáquio Diniz. *Holoceno e Antropoceno*. EcoDebate. 08/08/2012. Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/2012/08/08/holoceno-e-antropoceno-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/>>. Acesso em: 24/10/2021

AMARAL, Guilherme Soares Gurgel. *Indicadores de desenvolvimento sustentável e a “sustentabilidade forte”: uma análise teórica dos indicadores para o planejamento da transição à sustentabilidade*. ENEGEP, São Paulo, 2010.

ARORA, Rashmi Umesh; RATNASIRI, Shayama. *Recent growth experiences of Asian Tigers: Where does India stand?* Internacional Journal of social economics, 2015.

Atlas of Economic Complexity. Página inicial. Disponível em: <<https://atlas.cid.harvard.edu/>>.

BALL, P. *China's complex material footprint*. Nature Material. 19, 133, 2020.

BIS, Banque de France. BOLTON, Patrick; DESPRES, Morgan; PEREIRA DA SILVA, Luiz Awazu; SAMAMA, Frédéric; SVARTZMAN, Romain. *The Green Swan. Central Banking and Financial Stability in the Age of Climate Change*, 2020.

BITHAS, Kostas; KALIMERIS, Panos. *The Material Intensity of Growth: Implications from the Human Scale of Production*. Springer, vol 133(3), pag 1011-1029, 2017

BOMFIM, M. P. M. *A Capability Approach de Amartya Sen e o indicador de Desenvolvimento Humano (IDH)*. Tese (mestrado) – PUC. São Paulo, 2012.

BRUNDTLAND, G. H. (Org.) *Nosso futuro comum*. Rio de Janeiro. FGV, 1987

CARVALHO, T. S.; ALMEIDA, E. *A Hipótese da curva de Kuznets ambiental global: uma perspectiva econométrico-espacial*. Estudos Econômicos (São Paulo), Vol.40(3), pp.587-615, 2010.

CECHIN, A. D; VEIGA, J. Eli da. *A Economia Ecológica e evolucionária de Georgescu-Roegen*. *Revista Econômica Política*. Vol 30, no 3, São Paulo, 2010.

CRUTZEN, P. J; STOERMER, E. F. *O antropoceno*. PISEAGRAMA, Belo Horizonte, sem número, 06 nov. 2015. <<https://piseagrama.org/o-antropoceno>>.

FÉRES, J. G. *Indicadores de desarrollo sustentable: aspectos metodológicos y aplicaciones a los países de América del Sur*, 2014. Disponível em: <https://www.redsudamericana.org/sites/default/files/doc/NT2_IndSustFERES.pdf>

FIGUEIREDO, M. D; MARQUESAN, F. S. *Anthropocene and “Development”*: *Interwined Trajectories Since the Beginning of The Great Acceleration*. Revista de Administração Contemporânea - RAC, v. 24, n. 5, art. 2, pp. 400-413, 2020.

FISCHER-KOWALSKI, M; HABERL, H. *Social metabolismo: a metric for biophysical growth and degrowth*. Chapter 5 In: MARTINEZ-ALIER, Joan; MURADIAN, Roldan. *Handbook of Ecological Economics*. Edition 1, 2015.

GILJUM, Stefan; BRUCKNER, Martin; MARTINEZ, Aldo. *Material Footprint Assessment in a Global Input-Output Framework*. Journal of Industrial Ecology, 2015-10, vol. 19 (5), p. 792-804.

GOMEZ, J. R. M. *Crítica ao conceito de desenvolvimento*. Revista Pegada, v. 3, n. 1, p. 1-13, 2002

HAUSSMANN, HIDALGO et al. *The Atlas of Economic Complexity*. DRAFT, 2011

IPEA, Nota técnica, *Objetivo: Considerações sobre a metodologia utilizada para a proposição de metas para os indicadores-chave e listados na Estratégia Federal de Desenvolvimento para o Brasil relativa ao período de 2020 a 2031*. (2020)

JIANG, Meng; BEHRENS, Paul. *Provincial and sector-level material footprint in China. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 2019-12-16, Vol. 116 (52).

KARAKAYA, Etem; SARI, Erkam; ALATAS, Sedat. *What drives material use in the EU? Evidence from club convergence and decomposition analysis on domestic material consumption and material footprint*. Resources Policy, Volume 70. March, 2021.

KRAUSMANN, Fridolin; EISENMENGER, Nina. *Material Flow Accounting: Measuring Global Material Use For Sustainable Development. Annual Review of Environment and Resources*. 2017

MULLER, Charles C. Os economistas e as inter-relações entre o sistema econômico e o meio ambiente. NEPAMA, Departamento de Economia – UnB, Editora UnB, 2004.

OEC – *The Observatory of Economic Complexity*. Macro Connections. Página inicial. Disponível em: < <https://oec.world/> >

PNUMA. *Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth*. Painel Internacional de Recursos, 2011

PNUMA. *Emissions Gap Report*, Executive summary, Nairobi, 2020.

PNUMA. *Global Material Flows and Resource Productivity*. United Nations Environment Programme 2016

QUINZANI, Márcia Angela Dahmer; BORGES, Fábio. *Desenvolvimento e complexidade econômica: uma análise comparativa Brasil-China*. Revista Orbis Latina, vol. 10, n.3, 2020.

RDH - Relatório de Desenvolvimento Humano. PNUD. 1990

RDH – Relatório de Desenvolvimento Humano – A Verdadeira Riqueza das Nações: Vias para o Desenvolvimento Humano. PNUD. 2010

RDH – Relatório de Desenvolvimento Humano – A Próxima Fronteira: O desenvolvimento humano e o Antropoceno. PNUD. 2020

ROCKSTROM, J., W. STEFFEN, K. Noone, A°. Persson, F.S. Chapin III, E.F. Lambin, T.M. Lenton, M. Scheffer, et al.. *A safe operating space for humanity*. Nature 461: 472–475, 2009.

ROMERO, João P.; GRAMKOW, Camila. *Economic complexity and greenhouse gas emissions*. World Development v. 139, 2021.

SANTOS, Moacir José dos; CARNIELLO, Monica Franchi. *História do Desenvolvimento: limites de um campo de pesquisa*. Revista Brasileira de Gestão de Desenvolvimento Regional, v. 10, n. 3, 2014. Taubaté, SP.

SALVO, Gabriele; SIMAS, Moana S; PACCA, Sérgio A; GUILHOTO, Joaquim; TOMAS, Acacio R.G; ABRAMOVAY, Ricardo. *Estimating the*

human appropriation of land in Brazil by means of an Input-output Economic Model and Ecological Footprint analysis. Ecological Indicators 53, 78-94, 2015.

SCHANDL, Heinz; WEST, James. *Material Flows and Material Productivity in China, Australia, and Japan.* Journal of Industrial Ecology, vol. 16 (3), 2012.

SEN, Amartya. *Desenvolvimento como Liberdade.* Companhia das Letras, São Paulo, 2000

SILVA, Dalvanir Avelino; Nelson, Aline Virginia Mederos; Silva, Maria Aparecida Ramos. *Do Desenvolvimento como Crescimento Econômico ao Desenvolvimento como Liberdade: A Evolução de um Conceito.* Desenvolvimento em Questão, vol 16, num 12, 2018. Universidade Regional do Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

Sistema de Estimativa de Gases do Efeito Estufa (SEEG). Disponível em: <<https://seeg.eco.br/>>

SOLOW, Robert. *An Almost Practical Step Toward Sustainability.* Resources for the Future, 1992.

SOUZA, Maria Cristina Oliveira; CORAZZA, Rosana Icassatti. *Do Protocolo de Kyoto ao Acordo de Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases do efeito estufa.* Desenvolvimento e Meio ambiente, 2017.

SCHULZ, Niels B. *The Direct Material Inputs into Singapore's Development*. Journal of Industrial Ecology, Vol. 11, p. 117-131. 2007.

TANIMOTO, Armando Hirohumi. *A economia medida pela Análise de Fluxo de Massa (AFM): A desmaterialização da economia nos países desenvolvidos sustentados pelos recursos naturais dos países emergentes, a exemplo do Brasil, 2010*. Tese (Doutorado) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

TOLEDO, Víctor M. *El metabolismo social: una nueva teoría socioecológica*. Relaciones Estudios de Historia y Sociedad 136, 2013.

VEIGA, José Eli da. *Desenvolvimento sustentável: o desafio para o século XXI*. Editora Garamond. 2010

VEIGA, José Eli da. *Indicadores de sustentabilidade*. Estud. Av vol 24. No.68 São Paulo, 2010.

VEIGA, José Eli da. *Indicadores socioambientais: evolução e perspectivas*. Revista de Economia Política, vol 29, n° 4 (116), pp 421-435, 2009.

VEIGA, José Eli da. *Para entender o desenvolvimento sustentável*. Editora 24. 2015.

WATERS, Colin N; ZALASIEWICZ, Jan; SUMMERHAYES, Colin. *The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene*. Science, 2016. Vol. 351.

WIEDMANN, Thomas O; SCHANDL, Heinz; LENZEN, Manfred; MORAN, Daniel; SUH, Sangwon; WEST, James; KANEMOTO, Keiichiro. *Material Footprint of Nations*. Nation Academy of Sciences of the United States of America, Vol. 112, 2015.

WRI Brasil, *4 gráficos para entender as emissões de gases de efeito estufa por país e por setor*. 2020. Disponível em: <
<https://wribrasil.org.br/pt/blog/2020/02/quatro-graficos-explicam-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-por-pais-e-por-setor>> Acesso em: 13/10/2021