

Jhean Steffan Martines de Camargo

**Sustentabilidade, Complexidade e Economia:
Dinâmicas e Perspectivas**

Sorocaba

2018

Jhean Steffan Martines de Camargo

Sustentabilidade, Complexidade e Economia: Dinâmicas e Perspectivas

Defesa do título de mestre em sustentabilidade para o Programa de Pós Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental na Universidade Federal de São Carlos

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

Centro de Ciências e de Tecnologias para a Sustentabilidade - CCTS

Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental

Orientador: Ismail Barra Nova de Melo

Coorientador: Paulo Sérgio de Oliveira Simões Gala

Sorocaba

2018

de Camargo, Jhean Steffan Martines

Sustentabilidade, Complexidade e Economia: Dinâmicas e Perspectivas /
Jhean Steffan Martines de Camargo. -- 2018.
192 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus
Sorocaba, Sorocaba

Orientador: Dr. Ismail Barra Nova de Melo

Banca examinadora: Dr. Ivan Fortunato, Dr. José Eduardo de Sales
Roselino Jr.

Bibliografia

1. Sustentabilidade. 2. Economia Ecológica. 3. Complexidade. I.
Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Bibliotecário(a) Responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano – CRB/8 6979



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências e Tecnologias Para a Sustentabilidade
Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Jhean Steffan Martines de Camargo, realizada em 14/12/2018:

Prof. Dr. Ismail Barra Nova de Melo
UFSCar

Prof. Dr. Jose Eduardo de Salles Roselino Junior
UFSCar

Prof. Dr. Ivan Fortunato
IFSP - Itapetininga

Dedico a aqueles que ainda não desistiram de sonhar.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente a todos os pesquisadores e colegas que leram esse trabalho. Agradecer a parceria entre os programas de pós graduação PPGSGA e MSCX pertencentes à Universidade Federal de São Carlos e à Universidade de São Paulo. Gostaria de agradecer em especial ao professor Ismail por ter me aceito como orientado e ao professor Paulo Gala pelas conversas infinitas. Ao professor Sílvio por ter me educado (há controvérsias) academicamente, ao professor Fernando Fagundes por ter me mostrado as aplicações de Complexidade e outros colegas que me auxiliaram nessa caminhada que foi escrever esse trabalho insano. Gostaria de agradecer a ajuda espiritual recebida nesse longo caminho, guardo no coração o registro do carinho enviado.

“Temos uma boa idéia do que um mundo cientificamente controlado pareceria. Na melhor das hipóteses, seria como o mundo feliz de Huxley; na pior das hipóteses, como o 1984 de Orwell. É um fato empírico que as realizações científicas são devidas tanto ou mais a destrutivas quanto ao uso construtivo. (Teoria Geral dos Sistemas - Ludwig Von Bertalanffy)

Resumo

Na década de sessenta, o debate ambientalista tomou forma com a publicação de dois clássicos: Primavera Silenciosa de Rachel Carlson e The Population Bomb de Paul Ehrlich. O debate em si, contestava a forma em que o capitalismo industrial agia de modo a causar a mortandade de outras espécies animais de modo a prejudicar a frágil ecológica que mantinha estável a relação entre o homem e o meio natural. Deste modo, fica sob suspeita a separação dos fenômenos causadores dos distúrbios ambientais da ação do homem em relação a natureza dos efeitos danosos da mortandade dos animais ou da depleção de recursos renováveis, vivos ou não. Neste texto, o objeto de estudo consiste em observar em uma linha lógica a percepção do que é colapso ambiental, a partir da análise das referências bibliográficas, cujo objetivo é contextualizar no presente como a ação do homem no passado remoto na história do Mediterrâneo ocasionou um colapso ambiental que quase levou a uma situação de colapso por escassez de alimentos. Da mesma forma, busca-se alicerçar em componentes teóricos a explicação versada dentro da interdisciplinaridade entre economia, ecologia e física, sob a luz da teoria da complexidade. Dos resultados encontrados, observa-se uma aproximação da teoria da complexidade com textos clássicos como o The Population Bomb ou o Relatório Nosso Futuro Comum, ou o Relatório Brudtland, da mesma forma, ao se realizar uma investigação sobre indicadores de meio ambiente como o EPI (Environmental Performance Index), percebe-se que existe uma forte convergência entre os indicadores de complexidade econômica (ECI) e o EPI.

Palavras-chave: Ecologia. Economia. Recursos Naturais. Sistemas Complexos. Complexidade. Economia Ecológica.

Abstract

In the 1960s, the environmental debate took shape with the publication of two classics: Rachel Carlson's *Silent Spring* and Paul Ehrlich's *The Population Bomb*. The debate itself challenged the manner in which industrial capitalism acted in ways that caused the killing of other animal species in ways that undermined the fragile ecological that kept the relationship between man and the natural environment stable. Thus, the separation of the phenomena that cause the environmental disturbances of human action in relation to the nature of the harmful effects of animal mortality or the depletion of renewable resources, living or not, is under suspicion. In this text, the object of study is to observe in a logical line the perception of what is environmental collapse, from the analysis of bibliographical references, whose objective is to contextualize in the present how the action of man in the remote past in the history of the Mediterranean caused a environmental collapse that almost led to a food shortage collapse situation. In the same way, we seek to base on theoretical components the explanation versed within the interdisciplinarity between economics, ecology and physics, in the light of complexity theory. From the results found, one can see an approximation of complexity theory with classical texts such as *The Population Bomb* or *Our Common Future Report*, or the *Brudtland Report*, similarly, by conducting an investigation into environmental indicators such as EPI. (Environmental Performance Index), it is clear that there is a strong convergence between the indicators of economic complexity (ECI) and the EPI.

Keywords: Ecology. Economy. Natural resources. Complex Systems. Complexity. Ecological Economics

Lista de ilustrações

Figura 1 – Quadro Comparativo das Teorias de Hardim e Elinor Ostrom	80
Figura 2 – Definição de Ubiquidade e Diversidade	90
Figura 3 – Pauta de Exportação da Economia Brasileira em 1962	96
Figura 4 – Pauta de Importação da Economia Brasileira em 1962	97
Figura 5 – Principais Parceiros Comerciais do Brasil para Exportação em 1962. . .	97
Figura 6 – Pauta de Exportação da Economia Brasileira em 1972	98
Figura 7 – Pauta de Importação da Economia Brasileira em 1972	98
Figura 8 – Exportações de Máquinas pela Economia Brasileira em 1972	99
Figura 9 – Pauta de Exportação da Economia Brasileira em 1982	100
Figura 10 – Pauta de Importação da Economia Brasileira em 1982	100
Figura 11 – Exportações de Máquinas pela Economia Brasileira em 1982	101
Figura 12 – Evolução do Índice de Complexidade Econômica (ECI) para a economia brasileira	102
Figura 13 – Pauta de Exportação da Economia Brasileira em 1992	102
Figura 14 – Exportações de Máquinas pela Economia Brasileira em 1992	103
Figura 15 – Pauta de Exportação da Economia Brasileira em 2002	104
Figura 16 – Exportações de Máquinas pela Economia Brasileira em 2002	104
Figura 17 – Pauta de Exportação da Economia Brasileira em 2012	106
Figura 18 – Pauta de Exportação da Economia Brasileira em 2016	107
Figura 19 – Comparação dos Pressupostos Econômicos Entre Indústria e Agricultura	112
Figura 20 – Sistemas Schumpeterianos e Malthusianos	116
Figura 21 – Sistemas Schumpeterianos e Malthusianos (continuação)	117
Figura 22 – O Espaço dos Produtos ou Product Space	118
Figura 23 – Comunidades no Espaço de Produtos	119
Figura 24 – Esquema Pegada de Carbono	122
Figura 25 – Proporção de Terras em 2007	123
Figura 26 – Série Histórica da Pegada de Carbono Mundial	124
Figura 27 – Série Histórica da Pegada de Carbono do Brasil	125
Figura 28 – Série Histórica da Pegada de Carbono da China	125
Figura 29 – Série Histórica da Pegada de Carbono da Rússia	126
Figura 30 – Série Histórica da Pegada de Carbono dos Estados Unidos	126
Figura 31 – Emissão de Carbono por ECI em 2013	127
Figura 32 – Emissão de Carbono por ECI em 2013	129
Figura 33 – Saldo de Carbono em 2013	130
Figura 34 – Exportação Noruega 2016	132
Figura 35 – Exportação Canadá 2016	132

Figura 36 – Exportação Finlândia 2016	133
Figura 37 – Exportação Austrália 2016	133
Figura 38 – Emissão de Gases Poluentes do Efeito Estufa em 1970 e 2010	136
Figura 39 – Emissão de Gases Poluentes e População Mundial em 2007	138
Figura 40 – Emissão de CO2 em 1960 e 2010	140
Figura 41 – Emissão de CO2 per capita em 1960 e 2010	142
Figura 42 – Emissão de CO2 per capita em 1960 e 2010 por país	144
Figura 43 – Emissão de Gases Poluentes entre 1960 e 2010 por país	146
Figura 44 – Componentes do Indicador EPI	149
Figura 45 – Componentes do Indicador EPI	151
Figura 46 – Mapa do Indicador EPI	152
Figura 47 – Indicador de Vitalidade e Saúde Ambiental em 2014	153
Figura 48 – Indicador de Vitalidade e Saúde Ambiental em 2014 Clusterizado por K-means	155
Figura 49 – Diagrama de Caixa do Indicador de Saúde Ambiental em 2014	157
Figura 50 – Diagrama de Caixa do Indicador de Saúde Ambiental em 2014	159
Figura 51 – Indicador de Vitalidade e Saúde Ambiental em 2014	160
Figura 52 – Indicador de Vitalidade e Saúde Ambiental em 2014	162
Figura 53 – Indicador de Vitalidade e Saúde Ambiental em 2014	164
Figura 54 – Indicador de Vitalidade e Saúde Ambiental em 2014	166
Figura 55 – Indicador de Vitalidade e Saúde Ambiental em 2014	168
Figura 56 – Indicador ECI e EPI no ano de 2014	170
Figura 57 – Indicador EPI e indicador ECI+ no ano de 2014	171
Figura 58 – Mapa EPI no ano de 2014	172
Figura 59 – Mapa ECI no ano de 2014	173
Figura 60 – Indicador de Saúde do Meio Ambiente no ano de 2014	174
Figura 61 – Indicador de Vitalidade do Meio Ambiente no ano de 2014	175

Lista de tabelas

Tabela 1 – Top 20 Product Complexity Index para o ano de 1962	93
Tabela 2 – Bottom 20 Product Complexity Index para o ano de 1962	94
Tabela 3 – Top 20 Product Complexity Index para o ano de 2016	95
Tabela 4 – Bottom 20 Product Complexity Index para o ano de 2016	96

Sumário

	Introdução	21
I	REVISÃO DE LITERATURA	25
1	ECONOMIA DO COLAPSO	27
1.1	Diminish Returns e o Conceito de Colapso nas Civilizações Antigas	28
1.1.1	Pau Rosa	29
1.1.2	Sândalo do Mysore	30
1.2	Reinert e os Mecanismos dos Retornos Decrescentes	30
1.3	Dos Retornos Decrescentes à Complexidade	34
1.4	Da Complexidade Social ao Colapso Social e Ambiental	35
1.5	Historia Ambiental e os Impactos da Atividade Humana nas Civilizações Antigas	36
1.6	Revolução Industrial, Smith e Malthus e o Contexto Ambiental	43
1.7	De Ricardo às Rendas Ricardianas: A Maldição dos Recursos Naturais	47
1.8	Conclusão	53
2	OIKOLOGIA E OIKONOMIA: UM DIÁLOGO COMPLICADO	55
2.1	Introdução	55
2.2	Forrester, Meadows e os Limites do Crescimento: Modelos Computacionais e o Meio Ambiente	56
2.3	Um Livro-Bomba, como Paul Ehrlich disseminou uma visão neo-Malthusiana	60
2.4	A crítica de Simons às Cassandras: Um Mundo Curnocopiano	65
2.5	O Relatório Brudtland e a Gênese do Debate	67
2.6	Conclusão	72
3	ECONOMIA E TRANSMISSÃO DE RECURSOS NATURAIS	75
3.1	Introdução	75
3.2	Hardin e a Tragédia dos Comuns	76
3.3	Ostrom e a Governança dos Recursos Comuns	77
3.4	Desenvolvimento Economico e Comércio Internacional	80
3.5	Conclusão	82

II	ANÁLISE QUANTITATIVA	85
4	FLUXO DE COMMODITIES NO SISTEMA MUNDO E COMPLEXIDADE ECONÔMICA	87
4.1	Introdução	87
4.2	Teoria da Complexidade Econômica	88
4.3	Premissas da Complexidade Econômica	89
4.4	Índice de Complexidade Econômica (ECI)	89
4.5	Interpretação do ECI e do PCI	92
4.6	Pauta de Exportação da Economia Brasileira	94
4.7	Desindustrialização, Doença Holandesa e Recursos Naturais	105
4.8	Espaço dos Produtos ou Product Space	111
4.9	Conclusão	114
5	INDICADORES AMBIENTAIS E COMPLEXIDADE	121
5.1	Complexidade Econômica e Complexidade Ambiental	121
5.2	Avaliação de Gases Poluentes e o Processo de Desenvolvimento Econômico	132
5.2.1	Análise Espacial da Emissão de Poluentes	134
5.2.2	Análise Polulacional	139
5.2.3	Evolução Temporal da Emissão de Poluição	142
5.3	Indicadores de Qualidade Ambiental	147
III	CONCLUSÃO	177
6	CONCLUSÃO	179
	REFERÊNCIAS	183
	APÊNDICES	189
	ANEXOS	191

Introdução

O assunto meio ambiente, sempre foi tema controverso dentro da ciência econômica, primeiro ao se considerar a participação do componente recursos naturais como fator de produção para o crescimento econômico (os clássicos são terra, trabalho e capital), da mesma forma em que não haviam disciplinas até pelo menos metade do século passado que fossem especializadas para o estudo da variável ambiental dentro da economia. A escola ortodoxa ou de matriz neoclássica, se dispõem de duas grandes disciplinas para o estudo do meio ambiente na economia: economia do meio ambiente, com o estudo de políticas de precificação ótima e taxação, estudando autores como Pigou e Coase. A segunda disciplina é economia dos recursos naturais, que tem como objetivo a maximização e a utilização ótima de recursos naturais, como por exemplo, otimização dinâmica da extração de recursos pesqueiros ou extração de petróleo de modo que num horizonte ótimo, a extração foi feita de modo máximo a gerar um recurso financeiro para os detentores da posse daquele recurso natural. Não obstante, existem adaptações de teorias consolidadas, como a curva de Kuznets, aplicada ao meio ambiente como CKA (Curva de Kusnetz Ambiental), que debate qual é o nível de poluição aceitável que uma população aceita no início do seu processo de industrialização e como essa curva deve decair conforme o desenvolvimento econômico caminha, enquanto uma nação caminha para o estado de economia desenvolvida.

Dentro do contexto da crítica a forma em que a escola ortodoxa de economia lida com a questão ambiental, o economista neoclássico dissidente Nicholas Georgescu-Roegen formulou um conjunto de premissas diferentes em relação ao modo em que a economia tradicional lidava com a questão da gestão de recursos naturais que não são renováveis ou que possuem uma taxa de renovação tão baixa que pode ser considerado não renovável, isto é, os fundamentos da economia tradicional são alicerçados no tocante do equilíbrio estático. Isto é, acredita-se que a economia é feita por um conjunto de parâmetros estáticos que podem ser otimizados no curto prazo e ao atingir o estado de equilíbrio (mecânico) dessas variáveis é possível atingir o melhor ponto possível que gere bem estar para todos os envolvidos no processo econômico. A principal crítica, a principio, consiste em que o uso de um recurso natural no processo econômico pode atrapalhar a dinâmica da produção humana e da vida no planeta, de modo que gerações futuras são privadas do acesso aos recursos naturais que desperdiçamos hoje. O componente teórico que alicerça a teoria de Georgescu-Roegen é a questão da entropia dos recursos naturais, ou seja, a disponibilidade de um recurso natural é sujeita o grau de aproveitamento desse recurso pelo processo econômico (um dado bem não pode ser reutilizado para sempre, quando ele deixa de ser reaproveitado, ele se torna um recurso de alta entropia e não pode ser mais reaproveitado pela natureza) e o uso econômico no presente de elementos que são de baixa entropia,

processados no sistema econômico e depois descartado, é uma forma de consumir os recursos do planeta e com isso sair de um processo de baixa entropia para alta entropia. No longo prazo isso poderia tornar o planeta (e por consequência, o sistema econômico) inabitável e o processo do crescimento econômico de longo prazo inviável (DALY; FARLEY, 2010; COSTANZA et al., 2014; WELLS, 2012; GEORGESCU-ROEGEN, 2012).

O ponto central que diferencia as teorias da economia ecológica da economia ambiental (tradicional) se inicia na comparação do modelo do fluxo circular da renda que é o modelo econômico mais elementar: o sistema econômico por meio da visão tradicional do diagrama da renda é composto por famílias, empresas e governo. Famílias consomem, poupam e recebem salários das empresas além de pagar impostos ao governo, as empresas por sua vez, se financiam com a poupança das famílias, investem em si próprias, pagam salários aos funcionários, pagam impostos ao governo e os financiam, a sua sorte, que os governos recebem os impostos da sociedade e devolvem isso sob a forma de bens e serviços públicos. Por mais simplificador que seja o modelo, a crítica dos economistas ecológicos é que insumos básicos provenientes da natureza como energia, água, ar, recursos renováveis não são levados em consideração neste processo. E a necessidade de se levar em consideração esses elementos da natureza consiste exatamente pela sua finitude e possibilidade de escassez e depleção, uma vez que interfere dentro do diagrama de fluxo circular da economia tradicional.

A discussão que visa se propor aqui é levantar uma discussão que possa fazer uma ponte entre o ponto de vista da economia tradicional com uma visão sistêmica e mais abrangente que possa buscar uma melhor explicação do processo do colapso econômico por meio da exaustão de recursos naturais. O primeiro passo para se realizar esse procedimento é realizando uma revisão de literatura com os eventos ambientais passados observando casos em que o sistema ecológico passa por um processo de colapso e conectar isso com a teoria econômica tradicional para detectar quais são os fenômenos ambientais e econômicos que possam ser possíveis indicadores de um processo de colapso ambiental causado pelo sistema econômico ou pela ação humana dentro dos processos naturais.

Essas diferentes áreas do conhecimento podem ser estudadas pelo que se denomina por sistemas complexos ou por sistemas dinâmicos complexos, que é a interpretação de problemas oriundos de ciências sociais aplicadas como economia ou sociologia, ou ciências naturais como biologia e ecologia sob a luz do corpo teórico da física, o que é chamado hodiernamente de econofísica (economia + física) ou sociofísica, para o caso da ecologia. Este trabalho tem como base referencial o trabalho elaborado por Georgescu-Roegen, precursor deste debate ao trazer analogias da física e da biologia para a economia e com isso criar uma reflexão diferente do que se havia feito até então dentro da ciência econômica.

Quando centramos o objeto de análise entre economia e meio ambiente, ao se considerar o comportamento do conjunto de agentes participantes no processo econômico

(sociedade, empresas, governos, instituições), tratamento dado pela sociedade hoje em dia, como hipótese central desse trabalho, subdimensiona a questão ambiental, dado a severidade dos fenômenos climáticos e ambientais que podem desencadear em caso de um colapso ambiental. Como as decisões tomadas pela sociedade via de regra são sempre em função de análises de custo-benefícios que se considera tão somente, observar o mundo econômico dentro do filtro financeiro, pouco se considera o impacto do uso e recursos econômicos dentro do tempo infinito que se sucede estas gerações.

Deste modo, tem-se por objetivo deste trabalho realizar o levantamento de referenciar as literaturas que possam demonstrar primariamente, a evolução do que seria o colapso ambiental causado pela ação do homem, os efeitos desencadeados durante o processo do colapso, como por exemplo, como efeito, a perda de fertilidade do solo ou perda de recursos hídricos, as explicações teóricas, como a Lei dos Rendimentos Marginais decrescentes, que justifica uma reação humana frente ao processo do colapso (migração em massa ou exodos é uma consequência tangível de um colapso ambiental), posteriormente, refletir esse processo ambiental e social dentro de um contexto macroeconômico ou dentro da macroeconomia ecológica, isto é, observando dentro da discussão puramente econômica ao se considerar os agregados econômicos, incorporar novos elementos ecológicos que levem em consideração a perspectiva ambiental e possíveis efeitos que possam ser detectados em uma análise exploratória de dados.

Não obstante, nos capítulos II e III deste trabalho, coloca-se em perspectiva comparada diversos autores para contrastar entre si, suas divergências e congruências de modo a munir o trabalho de elementos de reflexão e com isso poder criticar o processo econômico e ambiental, deixando de fazer uma leitura da economia sobre o meio ambiente, mas também invertendo o processo, deixando autores do meio ambiente criticar o processo econômico e com isso poder enriquecer o trabalho de revisão.

E por fim, o último capítulo do trabalho, tem como objetivo contrastar índices de comércio internacional com indicadores ambientais e com isso detectar fragilidades ambientais decorrentes do processo de desenvolvimento econômico, tentando ao menos garantir que as hipóteses levantadas a cada capítulo, tenham alguma significância dentro dos dados reais, não ficando somente dentro do campo teórico.

O trabalho se serve então, de obras escritas por diversos cientistas de outras áreas do conhecimento como Erick Reinert, economista cujo objeto de estudo é o desenvolvimento econômico e o crescimento econômico focado na exaustão de recursos naturais, Joseph Tainter, historiador que estuda a dinâmica da complexidade dentro do contexto do colapso social das sociedades complexas, Donald J. Hughes, biólogo que estuda o processo do colapso ambiental nas sociedades antigas, Paul Ehrlich biólogo de populações que debate os efeitos do aumento da população no contexto pós segunda guerra, Julian Lincon Simons, que contradiz Ehrlich e diz que recursos naturais podem ser tratados como recursos infinitos

dado a capacidade de reinvenção da economia, Elinor Ostrom, cientista política que debate a respeito da alocação dos recursos comuns em detrimento a tese da tragédia dos comuns de Hardin, um texto clássico sobre recursos comuns e exaustão.

Espera-se que o desenvolvimento deste trabalho, possibilite a reflexão sobre o processo do desenvolvimento econômico refletido dentro da questão ambiental e com isso, a transversalidade dos assuntos tratados possa servir como um prisma diferente de análise, sem a pretensão ou intenção de esgotar o assunto ou de reinventar a roda. A abordagem da complexidade é por natureza interdisciplinar e buscar novas literaturas e pontos de observação, possa ser a contribuição deste trabalho.

A contribuição maior, se dá nas formas de análise exploratórias de dados no último capítulo que se serve de mecanismos computacionais de exploração de dados, cujo objeto é analisar diferentes bases de dados combinando diferentes informações e contrastando por diferentes prismas como a economia se dá com o meio ambiente por análise de indicadores, o que possibilita novas discussões de como o processo de desenvolvimento econômico, está intimamente ligado com as questões ambientais.

Parte I

Revisão de Literatura

1 Economia do Colapso

“Contudo, a população da terra rica acabou se multiplicando de tal forma que nem os seus recursos abundantes podiam suportar. À medida que suas florestas eram derrubadas e seu solo erodido, sua produtividade agrícola já não era suficiente para gerar excedentes para exportação, construir navios, ou mesmo para nutrir seu povo. Com o declínio do comércio, escassearam as matérias-primas importadas. Sobreveio a guerra civil, e instituições políticas estabelecidas foram derrubadas por uma sucessão calidoscópica de líderes militares locais. A população faminta da terra rica sobreviveu tornando-se canibal. Seus antigos parceiros comerciais de além-mar tiveram um destino ainda pior: privados das importações das quais dependiam, começaram a saquear o seu próprio meio ambiente até que não sobrasse mais nada vivo.”

— Colapso, Jared Diamond

O homem desde que saiu do continente Africano e passa a migrar pelo mundo, possui dois grandes objetivos, procriar e sobreviver de acordo com seus instintos. A ação do homem, contudo, pode ser catastrófica para o meio ambiente, uma vez que a atuação do homem no meio tem o poder de transformar e modificar a paisagem e até mesmo a geologia, da mesma forma em que uma força da natureza como terremotos, furacões ou uma praga de gafanhotos também o tem.

Compreender as ações humanas sob uma perspectiva de atingir o bem-estar social é função da ciência econômica, debater se uma ação é benéfica para o coletivo ou se determinada ação deve ser realizada dentro de um contexto de custo-benefício são instrumentos utilizados ainda nos dias de hoje pela ciência moderna. Da mesma forma, que contrastar esses argumentos, produzir, sobreviver e preservar são pontos de pressão que muitas vezes atuam de forma opostas, como forças contraditórias que podem levar a situações indesejadas do ponto de vista do homem e do meio natural.

Sendo assim, cada componente relacionado ao meio natural e as forças econômicas serão contrastados nesse capítulo de modo a preparar a discussão da evolução do debate em relação desses polos distintos que é a economia e o debate ecológico.

Neste capítulo será feita uma revisão de literatura considerando a conceituação do que é a Lei dos Retornos Marginais Decrescentes (ou rendimentos marginais decrescentes), desenvolvendo o raciocínio sobre como o processo econômico leva a utilização de um recurso natural rumo a depleção (exaustão) de suas reservas. Na segunda parte, será tratado a história do colapso ambiental nas civilizações antigas, tentando mostrar as evidências de ocorrências de crises devido aos rendimentos marginais decrescentes. Por fim, será visto a posição dos economistas clássicos a respeito do processo ambiental e uma discussão que

versa dois grandes pensadores econômicos: David Ricardo e Thomas Malthus, dois grandes pensadores cuja influência orbitam a economia e seu trato com o meio ambiente.

O capítulo se encerra com uma leitura contemporânea do que é a doença holandesa, uma forma moderna da lei dos rendimentos marginais decrescentes e sua ocorrência é de fundamental importância para justificar duas coisas que são cruciais nesse trabalho: pobreza e devastação ambiental.

1.1 Diminish Returns e o Conceito de Colapso nas Civilizações Antigas

A relação do homem com o meio evolui a medida em que avança o tempo, de tal modo que o homem primitivo pouco impacto trazia para a natureza e com o avanço da ciência e da tecnologia, sua área de influência e desgaste do meio aumenta, agindo, transformando e desequilibrando o meio natural. O homem é parte integrante do sistema ambiental, sai da África como nômade e caçador-coletor, a capacidade de sobrevivência do homem está atrelada a disponibilidade de recursos naturais e qualquer desequilíbrio podendo causar a extinção de outras formas de vida e inclusive causando o desaparecimento de sua própria espécie, como o caso de desaparecimento de civilizações antigas, como os povos da Ilha de Páscoa, os Povos Maias, diversas civilizações da América Pré-Colombiana.

Como já citado na introdução e de acordo com Reinert (1996), a causa principal se dá aos retornos decrescentes (*diminish returns*), que é o processo de perda de fertilidade ou disponibilidade de um recurso devido ao uso excessivo, de modo que a estrutura de custo e retorno se deteriora até o sistema esgotar. Por exemplo, uma gleba de solo usada até a exaustão, se torna depletada pelo esgotamento, mas o que determina esse processo é a Lei dos Retornos Marginais Decrescentes.

Os impactos dos retornos decrescentes podem ser traduzidos em termos de ampliação da estrutura de consumo e de produção de uma nação. Mais precisamente, o funcionamento dos retornos decrescentes no meio ambiente se dá da seguinte maneira: Imagine uma tribo na África que tem duas possibilidades de consumo, uma plantação de inhame e os peixes de um rio. Imagine a população caso decidisse por qualquer motivo, agir como caçador-coletor e primeiramente, esgotar o estoque pesqueiro e depois colher os inhames que nascem nos arredores da aldeia.

Em termos de economia o parâmetro pesca está travado e não tem oscilação, enquanto o parâmetro inhame está livre ou nem sendo trabalhado. Nesta situação, a um primeiro momento, os moradores colherão os maiores peixes do rio, e alguns inhames que conseguem encontrar. A medida em que os anos passam, por causa da pesca e do desequilíbrio no sistema (a taxa de regeneração dos peixes é menor que a taxa de pesca),

os peixes tendem a diminuir de tamanho e os inhames não crescem ou aumentam sua produtividade. No limite, ao passar dos anos, os peixes tendem a desaparecer e a população se vê forçada a produzir inhames.

Em um segundo momento na história desta tribo imaginária, eles agora esgotaram os recursos pesqueiros e necessitam plantar para garantir a sobrevivência da tribo. Supondo agora que o único fator de produção é a produção de inhames, eles começam a plantar e a colher e com o aumento da produtividade o estoque de alimentos aumenta e com isso a taxa de crescimento populacional também aumenta. A medida em que se amplia o espaço de produção e a colheita do tubérculo aumenta, a tribo sobrevive e prospera, contudo, chega um momento em que não há mais espaço para se plantar mais o alimento, e pior, a terra passa a ter esgotamento por conta das colheitas sucessivas e com isso, a cada ano a colheita de inhames diminui, com a diminuição da oferta de alimentos a taxa de fertilidade da população cai, devido a morte a fome até o momento em que a taxa de crescimento da população é igual a taxa de rendimento da produtividade dos fatores de produção.

Desta forma, Reinert (1996, p. 4) faz uma crítica severa a um processo de especialização produtiva onde a nação se encontra dentro de uma armadilha da produção ou armadilha da pobreza. Ou seja, dependendo da condição produtiva de determinada economia e caso essa economia for baseada na extração de recursos naturais como *commodities*, pode ser que os efeitos possam ser perpetuadores de pobreza dentro dessas regiões antes dotada de recursos naturais. Vejamos alguns exemplos:

1.1.1 Pau Rosa

O Pau Rosa (*Aniba rosaeodora Ducke*) é uma árvore nativa da Amazônia, descoberto comercialmente no começo do século XX e largamente utilizado na perfumaria. De acordo com Homma (2003, p. 11), a produção de Pau Rosa, apesar de ser um recurso renovável, a sua extração foi intensa a ponto de exaurir os recursos disponíveis na floresta e atingir a quase extinção do recurso natural. Na década de 20, as farmácias Phebo utilizavam do óleo essencial de Pau Rosa como matéria-prima para fazer seus cosméticos e perfumes, óleo rico em uma substância chamada linalol, com cheiro muito semelhante ao da rosa. Na década de 50, a empresa francesa Channel, começou a utilizar o óleo como matéria prima para seus cosméticos e nos anos 50, a extração de Pau Rosa na Amazônia chega ao seu auge, promovendo distribuição de riquezas e desenvolvimento, até que com o corte predatório das árvores, a produção tem seu declínio. A partir da década de 80, passa a se produzir linalol artificial, que serve de substituto para o óleo natural. Hoje a extração de Pau Rosa é feita de forma controlada pelo governo brasileiro devido ao risco de extinção da árvore e o comércio mundial de *Aniba rosaeodora Ducke* é praticamente feito de forma monopcionista pela Channel.

1.1.2 Sândalo do Mysore

De forma muito semelhante, Sândalo do Mysore é um tipo de Sândalo Branco *Santalum album*, proveniente do estado do Mysore na Índia. O Sândalo é uma árvore com pleno uso comercial, que também teve seu uso e extração explosivo ao longo do século XX, produzindo óleo a partir da árvore, cosméticos, perfumes (ao modo ocidental), atares (perfumes indianos) e incensos com a biomassa resultante do processo de destilação. O Sândalo do Mysore também quase foi extinto pelo corte predatório e passa por um rigoroso controle de extração, reflorestamento e saída do país por parte do governo da Índia. Esse processo, de acordo com [Bhaskar, Viswanath e Purushothaman \(2010\)](#), se dá por meio de manejo das florestas e definição dos direitos de propriedade entre governo e produtores. No entanto, o preço de mercado do óleo de Sândalo, mesmo com substitutos como o *Santalum spicatum* ou Sândalo australiano ou com Ho Wood *Cinnamomum camphora* ou Canforeira, não substitui a demanda mundial por Sândalo.

1.2 Reinert e os Mecanismos dos Retornos Decrescentes

Os dois casos demonstrados acima ilustram a condição em que um recurso natural, neste caso *commodities* que possuem valor agregado para o mercado internacional, tal qual pode-se citar no Brasil o Pau Rosa, a Copaíba, Baunilha do Cerrado ou madeiras nobres como Imbuia e Marfim, ou casos extremos como Ágar (agarwood) no sul e sudeste asiático são casos emblemáticos de extração de recursos naturais com um demanda explosiva de mercado que pode levar, caso não houver manejo sustentável dos recursos florestais a depleção extrema desses recursos devido ao processo de arbitragem dos agentes econômicos frente a exploração dos recursos.

Essa relação de exploração pode ser vista por ([REINERT, 1996](#), p. 3) define bem como os retornos decrescentes afetam a qualidades dos recursos naturais e como cada produção incremental é danosa para o meio ambiente:

Here lies the basic difference between resource-based economic activities and all other economic activities: When output is increased in any resource-based activity - agriculture, fishing, and mining - there is always one point, after which the crucial resource is no longer available at the same quality or in the same quantity as the previous 'unit' of the same resource. If specialised in agriculture, a nation will sooner or later have to resort to inferior land - if Norway specialised only in growing carrots, we would in the end have to grow carrots on top of the mountains. If specialised exclusively in fisheries, the nation would fish the oceans empty. If specialised in mining, the nation would have to mine deposits with decreasing quality of ore. As a result, the resource-based nation is locked into an economic activity which yields less and less as its specialisation in the resource-base activity deepens. The more such a nation produces of the specific resource-based product, the poorer it gets, and the more the environment suffers.

Um exemplo de efeito adverso dos retornos marginais decrescentes é a depleção dos recursos naturais, ou esgotamento completo das reservas. Segundo (TAINTER, 1988, p. 44), a depleção gradual de recursos naturais (normalmente a agricultura) é uma das causas do colapso das sociedades complexas. Citando algumas possibilidades como a ocorrência de uma flutuação climática ou alguma anormalidade no meio ambiente, maiores são os rendimentos decrescentes e maior e, por consequência, a perda de recursos naturais. O autor também atribui a queda da produtividade agrícola e a exaustão dos recursos naturais ao enfraquecimento político do Império Romano.

Podemos ver essa relação em Toynbee e Myers (1951 apud TAINTER, 1988, p. 44), que faz a seguinte citação em relação à produtividade decrescente em Roma:

[...] that the age is now senile ... the World itself ... testifies to its own decline by giving manifold concrete evidences of the process of decay. There is a diminution in the winter rains that give nourishment to the seeds in the earth, and in the summer heats that ripen the harvests. The springs have less freshness and the autumns less fecundity. The mountains, disemboweled and worn out, yield a lower output of marble; the mines, exhausted, furnish a smaller stock of the precious metals: the veins are impoverished, and they shrink daily. There is a decrease and deficiency of farmers in the field, of sailors on the sea, of soldiers in the barracks, of honesty in the marketplace, of justice in court, of concord in friendship, of skill in technique, of strictness in morals ... Anything that is near its end, and is verging towards its decline and fall is bound to dwindle ... This is the sentence that has been passed upon the World ... this loss of strength and loss of stature must end, at last, in annihilation.

Reinert (1996) diz que são duas as possibilidades possíveis para contornar os retornos decrescentes: a primeira é a expansão territorial para terras novas e recursos naturais novos. Reinert cita vários casos descritos na bíblia judaica, como o exemplo da migração de Ló e sua família. Tainter (1988, pag. 147) explica que no caso do povo romano, inicialmente se iniciou a expansão territorial até o limite do possível, primeiramente com a centralização dos recursos em Roma. O Império se expandiu, e a produtividade dos fatores de produção se ampliaria, contudo, para se sustentar um Império é necessário gastos com infraestrutura militar e energia, quando a produtividade marginal passou a cair e os retornos decrescentes aumentaram, o Império desmoronou. Segundo Tainter (1988, pag. 147) a situação era tão crítica em determinados locais do Império, que em alguns casos os invasores Bárbaros foram tratados como libertadores do fardo do Império Romano:

While some of the civilian population resisted the barbarians (with varying degrees of earnestness), and many more were simply inert in the presence of the invaders, some actively fought for the barbarians. In 378, for example, Balkan miners went over en masse to the Visigoths. In Gaul the invaders were sometimes welcomed as liberators from the Imperial burden, and were even invited to occupy territory. To ensure the doubtful loyalty of frontier areas, the government was on occasion forced to make up local deficits of grain.

A segunda possibilidade descrita por Reinert (1996) como saída para escapar da armadilha dos retornos decrescentes é a inovação como meio de aumentar a produtividade dos fatores. Como veremos mais adiante, foi a inovação tecnológica que mostrou que as previsões de Thomas Malthus a respeito da queda da produtividade da produção de alimentos estava equivocada, dado que com a revolução verde, como inovação tecnológica, foi possível produzir mais alimentos. Em termos de economia, uma inovação tecnológica é capaz de aumentar a fronteira das possibilidades de produção, podendo produzir mais alimentos e outros produtos, uma vez em que os fatores são capazes de gerar mais *outputs*, dado a mesma quantidade de insumo anterior.

A respeito das inovações tecnológicas, Reinert (1996) explica como criar retornos crescentes a partir do conhecimento, a partir da manufatura de máquinas e de equipamentos:

Founded on this new way of thinking, the economic strategies of European nations starting in the late 15th Century were based on building science and knowledge, on developing manufacturing industry which could add value to national resources, on the use of machinery in more and more activities, on innovations, on creating economic empires where the colonies provided the raw materials and constituted markets for increasing return (i.e. manufactured) goods, and where the European mother country provided knowledge and manufacturing. (...) This was a system where ideas flowed freely, but where each European nation nursed the creation of its own manufacturing industry. In this way the European nations created a comparative advantage inside a social framework receptive to new knowledge and new technologies, in activities subject to what Schumpeter called historical increasing returns - a dynamic combination of increasing returns and technical change.

Pode-se ser feito neste momento um paralelo entre a questão teórica que envolve os retornos marginais decrescentes, o processo de desenvolvimento tecnológico e a maldição dos recursos naturais nos tempos contemporâneos de forma a estabelecer um vínculo da revisão de literatura com um problema que se desdobra ao longo dos séculos: Boa parte das nações mundiais sofreram por conta da maldição da disponibilidade dos recursos naturais, as que eram abundantes, se tornaram reféns dos seus produtos, uma vez em que passaram a produzir produtos brutos e não conseguem competir com as demais nações nos produtos sofisticados, levando a chamada maldição dupla dos recursos naturais: desastres ecológicos e pobreza crônica.

A respeito dos efeitos nefastos para essa condição de dependência dos recursos naturais para nações mais empobrecidas ou em desenvolvimento, Reinert (1996, pag. 3) é enfático no diagnóstico do problema e na solução: Para os países em desenvolvimento (antigo terceiro mundo), a opção de expansão territorial é impossível, dado o esgotamento das terras vazias. A opção de alterar os fatores de produção ou alterar a estrutura cambial é politicamente impossível por conta da ideologia mundial de livre-comércio. Como consequência desses eventos, o terceiro mundo ficaria preso em uma maldição dupla de

recursos naturais e de armadilha da pobreza. Essa definição também é vista nos textos de Chang (2004) e nos trabalhos do economista brasileiro Luiz Carlos Bresser-Pereira (BRESSER-PEREIRA, 2007).

Reinert (1996, pag. 3) explica que neste sentido de fugir da maldição dos recursos naturais, os Estados Unidos e a Austrália escaparam da armadilha dos recursos naturais entre os séculos XVIII e XIX: O primeiro escapou por meio da criação de vantagens comparativas nos produtos de algodão e da mão de obra-escrava e também por meio de barreiras a entrada e altas tarifas, com essa condição econômica eles conseguiram atingir a tão almejada industrialização, não sem o alto custo de uma guerra interna, política e econômica entre o Sul defensor da escravatura e do livre comércio (altamente inflamada pelas ideias de David Ricardo) e o Norte industrialista, como pode ser visto em Chang (2004) e Reinert (1996). O segundo passou por medidas protecionistas após se especializar na produção de lã e iniciar uma indústria protegida, tal qual os Estados Unidos o fizeram, dando início ao processo de industrialização. O Canadá pela Lei Vernon, teve um comportamento semelhante ao da Austrália.

Quanto a América do Sul, cabe aqui a replicação de um comentário muito bem humorado de Reinert (1996, pag. 4) em relação a nossa condição de Sul vitorioso:

The Third World continues to specialise in resource-based activities subject to Diminishing Returns. In many Third World countries - particularly in Latin America - we find the same 19th Century conflict as in the United States, between the 'industrialists' (The North in the US Civil War) and the raw material producers (The South in the US Civil War). The difference is that in Latin American countries, the 'South' won their version of the Civil War, and industrialisation was truncated. Economic actors whose vested interests lay in the exploitation of natural resources - not in industrialisation - won the political battle. This aspect of Latin American history - the 'modernisation schemes' which failed - are a seriously underresearched area.

O conceito de retornos decrescentes dentro da economia de forma explícita surge com os trabalhos do economista italiano Antonio Serra em 1613 no *“Breve trattato delle cause che possono far abbondare li regni d’oro e argento dove non sono miniere”*, neste texto Serra debate os motivos de Veneza ter se desenvolvido com poucos recursos naturais e Nápoles não ter se desenvolvido, mesmo com muitos recursos. Os economistas clássicos Smith, Malthus e Ricardo, não tiveram como objeto direto de estudos os retornos decrescentes, apesar de existir de forma implícita nos processos de queda da produtividade marginal das terras descritos nos modelos malthusianos e nos modelos ricardianos.

1.3 Dos Retornos Decrescentes à Complexidade

Nos economistas modernos, vemos retornos decrescentes em Alfred Marshall, que nas primeiras edições de seus manuais considerava os retornos crescentes como elemento pertinente dentro do núcleo da economia e para este autor em especial, o conceito deixa de ser vital para o debate. (REINERT, 1996, pag. 8) faz algumas considerações pertinentes para o conceito de retornos decrescentes em Marshall. Primeiramente no livro *Princípios de Economia* de Marshall, existe uma sugestão de política para evitar os retornos decrescentes: *‘Tax economic activities subject to Diminishing Returns and give bounties to activities subject to Increasing Returns’*. O surgimento do conceito de retornos crescentes ou decrescentes vem da estrutura de custos das firmas de longo prazo (seja pelo campo da ortodoxia econômica ou pela heterodoxia), uma série de curvas de custos decrescentes geram economias de escala, o que fazem com que o custo diminua a medida em que se produz em larga escala. A partir de um momento, essa estrutura de custos se torna crescente (deseconomias de escala). O grande problema dessa formalização dos retornos decrescentes é a questão da firma representativa.

O problema central da transição da economia “filosófica” para a economia matemática se dá justamente no final do século XIX (1890), época de Marshall a economia passa por uma formalização matemática, absorvendo parte da teoria da física se convertendo em uma “sociofísica” Reinert (1996), Sinha et al. (2010), Savoie (2013) e Aoyama et al. (2010). A escolha da matematização da economia fez com que alguns pressupostos precisassem ser feitos de modo que a economia pudesse ser desenvolvida matematicamente, um desses pressupostos é o de agente representativo ou firma representativa. Essa “escolha” dos economistas levou a ciência econômica para uma direção muito específica. Quando se criam agentes representativos, se criam custos e receitas médias para as firmas e empresas e um comportamento padronizado para os consumidores. Do mesmo modo, quando se consideram retornos crescentes, neutros e decrescentes nas economias, você tem diferentes graus de retornos, com a criação dos agentes representativos, tudo é nivelado em um campo médio.

Além dos efeitos dos retornos decrescentes na economia junto com o debate de complexidade em economia (o conceito de complexidade em economia será melhor definido posteriormente), que trata das interações dos agentes na economia considerando emergência e interações que são não-lineares. Os retornos decrescentes nas economias vão muito além dos impactos nos recursos naturais, eles afetam toda a cadeia produtiva e a capacidade de manutenção da economia. Em suma, estão atrelados a complexidade social.

A definição de complexidade social para Tainter (1988, pag. 23) se refere ao número e distinguibilidade de seus atores sociais, o número de atores sociais especializados e o número de mecanismos empregados para interagir todos esses agentes. TAITNER, op. cit. mostra que poucas pessoas (proporcionalmente) seriam empregadas socialmente em uma

comunidade de caçadores-coletores, enquanto os censos da Europa moderna compunham entre dez e vinte mil ocupações sociais distintas. Na sociedade industrial pode conter mil de um milhão de ocupações sociais distintas, isto é, o papel desempenhado por cada agente atômico dentro de uma sociedade.

1.4 Da Complexidade Social ao Colapso Social e Ambiental

Dois aspectos essenciais caracterizam a complexidade social: a heterogeneidade e a desigualdade. A desigualdade, segundo [TAINTER](#), op. cit. é uma forma de distinção vertical da sociedade e acesso a diferentes recursos sociais, como status, ranking, reputação, poder, etc. Heterogeneidade se refere ao número de partes constituintes da sociedade e como a população está distribuída nessas partes constituintes. Pode-se imaginar aqui classes sociais, tribos, grupos religiosos, etc. Tainter explica que quanto maior a complexidade de uma sociedade, mais heterogênea ela é. Apesar de heterogeneidade e desigualdade estarem interligadas, elas podem assumir diferentes níveis nos processos socio-econômicos. Normalmente, nas sociedades iniciais existe um grande nível de desigualdade e baixo nível de heterogeneidade. Com o passar do tempo, é muito provável que a desigualdade diminua e a heterogeneidade social evolua para diversos níveis hierárquicos e com isso o fluxo de informação a respeito daquela sociedade aumente.

Existe uma relação muito pertinente entre os retornos marginais decrescentes e o grau de complexidade social, essa relação é explicada em uma entrevista [MacKenzie \(2008\)](#) que Tainter deu a revista *New Scientist* da Elsevier.

There is, however, a price to be paid. Every extra layer of organisation imposes a cost in terms of energy, the common currency of all human efforts, from building canals to educating scribes. And increasing complexity, Tainter realised, produces diminishing returns. The extra food produced by each extra hour of labour – or joule of energy invested per farmed hectare – diminishes as that investment mounts. We see the same thing today in a declining number of patents per dollar invested in research as that research investment mounts. This law of diminishing returns appears everywhere, Tainter says. To keep growing, societies must keep solving problems as they arise. Yet each problem solved means more complexity. Success generates a larger population, more kinds of specialists, more resources to manage, more information to juggle – and, ultimately, less bang for your buck.

A relação acima explicada por [MacKenzie \(2008\)](#) trata da relação entre o crescimento da sociedade (ou sofisticação, ou aumento da complexidade) acaba por incorrer com aumento dos gastos energéticos para a manutenção do sistema. Esse aumento da manutenção implica em extração de recursos naturais e em sua ausência acaba por se maximizar a probabilidade de ocorrência de um colapso. Os retornos decrescentes, como já demonstrados, se comportam como uma “lei”. Nesse sentido, existe evidências no passado

de civilizações que sofreram efeitos dos retornos decrescentes e as que não tiveram a possibilidade de migrar de posição geográfica, como a uma mítica Canaã, pereceram ou reduziram de tamanho. Como pode ser visto na citação de [MacKenzie \(2008\)](#) a seguir:

Eventually, says Tainter, the point is reached when all the energy and resources available to a society are required just to maintain its existing level of complexity. Then when the climate changes or barbarians invade, overstretched institutions break down and civil order collapses. What emerges is a less complex society, which is organised on a smaller scale or has been taken over by another group. Tainter sees diminishing returns as the underlying reason for the collapse of all ancient civilisations, from the early Chinese dynasties to the Greek city state of Mycenae. These civilisations relied on the solar energy that could be harvested from food, fodder and wood, and from wind. When this had been stretched to its limit, things fell apart. Western industrial civilisation has become bigger and more complex than any before it by exploiting new sources of energy, notably coal and oil, but these are limited. There are increasing signs of diminishing returns: the energy required to get each new joule of oil is mounting and although global food production is still increasing, constant innovation is needed to cope with environmental degradation and evolving pests and diseases – the yield boosts per unit of investment in innovation are shrinking. “Since problems are inevitable,” Tainter warns, “this process is in part ineluctable.

Tainter deixa claro a relação entre os retornos decrescentes e os fenômenos decorrentes da complexidade da sociedade, em especial que após um colapso, caso a sociedade sobreviver ela é reduzida a um nível de hierarquia e complexidade social menor que a anterior, como no caso de invasões bárbaras ou mudanças climáticas brutas. Existe uma relação tênue entre o homem e o meio ambiente e para se manter uma sociedade, altas quantidades de energia e de recursos naturais são empregados para a manutenção das engrenagens que mantém o funcionamento da complexidade social. Diversos povos sofreram com colapsos e com escassez e depleção de recursos naturais, dos povos que habitavam as Américas aos povos do Antigo Mediterrâneo, da Ásia Menor e do Sudeste Asiático.

1.5 Historia Ambiental e os Impactos da Atividade Humana nas Civilizações Antigas

Pode-se imaginar que os problemas contemporâneos de mudança climática, erosão do solo, perda de biodiversidade, fome, doenças causadas por agentes epidemiológicos, poluição da terra, da água e do ar teriam raízes fincadas no passado da humanidade, como por exemplo a dos ancestrais europeus que colonizaram a bacia do Mediterrâneo. O objetivo desta seção é recuperar um pouco do processo geral de desenvolvimento humano (seja pela via social e econômica) e dos processos ambientais que ocorreram na Europa, mais precisamente no Mediterrâneo, berço da civilização ocidental.

De acordo com Hughes e Stoll (2005), o objeto de estudo da história ambiental é a interação do homem com o meio ambiente ao longo do tempo. Essa ciência se dá em três níveis de análise: i) Como a natureza afeta os seres humanos; ii) Como a ação do homem afeta o equilíbrio do meio; iii) Como a história ambiental afeta intelectualmente o homem, por meio das guerras, da política, da economia.

Hughes e Stoll (2005, p. 2) explica o processo de ocupação humana na história ambiental do Mediterrâneo. O homem migra da África para o Mediterrâneo encontrando novas espécies de animais e plantas, para eles desconhecido. O homem se adapta por tentativa e erro e adquire domínio e conhecimento cultural a respeito do uso dos animais, insetos e plantas. A presença do homem perturba, mesmo que precariamente o equilíbrio ecológico da região. O aprendizado do homem primitivo se dá por meio de tentativa e erro e esse aprendizado é incorporado na cultura do homem primitivo. A natureza passa a ser divinizada por meio da Deusa ou do Deus dos animais. Um dos aspectos mais profundos da interação do homem com o meio ambiente, dá se pelo processo de caça de animais, da derrubada de florestas para queima combustível e pela criação de animais domésticos, que tem ampla capacidade de afetar a regeneração das florestas e demais vegetações. Outro aspecto crucial na migração do homem europeu, é o que Hughes e Stoll (2005, p. 2) denomina de *transhumance*, que é a migração dos rebanhos durante as estações, indo para as terras mais altas (norte) durante a primavera e voltando para o sul no inverno.

A relação do homem com a natureza era mediada a medida em que ele dependia dela para sobreviver. O conhecimento acumulado era registrado por meio da tradição oral. Neste sentido, o homem afeta a capacidade de carga do ecossistema. Isto é, ao alterar os ecossistemas e aumentando a sua população, ele diminui a capacidade do sistema suportar mais formas de vida. Apesar de existir um impacto ambiental, o homem nômade vivia em um “equilíbrio precário” com o meio ambiente. De acordo com Hughes e Stoll (2005, pag. 18):

Technology is a series of adaptations to the natural environment, becoming more complex and powerful through time. It enabled early humans to make ever more far-reaching changes in the ecosystem, although it never freed them from it. They depended intimately on the natural environment for their daily food, drink, clothing, and shelter. As a result of the undependability of supply of resources necessary to produce these items, the size of their groups was limited, and a natural balance, always somewhat precarious, was thus maintained between human population and the carrying capacity of the local environment. Individuals regarded themselves as integral members of communities, with the duty to provide the tribe with food, protect it against enemies, and seek power through visions, disciplines, and repetition of rituals. Elders received veneration because they incarnated the accumulated knowledge and wise judgment of the community.

A transição do homem nômade para o homem sedentário dá início a uma série de eventos que contribuem para o processo de erosão e desflorestamento do Mediterrâneo. A

limpeza das terras, a derrubada das árvores, a criação de gado, o lento esgotamento da fertilidade do solo e principalmente, a erosão do solo causada pela derrubada das árvores, ocorreu desde os primórdios da ocupação humana no Mediterrâneo há dez mil anos atrás e hoje reflete na biodisponibilidade na bacia do Mediterrâneo, afetando a qualidade do solo, regime de chuvas, disponibilidade de peixes, de Gibraltar até Istambul. Contudo, é muito curioso ver que no período do Neolítico a ocupação humana era capaz de causar tanta transformação na paisagem natural, como pode ser visto em [Hughes e Stoll \(2005, pag. 21\)](#)

There is little doubt that Neolithic people had an attitude of care for the earth and living creatures. But as their ability to change and control the natural environment increased, problems appeared. To open land for agriculture, they had to cut and burn forests and break up grassland sod. When farmers burned the vegetation, they found that the ashes temporarily enriched the ground. After a few crops and lessening harvests, they might let the land lie fallow while they cleared a new tract in a practice called swidden. Neolithic villagers' need for firewood and building materials depleted nearby forests. The removal of plant cover left slopes open to rainfall, which accelerated erosion, and consequently some hilly districts where early farmers practiced agriculture are now rocky and desiccated. The process of soil depletion was slow, and farmers who stayed permanently in the same area tried to find ways of countering it. On hillsides, they built terraces to reduce erosion. They discovered how to use manure and other fertilizers, and they planted legumes to enrich the soil for other crops. Neolithic farmers learned by trial and error, managing to remain in balance with the changing environment for long periods. Herders had some conservation practices, too, since if the vegetation in one area was reduced, they might be able to move their animals to other pastures, and their herds left manure to enrich the soil. But the fires herders set could cause damage, and overgrazing was a very serious and chronic problem.

Com o surgimento das civilizações primitivas há mais de seis mil anos, destacando os Assírios, Babilônios, propiciada pelo surgimento dos grupos sociais na transição das sociedades caçadoras-coletoras para povos organizados, a interação do homem com o meio ambiente passa a ter um caráter movido pela sobrevivência da sociedade, não somente do homem como indivíduo. Com a presença de uma sociedade organizada, as decisões e os impactos tomam uma dimensão muito maior, como pode ser visto na citação a seguir:

If crops fail because rain is patchy, build irrigation canals. When they silt up, organise dredging crews. When the bigger crop yields lead to a bigger population, build more canals. When there are too many for ad hoc repairs, install a management bureaucracy, and tax people to pay for it. When they complain, invent tax inspectors and a system to record the sums paid. That much the Sumerians knew.” (MACKENZIE, 2008, p. 1)

O meio ambiente do Mediterrâneo antigo, quatro mil anos atrás, sofreu transformações durante o processo do florescimento das civilizações antigas. O surgimento das cidades e o aumento populacional fez com que a demanda de alimentos aumentasse, o

advento do uso do ferro e de bronze permitiu manufatura de artefatos agrícolas com grande capacidade de mudança da paisagem, seja no solo, seja nas árvores.

Os impactos da agricultura e da irrigação, especialmente na evaporação da água aumentou a quantidade de sal no solo e com isso prejudicou a fertilidade do solo e a produção de culturas. A derrubada de árvores para queima de madeira e a criação de gado fez com que as florestas recuassem e com isso deixassem o solo exposto às chuvas, aumentando a erosão. Caça e redução de florestas diminuíram a população de caça, chegando mesmo a causar remoção completa de espécies de seus habitats.

As populações da antiguidade, além de produzirem dejetos que eram jogados no meio ambiente, seus povoamentos eram centros demandantes de recursos naturais. De acordo com [Hughes e Stoll \(2005, pag. 28\)](#), cidades como Atenas, Babilônia e Roma, causavam impactos ambientais a centenas de milhas: A Babilônia importou pedras e madeira das montanhas Zagros, no Líbano, Atenas tinha rotas de importação de grãos no Mar Negro e Roma fez do Egito seu celeiro de alimentos. Em relação a qualidade ambiental nas cidades antigas, [HUGHES; STOLL, op. cit., pag. 28](#) descreve:

Ancient cities suffered from crowding, noise, air and water pollution, accumulation of wastes, plagues, and additional dangers to life and limb. There had to be some way of getting rid of excess water, sewage, and other wastes. In the earliest cities, and even in some later ones, these were simply discharged into the streets and other places, where they harbored insects, rats, and other animals that have adapted to living in human-built environments and often are carriers of disease.

A infraestrutura urbana das cidades antigas tentavam aliviar esses problemas urbanos com a construção de infraestrutura como a Cloaca Máxima dos Romanos ou calçadas elevadas em Pompéia. Parques e bosques eram um meio de aliviar a pressão das cidades. Os Romanos também inventaram um sistema de cisternas e aquedutos para irrigar as cidades e fontes para disponibilizar para a população. Essa infraestrutura também causava grande impacto ambiental e transformação das cidades. Além de coletar água de nascentes e de córregos, afetando a capacidade de reposição das águas, afetando drasticamente o meio ambiente.

A Região do Mediterrâneo é o berço da civilização ocidental e responsável pela forma e condução do pensamento moderno. A condução desses povos com as questões ambientais, em especial com a extração de recursos florestais, recursos naturais não renováveis e recursos naturais renováveis foram determinantes para que a região hoje do Mediterrâneo sofresse de diversos males ambientais, desde processos de erosão causados pela perda de recursos florestais, estes que foram consumidos densamente pelas populações para os mais diversos fins, e as florestas que não foram consumidas, queimadas, foram comidas por animais de pastoreio. A queda da quantidade de árvores é responsável por uma

transformação profunda nos solos do Mediterrâneo que exposto às chuvas e tempestades, foi lixiviado e transformado em solo pedregoso.

Não obstante, além de espécies animais terem sido extintas na região do Mediterrâneo, recursos pesqueiros foram esgotados ao limite, a produtividade do solo sofreu desgaste com as culturas sucessivas, e não obstante, na delicada relação do homem com o meio ambiente, como a falta de saneamento, a redução das florestas ampliou a população de mosquitos que disseminaram doenças. A idade média da Europa foi uma sucessão de pestes e doenças, como cólera, malária, tifo, peste negra. Todas decorrentes do processo de esgotamento dos recursos naturais, redução do equilíbrio ecológico, fome e enfraquecimento das populações.

Como citado em Reinert (1996) e Tainter (1988) o processo de retornos decrescentes de capital é capaz de causar o desaparecimento de populações e só pode ser resolvido com êxodos em massa (expansão territorial) ou de inovações em tecnologia que permite que a produtividade aumente. A Europa na alta idade média sofreu com dizimações constante de populações, que se não ocorreram por conta das guerras nos estados nacionais as populações humanas foram reduzidas devido a sucessivas ondas de pestes que colocavam a população sobre controle. Isso com tudo, apesar de ter dado um alívio temporário para a regeneração de terras e de parte dos recursos naturais, teve diminuição na mão de obra que trabalhava no campo e com isso a produção de alimentos.

A partir da renascença, com a incorporação de tecnologias dos árabes e diversas inovações tecnológicas, desde praticas agrícolas como instrumentos de navegação, mais recursos naturais foram utilizados para queima de carvão para a indústria metalúrgica a naval que surgia. O mundo passaria por transformações na era da expansão ultra marina e o processo de consumo de recursos naturais, não seria mais localizado na Europa, mas atingiria todo o restante das terras disponíveis no mundo, com explorações de recursos naturais básicos em todos os continentes centralizando tudo na Europa, centro do comércio mundial. A extração de *commodities* é parte da indústria básica de sub-existência de qualquer civilização, e as novas nações que foram sendo construídas eram fonte fértil desses recursos, metais preciosos fluíram dos quatro cantos do mundo, junto com produtos agrícolas básicos, madeira, dentre outros infinitos recursos.

A concentração dessas riquezas todas na Europa, junto com o momento histórico permitiu que surgisse a revolução industrial e com isso uma nova forma de se produzir produtos e serviços, isso modificou drasticamente a relação do homem com o meio ambiente. Ainda mais os recursos naturais do mundo todo começaram a ser extraídos em escala industrial desde recursos minerais com grandes minas de superfície, recursos florestais dando lugar para grandes monoculturas, criação de animais em larga escala, tudo isso para suprir as necessidades humanas: desde as mais básicas de sobrevivência desde a uma miríade de produtos supérfluos e de luxo para sustentar a ostentação humana e o desejo

de se diferenciar dos demais.

Com o início da revolução industrial a partir do advento da máquina a vapor. O tear manual dá espaço para o tear mecânico, gerando rendimentos crescentes tanto na produção de tecidos, quanto na rentabilidade dos insumos ligados a produção de têxteis. Por conta deste fenômeno, existe um processo de cercamentos ou *enclosures* das terras antes comunais da era idade média. Em outras palavras a população agrícola é expulsa do campo e passa a viver sob a tutela do Estado nas cidades, enquanto os pastos eram ocupados para a criação de ovelhas, que forneceriam lã para a produção têxtil. Aquelas que conseguiam emprego, trabalhavam 18 horas por dia, aquelas que não conseguiam empregos, ficavam alojadas nas instituições de caridade vivendo em condições miseráveis.

Essa expansão da população urbana é acompanhada de um crescimento populacional com capacidade maior do que a cidade é capaz de suportar, logo, todo o sistema urbano é sobrecarregado, impactando na já precária estrutura sanitária, expondo as pessoas aos ratos e a alimentos em estado precário de conservação. As consequências da industrialização, é uma cidade abarrotada de pessoas, cinzenta de poluição por carvão, pessoas trabalhando jornadas infundáveis nas fábricas e o início de um capitalismo industrial primitivo.

De acordo com [Jackson \(1996\)](#), no início da revolução industrial, aproximadamente em 1750, o consumo de carvão mais do que dobrou na Inglaterra pré-industrial. Esse aumento do consumo de energia para atender a demanda crescentes das fábricas, realizou as transformações urbanas, seja na via do desenvolvimento, uma vez que uma nova classe de trabalhadores surgia (de forma muito distinta do servo medieval e da aristocracia ou da classe comerciante até então). O trabalhador assalariado ou proletário, recebia pelas horas trabalhadas e precisava manter as despesas para o “padrão de vida” das cidades. Como os salários eram baixos, logo, a qualidade de vida não era das melhores. As péssimas moradias e habitações aumentavam a taxa de mortalidade (de tal modo que a taxa de natalidade também aumentava, crianças também trabalhavam para ajudar no sustento da família). Contudo, a Inglaterra deste período padeceu com a peste negra causando inúmeras mortes.

[Hobsbawm \(1975, pag. 86\)](#) descreve bem a situação da vida da Inglaterra na era da industrialização primitiva:

And what cities! ... smoke hung over them and filth impregnated them, the elementary public services – water supply, sanitation, street-cleaning, open spaces, and so on – could not keep pace with the mass migration of men into the cities, thus producing, especially after 1830, epidemics of cholera, typhoid and an appalling constant toll of the two great groups of nineteenth century urban killers – air pollution and water pollution or respiratory and intestinal disease.

Essa relação entre o desenvolvimento econômico e a poluição é explicada por [Jackson \(1996\)](#) devido a um processo de materialidade da economia. A produção industrial,

seja a moderna seja a primitiva necessita de recursos naturais brutos (da extração) para a transformação no setor industrial primário, onde são produzidos insumos básicos para a nossa sobrevivência. A extração de recursos naturais requer uma quantidade enorme de energia e a transformação de recursos naturais em produtos primários além de requerer energia, também libera uma quantidade equivalente (de acordo com a lei da termodinâmica de conservação de massa). A produção industrial e a aglomeração de massas de pessoas tem como consequência a poluição do ar, da água, do solo por contaminantes e também os detritos (resíduos) causados pela população humana, em especial por conta da falta de planejamento urbano das cidades (isso em qualquer era da humanidade).

No aspecto da sustentabilidade, de acordo com [Pisani \(2006\)](#), os problemas ambientais mais recorrentes eram desflorestamento, salinização, queda de fertilidade do solo. Esses efeitos também perduraram na idade média como foi visto em [Hughes e Stoll \(2005\)](#), [Hughes \(1975\)](#) e [Hughes \(2014\)](#). Um recorte interessante pode ser visto já no século XVIII na indústria madeireira na Alemanha. Segundo [PISANI](#), op. cit., madeira era um dos produtos mais importantes da indústria porque era tanto combustível como recurso para a construção e usado praticamente em todo processo produtivo. O autor comenta que um engenheiro de minas chamado George Agricola já havia descrito os efeitos nefastos do corte de madeira e da mineração já no século XVI. Ainda de acordo com o autor, no século XVIII, por conta da produção de larga escala de navios, mineração e outros propósitos, a escassez de madeira se tornou um problema real para a Europa. De acordo com o autor:

Com medo de que o esgotamento pudesse ameaçar a base da subsistência da população, estimulou-se uma nova forma de pensamento em favor do uso responsável dos recursos naturais, em favor do interesse das gerações presentes e futuras, de modo muito semelhante ao pensamento que se considera como sustentabilidade hoje em dia. (PISANI, 2006, pag. 85)

O termo “sustentabilidade”, de acordo com [Pisani \(2006, pag. 85\)](#) teria sido utilizado pela primeira vez na Alemanha por Hans Carl von Carlowitz no livro *Sylvicultura Oeconomica* no ano de 1713. O termo utilizado por Carlowitz era *nachhaltende Nutzung*, que significa uso sustentável dos recursos florestais. Na prática, implica um equilíbrio entre extrair árvores maduras e assegurar-se que existem árvores novas para substituir as que foram retiradas da floresta. Ainda de acordo com [Pisani \(2006, pag. 86\)](#), outros pesquisadores em florestas como Marchand e Wilhelm Gottfried Moser condenaram o uso excessivo de recursos florestais como uma prática que poderia trazer prejuízo para as futuras gerações, eles advogavam o uso sustentável da floresta e sugeriram medidas para a preservação do recurso florestal, de acordo com o autor, o termo *ewige Wald* foi criado para se referir a “afloração” e para a regeneração das florestas de pinheiros.

Na próxima seção deste trabalho, será feita uma revisão a respeito da relação dos economistas clássicos e contemporâneos a respeito da interação da economia com as

questões ligadas ao meio ambiente. O ponto de partida é a revolução industrial, etapa primordial para a indústria humana que ligou diversos países e permitiu a expansão do regime de acumulação capitalista. Contudo, a expansão da produtividade e da indústria teve como consequência um maior impacto no meio ambiente, em escala nunca antes vista.

1.6 Revolução Industrial, Smith e Malthus e o Contexto Ambiental

O advento da máquina a vapor é tida como marco inicial para a revolução industrial, processo que se iniciou antes com as transformações sociais e políticas que propiciaram uma nova forma de organização social e por consequência acabava por afetar o regime de produção e de acumulação, como pode ser visto na tese de Max Webber, nas obras de Hobsbawn e de Karl Marx. O primeiro grande pensador do assunto foi o escocês Adam Smith, professor de filosofia moral, autor das obras “A Riqueza das Nações” e a “Teoria dos Sentimentos Morais”. Smith escreveu em 1798 a respeito do capitalismo que se iniciava e junto com isso descrevia como a organização do trabalho se situava. Não obstante, descreveu como o trabalho gerava valor a partir da divisão e especialização do trabalho.

Um dos conceitos mais importantes em Adam Smith é a respeito do auto-interesse e do conceito de simpatia, sentimentos que permeavam o comportamento humano e que por fim, influenciam os economistas atuais nos modelos a respeito do comportamento dos agentes econômicos. Outro aspecto fundamental de Smith, como pode ser visto em [SILVA e CRISPIM \(2011, pag. 166\)](#) é a distinção entre trabalho útil e trabalho não útil, o primeiro, responsável por produzir bens de primeira necessidade e o segundo como gerador de produtos supérfluos (como um jornaleiro). A possibilidade de todos não terem que necessariamente serem trabalhadores do campo e outros poderem se ocupar de outras tarefas e com isso terem a possibilidade de gerar inovação é capaz de que todos os agentes repartam os frutos do trabalho coletivo. Essa clara distinção das reais necessidades humanas pode ser visto em [Jackson \(1996, pag. 1\)](#):

Many of our most vital needs are essentially material ones: food, water, shelter, clothing and fuel. We survive as human beings by cultivating crops to convert to foodstuffs, manufacturing textiles to turn into clothing, excavating clay, sand and rock to build homes for shelter, mining coal and oil and gas to provide us with warmth, light and mobility, and extracting metals from ores to make the machinery and appliances we need to do all this.

A especialização produtiva com a geração de economias de escala e de escopo propiciaram a produção antes nunca vista desses recursos, capazes de alimentar as massas populacionais, apesar de economistas futuros preverem crises de escassez de alimentos, como no caso de Malthus como veremos mais adiante. Com o suprimento dos recursos iniciais para a sobrevivência humana, ao longo do tempo foram sendo desenvolvidos outros

produtos, agora não com a função de promover a sobrevivência mas com o intuito de suprir outras necessidades como pode ser visto em [Jackson \(1996, pag. 2\)](#):

These days, of course, the scale and complexity of our material interactions are vastly increased over those of earlier societies, and over those of other biological organisms. The material requirements of ‘advanced’ industrial societies extend far beyond the survival needs of food, warmth and shelter. There are now growing demands for a wide range of material goods from aerosols to aeroplanes, cosmetics to computers, and vinyls to videos.

A possibilidade de vender produtos manufaturados de uma economia para outra e com isso poder realizar “trocas” mediadas por dinheiro é um dos alicerces do que se é considerado como a Riqueza das Nações, conceito que seria ampliado pelo economista David Ricardo, com a teoria do comércio internacional e com as teorias de vantagens comparativas, que veremos mais adiante nesta seção. O processo industrial primitivo mundial, consistia na produção de bens têxteis em sua maioria pela Inglaterra e sendo distribuídos pelo resto do mundo pela sua marinha mercantil, os demais países compravam esses produtos e vendiam para a Inglaterra recursos naturais, que convertiam esses recursos em mais produtos assim por diante, de modo a desenvolver uma intrincada rede de comércio internacional e de acordos entre os países que é um dos principais atores deste trabalho. ([DALY; FARLEY, 2010, pag. 10](#)) descreve a relação entre a expansão do capitalismo industrial e os efeitos sobre o meio ambiente:

Ever-greater surplus production, accompanied by better ships, allowed trade on an expanding scale. Traders exchanged not only goods but also ideas, further speeding up the rate of technological progress. Among the crucial technological leaps was the ability to extract and use fossil fuels and other nonrenewable mineral resources. It is no coincidence that the market economy and fossil fuel economy emerged at essentially the same time. Trade also allowed specialization to take place across regions, not only across individuals within a society. Technological advance, fossil energy, and global markets laid the groundwork for the Industrial Revolution.

Neste primeiro trecho é comentado como a descoberta do carvão como combustível foi responsável por permitir um aumento na produtividade das navegações, um aumento da quantidade de energia disponível é capaz de movimentar mais máquinas e mais equipamentos, substituindo pessoas e animais nos modais de transporte e nas máquinas produtoras de bens. Essa relação entre energia e economia também é explorada por [MacKenzie \(2008\)](#) e por [Tainter \(1988\)](#). Em relação aos impactos da revolução no sistema global, [Daly e Farley \(2010, pag. 2\)](#) explica:

The Industrial Revolution had profound impacts on the economy, society, and the global ecosystem. For the first time, human society became largely dependent on fossil fuels and other nonrenewable resources (partially in response to the depletion of forests as fuel). Fossil fuels freed us from

dependence on the fixed flow of energy from the sun, but it also allowed the replacement of both human and animal labor by chemical energy. This increased energy allowed us ever-greater access to other raw materials as well, both biological and mineral. New technologies and vast amounts of fossil energy allowed unprecedented production of consumer goods. The need for new markets for these mass-produced consumer goods and new sources of raw material played a role in colonialism and the pursuit of empire. The market economy evolved as an efficient way of allocating such goods, and stimulating the production of even more.

A relação do homem com as limitações impostas pela energia solar também pode ser observada em [Tainter \(1988\)](#) e com [Hughes e Stoll \(2005\)](#), por conta dos retornos decrescentes ou por conta dos *diminish returns* a baixa produtividade do trabalho humano tende a atingir um estado de crescimento zero onde a taxa de crescimento da população humana (e também da economia) se iguala no longo prazo a taxa de crescimento dos fatores de produção. O uso do carvão nos motores a vapor, permitiu a inovação necessária para se aproveitar melhor os recursos e com isso poder produzir mais. Contudo, os custos impostos ao meio ambiente são severos, uma vez que os recursos florestais e minerais são convertidos em energia para movimentar as máquinas e equipamentos que passam a promover a interação das economias por meio do comércio internacional. Por fim, [Daly e Farley \(2010, pag. 2\)](#) sintetiza este tópico:

International trade exploded, linking countries together as never before. A greater ability to meet basic needs, and advances in hygiene and medical science, resulted in dramatic increases in population, whose needs were met through greater energy use and more rapid depletion of resources. Growing populations quickly settled the last remaining frontiers, removing the overflow valve that had allowed populations to relocate as local resources ran out. Per-capita consumption soared, and with it the waste output that now threatens to degrade our ecosystems.

Dentro do processo dinâmico das populações humanas, a expansão da produtividade e do comércio permitiu o crescimento populacional (vencendo os retornos decrescentes que assolaram a Europa no começo do milênio), com a abundância de alimentos (especialmente a batata e o milho) e com isso houve uma grande explosão demográfica junto com o crescimento econômico das nações. O economista Thomas Malthus, olhou com preocupação as taxas de crescimento populacionais e as taxas de produtividade agrícolas. Malthus considerava que a taxa de crescimento populacional era geométrica enquanto a taxa de produtividade agrícola era aritmética, a diferença das duas curvas poderia levar novamente a escassez de alimentos por conta dos rendimentos marginais decrescentes, com o eventual esgotamento da produtividade das terras, o sistema poderia colapsar. O que Malthus desconsiderou foi que a capacidade de inovação tecnológica fosse capaz de resolver a questão de produtividade dos alimentos ou a expansão agrícola, que são as duas formas de escapar dos retornos decrescentes como descrito por [Reinert \(1996\)](#). Contudo, de acordo com [Costanza et al. \(2014\)](#) e [Daly e Farley \(2010\)](#), apesar de simples, os modelos Malthusianos

se mostraram válidos em alguns países. (REINERT, 1996, pag. 6) explica a visão de retornos decrescentes em Malthus:

Malthus' dismal view of world population growing much faster than world food production. Since land is of different quality, and Malthus assumes that the best land is cultivated first, 'the productive powers of labour as applied to the cultivation of land must gradually diminish and as a given quantity of labour would yield a smaller and smaller return, there would be less and less produce to be divided...

E na visão de Costanza et al. (2014):

Malthus's model is beguilingly simple and, consequently, demographic history never quite supports it precisely. Yet periodically in specific places, Malthus's model has been confirmed, and history may yet confirm it globally. Few question whether population must ultimately stabilize in order to sustain human well-being at a reasonable level. The expansion of human populations into previously unpopulated or lightly populated regions, the intensity with which firewood is collected, and the push to increase food production through modern genetically engineered, agrochemical, monocultural techniques, so harmful to biodiversity, are driven over the long run by population increase. The continued rapid rate of population growth in the poorest nations threatens to keep them poor while diminishing the possibilities that the people of these nations will ever be able to consume at levels comparable to people in the rich nations using current modern technologies without vastly accelerating environmental degradation.

A visão dos dois autores convergem para a questão dos retornos decrescentes, uma vez que a taxa de crescimento populacional afeta os estoques de recursos naturais. No contexto do século XIX, o aumento de produtividade de deu por conta das inovações que permitiu que a população pudesse crescer e com isso a promoção do crescimento econômico, obviamente com custos altíssimos para o meio ambiente em uma escala muito maior do que vimos com o que aconteceu com o continente Europeu.

O pensamento Malthusiano tem grande influência nas modernas disciplinas de meio-ambiente e também da dinâmica de sistemas. Em 1972 com a publicação do livro “Os Limites do Crescimento” de Meadows, modelos mundiais estimam por meio de simulações a capacidade de carga do planeta e o limite em que os recursos podem ser explorados. Malthus, contudo, fez grandes contribuições filosóficas a respeito de quanto podemos esgotar os recursos do planeta, mesmo que indiretamente. Seus modelos tem grande influência no debate ambiental contemporâneo por meio de discussões neo-malthusianas.

1.7 De Ricardo às Rendas Ricardianas: A Maldição dos Recursos Naturais

Os modelos Ricardianos tem em si uma questão geográfica de comércio, uma vez que ele também considera terras mais ou menos distantes dos centros de comércio e a questão da produtividade é fator determinante para a valoração destes recursos. Os modelos geográficos de David Ricardo são de extrema importância para a concepção dos modelos de especialização das economias, especialmente nos modelos de dotação e especialização de fatores, que viria a ser a teoria das vantagens comparativas. Em relação ao modelo de produtividade de terras de Ricardo, [Costanza et al. \(2014, pag. 10\)](#) deixa bem claro o funcionamento do modelo:

Ricardo argued that people would initially farm the land that produced the most food for the least work. As population increased, farming would extend to less fertile soils requiring more labor (the extensive margin). Food prices would have to rise to cover the cost of the extra labor on the less fertile land. This means that the initial land would earn a rent, a return above production cost (...). Higher food prices, in turn, would also induce a more intensive use of labor on the better land (the intensive margin). This model indicates how increasing population drives people to farm in previously undisturbed areas and how higher food prices lead to the intensification and, in modern agriculture, to the greater use of fertilizers and pesticides on prime agricultural lands. This model also gives us insights into how fluctuations in food prices can result in the periodic entry and exit of farmers on the extensive margin and in shifts in farming practices on the intensive margin. Ricardo's model of how agricultural activities are patterned on the land in response to population growth and changes in food prices is critical to our understanding of the complex interrelations between human survival and ecological life-support systems.

Deste modo, os modelos econômicos do século XIX já consideravam os retornos decrescentes na produtividade agrícola e outros autores como Marshall já consideravam os efeitos dos retornos decrescentes nos modelos da escola marginalista [Reinert \(1996\)](#). O segundo ponto a se considerar em David Ricardo são seus modelos de comércio internacional. Um dos efeitos da leitura dos clássicos em Smith é a respeito da ideologia de livre-mercado e que a não intervenção do Estado na economia levaria a um enriquecimento da população. Os retornos crescentes da produtividade e o comércio internacional no início do capitalismo propiciou o enriquecimento das nações de centro do capitalismo de forma indubitável. Não obstante, as teorias derivadas, em especial a teoria das vantagens comparativas de David Ricardo defendiam que as nações deveriam se especializar em determinado produto em que fossem mais produtivas, segundo a sua disponibilidade de recursos. O modelo mais básico para esta compreensão como pode ser visto em [Reinert \(1996\)](#), [Krugman e Obstfeld \(2009\)](#), [Carbaugh \(2004\)](#), [Carvalho e Silva \(2007\)](#), parte da premissa em que as nações

optam pelos setores mais rentáveis ou com maior produtividade marginal por fatores, como no modelo de panos e vinhos, tradicional na literatura econômica.

A explicação clássica do modelo de vantagens comparativas se dá assumindo duas nações, Portugal e Inglaterra. Portugal tem maior dotação na produção de vinhos, possui terras de boa qualidade e trabalhadores qualificados para a produção de vinhos, por outro lado, a Inglaterra tem capital e maquinário para a produção de tecidos, então “racionalmente” os dois países transacionariam vinhos e panos cada um com a sua especialização porque não seria racional para esses países produzirem aquilo que não são dotados ou tem vantagens comparativas. Em outras palavras: A Inglaterra teria muita dificuldade de produzir vinhos por não possuir dotação, e caso o tentasse, recursos limitados preciosos seriam gastos para a produção de vinho. Portugal por outro lado, não deveria produzir tecidos porque necessitaria de muito investimento em recursos para produzir tecidos, enquanto seria mais eficiente produzindo vinhos. Dentro da teoria econômica tradicional, existiria um ponto ótimo entre esses dois países que transacionariam um valor ótimo que maximizasse as necessidades dos dois países. Esse modelo é denominado modelo de vantagens comparativas e ainda é um paradigma forte na economia.

(REINERT, 1996, pag. 2) faz a ponte entre a relação entre retornos decrescentes e especialização produtiva pela via das vantagens comparativas, e por consequência, a armadilha de recursos naturais:

As a result, the resource-based nation is locked into an economic activity which yields less and less as its specialisation in the resource-base activity deepens. The more such a nation produces of the specific resource-based product, the poorer it gets, and the more the environment suffers. This is what I call the double trap of resource based nations: poverty and economic degradation increase hand in hand as the nation continues to specialise according to its comparative advantage in international trade.

De acordo com BRESSER-PEREIRA (2007) esse processo se dá devido ao processo de *rendas ricardianas*, ou seja, os lucros vem primeiramente dos recursos que são mais férteis e com isso as economias tendem a escolher a produzir aquilo que possuem com maior abundância. Apesar de parecer benéfico esse processo é extremamente pernicioso para as economias, e por consequência para o meio-ambiente. Para compreender esses determinantes, precisamos estabelecer alguns conceitos:

Em primeiro lugar, é necessário compreender que esse processo leva a uma dependência de recursos naturais: a abundância de recursos naturais segundo Reinert (1996) e BRESSER-PEREIRA (2007) é na prática uma maldição. Essa maldição ocorre porque as instituições econômicas passam a sobrevalorizar os recursos naturais de onde são dependentes e isso afeta as taxas de câmbio que podem sobrevalorizar o câmbio de forma artificial, impedindo a indústria interna de se desenvolver, tornando o ambiente que deveria ser propício para o processo de desenvolvimento industrial, na prática tóxico. (REINERT,

1996) comenta a respeito do conceito de enriquecimento das nações ou do processo *rich get richer*, que pode ser traduzido em uma pergunta: Por que as nações ricas ficam mais ricas e as nações pobres ficam mais pobres?

A primeira resposta é o comércio internacional e seus fluxos. Essa é a resposta primária para justificar o motivo das nações ricas permanecerem ricas. O processo se dá da seguinte maneira: a medida em que as nações ricas transacionam bens e serviços, elas passam pela curva de aprendizado e com isso adquirem economias de escala e de escopo. Questões institucionais como acordos comerciais e a instalação de normas e doutrinas econômicas (a doutrina neoliberal, a doutrina de livre mercado, os futuros blocos econômicos e os acordos bilaterais de comércio) que viriam a ocorrer no século XX que são exemplos dessas instituições contribuem para esse processo de enriquecimento das nações ricas, como pode ser visto em [Chang \(2004\)](#). Com o aprendizado das economias as taxas de câmbio convergem para favorecer estas economias, elas exportam bens e produtos sofisticados e com isso vendem caro para o resto do mundo. Nas economias centrais, as taxas de câmbio são sempre favoráveis para essas economias em detrimento das moedas dos países que vendem produtos básicos (se recordar do modelo ricardiano de vantagens comparativas, é exatamente este o processo geral).

Para as nações pobres ou em desenvolvimento, cabem aqui tanto as nações que são primordialmente agrícolas, tem aqui um duplo revés: Primeiro que elas vendem para as nações de centro produtos que são de baixa ou nenhuma sofisticação tecnológica (veremos em uma seção futura os dados empíricos destas análises). Com a diferença entre os preços dos produtos que são importados com os produtos que são exportados (entenda aqui que as nações vendem produtos baratos e absorvem moeda estrangeira nesse processo, influenciando profundamente nas taxas de câmbio) e compram produtos importados (enviando moeda internacional para o resto do mundo).

Essa diferença de moedas faz com que os produtos básicos sempre sejam baratos para as economias externas, contudo, se essas nações resolvessem ter a sua própria indústria, essas nações teriam problemas em competir com os produtos mais sofisticados com o resto do mundo. Essa é a armadilha dos recursos naturais ou doença holandesa.

([BRESSER-PEREIRA, 2007](#), pag. 3) deixa claro a relação entre a doença holandesa e o processo de desenvolvimento econômico pautado em recursos naturais:

Quando um país é ainda 'pobre', ou seja, não realizou sua Revolução Industrial, talvez nem mesmo sua acumulação primitiva, não contando com capacidade de investir, nem com uma classe de empresários e de profissionais de classe média que conduzam o investimento, o país estará ainda no círculo vicioso ou na armadilha da pobreza, e o problema provavelmente se situará principalmente do lado da oferta. Quando, entretanto, já ultrapassou esse estágio, geralmente graças ao fato de haver aproveitado seus recursos naturais para iniciar uma atividade capitalista de exportação, e se transformou em um país de renda média, o principal

obstáculo ao desenvolvimento econômico geralmente se situará no lado da demanda: haverá insuficiência crônica de oportunidade de investimentos lucrativos nos setores produtores de bens comercializáveis cuja principal causa será a tendência à sobre-apreciação da taxa de câmbio que existe nos países em desenvolvimento. Esta tendência, por sua vez, geralmente terá como principal causa a doença holandesa.

De acordo com [Gala, Magacho e Camargo \(2016, pag. 1\)](#) a doença holandesa pode ser descrita como:

The term “Dutch disease” was coined to describe the problems that emerged in the Netherlands in the 1960s and 1970s after the discovery of gas reserves. The sudden increase in exports of this product caused important changes for the Dutch economy. The excessive currency appreciation arising from the income that the new discovery generated implied a retraction for the Dutch manufactured goods industry, which ultimately led to unemployment and lower growth rates. The country’s economic situation worsened after the reserves’ discovery, in a paradox that became known as the “Dutch disease” problem, or the resource curse.

Ou seja, a doença holandesa segundo os pensadores novo-desenvolvimentistas, considera que a doença holandesa é um problema econômico fundamentado na produção e no comércio internacional, densamente atrelado a disponibilidade de recursos naturais, como foi visto em [Reinert \(1996\)](#). O fato de afetar a produtividade da economia e estancar o crescimento econômico é uma variável séria, que não afeta apenas a economia real, mas também a complexidade econômica da economia, esta complexidade no trabalho de [Gala, Magacho e Camargo \(2016\)](#), medida em termos de PCI (Product Complexity Index), baseados nos trabalhos de [Hausmann et al. \(2014\)](#). Os dados de complexidade econômica, baseada em PCI e ECI (Economic Complexity Index) é um dos objetivos finais deste trabalho onde servirá para mensurar de doença holandesa e a escolha do produto a ser exportado tem correlação com pressão sobre recursos ambientais, como preconizado por [Reinert \(1996\)](#). ([CANUTO; CAVALLARI, 2012](#)) apesar de também indicar a possibilidade da “maldição de recursos naturais”, não encontrou evidências empíricas ao se considerar o esgotamento de recursos naturais ao correlacionar a depleção de recursos com renda *per capita*.

Nas palavra de [Canuto e Cavallari \(2012\)](#):

An abundance of natural resources is intuitively expected to be a blessing. Nonetheless, it has been argued for some decades that large endowments of natural resources may actually become more of a curse, often leading to slow economic growth and redistributive struggles .

E quais são as consequências da maldição dos recursos naturais ou doença holandesa para as economias já maduras (ou em desenvolvimento) como o Brasil ou nos Estados Unidos no contexto atual? A resposta direta é desindustrialização e perda da complexidade

econômica. Complexidade econômica como dito é a manifestação do grau de sofisticação que uma economia pode atingir. Entenda deste modo como a capacidade de fabricar produtos de alta tecnologia e com isso demandar um alto nível de emprego e de mão-de-obra, com demanda por pessoas especializadas, a complexidade social demanda novos *social roles*, isto é, ocupações sociais que permitam a produção de bens e serviços. Com maiores salários, as classes que suportam as classes nas ocupações principais, recebem rendas maiores. Como pode ser visto nas economias do centro do capitalismo como Japão e Alemanha onde os salários para os setores terciários são muito maiores.

A evidência sobre a correlação entre complexidade econômica e a maldição dos recursos naturais pode ser encontrada em [Gala, Magacho e Camargo \(2016, pag. 25\)](#), onde o trabalho procura verificar a existência da doença holandesa por meio do fluxo de comércio internacional o resultado do trabalho foi de que sim, é possível permanecer estagnado como produtor desses recursos naturais ficando preso em um nível de complexidade econômica mais baixo caso a nação decidir exportar recursos naturais básicos, como pode ser visto a seguir:

Concentrating exports in oil, as do Nigeria, Colombia, Egypt, Oman, Yemen, Kuwait, and others, negatively impacts the country's complexity change by .00483 per percentage point. As previously analysed, if oil accounts for 50% of exports, the country's economic complexity will decrease by .242 every four years, meaning that complexity will drop by 1.208 over a period of 20 years. Similar results, albeit at a lesser scale, apply to iron ore, the main export product for Brazil and Australia, and soy beans, the main export for Uruguay and Paraguay. In contrast, concentration in more complex products has no negative effect on complexity change. To the contrary, the effect of concentration in microcircuits, which are the main exports for Malaysia, the Philippines, and Singapore, and in personal computers, which is the case of China, positively impacts complexity

Não obstante, [Reinert \(1996\)](#), cita os exemplos de Estados Unidos, Austrália e Canadá como países que sofreram por conta da abundância dos recursos naturais, [Gala, Magacho e Camargo \(2016\)](#) cita os casos de Indonésia, Nigéria e Venezuela como casos contemporâneos de maldição de recursos naturais, os dois últimos em especial, sofrem por causa da abundância em petróleo, que prejudica o processo de industrialização da economia por conta do nível internacional de preços. A respeito da solução adotada pela Austrália para se livrar da maldição dos recursos naturais, [Reinert \(1996, pag. 28\)](#) cita o Relatório de Vernon que justifica a necessidade da preservação da indústria interna para se evitar a maldição dos recursos naturais:

If our nation specialises completely in one resource-based product, e.g. wool, two things will happen which will for ever prevent us from getting into the club of wealthy nations. First, the price of wool will fall, because we shall be producing so much of it. Second, and more important, having no other alternative source of mass employment, we shall be taking our wool production into areas of Diminishing Returns, to places where productivity

will be much lower than in our best areas. There will be no natural checks - no deterrents - to this process of taking the whole nation into producing massively under Diminishing Returns. An automatic consequence of this process will be that wages will have to fall as population in-creases. In short: An exclusive dependence on natural resources will lead us into a poverty trap.

A resolução desses problemas, de acordo com o pensamento da escola novo-desenvolvimentista primeiramente se dá por um processo econômico pautado na indústria interna nacional, com o objetivo de converter o lucro advindo dos recursos naturais para a economia interna e esse procedimento se dá diretamente pela manipulação das taxas de câmbio de modo que fique favorável para o surgimento de uma indústria de base interna. O surgimento de um parque industrial, dentro deste paradigma tem dois efeitos imediatos: O primeiro é que a nação ao poucos deixa de se tornar dependente de exportações, como pode ser visto nas obras da economista Maria da Conceição Tavares e de Celso Furtado. O segundo é que com o desenvolvimento de uma indústria de base é possível gerar empregos sofisticados e com isso ampliar o escopo do desenvolvimento econômico com salários maiores e profissões melhores. Como pode ser visto em [Gala, Rocha e Magacho \(2016\)](#), [Gala, Magacho e Camargo \(2016\)](#) e [Gala et al. \(2016\)](#) O terceiro aspecto disso é a menor pressão sobre os recursos naturais, uma vez que a demanda por *commodities* tende a diminuir, uma vez que outros setores protagonizam a pauta de exportações.

Quando se considera esse fenômeno aplicado ao caso brasileiro, em especial na historiografia econômica brasileira, é de conhecimento comum que o Brasil era uma economia cafeeira ao longo dos seus últimos duzentos anos e passou por um processo de industrialização nos anos 30 que fez com que a economia crescesse ao longo do século XX, atingindo taxas de crescimento “chinesas”, expandindo sua indústria até a década de setenta, onde passa por sucessivas crises até chegar ao estágio atual. Contudo, uma pergunta que se faz, qual foi a saída encontrada pelos *policy makers* brasileiros para poder vencer a doença holandesa e ter suas taxas de crescimentos: A resposta pode ser encontrada na teoria desenvolvimentista de Bresser-Pereira . De acordo com [BRESSER-PEREIRA \(2007\)](#), é a partir da administração da taxa de câmbio (política cambial) que permita corrigir os preços dos fatores e forçar a migração de recursos dos setores ligados aos recursos naturais para os setores industriais. Esse fato pode ser constatado na história, pois a partir da crise do café em 1929, e com as políticas industrializantes de Vargas, em especial a instrução 29 da Superintendência de Moeda e Crédito (SUMOC), que regulamentava as taxas múltiplas de câmbio pode ter sido um motor para o desenvolvimento econômico brasileiro, em especial durante o fenômeno de industrialização por substituição de importações (ISI) que claramente é um movimento industrial que superou a herança agrícola brasileira.

Na economia recente, os estudos da escola novo-desenvolvimentista, estudam os efeitos da desindustrialização brasileira, com [Gala, Rocha e Magacho \(2016\)](#), [Gala, Magacho](#)

e Camargo (2016), Palma (2005), Furtado (2008). Gala, Magacho e Camargo (2016) correlaciona desindustrialização com perda da complexidade econômica, isto é, perda da capacidade de produzir produtos sofisticados. Um efeito nefasto da perda de complexidade é a migração da mão-de-obra urbana para serviços não sofisticados, em outras palavras, uma queda do nível de emprego, da qualidade de vida e com isso uma espiral negativa para a queda dos índices de qualidade de vida e por consequência para o meio-ambiente.

Nesta seção vimos como a teoria de Ricardo e do comércio internacional influenciou uma leitura de como a especialização produtiva em um recurso natural influencia na dinâmica de enriquecimento das nações. Também vimos o ponto de vista da escola novo-desenvolvimentista que argumenta que existe um fenômeno chamado doença holandesa ou maldição dos recursos naturais.

1.8 Conclusão

O objeto principal deste capítulo foi de demonstrar ao leitor como o processo histórico está ligado ao processo econômico e ao processo ambiental. A atuação do homem na natureza pode causar profundos impactos na paisagem e no meio ambiente sendo capaz de causar alterações tão profundas que a paisagem original se deriva em imensas outras, como vimos no caso do Mediterrâneo com os textos de Donald J. Hughes.

A materialidade na economia, objeto de estudos de Tim Jackson mostra que a economia é feita essencialmente de bens materiais, que são essenciais para a preservação da espécie humana, ele também falou sobre o contexto de entropia na teoria econômica, esse assunto ainda não foi explorado neste texto e será esmiuçado quando começarmos a tratar do paradigma da economia ecológica. Veremos também textos da economia ecológica, capitaneada por Herman Daly e Nicholas Georgescu-Roegen que enxergaram na dinâmica de sistemas e nos sistemas complexos, além do paradigma da termodinâmica uma nova leitura para os problemas econômicos. Esse assunto será tema central do próximo capítulo desta dissertação.

Também vimos como a escola econômica novo-desenvolvimentista dialoga com os textos de Erick S. Reinert no tocante dos retornos decrescentes e como isso afeta o enriquecimento das nações, jogando as economias em uma armadilha de pobreza e dependência de recursos naturais, esse tópico será reaberto neste trabalho com dados mais consistentes e correlacionados com o meio ambiente onde se utiliza dados de consumo de água, a pegada hídrica e com a pegada ecológica.

No próximo capítulo, será desenvolvido uma comparação mais lenta entre os diversos tipos de teoria, relacionando economia e meio ambiente.

2 Oikologia e Oikonomia: Um diálogo complicado

2.1 Introdução

O capítulo anterior, procurou mostrar ao leitor como a questão histórica e a questão econômica se entrelaçam e afetam a gestão da interação do homem com os sistemas naturais. Para prosseguirmos, é necessário construir um novo arcabouço de conhecimento que consiga interligar a questão do meio ambiente com as questões sócio-econômicas.

Por hora, se é instrumento da economia manejar recursos naturais para serem transformados, cujo fim útil é a sobrevivência da espécie humana. É instrumento da ecológica dizer para as demais ciências, se a interação do homem com o meio ambiente está sendo ou não prejudicial para a natureza, e por sua vez, reflete novamente na sobrevivência da espécie humana que necessita do estoque de recursos naturais (renováveis e não-renováveis) para continuar a existir.

Temos aqui então um certo paradoxo, permeado por uma certa ironia: Nós seres humanos somos habitantes transitórios no sistema ecológico do planeta Terra e dependemos da disponibilidade de recursos para continuar a existir. Até onde sabemos, não é possível colocar nossas malas em barcas espaciais e buscar uma nova terra prometida para podermos reconstruir a civilização. [Georgescu-Roegen \(2012\)](#) foi muito bem claro ao afirmar que o sistema terra é um sistema dinâmico fechado onde recebe apenas energia solar, o estoque de recursos elementares a vida, por sua vez, é limitado e o consumo acima da capacidade de carga do sistema pode incorrer em um desequilíbrio dinâmico que por sua vez, pode incorrer em algum tipo de colapso, isolado ou em cadeia e com isso, desencadear uma série de problemas que por sua vez afeta a capacidade de sobrevivência da espécie humana.

Mas uma pergunta que pode ser indagada dentro dos limites desse texto, é que Malthus alguns séculos atrás fez as mesmas considerações e previu um prognóstico catastrófico a respeito da disponibilidade de alimentos, que graças a inventividade dos engenheiros agrícolas, permitiu uma revolução verde que deu novas forças para o crescimento populacional humano.

Isso de fato ocorreu, não pode ser negado. A questão da inovação tecnológica é fato fundamental para se promover o aumento dos rendimentos marginais crescentes, que por sua vez, dá ao sistema econômico subsídio para o seu crescimento, que afeta os sistemas demográficos, aumentando as populações, que afetam os sistemas e ecossistemas urbanos, que afetam os sistemas ecológicos (biomas terrestres, aquáticos, etc.).

Não se pode desconsiderar os efeitos da tecnologia para o progresso da humanidade, contudo, existem efeitos negativos e nefastos para os sistemas ecológicos. A indústria pesqueira em larga escala causou a diminuição e extinção de espécies de peixes e crustáceos, a agricultura de larga escala causou toda sorte de efeitos nas paisagens, desde erosão até a eutrofização (aumento mais que necessário de NPK no solo), a monocultura torna as plantações mais vulneráveis, espécies são obrigadas a migrar de seus ecossistemas em busca de alimento e abrigo efeitos que podem ser visto em [Chapin et al. \(2009\)](#) , [Gunderson e Holling \(2002\)](#) e [Marques \(2015\)](#).

O debate moderno de sustentabilidade tem sua origem em dois textos seminais: Primavera Silenciosa, de Rachel Carlson ([Carson \(2015\)](#)), escrito em 1968, que denuncia a mortandade de aves por conta do uso do pesticida DDT o outro texto que age como rastilho de pólvora na questão ambiental é Donnela Meadows com o texto os Limites do Crescimento escrito em 1972 ([Meadows et al. \(1972\)](#)) que culminam depois no Relatório Brundtland, publicado em 1987, que debate objetivamente as questões ambientais e de que como a sociedade permanece em perigo enquanto não estivermos alinhados e preocupados com a sobrevivência das gerações futuras.

A mensagem desses três livros é muito clara: A industrialização, a economia e a forma em que o uso dos recursos naturais se dá está prejudicando o meio ambiente, a sobrevivência das demais espécies no planeta e a quantidade de recursos que consumimos, dado que que se renova ou o que se é reutilizado não é o bastante para assegurar a sobrevivência da espécie humana. A partir deste debate, começam a se delinear o tijolo mais fundamental do debate que é a questão da sustentabilidade.

2.2 Forrester, Meadows e os Limites do Crescimento: Modelos Computacionais e o Meio Ambiente

Como citado na seção anterior, foram dois trabalhos seminais que permitiram o desenvolvimento da questão ambiental no mundo no século XX. Primavera silenciosa, cujo tema orbita em mortandade de animais dado uso de inseticidas e os Limites do Crescimento, escrita por Meadows et. al. em 1972. Primeiramente, vamos nos concentrar quatro anos, na fundação do Clube de Roma, em especial na figura de Jay Wright Forrester, professor do MIT Sloan School of Management, fundador da disciplina de Dinâmica de Sistemas.

Forrester desenvolveu a partir da dinâmica de sistemas (disciplina baseadas em princípios de retroalimentação da termodinâmica e estados de equilíbrio), ver [Assad e Gass \(2011\)](#) os denominados modelos mundo, que são uma série de modelos que procuravam explicar o processo de crescimento populacional a partir de uma série de premissas, com isso, a partir de uma linguagem de programação denominada Dínamo, o dito Modelo 3 (WORLD3), inspirou o livro os limites do crescimento, escrito pelos alunos de Forrester,

Donella Meadows, Dennis Meadows e Jorgen Randers.

De acordo com Parenti (2012), os teóricos da dinâmica de sistemas, viam o mundo ora como sistemas fechados ou como sistemas abertos, isto é, poderiam ser fechados neles mesmos dentro de uma rede de causalidades (positivas ou negativas), ou abertos, isto é, sujeitos a interferências exógenas (de fora do sistema).

Na construção do “Os limites”, Parenti (2012) comenta que as principais variáveis inseridas nos modelos foram a população, produção de alimentos, produção industrial, consumo de recursos naturais não renováveis e níveis de poluição. Os autores coletaram os melhores dados que tinham disponíveis na época e realizaram diversas análises de cenários com prognósticos sobre o futuro.

De acordo com Parenti (2012), haveria uma questão do crescimento exponencial do consumo de recursos naturais o que pressionaria a capacidade de carga do sistema ecológico e com isso levando o “Sistema Terra” até os seus limites, ao ponto de chegar a uma crise ambiental. Da forma que se segue:

Limits’ argument hinged on the idea of exponential growth, which occurs when something increases by a constant percentage of an ever-expanding whole. This means the more a thing grows, the faster its rate of growth in absolute terms will be. From this followed the idea that by the time humanity would feel the impact of the environmental crisis, the problem could be accelerating so fast that it might be impossible to stop. Thus, a cataclysmic “overshoot” of the Earth’s natural physical limits was a very real possibility.

Apesar de ter vendido na época de seu lançamento 12 milhões de livros em escala mundial, a tese de Meadows et. al. não agradou muito os economistas da época:

*But, Limits had its critics within mainstream journalism and academia. Foreign Affairs ran a review called “The Computer That Printed Out W*O*L*F*.” Three economists writing in The New York Times Book Review dismissed Limits as “an empty and misleading work. . . . Less than pseudoscience and little more than polemical fiction. . . . Garbage In, Garbage Out.” A Newsweek editorial called it “a piece of irresponsible nonsense.” (PARENTI, 2012)*

Alguns economistas de destaque como Robert Solow (posteriormente Nobel de Economia), Allen Kneese e Roland Ridker deixaram de atacar o livro, criticando as premissas de crescimento exponencial e tangenciando a questão de inovação tecnológica, onde segundo os autores, apesar das entradas do modelo algumas variáveis cresciam exponencialmente, a tecnologia crescia apenas em níveis discretos.

The authors load their case by letting some things grow exponentially and others not. Population, capital and pollution grow exponentially in all models, but technologies for expanding resources and controlling pollution

are permitted to grow, if at all, only in discrete increments.” These were intellectually dishonest attacks; contrary to the claims by Solow et al., the book contained several scenarios that allowed for exactly what the economists claimed it did not, which is to say: unlimited resources, technology, pollution controls and agricultural production. Of the twelve scenarios in the book, seven ended in collapse, one in a sort of half-collapse and the rest in equilibrium. Admittedly, the most seemingly realistic scenarios had the worst outcomes. As the authors explained, without “major change in the present system, population and industrial growth will certainly stop within the next century.”(PARENTI, 2012)

De acordo com Sabin (2013, pag. 75), os economistas de matriz ortodoxa foram bastante cáusticos em relação aos limites do crescimento. Em especial em relação aos modelos matemáticos simulados por Forrester. Um dos críticos, o economista ambiental William Nordhaus, criticou os pressupostos de que os modelos WORLD3 de Forrester não consideravam inovação tecnológica e efeitos de substituição nos fatores de produção, uma vez que com escassez de recursos naturais, a tendência era a economia trocar um bem por outro de acordo com os avanços tecnológicos. Nas palavras de Sabin:

Barnett and Morse spoke for a generation of economists, including Julian Simon, who reacted skeptically to predictions of calamity. Yale economist William Nordhaus dismissed the model and calculations of Jay Forrester’s World Dynamics, the 1971 book that fathered The Limits to Growth, as “measurement without data.” Nordhaus said that Forrester allowed for “no technological progress, no new discovery of resources, no way of inventing substitute materials, no price system to induce the system to substitute plentiful resources for scarce resources.” The model, in other words, did not match how human economies actually work. In the real economy, Nordhaus explained, abundant resources and new technologies responded to scarcity: “iron, aluminum, and communication satellites replace copper; chlorine replaces iodine; the xerography process replaces use of tin and lead in printing.” This substitution would continue, Nordhaus said, unless the future turned out to be “very different from the past.” Nordhaus complained that the Forrester model—and, by extension, The Limits to Growth—treated human society as a “population of insentient beings, unwilling and unable to check reproductive urges; unable to invent computers or birth control devices or synthetic materials; without a price system to help ration scarce goods or motivate the discovery of new ones.” Human beings, Nordhaus’s analysis suggested, had more options than Ehrlich’s butterflies. Sabin (2013, pag. 75)

A crítica de Nordhaus, é microfundamentada, isto é, seu modo de raciocinar em termos de substituição de fatores de produção, considera essencialmente paradigmas do pensamento econômico tradicional, em especial dois elementos: i) que em caso de necessidade, os agentes econômicos podem substituir um bem pelo outro (isto é, partindo do pressuposto que todos os bens são intercambiáveis ou substituíveis, como se no limite, caso água se tornasse um bem escasso, pudessemos beber outro líquido; ii) que os agentes econômicos podem inovar a qualquer momento em que seja possível, deslocando as possibilidades tecnológicas para níveis melhores e com capacidade de tirar a economia daquele estado de estagnação. Geralmente essa resposta é padrão para responder argumentos Malthusianos.)

A critério de curiosidade, William Nordhaus viria a escrever quase vinte anos depois um livro sobre economia do aquecimento global, utilizando modelos de computador (RICE, RICE-99 e DICE-99), com bases em econometria e com modelos de crescimento econômico pautados mais na teoria econômica. O que diferenciaria os modelos WOLD3 e os RICE, basicamente é a aplicação de teoria econômica pura no segundo, frente a um modelo dinâmico com *feedback loops*, isto é, relações de causalidade entre os parâmetros no primeiro, frente a modelos inspirados em ecologia, demografia e termodinâmica.

Robert Solow, um dos maiores economistas de todos os tempos, agraciado com o Nobel, foi ainda mais enfático em relação ao que foi apresentado pelos Os Limites do Crescimento. Sua crítica foi dirigida ao fato de que as forças de mercado diárias não eram respeitadas nestas simulações. Também destacou ao fato que o mercado capitalista era capaz de reagir à escassez regulando os preços. Essa visão de Solow, reflete muito o pensamento Clássico da economia (e posteriormente de economistas libertários como Hayek e Friedman) em que as forças de oferta e demanda, conseguem reequilibrar a demanda de produtos e solucionar questões de alocações nos recursos naturais, renováveis ou não. Nas palavras de Sabin:

MIT economist Robert Solow, who later won the Nobel Prize in economic sciences for his work on economic growth theory, also harshly attacked the Limits to Growth model and its predecessors. Solow called the studies “worthless as science and as guides to public policy.” He ridiculed models that made “no room for everyday market forces.” The price system allowed capitalist economies to react to relative scarcity. Markets would manage depletion by causing people to develop substitutes, use resources more efficiently, and increase production. In a prestigious 1973 Ely lecture to the American Economics Association, Solow assured his audience, somewhat glibly, that “the world has been exhausting its exhaustible resources since the first cave-man chipped a flint.” Society did not need to fear crossing natural limits to growth. More important, possible future scarcity did not mean that the current generation needed to slash its consumption. “Earlier generations are entitled to draw down the pool” of natural resources, Solow insisted in an essay on intergenerational equity, “so long as they add . . . to the stock of reproducible capital.” In other words, because labor and capital goods could substitute for resources, Solow wrote, natural resources should simply be consumed according to the same rules that governed other assets.(SABIN, 2013, pag. 75)

Solow partia do princípio que o que regularia estes mercados ligados ao meio ambiente era a disponibilidade e disseminação de informação entre os agentes econômicos que regularia o sistema de preços. Dentro deste sistema de crença, quanto mais o governo permitisse que todos tivessem a mesma informação, menos os mercados estariam imperfeitos e maior capacidade de adaptação os agentes econômicos teriam. Essa visão pragmática refletiria depois em mais críticas, não apenas no mundo da economia, mas também da política e da religião.

2.3 Um Livro-Bomba, como Paul Ehrlich disseminou uma visão neo-Malthusiana

Assim como o “A Primavera Silenciosa” e o “Os Limites do Crescimento” que foram livros que influenciaram a opinião pública, dois livros antagônicos precisam ser considerados: *The Population Bomb*, escrito em 1968 pelo biólogo Paul Ehrlich e *The Ultimate Resource*, escrito em 1981 pelo economista ambiental Julian Simons.

O *The Population Bomb*, é fundamentado no pressuposto (neo)- malthusiano de que o planeta não teria recursos o suficiente para sustentar uma população crescente, fecunda a taxas exponenciais. Não apenas o crescimento populacional era uma preocupação, mas os efeitos decorrentes do adensamento populacional e os efeitos da migração populacional para os Estados Unidos.

No livro de Ehrlich, ele inicia sua narrativa citando uma viagem à Índia onde ele se defronta com um mar de pessoas em situação de miséria e isso o desperta para questões inerentes a capacidade do planeta de sustentar a população. Em um tom bem humorado, o autor escreve:

I have understood the population explosion intellectually for a long time. I came to understand it emotionally one stinking hot night in Delhi a couple of years ago. My wife and daughter and I were returning to our hotel in an ancient taxi. The seats were hopping with fleas. The only functional gear was third. As we crawled through the city, we entered a crowded slum area. The temperature was well over 100, and the air was a haze of dust and smoke. The streets seemed alive with people. People eating, people washing, people sleeping. People visiting, arguing, and screaming. People thrusting their hands through the taxi window, begging. People defecating and urinating. People clinging to buses. People herding animals. People, people, people, people. Ehrlich (1971, pag. 15)

A questão central em Ehrlich é a taxa de crescimento populacional dado a capacidade de carga do sistema. O ponto central se encerra dentro da taxa de crescimento da população sempre duplicar, aumentando exponencialmente a população. Um segundo fator aqui, se dá pela taxa de crescimento da população, a taxa de mortalidade da população e a disponibilidade de recursos, e mais um elemento, o econômico. Isto é, o sistema para Ehrlich seguiria a *Lei de Matheus*, onde existe a famosa fórmula: “O Rico fica mais rico, enquanto o pobre fica mais pobre.”

Ehrlich Ehrlich (1971, pag. 17), chama atenção para duas coisas importantes: O interesse dos países desenvolvidos na questão ambiental mundial, em especial, na questão da escassez de alimentos. Segundo o autor, quanto maior é a taxa de crescimento populacional, menor se torna a disponibilidade de alimentos. Quanto maior é a disputa por recursos para a sobrevivência, isto é, afetando a taxa de mortalidade, mais vulnerável se tornam os mais pobres, que podem sucumbir devido a fome.

O primeiro elemento desse evento populacional, se dá a uma característica inerente ao crescimento demográfico humano. O fato dele ser exponencial, isto é, sua taxa de crescimento possui potência maior do que um e que o tempo necessário para a população dobrar de tamanho¹, isto é, desde a população zero, algumas dezenas de milhares de anos atrás, até os dias de hoje, se tornar cada vez mais curta, com isso, o tempo que levaria para a população humana explodir se tornaria cada vez mais breve.

O The Population Bomb tem como objetivo disseminar para a sociedade em geral os perigos do crescimento populacional descontrolado. Ehrlich era advogado do conceito de que deveria existir crescimento populacional zero, mais especificamente com questões de planejamento familiar e disseminação de políticas públicas relacionadas a esterilização voluntária da população.

Além do crescimento populacional crescendo em taxas geométricas, Ehrlich considera as possibilidades de retornos decrescentes de alimentos, como já tratamos no primeiro capítulo deste trabalho. Em um comentário a respeito da dinâmica de produção de alimentos, Ehrlich (1971, pag. 37) fala do problema do uso de terras marginais em decorrência da pressão dos recursos naturais e da década seguinte à segunda guerra mundial, onde o sistema já começava a sinalizar uma diferença entre a dinâmica da produção de alimentos entre os países desenvolvidos e os países subdesenvolvidos.

Through the first decade following World War II, food production per person in the UDCs kept up with population growth. Then, sometime around 1958, "the stork passed the plow." Serious transfers of food began from the DCs to the UDCs. As food got scarcer, economic laws of supply and demand began to take effect in the UDCs. Food prices began to rise. Marginal land began to be brought into production—as evidenced by reduced yields per acre. In short, all the signs of an approaching food crisis began to appear. Then in 1965-1966 came the first dramatic blow. In 1965-1966 mankind suffered a shocking defeat in what is now popularly called the "war on hunger." In 1966, while the population of the world

¹ A questão da dinâmica de populações, área de interface tanto da demografia quanto da ecologia de populações, parte dos pressupostos das equações Malthusianas para crescimento de populações. Considera-se aqui os parâmetros de crescimento populacionais, como imigração e nascimento, versus saída de populações do sistema. Assumindo N como a diferença entre a população que nasce, da população que morre, dado uma taxa de reprodução da espécie, temos:

$$\frac{dN(t)}{dt} = r * N(t) \quad (2.1)$$

Onde, r é a taxa de crescimento da população e $N(t)$ é o tamanho da população. A solução da equação, via equações diferenciais é dada pela seguinte equação:

$$N(t) = N_0 * e^{r*t} \quad (2.2)$$

Ou seja, dado uma população N , a medida em que o tempo passa, essa população cresce a uma taxa r , multiplicada pelo tempo.

Uma versão mais sofisticada da equação de crescimento populacional é a equação de crescimento logística. A equação logística, tem como inovação considerar a capacidade de carga de um sistema, isto é, a disponibilidade de alimentos, que dinamicamente está atrelada a taxa de fecundidade e de sobrevivência da população em questão.

increased by some 70 million people, there was no compensatory increase in food production. According to the United Nations Food and Agriculture Organization (FAO), advances in food production made in developing nations between 1955 and 1965 were wiped out by agricultural disasters in 1965 and 1966. In 1966 each person on Earth had 2% less to eat, the reduction, of course, not being uniformly distributed. Only ten countries grew more food than they consumed: the United States, Canada, Australia, Argentina, France, New Zealand, Burma, Thailand, Rumania, and South Africa. The United States produced more than half of the surplus, with Canada and Australia contributing most of the balance. All other countries, including the giants of China, India, and Russia, imported more than they exported. In 1966 the United States shipped one quarter of its wheat crop, nine million tons, to India. In the process we helped change the distribution of people in the country. Thousands migrated into port cities so as to be close to the centers of wheat distribution. We also, in the opinion of some, hindered India's own agricultural development. Perhaps we gave too many Indians the impression that we have an unlimited capacity to ship them food. Unhappily, we do not. (EHRlich, 1971, pags. 37-38)

O terceiro argumento de Ehrlich para justificar a sua tese da bomba populacional, é a respeito da degradação ambiental. Ehrlich também utiliza das críticas em relação ao uso de DDT e de pesticidas, citando o trabalho de Rachel Carlson em “A Primavera Silenciosa”. Fato importante dentro do contexto do livro, é o autor tratar da complexidade (como ciência), o que se relaciona com o tema proposto por este trabalho. Os sistemas ecológicos tem interligação dinâmica com os sistemas sociais e humanos e qualquer alteração (em especial poluição e contaminação) dentro dos sistemas ecológicos, geram efeitos encadeados nas demais formas de existência e formas de vida, prejudicando a disponibilidade de recursos, alimentos, biodisponibilidade, até finalmente retornar para os seres humanos sob a forma de poluição e de alimentos contaminados.

Nessa interação entre a ação do homem dentro dos sistemas naturais, fica claro como a Lei dos Rendimentos Marginais se apresenta no texto do *The Population Bomb*: A agricultura humana, nas palavras de Ehrlich está atrelada ao empobrecimento do solo. Fato que pode ser verificado, em especial nos textos sobre resiliência ecológica de Hooling.

Plans for increasing food production invariably involve large-scale efforts at environmental modification. These plans involve the "inputs" so beloved of the agricultural propagandist—especially fertilizers to enrich soils and pesticides to discourage our competitors. Growing more food also may involve the clearing of forests from additional land and the provision of irrigation water. There seems to be little hope that we will suddenly have an upsurge in the level of responsibility or ecological sophistication of persons concerned with increasing agricultural output. I predict that the rate of soil deterioration will accelerate as the food crisis intensifies. Ecology will be ignored more and more as things get tough. It is safe to assume that our use of synthetic pesticides, already massive, will increase. In spite of much publicity, the intimate relationship between pesticides on the one hand and environmental deterioration on the other is not often recognized. This relationship is well worth a close look. (EHRlich, 1971, pag. 48)

O fenômeno acima descrito por Paul Ehrlich, em muito se parece com os eventos descritos por Donald J. Hughes, ao explicar o colapso ambiental do mediterrâneo, onde o historiador explica o processo de devastação florestal com o intuito de aumentar a oferta de alimentos e a perda de recursos hídricos decorrentes deste fenômeno, lembrando que os livros de Hughes seria escrito anos mais tarde. A questão da disponibilidade de alimentos também é observada nos livros de Jared Diamond em suas teses a respeito do colapso das civilizações, em especial *Germes, Armas e Aço* e *Colapso*. No entanto, pela perspectiva de Ehrlich, temos aqui uma relação intrínseca entre o processo ecológico, a ação do homem no meio natural e as consequências que ele prevê, ao se impactar na disponibilidade de alimentos que estejam bons o bastante para consumo humano.

A resposta de Ehrlich (Ehrlich (1971, pag. 51) para a ação dos pesticidas sintéticos dentro da complexidade ambiental, é clara e direta. Os efeitos dos pesticidas sintéticos caminham por toda a cadeia alimentar e trófica dentre os links que as comportam, os efeitos são catastróficos (como no caso do DDT) e fatalmente, um dos efeitos que podem ser desencadeados (e o que viria a ser constatado décadas depois) viriam a ser as epidemias de câncer.

What happens when a complex ecosystem is treated with a synthetic pesticide? Some of the carnivorous species are exterminated, and the pests become resistant. The ecosystem is simplified by the removal of the carnivores and becomes less stable. Since carnivores can no longer help control the size of the pest population, the pesticide treatments must be escalated to more and more dangerous levels. Ads for insecticides sometimes imply that there is some absolute number of pests—that if we could just eliminate all the “public enemies” things would be dandy. In fact, pesticides often create pests. Careless overuse of DDT has promoted to “pest” category many species of mites, little insectlike relatives of spiders. The insects which ate the mites were killed by the DDT, and the mites were resistant to DDT. There you have it— instant pests, and more profits for the agricultural chemical industry in fighting these Frankensteins of their own creation. What’s more, some of the more potent miticides the chemists have developed with which to do battle seem to be powerful carcinogens — cancer-producing substances. Ehrlich (1971, pag. 51)

O livro *The Population Bomb*, além dos exemplos que retratam da interação do homem com os sistemas naturais, inclui um exemplo bastante intrigante sobre contaminação de recursos aquáticos por conta de ovos de camarão envenenados em Ehrlich (1971, pag. 55). O autor descreve como estupidez os impactos gerados sobre a Baía de São Francisco e na Região dos Grandes Lagos primeiro pelos efeitos causados pelo aquarismo e segundo pela plantação de ovos de camarões para alimentar os aquários, o que causa um envenenamento das espécies.

Contudo, nas páginas 60 e 61 do *The Population Bomb*, Paul Ehrlich descreve o efeito estufa e alerta a respeito de potenciais mudanças climáticas que poderiam ocorrer em decorrência da interação humana com o meio ambiente. Primeiro ele retrata de forma

simples como aviões supersônicos poderiam liberar na atmosfera elementos químicos que poderiam gerar o efeito estufa e posteriormente fala do aquecimento global, causados pela interação do homem no meio. Contudo, causa surpresa o autor fazer um alerta que praticamente trinta anos mais tarde, se tornaria um dos temas ambientais de maior importância na sociedade contemporânea². Nas palavras de Ehrlich:

Concern about this problem has been greatly increased by the prospect of supersonic transports. Most people have been opposing this project on the basis that the "sonic booms" generated will drive half the people in the country out of their skulls while benefiting almost no one. But ecologists, as usual, have been looking at the less obvious. Supersonic transports will leave contrails high in the stratosphere, where they will break up very slowly. A lid of ice crystals gradually will be deposited high in the atmosphere, which might add to the "greenhouse effect" (prevention of the heat of the Earth from radiating back into space). On the other hand, they may produce a greater cooling than heating effect because of the sun's rays which they reflect back into space. One way or another, you can bet their effect will not be "neutral." The greenhouse effect is being enhanced now by the greatly increased level of carbon dioxide in the atmosphere. In the last century our burning of fossil fuels raised the level some 15%. The greenhouse effect today is being countered by low-level clouds generated by contrails, dust, and other contaminants that tend to keep the energy of the sun from warming the Earth in the first place. At the moment we cannot predict what the overall climatic results will be of our using the atmosphere as a garbage dump. We do know that very small changes in either direction in the average temperature of the Earth could be very serious. With a few degrees of cooling, a new ice age might be upon us, with rapid and drastic effects on the agricultural productivity of the temperate regions. With a few degrees of heating, the polar ice caps would melt, perhaps raising ocean levels 250 feet. Gondola to the Empire State Building, anyone? In short, when we pollute, we tamper with the energy balance of the Earth. The results in terms of global climate and in terms of local weather could be catastrophic. Do we want to keep it up and find out what will happen? What do we gain by playing "environmental roulette"? (??, pags. 60 e 61)

Não há de se negar, mesmo com um tom alarmista e pouca demonstração empírica de suas posições que o livro *The Population Bomb* foi incisivo ao alertar a comunidade científica de possíveis problemas que teríamos caso continuássemos a manter o nosso padrão de consumo e de crescimento populacional. Não é de se negar que o tom exagerado as vezes do autor, incomodou outros agentes, principalmente a igreja, cuja influência Paul Ehrlich não desconsiderava. Cabe ressaltar aqui, que muita das coisas que foram escritas se realizaram. Duas que poderiam ser destacadas, é a respeito do aquecimento global e epidemia de câncer por conta do uso de agrotóxicos.

O livro de Paul Ehrlich, de acordo com [Sabin \(2013\)](#) teve grande aceitação na década de setenta durante os governos de Nixon e de Carter. Influenciou o Senado Americano e permitiu que novas leis e projetos pudessem ser debatidos e juntamente ao esforço coletivo

² Cabe lembrar o leitor neste ponto, que um dos principais críticos de Ehrlich, William Nordhaus escreveria trinta anos mais tarde um livro de economia do aquecimento global.

da sociedade e dos ecólogos, a mudança no modo de produção de muitas empresas. Contudo, essa produção intelectual incomodou e muito, um economista da escola de Chicago chamado Julian Simons. Na próxima seção, veremos os principais pontos abordados por Simons, no livro, *The Ultimate Resource*.

2.4 A crítica de Simons às Cassandras: Um Mundo Curnocopiano

Cassandras é um capítulo do livro *The Bet*, se refere a um comentário proferido pelos Senadores Americanos ao se permitirem a ouvirem os ambientalistas dentro do contexto da abertura ao debate ambiental entre os governos de Nixon e Carter. Cassandra também eram as profetizas gregas que tinham a sina de terem o poder de prever o futuro, e a sina de ninguém acreditar nelas.

Como contraponto às teorias apresentadas até aqui, se fez necessário mostrar um ponto de vista que representasse ou a visão tradicional da economia neoclássica ou aquilo que o mercado tinha como ideal. Simons tem como principal livro o manual *The Ultimate Resource* onde desenvolve uma teoria própria a respeito da disponibilidade dos recursos naturais.

Sua principal premissa, primeiramente se dá ao contraponto ao método em que engenheiros fazem previsões e da forma em que economistas fazem previsões. No primeiro caso, o método engenharial consiste em avaliar a disponibilidade de recursos naturais, isto é, o inventário do que se tem disponível, observar as taxas de consumo atual e extrapolar para o futuro indicando se haveria uma escassez e quando haveria esta escassez de recurso.

O método de Simons é um pouco diferente: ele observa a economia como está e pede para seu interlocutor o convencer se as coisas irão mudar, a partir desse momento ele passa a reavaliar as suas posições. Como principal ferramenta analítica, ele considera a taxa de crescimento histórica, geralmente análise de tendências.

Com base nessas premissas, primeiramente Simons desconsidera a possibilidade de existir escassez plena de recursos naturais: Primeiro devido ao processo de substituição de recursos naturais. É uma premissa central, acreditar que caso um recurso escasseie, outros recursos venham o substituir. Segunda premissa, para o autor, ficou claro que o preço de minerais como cobre, tem sua média de preço com decaimento ao longo dos anos, ele considera como uma medida de escassez o valor da ação de um produto, logo, se ele está barato no mercado internacional, ele considera que a oferta de determinado bem está elevada, da mesma forma, caso um produto incorrer em escassez, vale a hipótese de substituir os recursos naturais por outros. Nas palavras do autor:

Discovery of an improved mining method or of a substitute such as iron differs, in a manner that affects future generations, from the discovery of a new lode. Even after the discovery of a new lode, on the average it will

still be more costly to obtain copper, that is, more costly than if copper had never been used enough to lead to a "shortage." But discoveries of improved mining methods and of substitute products can lead to lower costs of the services people seek from copper. Please notice how a discovery of a substitute process or product by Alpha or Gamma benefits innumerable future generations. Alpha and Gamma cannot themselves extract nearly the full benefit from their discovery of iron. (You and I still benefit from the discoveries of the uses of iron and methods of processing made by our ancestors thousands of years ago.) This benefit to later generations is an example of what economists call an "externality" due to Alpha and Gamma's activities, that is, a result of their discovery that does not affect them directly. If the cost of copper to Alpha and Gamma does not increase, they may not be impelled to develop improved methods and substitutes. If the cost of getting copper does rise for them, however, they may then bestir themselves to make a new discovery. The discovery may not immediately lower the cost of copper dramatically, and Alpha and Gamma may still not be as well off as if the cost had never risen. But subsequent generations may be better off because their ancestors Alpha and Gamma suffered from increasing cost and "scarcity." Simon (1998, pag. 59)

Ou seja, o funcionamento do processo de descoberta e uso de recursos naturais é sempre pautado na possibilidade de se encontrar um novo tipo de recurso, para então poder diminuir os custos médios de produção e com isso reabastecer os sistemas produtivos. É bem interessante poder confrontar essa analogia proposta por Simon, uma vez em que já discutimos a respeito das possibilidades de escassez de recursos naturais, pautados pela Lei dos Rendimentos Marginais decrescentes. Assunto que Julian Lincon Simon também aborda no *The Ultimate Resource*.

Na perspectiva de Simon a Lei dos Rendimentos Marginais Decrescentes só é válida em um estado estático em uma única fonte de recursos. Quando se descobre novas fontes de recursos, isto é, assumindo que o estoque de recurso de uma cidade é uma mina em particular, o uso isolado daquela mina pode incorrer na Lei dos Rendimentos Marginais Decrescentes. Descobrendo novas minas, os rendimentos marginais são anulados porque os custos diminuem e são diluídos em um "envelope", anulando os efeitos dos retornos marginais.

Uma crítica que pode ser retirada de tal argumento, é que a medida em que se descobre novas minas, a probabilidade de se encontrar outras minas vai diminuindo e também os custos de oportunidade do escasseamento do recurso vai aumentando. Uma das saídas encontradas por Simon para esse problema filosófico, tanto para recursos naturais quanto para energia encontra duas saídas: Primeiramente um dia, na visão do autor, não será absurdo a possibilidade de se minerar asteroides [Simon \(1998, pag. 79\)](#) e que a energia nuclear é uma fonte segura e capaz de fornecer energia virtualmente ilimitada para a humanidade [Simon \(1998, pag. 180\)](#) e que, no limiar, o Sol é capaz de fornecer toda a energia necessária para suprir a energia que a humanidade precisa, existirão equipamentos capazes de coletar essa energia diretamente do Sol. Nas palavras do autor:

Also imponent are increases in energy supply. We learn how to dig deeper, pump faster. And we invent new sources of energy—aside from coal, shale, oil, tar sands, and the like. We can also “grow” oil substitutes as long as there is sunlight to raise plants. (See chapter 6 on hydroponic farming using fresh water. And production of oil-seed crops that grow with salt water, which allows agriculture with irrigation of the desert, is now entering commercial development in Saudi Arabia.) Also, nuclear fission power will be available at constant or declining costs practically forever. After our sun runs out of energy, there may be nuclear fusion, or some other suns to take care of our needs. We’ve got seven billion years to discover solutions to the theoretical problems that we have only been able to cook up in the past few centuries of progress in physics. It’s reasonable to expect the supply of energy to continue becoming more available and less scarce, forever.’ Simon (1998, pag. 181)

O Embate entre Ehrlich e Simons foi de grande contribuição para o sistema como um todo. Não há um debate de vencedores ou de perdedores quando o objetivo é fazer ciência e essa troca de informação entre o sistema financeiro e a academia como um todo, no geral, sempre é muito positiva. Um fato curioso a respeito interação entre os economistas e os “biólogos apocalípticos”, se dá pelo fato de Nordhaus ganhar o prêmio Nobel de Economia, justamente dentro da temática ambiental. O que é de exímia importância para a ciência.

Uma das consequências da publicação tanto de “The Population Bomb”, quanto do “Os Limites do Crescimento” e “Primavera Silenciosa” está no Relatório Brudtland escrito em 1987, junto à conferência de Stocolmo, que veremos na próxima seção:

2.5 O Relatório Brudtland e a Gênese do Debate

O relatório Brudtland começa a ser escrito dez anos antes de sua publicação em 1977, influenciado pelo fértil debate ambiental que já apresentamos anteriormente. A importância do relatório Brudtland se dá na apresentações dos argumentos em que as nações ricas se preocupam (ao menos os cientistas demonstram sérias preocupações) com os efeitos das crises ambientais e econômicas para os países mais pobres.

Nesta seção, será discutido alguns pontos do relatório que são relevantes para o debate proposto neste trabalho. O primeiro trecho coincide muito com a questão do debate a respeito da Era do Antropoceno ou a Era do Homem. Isto é, o homem como agente transformador das forças geológicas e biológicas. Há quem considere que a era do homem se iniciou com o advento da agricultura ou depois da primeira revolução industrial, mas fato inegável é que a atividade humana é uma força destrutiva. Nas palavras do relatório:

1. In the middle of the 20th century, we saw our planet from space for the first time. Historians may eventually find that this vision had a greater impact on thought than did the Copernican revolution of the 16th century, which upset the human self-image by revealing that the

Earth is not the centre of the universe. From space, we see a small and fragile ball dominated not by human activity and edifice but by a pattern of clouds, oceans, greenery, and soils. Humanity's inability to fit its activities into that pattern is changing planetary systems, fundamentally. Many such changes are accompanied by life-threatening hazards. This new reality, from which there is no escape, must be recognized - and managed.(BRUNDTLAND, 1987)

Em primeiro lugar, o debate ambiental até o momento da feitura do relatório já demonstrava a preocupação com o abismo social que estava estabelecido entre os países pobres e ricos e como o meio ambiente está inserido dentro deste contexto. Não há como considerar a questão do crescimento econômico e a degradação ambiental sem se responsabilizar socialmente pelos eventos decorrentes dos desastres ambientais. O fato de existir finitude dentro dos recursos naturais é um fato que precisa ser considerado.

3. This Commission believes that people can build a future that is more prosperous, more just, and more secure. Our report, Our Common Future, is not a prediction of ever increasing environmental decay, poverty, and hardship in an ever more polluted world among ever decreasing resources. We see instead the possibility for a new era of economic growth, one that must be based on policies that sustain and expand the environmental resource base. And we believe such growth to be absolutely essential to relieve the great poverty that is deepening in much of the developing world.(BRUNDTLAND, 1987)

O relatório é preciso ao elencar os efeitos e desastres ambientais considerando o processo de desertificação, morte de espécies, chuvas ácidas e levanta antes do tempo a questão do aquecimento global que se torna um assunto mais debatido nos congressos ambientais ao longo da década de noventa onde os grandes acordos ambientais são costurados. Fato muito interessante é a precisão do relatório frente aos problemas ambientais enfrentados no século XXI.

7. There are also environmental trends that threaten to radically alter the planet, that threaten the lives of many species upon it, including the human species. Each year another 6 million hectares of productive dryland turns into worthless desert. Over three decades, this would amount to an area roughly as large as Saudi Arabia. More than 11 million hectares of forests are destroyed yearly, and this, over three decades, would equal an area about the size of India. Much of this forest is converted to low-grade farmland unable to support the farmers who settle it. In Europe, acid precipitation kills forests and lakes and damages the artistic and architectural heritage of nations; it may have acidified vast tracts of soil beyond reasonable hope of repair. The burning of fossil fuels puts into the atmosphere carbon dioxide, which is causing gradual global warming. This 'greenhouse effect' may by early next century have increased average global temperatures enough to shift agricultural production areas, raise sea levels to flood coastal cities, and disrupt national economies. Other industrial gases threaten to deplete the planet's protective ozone shield to such an extent that the number of human and animal cancers would rise sharply and the oceans' food chain would be disrupted, industry and agriculture

put toxic substances into the human food chain and into underground water tables beyond reach of cleansing.(BRUNDTLAND, 1987)

Ao se considerar o sistema econômico como uma única coisa, não há mais modos de se separar crises de um mercado para outro mercado, não há mais como dissociar as questões inerentes ao meio natural do sistema econômico (fato que esse trabalho insiste em relacionar).

11. Until recently, the planet was a large world in which human activities and their effects were neatly compartmentalized within nations, within sectors (energy, agriculture, trade), and within broad areas of concern (environment, economics, social). These compartments have begun to dissolve. This applies in particular to the various global 'crises' that have seized public concern, particularly over the past decade. These are not separate crises: an environmental crisis, a development crisis, an energy crisis. They are all one.(BRUNDTLAND, 1987)

Fato que pode ser confirmado pela citação que comenta a respeito da economia e dos eventos ambientais estarem entranhados dentro da mesma cadeia de relações:

15. These related changes have locked the global economy and global ecology together in new ways. We have in the past been concerned about the impacts of economic growth upon the environment. We are now forced to concern ourselves with the impacts of ecological stress - degradation of soils, water regimes, atmosphere, and forests upon our economic prospects. We have in the more recent past been forced to face up to a sharp increase in economic interdependence among nations. We are now forced to accustom ourselves to an accelerating ecological interdependence among nations. Ecology and economy are becoming ever more interwoven locally, regionally, nationally, and globally into a seamless net of causes and effects(BRUNDTLAND, 1987)

Apesar de não ter sido escrito como um relatório específico a respeito do colapso ambiental, o relatório se aproxima (de forma nada intencional) de um texto sobre colapso, especificamente porque ele está traçando os elementos encadeados entre todos os sistemas que apontam para uma superdependência entre as nações e a ação humana como causadora de modificações no meio natural:

16. Impoverishing the local resource base can impoverish wider areas: deforestation by highland farmers causes flooding on lowland farms; factory pollution robs local fishermen of their catch. Such grim local cycles now operate nationally and regionally. Dryland degradation sends environmental refugees in their millions across national borders. Deforestation in Latin America and Asia is causing more floods, and more destructive floods, in downhill, downstream nations. Acid precipitation and nuclear fallout have spread across the borders of Europe. Similar phenomena are emerging on a global scale, such as global warming and loss of ozone. Internationally traded hazardous chemicals entering foods are themselves internationally traded. In the next century, the environmental pressure causing population movements may be increase sharply, while barriers to

that movement may be even firmer than they are now.(BRUNDTLAND, 1987)

Um dos pontos que será abordado neste trabalho, será a respeito de comércio internacional (usando a base de dados do ComTrade da ONU, que cataloga todo o comércio internacional por meio das bases estatísticas da FAOStat. Com essas informações é possível construir uma série de indicadores de sofisticação produtiva e de qualidade ambiental, uma vez que esses dados podem ser convertidos em carbono, energia ou até mesmo água. Contudo, o relatório Brudtland já apontava para a responsabilidade dos setores de comércio/indústria e produção internacional e a sua responsabilidade com o meio natural:

17. Over the past few decades, life-threatening environmental concerns have surfaced in the developing world. Countrysides are coming under pressure from increasing numbers of farmers and the landless. Cities are filling with people, cars, and factories. Yet at the same time these developing countries operate in a world in which the resources gap between most developing and industrial nations is widening, in which the industrial world dominates in the rule-making of some key international bodies and in which the industrial world has already used much of the planet's ecological capital. This inequality is the planet's main 'environmental' problem; it is also its main 'development' problem. 18. International economic relationships pose a particular problem for environmental management in many developing countries. Agriculture, forestry, energy production, and mining generate at least half the gross national product of many developing countries and account for even larger shares of livelihoods and employment. Exports of natural resources remain a large factor in their economies, especially for the least developed. Most of these countries face enormous economic pressures, both international and domestic, to overexploit their environmental resource base.(BRUNDTLAND, 1987)

Da forma em que não há como dissociar o desenvolvimento dos países ricos do desenvolvimento dos países pobres se, e se tão somente, as economias são interligadas pela teia de oferta e demanda. Se uma nação desenvolvida está acostumada a beber dos vinhos de Portugal, uma crise em suas parreiras afeta não somente o consumo na Inglaterra (ou no resto do mundo), mas os efeitos populacionais e de comércio são sentidos no mundo todo. Crises sociais e ambientais são crises sistêmicas com efeitos sistêmicos. Não existem muros fisicamente falando que impeçam das relações econômicas se contaminarem. O mesmo vale para crises de comércio internacional ou ambientais.

Mesmo os processos de desertificação na África se dão pelo consumo desenfreado de *commodities*, onde muito possivelmente o ponto de tangenciação dos efeitos da ação humana sobre o meio natural está contido especificamente na produção de materiais com maior materialidade, como visto em Jackson (1996).

19. The recent crisis in Africa best and most tragically illustrates the ways in which economics and ecology can interact destructively and trip

into disaster. Triggered by drought, its real causes lie deeper. They are to be found in part in national policies that gave too little attention, too late, to the needs of smallholder agriculture and to the threats posed by rapidly rising populations. Their roots extend also to a global economic system that takes more out of a poor continent than it puts in. Debts that they cannot pay force African nations relying on commodity sales to overuse their fragile soils, thus turning good land to desert. Trade barriers in the wealthy nations - and in many developing nations - make it hard for African nations to sell their goods for reasonable returns, putting yet more pressure on ecological systems. Aid from donor nations has not only been inadequate in scale, but too often has reflected the priorities of the nations giving the aid, rather than the needs of the recipients. (BRUNDTLAND, 1987)

O relatório consegue sintetizar o problema das nações em desenvolvimento ou das que são abundantes em recursos naturais ter que consumir seus recursos para agir como uma forma de recurso para o pagamento de dívidas perante aos países desenvolvidos. Talvez essa seja a citação mais importante dessa dissertação:

20. The production base of other developing world areas suffers similarly from both local failures and from the workings of international economic systems. As a consequence of the 'debt crisis' of Latin America, that continent's natural resources are now being used not for development but to meet financial obligations to creditors abroad. This approach to the debt problem is short-sighted from several standpoints: economic, political, and environmental. It requires relatively poor countries simultaneously to accept growing poverty while exporting growing amounts of scarce resources. 21. A majority of developing countries now have lower per capita incomes than when the decade began. Rising poverty and unemployment have increased pressure on environmental resources as more people have been forced to rely more directly upon them. Many governments have cut back efforts to protect the environment and to bring ecological considerations into development planning. 22. The deepening and widening environmental crisis presents a threat to national security - and even survival - that may be greater than well-armed, ill-disposed neighbours and unfriendly alliances. Already in parts of Latin America, Asia, the Middle East, and Africa, environmental decline is becoming a source of political unrest and international tension. The recent destruction of much of Africa's dryland agricultural production was more severe than if an invading army had pursued a scorched-earth policy. Yet most of the affected governments still spend far more to protect their people from invading armies than from the invading desert. (BRUNDTLAND, 1987)

Ou seja mais do que tudo, quando considerando os mapas do desenvolvimento econômico, devemos considerar que o fluxo de recursos que é movimentado no mundo, nada mais é que uma forma de se fazer dinheiro ou capital a partir de recursos que são absurdamente escassos. Ao de planejar economias de forma errada e confiar cegamente nas leis de oferta e de demanda, os custos ambientais, de acordo com o relatório são imensuráveis, afetando de toda sorte o sistema dinâmico que afeta as economias e o sistema ecológico, além de afetar as relações internacionais e a ordem geopolítica.

Não menos importante, é no relatório Brudtland que é cunhada a definição de sustentabilidade que usamos nos dias de hoje, de que é necessário considerar as gerações futuras ao se usar os recursos naturais:

25. Many present efforts to guard and maintain human progress, to meet human needs, and to realize human ambitions are simply unsustainable - in both the rich and poor nations. They draw too heavily, too quickly, on already overdrawn environmental resource accounts to be affordable far into the future without bankrupting those accounts. They may show profit on the balance sheets of our generation, but our children will inherit the losses. We borrow environmental capital from future generations with no intention or prospect of repaying. They may damn us for our spendthrift ways, but they can never collect on our debt to them. We act as we do because we can get away with it: future generations do not vote; they have no political or financial power; they cannot challenge our decisions. 26. But the results of the present profligacy are rapidly closing the options for future generations. Most of today's decision makers will be dead before the planet feels; the heavier effects of acid precipitation, global warming, ozone depletion, or widespread desertification and species loss. Most of the young voters of today will still be alive. In the Commission's hearings it was the young, those who have the most to lose, who were the harshest critics of the planet's present management. (BRUNDTLAND, 1987)

Quando consideramos que os recursos disponíveis no planeta são os mesmos recursos que são disputados de forma intergeracional com as gerações que ainda não existem, é crucial que se considere antes de extrair um recurso que seja escasso com quem ainda não nasceu, pelo simples fato de que a escassez do futuro é imediatamente condicionada pelo crescimento desordenado do tempo presente. Não há como negar a profundidade do debate em questão e a forma em que ele está encadeado com os efeitos ambientais que o planeta vem sentindo desde a Era do Antropoceno e pela ação do homem dentro do contexto ambiental.

2.6 Conclusão

Não se deve menosprezar a voracidade da raça humana em modificar o mundo e poder produzir bens e serviços para o seu sustento e o avanço da civilização em um mundo em que o meio natural se vê acuado frente as transformações que vem ocorrendo dos dez mil anos de atividade humana no planeta. Da mesma forma, em que esforços são feitos para a preservação dos recursos naturais, a sobrevivência da raça humana depende de uma gestão responsável dos recursos naturais, da mesma forma que se necessita do uso de bens e de recursos para manter a economia funcionando.

A estratégia que definirmos no futuro será o fator determinante que dirá quantos mais séculos a raça humana continua do jeito que está no planeta ou se sofreremos revezes populacionais devido ao escasseamento de recursos em caso de colapsos de toda a ordem. Neste capítulo fica patente o conflito de ideias e valores de autores como Simons

e Ehrlich cada um defendendo a sua posição a respeito da estabilidade dos recursos naturais. Independente se acreditamos se os recursos são escassos e que com a população crescente, ainda que passíveis de revoluções verdes e alta tecnologia para a produção de super alimentos, ou se de fato os recursos são finitos como na visão de Lincon Simons, o planeta já mostra sinais de estafa por meio da extinção e perda da biodiversidade e os indicadores de aquecimento global se mostram mais severos do que já modelado por Forrester e as Cassandras do apocalipse global.

Ano após ano estamos batendo recordes de temperatura no planeta e ondas intensas de calor combinadas com fenômenos climáticos agressivos tem colocado ambientalistas e economistas frente a frente em uma disputa de quem é ouvido primeiro. O que se ressalta aqui, é que estamos em uma grande tragédia dos comuns frente ao que se toca a sobrevivência da raça humana e as decisões e os ônus são coletivos.

No próximo capítulo, será desenhada a questão da Tragédia dos Comuns, na perspectiva de Hardin e Ostrom.

3 Economia e Transmissão de Recursos Naturais

3.1 Introdução

Vimos anteriormente a conceituação do que é um colapso ambiental e os efeitos danosos para o meio ambiente ou até mesmo as profundas transformações causadas pela ação do homem no meio, ou por conta das transformações que ocorrem devido ao simples acaso ou efeitos caóticos devido a própria dinâmica planetária e cósmica. Podemos então, assistir eventos como decorridos por esgotamento de recursos naturais e por consequência a falta de chuva na Ilha de Páscoa ou o colapso ambiental do Mediterrâneo, ou como a extinção dos dinossauros como a causada pela queda de um meteoro, ou simplesmente a morte de uma estrela que se expande e engole os planetas dentro de seu raio gravitacional.

Contudo, mesmo ao assumir a mortalidade como fim inevitável para todos os seres, dentro de nosso contexto humano, há de se assumir a responsabilidade da ação do homem dentro de sua esfera de influência, seja a nível individual quando se escolhe jogar lixos em área de nascentes ou quando uma grande corporação ignora normas e pareceres de engenharia e permite por omissão ou de forma liberada que uma barragem estoure em um rio e destrua todo um ecossistema.

Neste contexto, o que é importante para ser discutido neste trabalho, não é a ação moral de um indivíduo ou de uma empresa agir como tal, mas ao se considerar que cada ação não planejada pode afetar toda uma cadeia de eventos subsequentes cujos efeitos são caóticos ou inesperados. Desta forma, estamos observando os efeitos ligados a natureza (e o homem é parte da natureza) com efeitos caóticos, isto é, com sensibilidade às condições iniciais e com efeitos que não podem ser traduzidos necessariamente como efeitos lineares.

Exemplos desses eventos causados pela ação do homem frente ao meio ambiente podem ser visto em casos como: mortalidade de pássaros por causa de DDT ([Carson \(2015\)](#)), crises com camarões e aquarismo em São Francisco (EUA) [Ehrlich \(1971, pag. 55\)](#), exemplos que culminaram na publicação de livros como *The Population Bomb* (1968) de Paul Ehrlich e de *Primavera Silenciosa* de Rachel Carlson no ano de 1969.

Uma pergunta que pode ser elaborada ao se questionar porque temos problemas com depleção de recursos naturais ou porque temos desastres com efeitos incalculáveis dos impactos ambientais causados pela ação do homem na natureza, temos aqui duas teorias desenvolvidas ao longo do século XX. O Conceito de Tragédia dos Comuns, escrito por Garret Hardin em 1968 e o conceito de Recursos Coletivos de Elinor Ostrom, escrito em 1990.

3.2 Hardin e a Tragédia dos Comuns

Garret Hardin escreveu em 1968 um ensaio que debatia a respeito do problema dos recursos de uso comum, como recursos pesqueiros ou um pasto. Essa relação está intrinsecamente ligada ao conceito de utilidade de Benthan de maximização da utilidade individual frente aos recursos coletivos. O exemplo clássico de Hardin trata do exemplo de um pasto e de criadores de ovelhas, dado que infinitas pessoas possam ocupar um pasto e cada pessoa pode de forma ilimitada adicionar mais recursos para consumir os elementos finitos do pasto, é muito provável que com cada unidade de ovelha adicionada no pasto a utilidade do individual resultante de uma ovelha para o pastor seja positiva. Contudo, o grande problema consiste na seguinte fórmula: um planeta com recursos finitos não pode ter uma população infinita.

A explicação de [Hardin \(1968\)](#) para o fenômeno pode ser entendido primeiramente à luz da ecologia. Nos modelos iniciais de demografia, entende-se as curvas de crescimento de acordo com o crescimento populacional, inicialmente com os modelos de inspiração Malthusiana com a taxa de crescimento exponencial da população. Nos modelos malthusianos clássicos, a população cresce até o limite da oferta de alimentos, onde a taxa de crescimento populacional torna-se zero a partir do momento em que atinge a disponibilidade de recursos para a manutenção da população.

Obviamente, a teoria de crescimento demográfica torna-se mais complexa e tais elementos teóricos se incorporam à demais ciências aplicadas como a economia e a ecologia. No entanto, cabe-se ressaltar a importância de compreender o pensamento de Garret Hardin em especial na capacidade de carga de um sistema ecológico e um pensamento inerente à Teoria dos Jogos. Oras, se cada jogador está jogando sem considerar as regras do jogo, cada um tomará uma decisão favorável para si, mas que no limite do jogo levará o sistema todo para o colapso.

Para [Ostrom \(2015\)](#)[pag. 3], Hardin não foi o primeiro a constatar o problema da tragédia dos recursos comuns. Tal observação já havia sido feita por diversos outros filósofos e cientistas, desde a era antiga.

Hardin was not the first to notice the tragedy of the commons. Aristotle long ago observed that "what is common to the greatest number has the least care bestowed upon it. Everyone thinks chiefly of his own, heedlessly at all of the common interest"(Politics. Book II, ch. 3). Hobbes's parable of man in a state of nature is a prototype of the tragedy of the commons: Men seek their own good and end up fighting one another. In 1813, William Forster Uoyd (1977) sketched the theory of the commons that predicted improvident use for property owned in common. More than a decade before Hardin's article, H. Scott Gordon (1954) clearly expounded similar logic in another classic: "The Economic Theory of a Common-Property Resource: The Fishery."

Dentro das consequências do que Hardin concluiu em seu artigo, primeiramente na

visão pessimista e fatalista de que os recursos naturais esgotariam devido ao problema de seres recursos e uso comum (entendendo aqui, recursos como água, madeira, solo, atmosfera, recursos pesqueiros, ou seja, bens de propriedade coletiva e difusa), seria resolvido ou com a privatização plena desses recursos ou com a estatização e controle estatal desses bens.

De acordo com [Ostrom \(2015\)](#), o problema proposto por Hardim pode ser compreendido dentro da teoria dos jogos como um tipo de dilema do prisioneiro, um tipo de jogo onde cada jogador, pela ausência de informação sobre o movimento do outro jogador, toma uma decisão que é benéfica para si, mas que no agregado do jogo acaba causando algum tipo de colapso.

A melhor definição para se explicar o que é a tragédia dos comuns pode ser encontrada em [Ostrom et al. \(2002\)](#):

The prototypical scenario is simple. There is a resource—usually referred to as a common-pool resource—to which a large number of people have access. The resource might be an oceanic ecosystem from which fish are harvested, the global atmosphere into which greenhouse gases are released, or a forest from which timber is harvested. Overuse of the resource creates problems, often destroying its sustainability. The fish population may collapse, climate change may ensue, or the forest might cease regrowing enough trees to replace those cut. Each user faces a decision about how much of the resource to use—how many fish to catch, how much greenhouse gases to emit, or how many trees to cut. If all users restrain themselves, then the resource can be sustained. But there is a dilemma. If you limit your use of the resources and your neighbors do not, then the resource still collapses and you have lost the short-term benefits of taking your share (...).

Contudo, apesar das políticas sugeridas por Hardim para evitar o colapso da tragédia dos comuns, das políticas implementadas, de acordo com [SIMÕES, MACEDO e BABO \(2011\)](#) e [Dietz, Ostrom e Stern \(2003\)](#) acabaram por gerar mais distorções do que evitar problemas políticos e ambientais.

Mesmo com a alta popularidade do artigo original de Hardim, é a cientista política Elinor Ostrom, a primeira mulher a receber um prêmio Nobel em Economia, que reconstrói a teoria dos recursos comuns (Common Pool Resources ou CPR).

3.3 Ostrom e a Governança dos Recursos Comuns

O trabalho de Ostrom se diferencia de Hardim, primariamente porque Ostrom se preocupou em estudar as estruturas e as regras de governanças ao estabelecer regras bem claras para os agentes que consomem aqueles recursos comuns.

A definição dos Recursos Comuns é definida pela seguinte fórmula: “*One of four types of economic goods. CPRs are either natural or human-made, where one person’s use*

subtracts from another's and where it is difficult to exclude users"(SIMÕES; MACEDO; BABO, 2011 apud HESS; OSTROM, 2007).

As definições de Ostrom (2002, pag. 1) para o que são problemas de recursos comuns, é descrito da seguinte maneira:

Most natural resource systems used by multiple individuals can be classified as common-pool resources. Common-pool resources generate finite quantities of resource units and one person's use subtracts from the quantity of resource units available to others (...). Most common-pool resources are sufficiently large that multiple actors can simultaneously use the resource system and efforts to exclude potential beneficiaries are costly. Examples of common-pool resources include both natural and human-made systems including: groundwater basins, irrigation systems, forests, grazing lands, mainframe computers, government and corporate treasuries, and the Internet. Examples of the resource units derived from common-pool resources include water, timber, fodder, computer-processing units, information bits, and budget allocations (...).

Desta forma, fica mais objetivo compreender o uso de recursos naturais por entidades atômicas (pessoas, empresas, corporações, países) e o uso de recursos como uma ação a ser tomada de forma estratégica. Contudo, para que funcione o uso adequado de recursos, regras precisam ser estabelecidas, de modo que funções coordenadas e cooperativas tornam o uso dos recursos mais eficientes.

Da mesma forma em que a tragédia dos comuns, o uso exacerbado de recursos naturais pode levar a um estado de degradação do recurso natural, caso não exista alguma forma de regra que oriente os agentes que estão interagindo dentro do jogo social de onde se retira dado recurso natural. O Problema maior em questão, se dá de acordo com o valor deste recurso natural, dependendo da sua escassez e das regras de retirada, os problemas podem ser de difícil solução. Como podemos ver na citação a seguir:

When the resource units are highly valued and many actors benefit from appropriating (harvesting) them for consumption, exchange, or as a factor in a production process, the appropriations made by one individual are likely to create negative externalities for others. Nonrenewable resources, such as oil, may be withdrawn in an uncoordinated race that reduces the quantity of the resource units that can be withdrawn and greatly increases the cost of appropriation. Renewable resources, such as fisheries, may suffer from congestion within one time period but may also be so overharvested that the stock generating a flow of resource units is destroyed. An unregulated, open-access common-pool resource generating highly valued resource units is likely to be overused and may even be destroyed if overuse destroys the stock or the facility generating the flow of resource units.(OSTROM, op. cit.)

Ostrom explica o problema da não regulamentação, uso ou não conhecimento pleno das regras do jogo que norteiam a atitude dos jogadores envolvidos. Dependendo do valor do recurso, o processo de depleção do recurso pode ser inevitável. Contudo, o posicionamento

de Ostrom é bem mais positivo que o fatalismo de Hardim. Segundo [SIMÕES, MACEDO e BABO \(2011 apud OSTROM, 2015\)](#), os princípios gerais para se utilizar de forma eficiente os recursos comuns são:

- Demarcação clara da fronteira dos bens comuns e de seus utilizadores;
- As regras devem ser adequadas às condições locais (espaço, tempo tecnologia);
- Os agentes participantes, também são legisladores das próprias regras;
- Os fluxos de benefícios proporcionados pela gestão comum são proporcionais aos custos de utilização;
- As regras estabelecidas são reconhecidas pelas autoridades externas;
- As regras estabelecidas são monitoradas e com *enforcement*, sujeito a punição dos transgressores;
- É facilitado a resolução dos conflitos;
- Existe a interligação na gestão de recursos de menor escala para maior escala, partindo do caso particular para o caso geral.

Três exemplos são de problemas regulatórios no setor pesqueiro no Maine, com problemas de superprodução (e escassez) e por regulação de direitos de propriedade nos Alpes Suiçose e de gestão de canais de irrigação por cooperativas auto-organizadas no Nepal.

As diferenças entre o fatalismo de Hardim e a governança dos comuns de Ostrom, pode ser sintetizada na figura 1 abaixo, proposta por [SIMÕES, MACEDO e BABO \(2011\)](#). De acordo com o quadro abaixo, podemos observar que o que foi proposto por Hardim é o controle direto de um recurso ora pelo Estado ou por uma entidade privada. Para Ostrom a propriedade é coletiva e deliberada. As ações tomadas pelo agente regulador, para Hardim tem funcionamento, enquanto a gestão dos recursos comuns para Ostrom tem efeito de longo prazo.

Tanto a teoria de Elinor Ostrom como de Hardim são importantes para compreender que a tomada de decisão mesmo que descentralizada dos agentes tem efeito direto na disponibilidade de recursos naturais. Seja por uma via otimista como a de Hardim ou seja Otimista e focada na governança de recursos, teoria que rendeu um prêmio Nobel para Ostrom. No entanto, na próxima seção revisitaremos um pouco dos conceitos de comércio internacional, cuja compreensão é de vital importância para o desenrolar do capítulo.



Figura 1 – Quadro Comparativo das Teorias de Hardin e Elinor Ostrom

Retirado de [SIMÕES, MACEDO e BABO \(2011\)](#).

3.4 Desenvolvimento Economico e Comércio Internacional

Como visto no capítulo anterior, a produção humana está inserida dentro de um contexto ecológico próprio (cuja área da ciência é a ecologia humana). A produção de bens e serviços está sujeita a materialidade e a necessidade [Jackson \(1996\)](#) e a medida em que a sociedade se torna mais sofisticada, busca atingir níveis mais elevados de satisfação e prazer, com isso, as necessidades se tornam menos materiais e mais focada em objetos virtuais.

No entanto, também foi visto em [Tainter \(1988\)](#) que a medida em que uma sociedade se torna mais complexa, ou seja, quanto mais intrincada é a rede de conexões entre os agentes sociais, mais energia é necessária para a manutenção do sistema. Desta forma, ao considerarmos o mundo globalizado como um sistema único, onde trocas de informações e de materiais são feitas (fato que ocorre desde o início da primeira revolução industrial e se modifica sistematicamente no início do século XIX com a hegemonia britânica e explode a partir do entreguerras no início do século XX) ([EICHENGREEN, 2000](#))

Existe uma diferença na dinâmica de sobrevivência de uma nação voltada para dentro de si, tentando produzir todos os bens e serviços, usando as dotações dos fatores de produção da forma mais eficiente possível dentro da sua curva tecnológica [Krugman e Obstfeld \(2009\)](#), [Carbaugh \(2004\)](#), [Carvalho e Silva \(2007\)](#). As teorias de comércio internacional de David Ricardo, expandem a idéia de uma nação auto-suficiente e defendem

que cada nação deve se especializar em algum tipo de recurso e por conta das chamadas “*vantagens comparativas*”, cada nação deveria se especializar no seu fator de produção mais eficiente e transacionarem entre si até cada uma atingir o seu ponto de saciedade, dado o ponto de saciedade da outra.

Dentro do contexto mundial e com a globalização nos dias de hoje, algumas nações se tornaram desenvolvidas, e esse desenvolvimento se deu por uma miríade de fatores e motivos diversos, que podem ser desde uma estratégia comercial intervencionista como se deu na Grã Bretanha, estratégia comercial e militarista como se deu nos Estados Unidos, de enfoque tecnológico e comercial como se deu na Alemanha, Japão e Coréia do Sul (CHANG, 2004).

O objeto de interesse deste trabalho, consiste em mapear dentro dos fluxos de comércio internacional, isto é, daquilo que é enviado e recebido de outros países, o que indica o que uma nação é capaz de produzir e vender. Mesmo que isso se considere que um país é uma máquiladora (recebe insumos de outros países e monta e revende). Essas informações relativas ao comércio internacional são retiradas do Comtrade, órgão internacional de comércio internacional ligado a ONU, que disponibiliza via rede mundial de computadores informações relativas aos que os países importam e exportam de sua produção.

Uma vez mapeado os fluxos de comércio internacional, existem alguns efeitos de interesse para serem investigados. Primeiro, a questão da Armadilha dos Recursos Naturais, isto é, se de acordo com a teoria Ricardiana, alguns países se tornaram especializados em produzir bens atrelados a recursos naturais e com isso presos em algum tipo de doença holandesa como foi visto em Reinert (1996).

O Segundo aspecto deste trabalho, consiste em relacionar esses fenômenos do comércio internacional em informações de interesse do meio ambiente, isto é, de que forma a especialização em recursos naturais pode impactar o uso de recursos naturais ou afetar os biomas naturais.

Para responder essa questão, o trabalho irá relacionar as informações contidas na base de dados do COMTrade, que iremos estudar com mais objetividade no próximo capítulo com duas outras fontes de informação. Pegada Hídrica e Pegada Ecológica. Quando consideramos o mundo como um sistema interligado onde os agentes transacionam recursos, apesar dos níveis sociais mais simplificados como uma vila, uma cidade, uma fazenda ou um país, os agentes agem mediante incentivos, sejam eles fiduciários, seja eles por meio de remuneração, bônus, status, status quo, eventos políticos ou esferas de influência.

Quando a tomada de decisão de consumir, produzir, poupar afeta diretamente os recursos naturais e os direitos de propriedade, como vimos na introdução e nos primeiros tópicos deste capítulo, podemos inferir que todos os recursos naturais como um todo, ao

se considerar o sistema mundo, estão sujeitos a algum tipo de tragédia dos comuns dentro da interpretação do conceito de sustentabilidade, ao se considerar a disponibilidade de recursos para as gerações futuras.

Ao se observar de forma agregada tudo aquilo que é produzido, vendido ou comprado, podemos observar dentro de um sistema mundo como os fatores estão migrando de um ponto do mundo para outro, e ao questionarmos dentro de um sistema ricardiano, fazemos a pergunta central deste trabalho? O quanto em recursos naturais uma nação vende para outra para poder sobreviver? Se uma nação especializada em recursos naturais como o Brasil, o quanto de água existe nas *commodities* que são vendidas e o quanto isso afeta outros indicadores, como os indicadores de desenvolvimento econômico?

3.5 Conclusão

Durante a etapa de revisão de literatura deste trabalho, ficou demonstrado três grandes abordagens: A demonstração da Lei dos Rendimentos Marginais Decrescentes, os efeitos da Lei dos Rendimentos Marginais Decrescentes dentro da ação humana. Efeitos contemporâneos a partir das teorias neodesenvolvimentistas, foi demonstrado a dicotomia entre economia e ecologia, e por fim, fica demonstrado neste capítulo como isso se sustenta dentro da teoria proposta por Hardin e Ostrom que é a tragédia do comuns, problema teórico proposto sobre a utilização de recursos comuns frente ao uso indiscriminado por diversos agentes sem uma coordenação de mercado que possibilite o uso racional desses recursos.

Os próximos capítulos deixam de lidar com a informação puramente bibliográfica e busca correlacionar a economia com o meio ambiente a partir da análise dimensional de dados, por meio da técnica de análise exploratória de dados. Busca-se a partir de agora, buscar evidências nos dados que possam indicar de fato se há um embate entre a dimensão econômica com a dimensão ambiental e de que forma isso se dá com indicadores de poluição, recursos hídricos e florestais. Dentro do arcabouço teórico da economia, a Curva de Kuznetz Ambiental (CKA) preconiza que a medida em que uma nação se desenvolve economicamente ela passa a expelir indústrias poluidoras para outros países devido a sua população demandar por melhores condições de saúde meio ambiente como um efeito primário do processo de desenvolvimento econômico.

Do lado oposto, países em desenvolvimento aceitam receber das nações desenvolvidas indústrias poluidoras como forma de galgar o desenvolvimento e com isso cedem mais espaço para a poluição ambiental. É plausível admitir que os dados possam encaminhar para essa conclusão: nações mais adiantadas e economicamente sofisticadas tendem a ter uma relação com o trato com os recursos naturais de forma menos agressiva do que países em desenvolvimento, dado o nível de renda da população. Nações cuja especialidade

econômica seja recursos naturais, tendem a exportar mais bens intensivos em água e países com economia mais sofisticadas tendem a exportar produtos intensivos em tecnologia (por consequência carbono, energia e poluição).

Esse equilíbrio (ou desequilíbrio) fomentado pelo processo de industrialização e sofisticação dos processos produtivos está entrelaçado com a forma em que lidamos com os recursos da natureza e isso tem seu preço, em dinheiro, tempo, recursos ou sobrevivência. Cabe a quem precificar?

Parte II

Análise Quantitativa

4 Fluxo de Commodities no Sistema Mundo e Complexidade Econômica

4.1 Introdução

A interação do homem frente aos sistemas ambientais, é considerado por algumas linhas de pensamento científico como uma Era Geológica própria, denominada Antropoceno, ou Era do Homem [Marques \(2015\)](#), [Artaxo \(2014\)](#), [Durán \(2011\)](#). Na divisão das Eras Geológicas, divididas em Paleozóica, Mesozóica e Cenozóica o tempo de mudanças no planeta era regido por modificações lentas e profundas, com cada Era geológica marcada por dezenas de milhões de anos. Na hipótese da marcação do tempo considerando o Antropoceno, a interação do homem se dá de duas maneiras: i) desde o advento da agricultura pela humanidade e do processo de sedentarização da produção humana o homem passa a atuar como um agente de transformação biológica, selecionando, modificando e extinguindo formas de vida. Já na atuação ao derrubar, queimar e modificar florestas, lentamente ele se torna um instrumento de mudança geológica, uma vez em que ele é capaz de alterar as fundações do planeta. ii) Com o advento da primeira revolução industrial, o homem passa efetivamente a interagir de forma mais intensa com o meio natural e com isso, modifica intensamente os parâmetros ambientais, emitindo de forma massiva poluentes e gases tóxicos pela queima em larga escala de poluentes industriais. As grandes navegações, as grandes colonizações, as grandes guerras, tudo é um pretexto para modificar, reconstruir, reengenhariar, consumir e descartar recursos naturais de forma a não se considerar os efeitos futuros.

Este capítulo tem como objetivo sintetizar em quatro grandes eixos as transformações e impactos causados no meio ambiente pela ação do homem a partir da consolidação do processo econômico. Partindo de uma revisão a respeito da teoria do comércio internacional à luz da economia da complexidade, para a análise da poluição do ar com gases poluentes e com emissão de gases causadores do efeito estufa, com análise e disponibilidade de recursos florestais, com análise de recursos hídricos e por fim, uma síntese sobre recursos naturais.

Espera-se, não criar uma teoria geral do esgotamento dos recursos naturais, mas elencar alguns elementos que indiquem os limites de estresse do Planeta a partir da interação entre os países e cada um com qual a sua capacidade de interferir no funcionamento das bases que mantém ou supõem-se que mantém a harmonia planetária.

4.2 Teoria da Complexidade Econômica

Nos primeiros capítulos desta dissertação, foi discutido a respeito da necessidade de produzir e de desenvolver uma economia como objetivo da preservação do crescimento econômico como meio de promover o enriquecimento da nação, da distribuição dos recursos produtivos e meio de promover o bem-estar como fruto das revoluções industriais. O contato comercial entre as nações, como bem explicado nas teorias de Smith e de Ricardo como promotores da riqueza das nações, das ações efetivas da era das grandes navegações ligando os portos e promovendo o comércio é o que efetivamente transmite recursos naturais de um ponto a outro, gerando emprego, renda, enriquecimento, tal como também é motivo de guerras por recursos naturais, disputas territoriais, tratados geopolíticos e de relações internacionais.

Da forma em que é atrelado o conceito de colapso ambiental, entendemos primeiramente que um dado recurso ou condição é estressado de tal maneira em que o colapso é inevitável. A extinção de espécies de um determinado local causado pela caça desenfreada de espécies (como a Ararinha Azul, Macacos Bugío), com a inserção não planejada de espécies alienígenas (coelhos na Austrália, pardal e pombos no Brasil, espécies marinhas que são transportadas nos cascos dos navios, caramujo africano, dentre outros exemplos) são efeitos danosos por si só. Da mesma forma em que desastres recentes como o derramamento de dejetos de mineração na cidade de Mariana em Minas Gerais que foi o responsável pela contaminação e consequente destruição da bacia do Vale do Rio Doce é outro exemplo de colapso ambiental causado pela ação direta do homem no meio ambiente.

Lembrando que, para o planeta por si só, essas extinções não são coisas anormais de ocorrerem, a ponto do planeta ter sofrido até o momento cinco grandes extinções, ou eventos de escala planetária capaz de suprimir quase toda forma de vida. Não é objeto deste trabalho inferir que a ação do homem como agente causador de colapso é responsável por uma possível sexta grande extinção em massa, mas é inegável que, de forma lenta e gradual, espécies animais e vegetais são extirpadas da face do Planeta Terra, independente pelas mãos de quem quer que seja e essas ações, como tratado no capítulo anterior, são decorrentes de efeitos ao estilo tragédia dos comuns pelo uso desordenado dos recursos ou por ações irresponsáveis seja de governo, seja de população ou seja pelas corporações.

Complexidade econômica foi desenvolvido primeiramente no trabalho seminal de [Hidalgo e Hausmann \(2009\)](#), que tem a contribuição de aplicar a metodologia de análise de topologia de redes complexas, isto é, entendendo rede como um conjunto de nós interligados entre si por conexões denominados *links*, como meio de debater o desenvolvimento das nações sob a perspectiva da capacidade de produção de cada nação. Esta metodologia estuda os componentes e as qualidades de cada agregação, comparando cada grupo de dados como baldes de peças de Lego. Estuda-se a complexidade de cada nação a partir de suas relações comerciais, produto a produto com outras nações e o quanto cada produto

por si só, é uma peça mais ou menos importante dentro do tabuleiro do jogo mundial.

4.3 Premissas da Complexidade Econômica

As duas primeiras premissas para compreender os fundamentos de complexidade econômica se dão em ubiquidade e diversidade (HAUSMANN; HIDALGO, 2010; HAUSMANN; KLINGER et al., 2007). Ubiquidade implica em quão raro é um tipo de produto *commodities*, isto é, quantos países são capazes de produzir aquele produto. Se um país é produtor de uma máquina de raio X em especial, é muito provável que ele terá poucos outros competidores pelo mundo, o que torna sua venda mais complexa (e sofisticada) em relação ao resto do mundo. Diversidade implica no número produtos que um país produz, ou seja, o quão diverso é sua pauta de exportação. Se você é produtor de laranja, provavelmente irá vender laranjas para países muito próximos ou um grande comprador no outro lado do mundo. Se você é o único produtor de uma determinada máquina de raio X, possivelmente praticamente todos os outros países do mundo serão seus clientes. Ubiquidade e Diversidade são elementos necessários para se entender a relação entre nodos e ligações dentro da rede de comércio internacional.

A figura 2 mostra o exemplo de como intuir o que é ubiquidade e o que é diversidade, o exemplo dado por Hausmann et al. (2014) explica usando dois países e três produtos: Holanda, Gana e Argentina, e máquinas de raio X, medicamento, peixe fresco e queijo. Para entender diversidade olhamos o número de conexões de produtos de um país, para entender ubiquidade, olhamos o número de países ligados a aquele produto.

4.4 Índice de Complexidade Econômica (ECI)

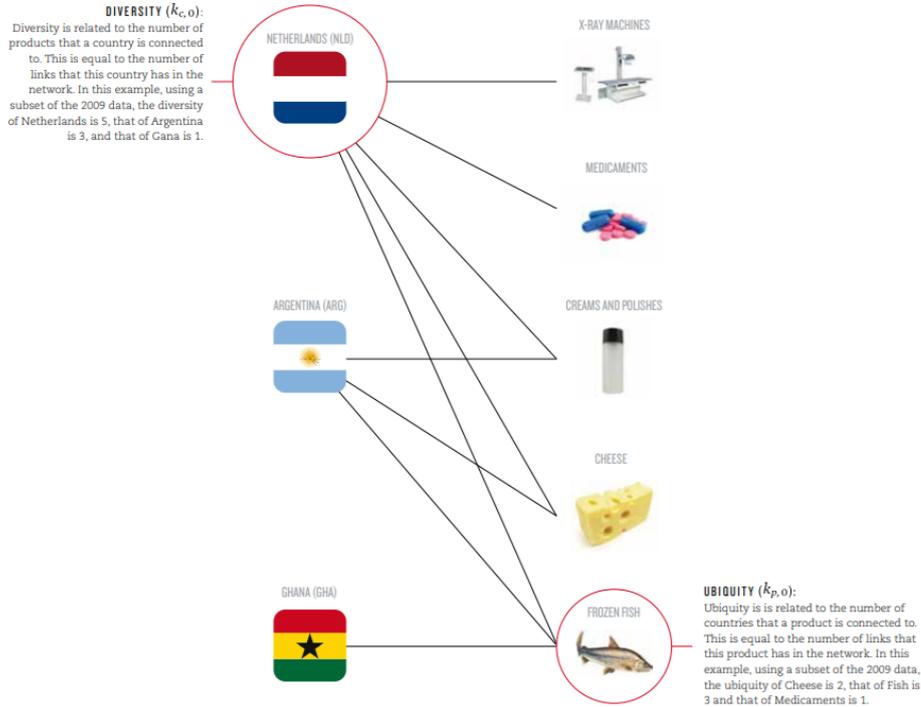
O Índice de complexidade econômica é derivada a partir das transformações algébricas dos conceitos de diversidade e ubiquidade definidos na seção anterior. As equações algébricas são definidas a seguir: Seja M uma matriz de países c , onde p é o valor caso ele produza determinado produto e θ caso não. Logo, definimos diversidade como a soma de todos os produtos produzidos pelo país M .

$$Diversidade = k_{c,0} = \sum_p M_{cp} \quad (4.1)$$

De forma análoga, o cálculo da ubiquidade é dada pela soma dos vetores dos produtos:

$$Ubiquidade = k_{p,0} = \sum_c M_{cp} \quad (4.2)$$

Figura 2 – Definição de Ubiquidade e Diversidade



Retirado de Hausmann et al. (2014).

O Cálculo da Ubiquidade e Diversidade média é necessário para saber o valor aproximado para todos os países, que é dado pela seguinte equação:

$$k_{c,N} = \frac{1}{k_{c,0}} \sum_c M_{cp} * k_{p,N-1} \quad (4.3)$$

E de forma análoga:

$$k_{p,N} = \frac{1}{k_{p,0}} \sum_c M_{cp} * k_{c,N-1} \quad (4.4)$$

Se unirmos as equações 4.3 e 4.4, obtemos:

$$k_{c,N} = \frac{1}{k_{c,0}} \sum_c M_{cp} \frac{1}{k_{c,0}} \sum_{c'} M_{c'p} * k_{c',N-2} \quad (4.5)$$

$$k_{c,N} = \sum_{c'} M_{c'p} k_{c',N-2} \sum \frac{M_{cp} M_{c'p}}{k_{c,0} k_{p,0}} \quad (4.6)$$

Da mesma forma, que as equações de vantagens comparativas (RCA) são dadas por:

$$RCA_{c,p} = \frac{X_p}{\sum_c p X_{cp}} \frac{\sum_p X_{cp}}{\sum_{cp} X_{cp}} \quad (4.7)$$

As equações de RCA são intimamente ligadas as equações de ubiquidade e de diversidade, servindo como uma matriz binária que indica a diversidade de um país sobre a soma da média da ubiquidade, multiplicada pela ubiquidade ajustada pela ubiquidade ponderada do país sobre a ubiquidade mundial. Essa relação de ubiquidade/vantagem comparativa já era conhecido desde 1964 por Balassa ([HAUSMANN; HIDALGO, 2010](#)).

A interpretação da vantagem comparativa é um indicador de quanto um país pode ser competitivo dado que ele produz um único produto dado o conjunto de produtos que ele é capaz de produzir.

A derivação das equações 4.5, 4.6 e 4.7 gera os indicadores do índice de complexidade econômica a seguir:

$$k_{c,N} = \sum_{c'} \widetilde{M}_{cc'} k_{c',N-2} \quad (4.8)$$

ou de forma análoga:

$$\widetilde{M}_{cc'} = \sum_p \frac{M_{cp} M_{c'p}}{k_{c,0} k_{p,0}} \quad (4.9)$$

De acordo com [Hausmann e Hidalgo \(2010\)](#), duas informações podem ser retiradas da condição $k_{c,N-1} = k_{c,N-2} = k_{c,N-M} = 1$, que é o maior autovalor da série. Contudo, essa informação não é relevante (matematicamente), ao invés disso, o segundo maior autovalor indica a maior variância da informação e dele de fato, podemos extrair o indicador de complexidade econômica, que é o ECI.

Desta forma:

$$ECI = \frac{\vec{K} - \text{media}(\vec{K})}{\text{desvio} - \text{padrao}(\vec{K})} \quad (4.10)$$

Onde \vec{K} é o autovetor de $\widetilde{M}_{cc'}$ associado com o segundo maior dos autovetores.

O cálculo do ECI, em outra perspectiva nos dá o cálculo do PCI (Product Complexity Index), que se dá pela seguinte equação, análoga ao ECI:

$$PCI = \frac{\vec{Q} - \text{media}(\vec{Q})}{\text{desvio} - \text{padrao}(\vec{Q})} \quad (4.11)$$

Onde \vec{Q} é o autovetor de $\widetilde{M}_{pp'}$ associado com o segundo maior dos autovetores.

4.5 Interpretação do ECI e do PCI

Na seção anterior, foi explanado de forma técnica como se deriva os índices de complexidade econômica e índice de complexidade do produto. O índice apresentado, possui uma versão mais atualizada, contudo, a aplicação e a disponibilidade dos dados foge um pouco do escopo deste trabalho, mais informações a respeito deste indicador (ECI+), pode ser encontrado em [Albeaik et al. \(2017b\)](#), [Albeaik et al. \(2017a\)](#).

Como visto, a análise parte de três pressupostos básicos: o Indicador de vantagem comparativa (RCA) que indica a possibilidade de produção de um país dado a ubiquidade e a diversidade. Sendo a ubiquidade como um indicador de escassez de um produto no mundo e a diversidade como um portfólio de cada país produzindo os mais diversos gêneros.

A partir disso, compreendemos o ECI como um índice de quão possível é uma nação produzir os gêneros mais sofisticados, a partir da média normalizada das quantidades dos produtos sofisticados que são vendidos. E não obstante, PCI indica o quão sofisticado um produto é em relação a todos os outros produtos produzidos no mundo.

De forma mais objetiva: Uma nação que é capaz de produzir máquinas que produzem máquinas, terá um índice de complexidade econômica muito mais elevado que uma nação que é especializado em produzir *commodities* agrícolas. Isso decorre ao fato da ubiquidade das máquinas que produzem máquinas ser muito maior, mais raro e mais sofisticado do que um país especializado em vender *commodities*.

A tabela 1 trata do índice de complexidade do produto para o ano de 1962, considerando os vinte itens mais complexos até aquele momento. O ano de 1962 é o primeiro ano da série de dados disponibilizada pelo UN ComTrade. A tabela é muito interessante dentro do contexto industrial da época, primeiro pelo fato das máquinas mais importantes dentro daquele contexto histórico estarem ligadas ao transporte de massa e transporte individual dentro de um contexto da produção de bens de consumo duráveis. Serem também itens ligados à energia ou de mecânica de precisão e por fim, itens que podem ter sido criados ou herdados de tecnologia militar.

Da mesma forma, podemos ver na tabela 2 os produtos que em si agregam menor complexidade do produto, ou seja, sofrem efeitos de ubiquidade em relação aos demais produtos exportados na pauta de 1962 dentre todos os produtos que foram exportados. Essa tabela em especial, tem em si características importantes: o número de produtos que pertencem à pauta de exportação agrícola é muito maior que a dos demais produtos que não sejam manufaturados. Em grande parte, são produtos intensivos em energia (oleaginosas) ou itens para a confecção de tecidos, como lã, algodão ou peles, o que indica que os países mais pobres do mundo, estavam focados em tecnologia de baixíssima intensidade tecnológica, ou agindo de forma caçador-coletor ou como uma pecuária de base.

Em uma janela de cinquenta anos, podemos observar na tabela 3 as modificações

Tabela 1 – Top 20 Product Complexity Index para o ano de 1962

	Product	Sitc ID	PCI
1	Steam Power Units	107126	1.42
2	Steam & other vapour generating boilers & parts	137110	1.38
3	Roller Bearings	107491	1.37
4	Miscellaneous Engines	107188	1.34
5	Synthetic Tanning Substances	445323	1.33
6	Measuring, checking and analysing instruments	118740	1.30
7	Textile Machinery	107244	1.30
8	Power Tools	107784	1.30
9	Paper & pulp mill machinery	107250	1.29
10	Civil engineering equipment	107230	1.27
11	Armoured Vehicles, Firearms and Ammunition	109510	1.27
12	Mechanically Propelled Railway	107913	1.26
13	Optical Glass	446642	1.26
14	High-pressure hydro-electric conduits of steel	106784	1.25
15	Metal Springs	106994	1.25
16	Musical Instrument Parts	108989	1.25
17	Cars	107810	1.24
18	Miscellaneous Metallurgy Equipment	107371	1.23
19	Motorcycles, scooters and motorized wheelchairs	107850	1.23
20	Sound recording devices	117630	1.22

Fonte: Elaborado pelo autor com dados de [Hausmann et al. \(2014\)](#).

tecnológicas que a pauta de exportação, e por consequência, o nível de ubiquidade dos produtos produzidos no mundo no ano de 2016. A sofisticação pela ótica do PCI foca em produtos químicos avançados, máquinas, peças de máquinas, mecânica de precisão, urânio enriquecido, materiais óticos. Uma das vantagens de se analisar o PCI é poder compreender que a dinâmica da sofisticação tecnológica converge para tanto a química fina (produtos altamente refinados) e máquinas que se utilizam de tecnologia nuclear (máquinas de raios X, urânio enriquecido) e de máquinas altamente sofisticadas e sensíveis. Os países que são especializados neste tipo de equipamentos, são Coréia do Sul, Japão e Alemanha.

E por fim, apesar de não existir aqui uma relação de causalidade temporal, porque apenas se ilustra a diferença entre duas tabelas, percebe-se que os produtos com menor ubiquidade na pauta de exportação para o ano de 2016, como pode ser observado na tabela 4, primeiramente muda os valores do indicador para os produtos com menor ubiquidade. Os valores se tornam "menos negativos". E os produtos do tipo *commodity* agrícola não são tão presentes na tabela como se viu na tabela ???. Os produtos com maior presença na pauta de exportações mundiais, em maior número se tornam minérios brutos, de extração intensiva em energia e são exportados como minérios e não produtos processados, ou seja, com menor valor agregado.

Quando observamos as duas tabelas de produtos com menor sofisticação, observamos e percebemos que a manutenção da civilização como um todo, é dependente das formas mais elementares (simples) de recursos naturais, que ao mesmo tempo são as mais abundantes no planeta. Na primeira tabela de recursos mais simples, a 2, observamos que os produtos

Tabela 2 – Bottom 20 Product Complexity Index para o ano de 1962

	Product	Sitc ID	PCI
1	Agave Fibers	712654	-2.15
2	Pharmaceutical Flora	752924	-2.15
3	Manganese	512877	-2.17
4	Raw Sheep Skin with Wool	842116	-2.19
5	Raw Sheep Skin without Wool	842117	-2.21
6	Castor Oil Seeds	712235	-2.22
7	Tin	572876	-2.25
8	Copper	516821	-2.29
9	Raw Goat Skins	842114	-2.34
10	Cocoa Butter	720723	-2.36
11	Green Groundnuts	712221	-2.41
12	Jute	712640	-2.43
13	Raw Cotton	712631	-2.43
14	Coffee	750711	-2.53
15	Cocoa Beans	720721	-2.60
16	Palm Nuts and Kernels	722232	-2.67
17	Maté	700742	-2.73
18	Non-Coniferous Sawlogs	202472	-2.75
19	Natural Rubber	722320	-2.83
20	Palm Oil	724242	-2.89

Fonte: Elaborado pelo autor com dados de [Hausmann et al. \(2014\)](#).

mais exportados (por conta do pressuposto da ubiquidade), são bens agrícolas intensos em energia, como oleaginosas, café, cacau. Produtos que são matérias-primas de indústrias de base (algodão). Com as modificações do paradigma industrial, o mundo passa a consumir de forma intensa minérios. O que há em comum entre as duas tabelas. A pressão sobre os recursos renováveis. Na tabela de 1962 vemos produtos que são intensivos no uso de terra e água, enquanto na segunda pauta de exportações vemos minérios que são recursos de fundo não renováveis. Um questionamento possível é que se uma nação não industrializada e com a pauta de exportações atreladas a exportação desses minérios esgota e causa depleção em seus recursos, de que forma ela passa a competir com o mercado internacional e sem produtos para promover sua industrialização de base?

4.6 Pauta de Exportação da Economia Brasileira

Uma vez conceituado a questão dos conceitos pertinentes ao que implica o indicador PCI (Product Complexity Index) e o ECI (Economic Complexity Index), temos elementos argumentativos para debater a respeito da composição da pauta das exportações brasileiras a partir da segunda metade do século XX.

Em primeiro lugar, consideremos a figura 3 que implica a pauta de exportações da economia brasileira no ano de 1962. Observamos a dependência primária da economia com 48,62% em uma única *commodity* que é basicamente café. Considerando outros gêneros agrícolas, a dependência da pauta de exportações da economia brasileira na série de

Tabela 3 – Top 20 Product Complexity Index para o ano de 2016

	Product	Sitc ID	PCI
1	Miscellaneous Metalworking Machine-Tools	107367	3.16
2	Epoxide Resins	445826	2.89
3	Internal Combustion Engines for Boats	107133	2.85
4	Silicones	445827	2.50
5	X-Ray Equipment	447742	2.42
6	Analog Instruments for Physical Analysis	448744	2.38
7	Miscellaneous Metalworking Machinery	107373	2.35
8	Machinery for Specialized Industries	107284	2.33
9	Interchangeable Tool Parts	106954	2.32
10	Optical Instruments	118710	2.20
11	Photographic Film	448822	2.18
12	Textile Machinery	107244	2.14
13	Tool Holders	107368	2.13
14	Printing Presses	107264	2.08
15	Miscellaneous Condensation Products	445829	2.06
16	Depleted Uranium	446880	2.06
17	Miscellaneous Electrical Instruments	448748	2.01
18	Reciprocating Pumps	117421	1.99
19	Photographic Chemicals	448821	1.97
20	Copolymers of Vinyl Chloride and Vinyl Acetate	445835	1.94

Fonte: Elaborado pelo autor com dados de [Hausmann et al. \(2014\)](#).

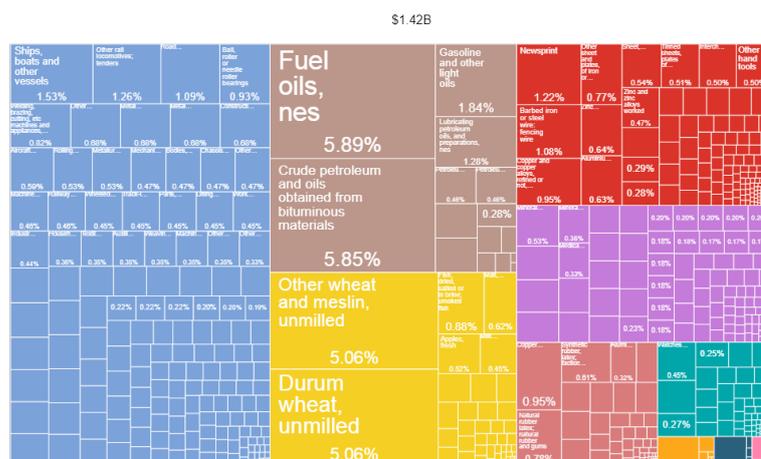
1962 equivale a aproximadamente 60% da pauta das exportações e considerando todos os recursos naturais como proporção das exportações temos 90% da composição.

Para compreender a figura 3, precisamos resgatar dois conceitos: primeiro o fato do Brasil estar saindo do Processo de Industrialização por substituição de Importações (ISI) fato que fica patente na figura 4. Segundo fato das condições cambiais do momento histórico de 1962 serem favoráveis para exportações de bens agrícolas e pelas formações das redes de comércio internacional.

Analisando a figura 4 percebemos dois movimentos importantes: a dependência da pauta de importações da economia brasileira para bens manufaturados, o que consome trinta por cento da pauta, adicionados a 15% em petróleo e derivados, bens alimentícios, em especial trigo que já estava incorporado à cultura alimentar do brasileiro, minerais e minérios, medicamentos e outros produtos manufaturados. Neste quadro conjuntural, observamos primeiro que há uma diferença entre a complexidade (ECI/PCI) do que o Brasil exporta e o que o Brasil importa. No quadro de 1962, envia-se produtos (recursos naturais) e se recebe bens processados, o que impele a economia um desequilíbrio cambial de 0.6 bilhões de dólares, onde troca-se bens agrícolas por produtos processados. Havendo uma relação de trocas comerciais de produtos com alto PCI sendo "trocados" por produtos com baixo ECI.

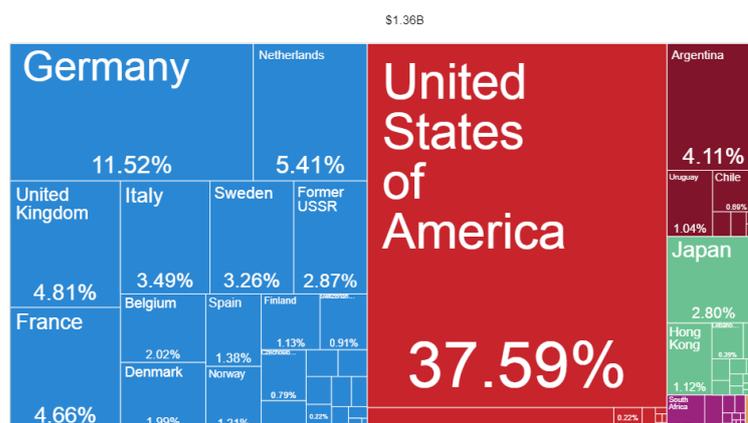
Os dois grandes blocos comerciais onde o Brasil tem suas parcerias nas exportações, vem primariamente do bloco Europeu, concentrando mais da metade das exportações e os

Figura 4 – Pauta de Importação da Economia Brasileira em 1962



Retirado de Hausmann et al. (2014).

Figura 5 – Principais Parceiros Comerciais do Brasil para Exportação em 1962.

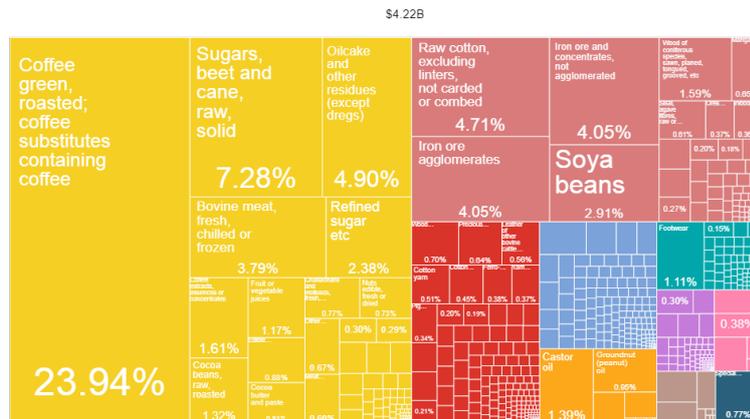


Retirado de Hausmann et al. (2014).

na pauta de exportações. A indústria de carne bovina também fica evidente na economia brasileira já na década de 70. A pauta de importações reflete esta tendência mostrando que o mercado de importações de máquinas, ainda assume uma posição protagonista, contudo, o setor com maior crescimento se dá em fertilizantes, o que está atrelado à expansão da fronteira agrícola e na modernização da agricultura. Outro fato patente aqui se dá pelo crescimento da economia brasileira da ordem de 3 vezes o tamanho do PIB entre 1962 e 1972, da ordem de 1.4 bilhões de dólares em 1962 para 4.4 bilhões de dólares em 1972.

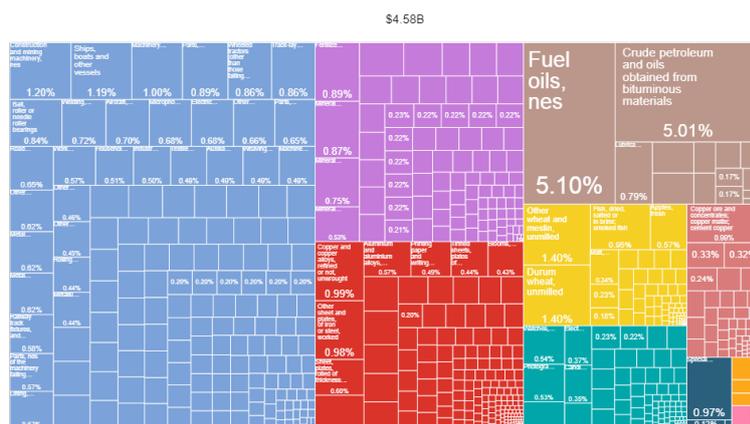
Ainda em 1972, é possível perceber que o país passa a ganhar maior capacidade e factibilidade na produção de máquinas e de equipamentos mais sofisticados, do que

Figura 6 – Pauta de Exportação da Economia Brasileira em 1972



Retirado de Hausmann et al. (2014).

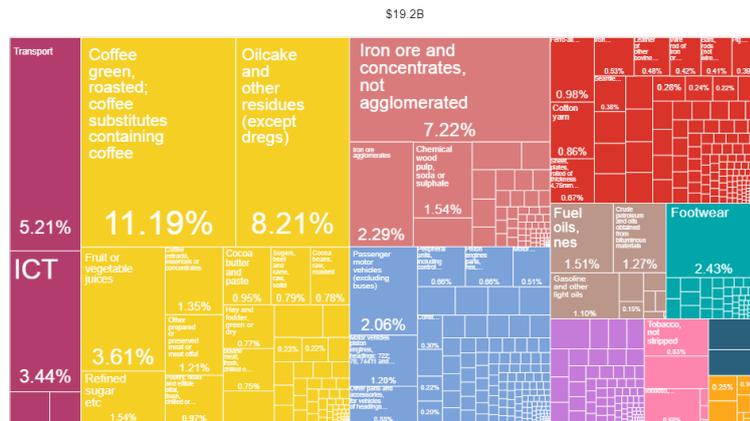
Figura 7 – Pauta de Importação da Economia Brasileira em 1972



Retirado de Hausmann et al. (2014).

em relação à década anterior, isso pode ser verificado no quadro pequeno na figura 6. Olhando esse pedaço menor do gráfico de forma isolada, podemos ter uma noção maior do ganho de complexidade da economia em 1972, como podemos ver na figura 8. Apesar da participação das exportações de máquinas mais pesadas como podemos ver na figura, já é possível identificar os frutos dos planos de desenvolvimento de Juscelino Kubstichek ocorridos no início da década de sessenta. As máquinas produzidas são "simples" em sua maioria, incorrendo em grande parte chassis de veículos ou máquinas pesadas como ônibus, tratores, barcos, ou mais simples como máquinas de escrever ou máquinas de costura. Indicando que em sua grande maioria, a economia brasileira estava na fase de aprendizado. Arelada a esta fase da industrialização da economia brasileira, tem-se um outro tipo de

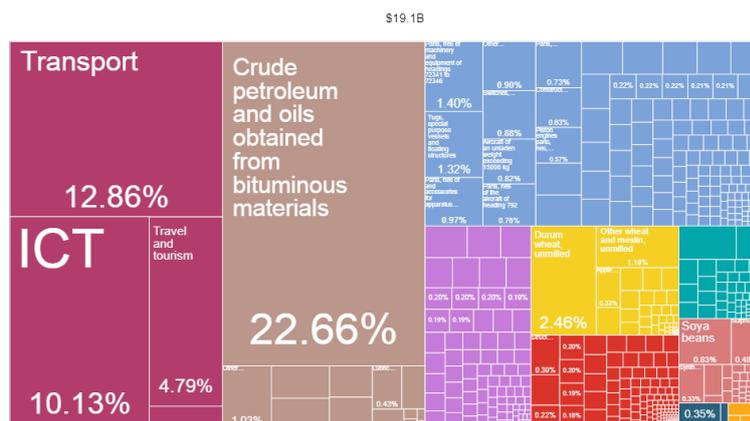
Figura 9 – Pauta de Exportação da Economia Brasileira em 1982



Retirado de Hausmann et al. (2014).

o Brasil vem a sofrer durante as duas décadas seguintes, inclusive com problemas de hiperinflação. A dependência de petróleo e o crédito barato para a compra dos petrodólares acaba por gerar uma crise de dívida e com isso a economia entra em processo de recessão. Os dois outros grandes grupos de importações da economia brasileira se dá em máquinas e equipamentos (mais sofisticados incluindo aqui máquinas industriais mais avançadas e aviões), tal qual, a economia importa (quadrado cor de rosa) produtos químicos mais sofisticados, medicamentos e fertilizantes.

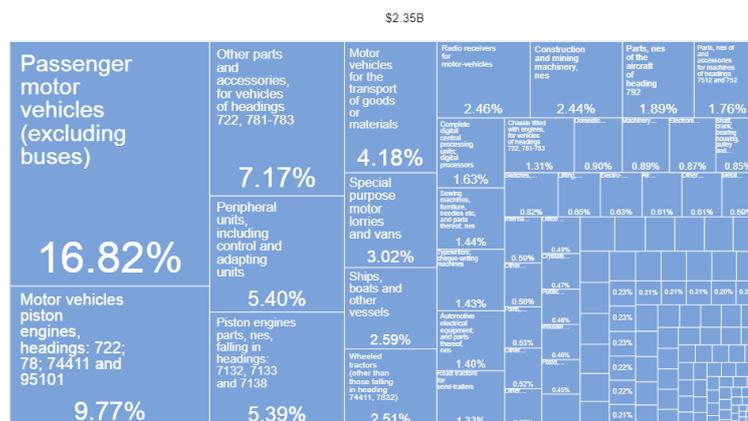
Figura 10 – Pauta de Importação da Economia Brasileira em 1982



Retirado de Hausmann et al. (2014).

Temos na década de 90 dentro da economia brasileira, durante a etapa dos choques heterodoxos e especificamente no momento histórico da abertura da economia brasileira, em primeiro lugar o ponto de inflexão do nível de complexidade. A partir deste momento

Figura 11 – Exportações de Máquinas pela Economia Brasileira em 1982



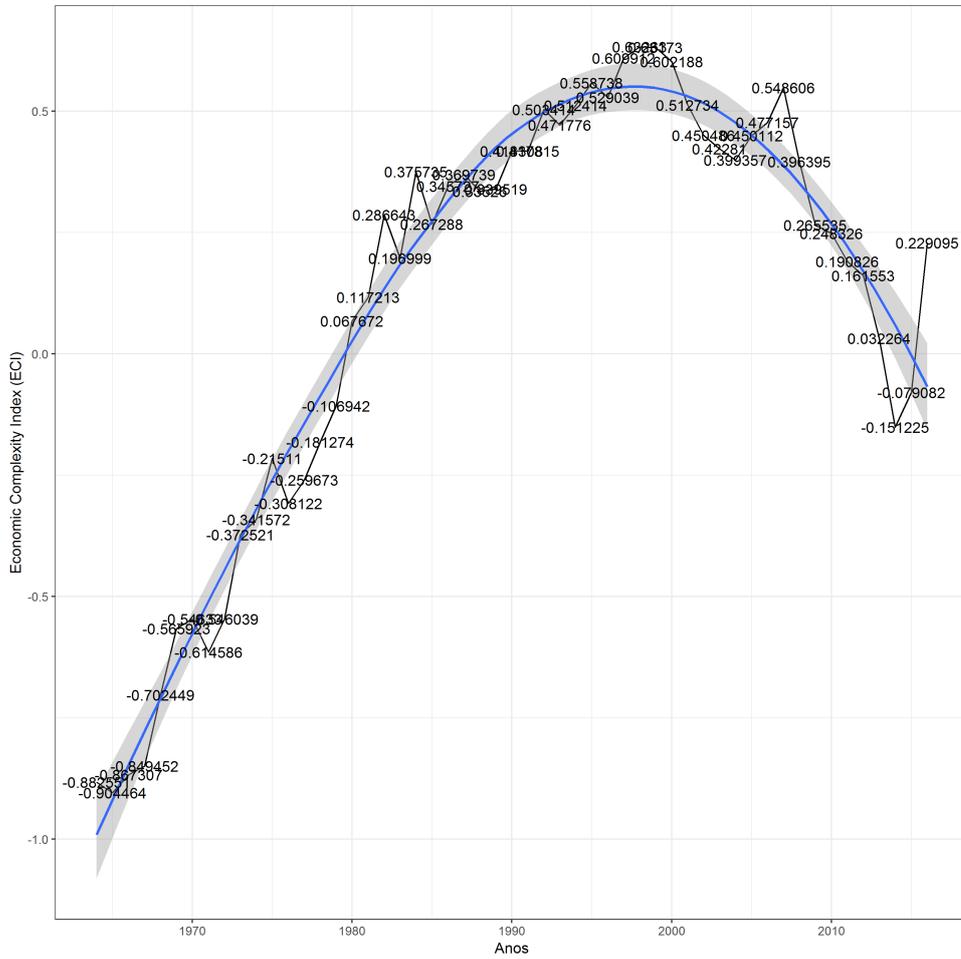
Retirado de Hausmann et al. (2014).

a série irá convergir para baixo, indicando que a economia brasileira perde diversidade na pauta de exportações, mas não necessariamente irá perder a ubiquidade, isto é, capacidade de produzir produtos complexos. Podemos ver na figura 12 a evolução temporal do ECI e o seu ponto de inflexão que ocorre entre os anos 90 e 2000.

Na década de 92, como podemos observar na figura 13, a economia brasileira colhe os frutos dos investimentos feitos nas décadas anteriores, mostrando exportações da ordem de 44.19 bilhões de dólares, duas vezes mais em relação a década anterior. Neste quadro, em especial verifica-se em primeiro lugar, a diminuição dos produtos agrícolas dentro da pauta de exportações, de forma proporcional aos outros produtos exportados. Minérios e máquinas e equipamentos crescem dentro da pauta de exportações, refletindo primeiramente o desempenho das Estatais, como a Vale do Rio Doce e a maturidade da indústria automobilística brasileira. O fato mais interessante do quadro da década de oitenta é que mesmo com o crescimento da sofisticação (ECI) da economia brasileira, movido primeiramente pelo crescimento do quadrado azul, se dá pelo fato de um terço das exportações (dado pelos quadrados vermelho, amarelo e salmão), serem pautados em recursos naturais. Desta forma, mesmo com a economia brasileira passando por um processo de industrialização, ela ainda é alicerçada pela dependência de recursos naturais. De tal forma, se de alguma forma a economia sofrer algum choque externo que prejudique o balanço cambial, a primeira indústria que sofre é a de produtos mecânicos (máquinas e equipamentos), qualquer desvalorização cambial, as indústrias que são incentivadas ou com maior grau de sensibilidade são de fato as indústrias extrativistas minerais e as agrícolas. Esse fato poderá ser constatado com maior facilidade conforme passar para as décadas seguintes.

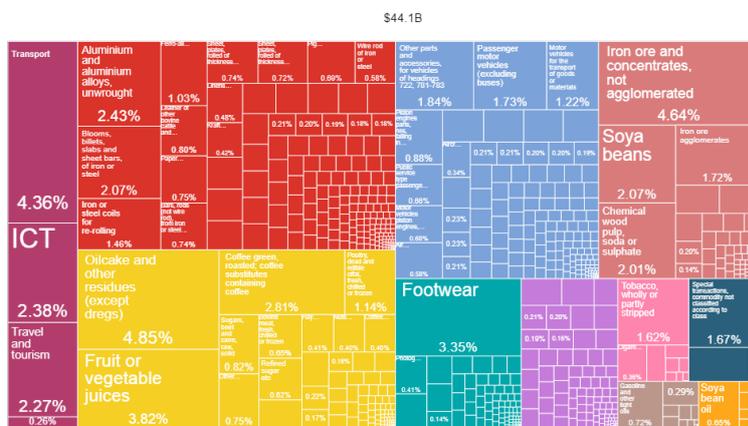
Na figura 14 vemos a segregação da exportação de máquinas e de equipamentos da

Figura 12 – Evolução do Índice de Complexidade Econômica (ECI) para a economia brasileira



Retirado de Hausmann et al. (2014).

Figura 13 – Pauta de Exportação da Economia Brasileira em 1992



Retirado de Hausmann et al. (2014).

4.7 Desindustrialização, Doença Holandesa e Recursos Naturais

Após a pujança que a economia brasileira passou ao construir o seu parque industrial, a partir de 2010 a economia passa a sofrer por um processo de desindustrialização, isto é, por um gradativo encolhimento da participação da indústria de manufaturados no PIB brasileiro. Isso se dá por uma série de fatores que vão desde questões internas da burocracia brasileira ao crescimento monstruoso chinês (e seu conseqüente aumento do nível de complexidade), o que não implica nas últimas três décadas que a economia brasileira não cresceu, ela cresceu e cresceu muito! Mas, nas figuras da composição da pauta de exportações, percebe-se que *commodities* brutas tomam o papel da indústria e os Estados Unidos, maior parceiro comercial do Brasil, junto à Europa deixam de ser os protagonistas dentro desse quebra-cabeças da geopolítica internacional para dar lugar a China. China que consome cimento, aço, soja tudo necessário para sustentar uma economia que cresce de forma galopante.

Se a expansão da produção agrícola e da extração de recursos naturais brutos, como minério de ferro cresce a essa proporção, também são consumidas florestas para produzir carvão, para a pecuária extensiva para a criação do gado de corte que é exportado, da mesma forma em que precisa plantar soja para se produzir ração para o gado em crescimento, para a produção de óleo de soja e para exportação. Desta forma, dentro dos processos de metamorfose da economia brasileira, também se assiste transformações da ordem geofísica, alterando paisagens, ecossistemas, alterando montanhas ou minas a céu aberto. O homem (e o brasileiro em consequência), por meio da tecnologia tem o direito de escolher o que produzir, mas ele contudo, é responsável pelas ações futuras. A questão da complexidade econômica, age como um mapa para indicar quais rumos estão sendo tomados. Essa modificação profunda na pauta de exportações é um sério sinal de pressão dos recursos naturais, que serão vistos no capítulo 5 deste trabalho.

Quando consideramos a questão da doença holandesa, observamos o trabalho do professor Bresser-Pereira em com os argumentos de Erik S. Reinert, já vistos no começo deste trabalho. Primeiramente, observamos os seguintes fatos: A questão da teoria ricardiana de vantagens comparativas dá força para uma elite política ligada à gestão dos recursos naturais (ou recursos comuns, como vimos com Ostrom no capítulo anterior), o surgimento de forças orientadas para a exportação de recursos naturais exerce poder político uma taxa de câmbio direcionada para este grupo e o câmbio em desequilíbrio pode ser danoso para a manutenção das indústrias. Lembrando que em 1992, houve abertura da economia e com isso as indústrias internas ficam expostas a todo tipo de situação e inexoravelmente as mais ineficientes são sobrepujadas em relação às indústrias mais competitivas que existem fora do Brasil, em países com indicadores tecnológicos mais competitivos ou que se valem de estratégias industriais orientadas à competição como é o caso da China.

que exatamente os recursos descritos na citação, são aqueles em que o Brasil considera como maior parcela em sua pauta de exportação em nossa análise pretérita.

"Countries specializing in supplying raw materials to the rest of the world will sooner or later reach the point where diminishing returns set in. The law of diminishing returns essentially says that when one factor of production has been produced by nature - as in farming, fisheries or mining - at a certain point adding more capital and/or more labour will yield a smaller return for every unit of capital or labour added. Diminishing returns fall into two categories: extensive (when production is extended into inferior resource bases) and intensive (when more labour is added to the same plot of land or other fixed resource). In both cases productivity will diminish rather than increase as the country increases its production. Natural resources are available in differing qualities: fertile and less fertile land, good or bad climates, rich or poor pastures, mines with high or low grades of ore, rich or less rich fisheries. To the extent that these factors are known, a nation will use the best land, the best pastures and the richest mines first."

E as consequências da especialização, novamente toma corpo como um misto de colapso-econômico e ambiental, da forma em que construímos ao longo da dissertação:

"As production increases with international specialization, poorer and poorer land and mines will be brought into production. Natural resources are also potentially non-renewable: mines can be emptied, fish population may be exterminated and pastures ruined by overgrazing. In the absence of alternative employment outside the sector depending on natural resources, a population will be forced to live solely on their natural resources. At some point it will require more work to produce the same output and this will create a downward pressure on the national wage level. Let us assume that one country, say Norway, was the country best suited in the world for producing carrots. After the best agricultural land had been converted to carrot production, the country would have to utilize increasingly marginal land in order to grow carrots. Every additional ton of carrots would be increasingly expensive to produce, but the world market price for carrots would not compensate for this. The more this country specialized in the world economy, the poorer it would grow. For resource-rich Australia, this was the key argument which prompted the country to set up an industrial sector, even if this sector would be less efficient than those of the leading industrial nations, the United Kingdom and the United States. The existence of a manufacturing sector establishes a national wage level which prevents countries from moving too far into diminishing returns, overproducing themselves into poverty and/or emptying the fish from the ocean and the mines of ore."

Ao ponto de que se tenta explicar (ou ao menos justificar) dentro desse capítulo ao mostrar a evolução da série das figuras que ilustram a evolução da pauta de exportações brasileiras e a subita perda de complexidade ou regressão na qualidade das exportações. O ponto ou a explicação de REINERT, op. cit. para um processo que interliga a questão da desindustrialização com a lei dos retornos decrescentes é da seguinte forma:

"A nation specializing in supplying raw materials within the international division of labour will - in the absence of an alternative labour market

- experience the opposite effect of what Microsoft experiences: the more production is increased, the higher the production costs of each new unit of production. In this respect the house painter's profession is relatively neutral, he works under constant returns to scale. The form and speed of globalization over the last twenty years have resulted in the deindustrialization of many countries, forcing them into a situation where diminishing returns is the key feature of their production."

Ou seja, existe a possibilidade de uma guinada para uma economia industrial para uma economia orientada para retornos decrescentes. Mas será que essa foi uma escolha que a nação brasileira tomou de forma racional ou foi orientada por forças econômicas/macroeconômicas que fogem de um modelo explicativo racional? De que forma a possibilidade de exaustão dos recursos naturais é posta na balança por parte dos industriais e dos *policy makers*?

Existe uma relação importante que precisa ser considerada a partir deste momento. Ao se optar por uma estratégia focada em produtos primários, a economia incorre em alguns (sérios) paradoxos de acordo com Reinert (2007): O fato de ser um país agrícola, não necessariamente garante que seja possível combater a fome e nos países desenvolvidos, os ganhos de produtividade impactam ainda mais a estrutura de preços, prejudicando ainda mais aqueles que querem se especializar em produzir alimentos para os ditos países de primeiro mundo. Nas palavras do autor:

"Agriculture presents some unexpected paradoxes 1. First of all, it is obvious that shortage of food, and famines, mostly occur in countries that specialize in producing foodstuffs. The smaller the percentage of agriculture as a percentage of gross domestic product, the smaller the odds are of famine. In fact, the risk in countries with practically no agriculture is dying of eating too much. How can this strange reverse proportionality be explained? 2. Explosions of productivity were for centuries limited to industry, but, particularly in the past fifty years or so, agriculture has experienced a larger productivity growth than most industries. The productivity per acre of wheat in American agriculture has almost increased by a factor of six since 1940. Large parts of the agricultural sector have become high-tech businesses, its farmers have come to plough with automated tractors guided by GPS satellites, and a single farmer can today produce what ten used to produce only seventy-five years ago. The paradox is that the most effective agriculture in the world, in the USA and Europe, is unable to survive without subsidies and protection. Every Swiss cow is in fact subsidized with four times the pro-capita income in sub-Saharan Africa. (...) 3. In 1970 Norman Borlaug received the Nobel Peace Prize for the 'green revolution' in agriculture, for having produced new species that increased harvests and productivity immensely. This enormous explosion of agricultural productivity has not drastically changed the number of poor and hungry in the world. Why not?"

A resposta de Reinert, e possivelmente uma das conclusões desse trabalho como um todo, é que esse paradoxo é ligado a uma única resposta. Não existe meio de desenvolver e estabelecer uma economia que não seja pela via industrial ou pela via de serviços avançados. Nas palavras de Reinert (2007):

"My contention is that these three seeming paradoxes are deeply intertwined. Once this relationship is understood, it is also possible to understand why no country has been able to get rich without an industrial and an advanced service sector. It will also become clear why developing countries never will become rich by exporting food to the First World. The different economic sectors - crudely classified as the agricultural, industrial and service sectors - play different roles in the national economy, and to a certain extent follow different economic laws when they are built up or down. Failing to appreciate these qualitative differences between economic activities leads to a failure to understand why the global economy develops in such an uneven manner."

Uma consequência (mais negativa) do processo de desindustrialização de uma economia, é o processo de primitivização da economia. Isto é, após etapas de desindustrialização e perda de economias de escala e de escopo, os agentes econômicos podem abandonar técnicas e métodos e reduzir a economia para escalas anteriores Reinert (2007):

"Primitivization as an economic phenomenon and how it works The idea of progress that emerged during the Renaissance also contains within it the possibility of its opposite - retrogression. In fact, the idea of the Renaissance, re-birth, was inspired by seeing sheep grazing among the fabulous ruins of ancient Rome and by the rediscovery of ancient texts. Rise and decline were inexorably intertwined. Progress and modernization - as development was often referred to in the 1960s - in reverse become retrogression and primitivization. Economic activities, technologies and whole economic systems may fall back into modes of production and technologies that have been past history for some time. Systems based on increasing returns, synergies and systemic effects all require a critical mass; the need for scale and volume creates a 'minimum efficient size'. When the process of expansion is put in reverse and the necessary mass and scale disappears the system will collapse."

A conclusão de Reinert para o caso da América Latina, em especial para a dependência de recursos naturais e até mesmo para a possibilidade de primitivação recorre aos paradigmas schumpeteriano e keynesiano. Primeiro focando em tecnologias que sejam interligadas à outros setores tecnológicos e que possibilitem novas formas de criação de produtos. O trabalho inteiro de Reinert é colocar na mesa as matrizes de produtos schumpeterianas e malthusianas. Para a estabilização econômica, na visão do autor, as ferramentas de inspiração keynesianas podem ser a solução. Contudo, o processo de globalização é um problema na visão do autor:

The permanent solutions to the problems of the Third World still lie within the theoretical realms of Schumpeter and Keynes. The Third World, from the maquilas of Central America to the women in Uganda employed by AGOA-companies (African Growth and Development Act), need to get out of technological dead-end products, they need to get Schumpeterian competition in their national production systems. Moving Schumpeterian effects across borders requires resurrecting past policies which globalization has removed. If poor countries participate in technological development only as consumers, their wage level and purchasing power will not be

lifted. Achieving this requires reviving - in a new setting - the toolboxes of economic policy that move production across borders. Globalization has also dulled the Keynesian tools. Through deficit spending, national governments used to be able to lever their national economies up by increasing the demand for local goods and services. In deindustrialized small open economies, such traditional Keynesian policies, rather than invigorating local production, mainly suck in imports.

De modo a deixar de forma sintética e clara, as figuras 19, 20 e 21, sintetizam a questão da divisão entre as produções do tipo "schumpeter" e do tipo "malthus". A relação entre retorno crescente e decrescente é uma forma de ilustrar o debate que foi proposto. Tecnologias e ideias estão sempre operando em uma dinâmica superior a de realizar esforços para adquirir lucro em cima de recursos naturais, isto é, é muito mais fácil produzir um produto que tenha um valor agregado pautado em um oligopólio ou monopólio (por exemplo softwares) do que investir em produtos simples e grosseiros (lembrando muito a questão da materialidade de Tim Jackson, ou a entropia de Georgescu Roegen). Todos esses fatores são forças geradoras de força de trabalho que pode ser qualificada ex-ante ou passar pelas curvas de aprendizado, mas no entanto, a dinâmica populacional resultante da capacidade produtiva poderá gerar um setor de serviços mais ou menos sofisticado e que por sua vez, acaba ditando o nível de distribuição de renda na nação e das escolhas oriundas da estratégia de desenvolvimento.

E não mais importante, o quadro de Reinert (2007) é intimamente ligado com a nossa última seção do capítulo que é linkages e sinergias, onde veremos o espaço dos produtos antes de partir para o capítulo final do trabalho. Clusters produtivos ocorrem quando várias indústrias se aglomeram em economias de escala e de escopo compartilhando de externalidades de rede, linkages ocorrem de forma horizontal e vertical na cadeia produtivas, afetando outras indústrias no processo.

O espaço dos produtos é um adendo ao raciocínio, indicando um mapa de factibilidades produtivas dado aquilo que o país é capaz de produzir. O mais interessante (e importante neste caso) é que países que escolhem aprender coisas sofisticadas, tem um caminho produtivo muito maior do que aqueles que escolheram produzir coisas mais simples, argumento que será melhor trabalhado na próxima seção.

4.8 Espaço dos Produtos ou Product Space

Como visto nas figuras anteriores, existem interligações nos mercados dos produtos ou dentro do espaço de factibilidade dos produtos, seja por pré-requisitos tecnológicos ou seja por sinergias produtivas por meio de economias de escala e de escopo a formação de redes, clusters ou conglomerados de produtos que são exportados juntos.

Em outras palavras, podemos inferir por meio da mesma metodologia que usamos

Figura 19 – Comparação dos Pressupostos Econômicos Entre Industria e Agricultura

Characteristics of Schumpeterian activities (= 'good' export activities)	Characteristics of Malthusian activities (= 'bad' export activities if no Schumpeterian sector present)
Increasing returns	Diminishing returns
Dynamic imperfect competition	'Perfect competition' (commodity competition)
Stable prices	Extreme price fluctuations
Generally skilled labour	Generally unskilled labour
Creates a middle class	Creates 'feudalist' class structure
Irreversible wages (‘stickiness’ of wages)	Reversible wages
Technical change leads to higher wages for the producer (‘Fordist wage regime’)	Technical change tends to lower price to consumer
Creates large synergies (linkages, clusters)	Creates few synergies

Retirado de [Reinert \(2007\)](#).

para calcular os índices de diversidade, ubiquidade, vantagens comparativas (RCA), e o ECI/PCI, quando estudamos as estruturas topológicas (análise matemática daquele espaço abstrato), uma das análises factíveis se dão no estudo das comunidades que se formam.

Essas comunidades, geradas a partir de algoritmos, criam a figura 22, que é um grafo (estrutura composta por nós e ligações) que mostram as vizinhanças entre os produtos factíveis. A leitura desse "mapa" se dá da seguinte maneira: se determinado país é naturalmente um produtor, digamos de carne, ele poderá produzir (exportar) todos os produtos atrelados ao mercado de carne, isto é, se ele vende carne *in natura*, ele posteriormente poderá desenvolver competências nos mercados adjacentes, isto é, mercado de carnes processadas, produtos derivados de ossos, couro, sangue e demais subprodutos.

Contudo, um país que tem vocação em produzir carne, pela estrutura de redes, não teria de forma automática e instantânea, possibilidade de espontaneamente aprender a produzir aparelhos de raio-x, simplesmente porque para fabricar aparelhos de raio-x, demanda outro tipo de configuração produtiva que não demanda carne, e sim, profundo conhecimento em eletrônica, mecânica e manipulação de materiais radioativos.

Como tratado na seção anterior, países que se desenvolveram tecnologicamente em um caminho que não seja o de *commodities*, possuem um mapa de possibilidades de produção mais amplo e mais vasto do daqueles que exclusivamente dedicaram seus esforços produtivos para produzir bens ligados à recursos naturais.

Não obstante, podemos considerar então um caso fictício de uma nação rica e abundante em recursos minerais, que em um primeiro momento, retira todos os produtos de alta qualidade e que estavam para serem extraídos com nenhuma ou pouca tecnologia. A um primeiro momento, o processo de extração destes recursos possibilita o desenvolvimento em tecnologias rudimentares de extração, ou possibilita o desenvolvimento de tecnologias especializadas em retirar minérios do solo, isto é, essa nação tem plena capacidade de se desenvolver em engenharia de minas. A questão se divide em duas partes. A nação pode se tornar ultra-especialista em engenharia de minas (ou então possivelmente, pode se tornar a civilização mais avançada em extrair minérios do solo), mas limitada a aquelas possibilidades. Por conta da lei dos rendimentos marginais decrescentes, chega um ponto em que aquela tecnologia isolada pode não ser mais o suficiente para causar mais "revoluções verdes" e um sistema que primariamente é "schumpeteriano", temporariamente se tornou "malthusiano", isto é, preso na armadilha dos retornos marginais decrescentes.

Numa perspectiva evolucionária, a combinação da tecnologia avançada deste país hipotético, quando combinada, por exemplo com uma tecnologia de magnetos ou de energia nuclear pode gerar máquinas mais potentes que conseguem retirar mais produtos do solo, mas ainda assim, demanda da configuração de outro ponto do mapa dos produtos para se tornar mais eficiente, sujeita assim, a uma espécie de entropia do conhecimento.

Uma crítica que pode ser vista em diversos autores que incluem, em especial os autores lidos para este trabalho, que incluem Reinert (2007), Georgescu-Roegen (2012) e Daly e Farley (2010) e em especial em Ehrlich (1971), se dá que a tese de Malthus foi posta em falseamento por conta dos efeitos da revolução verde que ocorreu ao longo do século XX e que permitiu o aumento da produtividade dos alimentos. Tal fato é verdade, mas se tornou uma muleta por parte dos economistas que respondem que a tecnologia é capaz de arrumar qualquer problema de retornos decrescentes da humanidade. Ou seja, a tecnologia é o elixir da juventude eterna do sistema de acumulação capitalista e de forma *ex-machina* será capaz de solucionar todos os problemas vindouros. Não que isso não possa vir a se tornar uma realidade, mas a medida em que nossos problemas se tornam mais complicados, soluções mais sofisticadas se tornam necessárias para resolver estes problemas e que demandam níveis cada vez mais complexos de energia e tempo para a criação dessas novas ferramentas que possibilitem expandir um pouco mais as curvas de fronteira de possibilidade de produção.

No entanto, dentro desse jogo de entropia entre o recurso natural bruto e a necessidade tecnológica de se desenvolver para produzir mais, dentro de uma lógica aprendida de que possivelmente os recursos são infinitos ou de que o mundo é muito grande para se preocupar em poupar recursos, uma nação especializada em somente um produto está limitada dentro de uma janela temporal de usufruir do sistema capitalista antes de cair em risco de colapsar alguns de seus itens na pauta de exportação e assim poder sofrer

consequências ambientais de suas escolhas econômicas. Fato também preocupante, uma vez em que cadeias de produtos surgem a partir de grupos de *commodities* agrícolas e clusters e aglomerados industriais, muitas vezes se especializaram a partir da abundância daquele produto. Exemplos que podemos citar aqui é a indústria mineradora de alumínio e cimento no interior de São Paulo.

A figura 23 mostra como os grupos se formam a partir de uma família comum e quantas ligações esses grupos criam a partir da família original. A contribuição da tabela, além de indicar o valor médio dos pci's, também mostra a importância desses grupos dentro da economia mundial. Perceba que o grupo de máquinas e de equipamentos sempre encabeçam a tabela, enquanto produtos mais rudimentares estão na cauda, indicando duas coisas: primeiro, países que produzem máquinas e equipamentos dão as cartas no comércio internacional, segundo: países que são dependentes da produção de produtos ligados a recursos naturais são tomadores de preço no mercado internacional. Caso esses países tenham crises ambientais, eles em si não perturbam muito o mercado mundial, dado a estrutura de competição perfeita, mas a crise para eles pode ser um golpe certo e derradeiro em suas economias.

O espaço dos produtos, tem como objetivo demonstrar a topologia de uma floresta imaginária e cada produto é um fruto que pode ser colhido, contudo, não é possível pular de árvore em árvore nesta floresta imaginária, mas sim, plantar em determinados pontos para que seja possível navegar por esse espaço abstrato. Do ponto de vista na questão ambiental, uma nação que se foque em produzir tecnologias, tende a ser mais protegida da lei dos retornos decrescentes para os seus produtos, daqueles que focaram na produção de produtos mais simples.

4.9 Conclusão

Neste capítulo foi visto o sistema econômico por uma ótica não convencional, apesar de alguns economistas terem intuído a respeito da metodologia. Tanto do ponto de vista das vantagens comparativas que é um termo bastante enraizado dentro da literatura econômica, mas até o presente momento poucos correlacionaram a complexidade com a questão ambiental.

A grande contribuição de Erik Reinert é fazer essa ponte entre eventos ambientais e a lei dos retornos marginais decrescentes e a grande contribuição da complexidade econômica de Hidalgo e Hausman é possibilitar o mapeamento de como os produtos estão dispersos no mundo. Quando você une as duas coisas, mais indicadores ambientais, possibilita a detecção de parâmetros ambientais que hoje se encontram estressados.

Não é possível de pronto apontar para um planeta no globo terrestre e dizer como um dos profetas do colapso ambiental, como os comentados durante o capítulo 2 desta

dissertação que estamos nos limites do crescimento do planeta e que a total suspensão das emissões de carbono é a única medida para salvar a humanidade. O trabalho não caminha nesse sentido, é possível tão somente, indicar da maneira mais honesta possível que existem correlações entre parâmetros econômicos e de complexidade e parâmetros ambientais disponíveis que indiquem que o planeta sofreu profundas alterações em sua estrutura ou dinâmica e que isso pode cedo ou tarde ter sua fatura cobrada pela humanidade, como observamos que a temperatura do planeta se alterou (em média meio grau nos últimos duzentos anos, desde a revolução industrial), que houve de fato alteração no regime hídrico do planeta ou que alguns países hoje se encontram deficitários em sua emissão de carbono dado a sua biodisponibilidade de recursos naturais, que servem como sorvedouros do carbono produzido.

No próximo e último capítulo, estudaremos como o planeta tem reagido no último século e em que situação nos encontramos nesse momento, que podem servir como um indicador que o sistema ambiental se encontra estressado, e possivelmente perto de um ponto de ruptura no sistema ecológico.

Ao longo deste trabalho, demonstramos que a natureza é um mecanismo regulador da vida humana neste planeta e que a natureza ao longo do desenvolvimento da humanidade tornou-se um produto a ser comercializado. Com a complexidade, compreendemos que focar em recursos naturais, e portanto na economia que vive desses produtos, pode não ser a melhor escolha, estando um país sujeito a todo tipo de vulnerabilidade se assim escolher.

Figura 20 – Sistemas Schumpeterianos e Malthusianos	
<p>'Manufacturing'</p> <p>Generalized wealth only found in cities with artisans and manufacturing, and explained as a systemic effect: <i>il ben comune</i> (Florence, 1200s).</p> <p>The experience of Spain in the 1500s: the real gold mines are the manufacturing industries, because the gold from the Americas ends up in the manufacturing cities outside Spain (generalized knowledge, 1600s).</p> <p>Windows of opportunity for innovation concentrated in few activities (all urban: Botero, 1590) (Perez and Soete, 1988)</p> <p>Generalized wealth caused by a large diversity/large division of labour/ maximizing the number of professions (Serra, 1613). Division of labour simultaneous.</p>	<p>'Agriculture'</p> <p>Traditionally very little systemic effects, no <i>ben comune</i> (common weal)</p> <p>The experience of Spain in the 1500s: deindustrialization and return to agriculture creates increased poverty: a nation is better off with a relatively ineffective manufacturing sector than with none. (See Figure 14 for a parallel to Latin America today.)</p> <p>Few windows of opportunity for innovation (until very recent history).</p> <p>Traditionally only a minimum of diversity. Very little division of labour (Adam Smith). Division of labour sequential over the seasons, from ploughing to harvesting.</p>
<p>International specialization leads to increasing returns/economies of scale, producing falling costs, barriers to entry and higher profits (Serra, 1613).</p> <p>Increased population a necessity in order to create scale/markets for manufactures (European pre-Malthusian population theory).</p> <p>Important synergies between city and countryside: only farmers near manufacturing cities produce efficiently (Europe in the 1700s to George Marshall, 1947).</p> <p>Export of manufactured goods and import of raw materials, but also exchanging manufactures for other manufactures, is good trade for a nation (King, 1721).²⁶</p> <p>Dynamic imperfect competition</p>	<p>Specialization will meet the flexible wall of diminishing returns and increasing costs/falling productivity (from Genesis to Ricardo and John Stuart Mill).</p> <p>Increased population a problem because of diminishing returns and no new land (Malthus).</p> <p>Only farmers who share a labour market with manufacturing activities are wealthy: market for products, market for excess labour, access to technology (US/Europe in the 1800s).</p> <p>Export of raw materials and import of manufactured goods is 'bad' trade for a nation (King, 1721).</p> <p>Perfect competition (<i>commodity competition</i>).</p>

Retirado de [Reinert \(2007\)](#).

Figure 18 The Qualitative Differences between Manufacturing and Agriculture (raw material production) as Perceived Over Time as Ideal Types or Stylized Facts

Figura 21 – Sistemas Schumpeterianos e Malthusianos (continuação)

'Manufacturing'	'Agriculture'
Activities with high growth in demand as income grows/Verdoorn's Law ties increase in demand to increase in productivity.	Activities with low-income elasticity of demand (when people get richer, they tend not to use more of these products).
Subject to 'productivity explosions' since the 1400s.	Slow growth in productivity until after Second World War.
Stable production that can be fine-tuned to demand. Overproduction avoided by storing raw materials and semi-manufactures.	Cyclical production/overproduction (no possibility of storing semi-manufactures).
Stable prices.	Large price fluctuations. Timing of sales often more important for income than production skills.
Creates a middle class and conditions for democracy ('City air makes free').	Generally creates a feudal class structure.
Creates bargaining power for labour and irreversible wages: 'stickiness' of wages in money.	Reversible wages and payment in kind.
Dominated by product innovations which, when products mature, turn to process innovations.	Dominated by process innovations, product innovations for agriculture are made outside the agricultural sector (Ford's tractors, Monsanto's seeds, biotechnology).
Technological change leads to higher wages, profits and taxes in the producing countries ('a Fordist wage regime').	Technological change leads mainly to lower prices in the consuming countries (Singer, 1950).
Terms of Trade tend to improve over time compared to agriculture.	Terms of Trade tend to deteriorate over time compared to industrial products.
Creates large synergies (linkages, clusters).	Creates few synergies.

Figure 18 continued

Retirado de Reinert (2007).

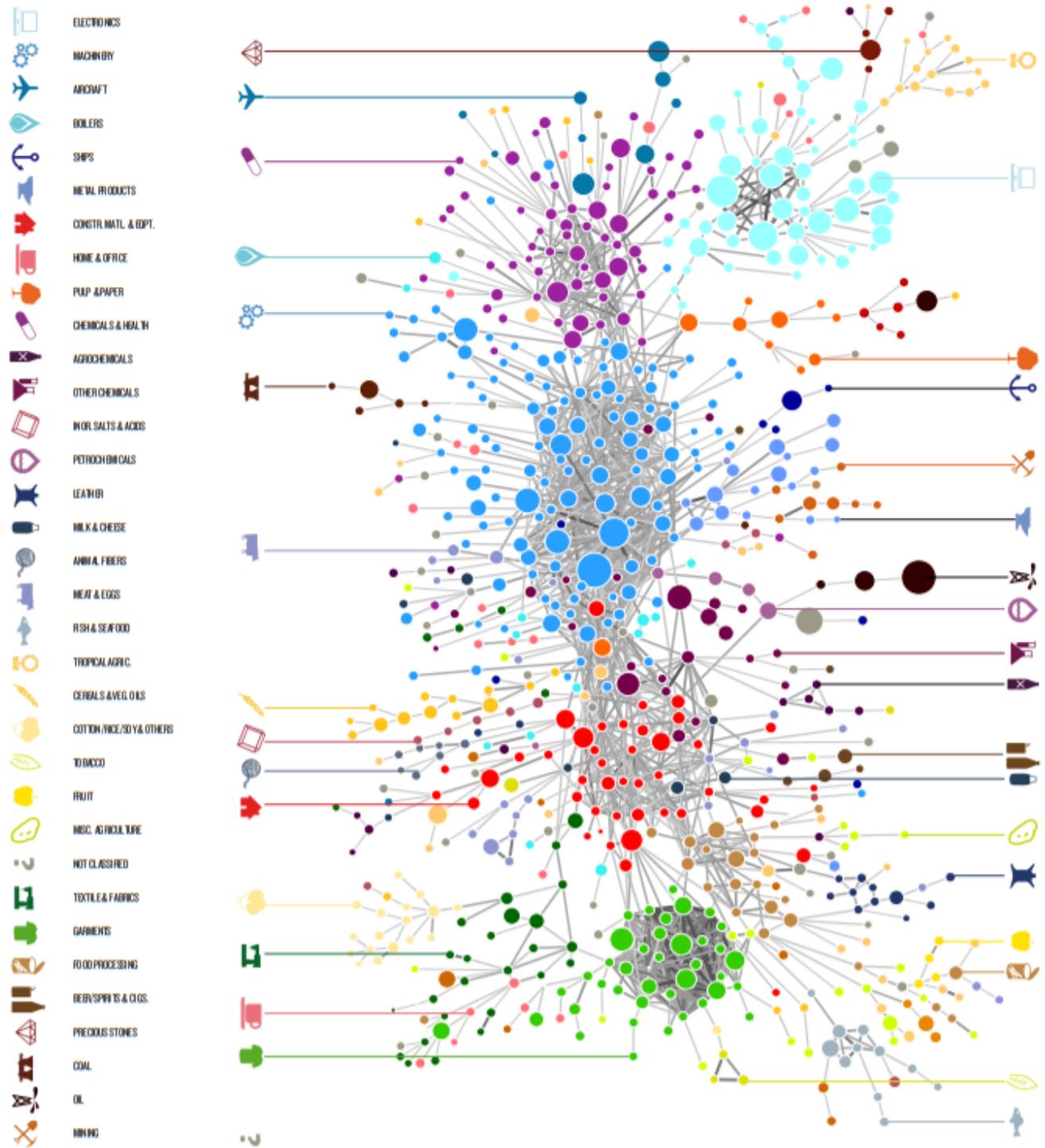


Figura 22 – O Espaço dos Produtos ou Product Space

Figura 23 – Comunidades no Espaço de Produtos

Community Name	Average PCI	Number of Products	World Trade	World Share	Top 3 Countries by Export Volume	Top 3 Countries by Number of Products (RCA>1)
Machinery	2.54	125	4.4T	20.29%	DEU, USA, JPN	DEU, ITA, AUT
Electronics	2.25	52	3.6T	16.71%	CHN, HKG, USA	CHN, HKG, MYS
Oil	-2.08	4	2.3T	10.49%	SAU, RUS, NOR	EGY, KAZ, DZA
Chemicals & Health	2.52	64	1.6T	7.47%	USA, DEU, BEL	USA, BEL, DEU
Other Chemicals	1.67	24	1.2T	5.49%	DEU, USA, FRA	DEU, ITA, ESP
Construction Materials & Equipment	0.77	44	1.1T	5.23%	CHN, DEU, ITA	CZE, POL, SVN
Mining	-0.59	48	1.1T	5.01%	AUS, USA, CHL	CAN, AUS, KAZ
Garments	-0.43	42	1.1T	4.63%	CHN, HKG, ITA	CHN, VNM, TUN
Food Processing	-0.07	26	603B	2.74%	DEU, ITA, USA	SRB, ESP, BEL
Metal Products	0.76	17	496B	2.26%	JPN, DEU, KOR	ZAF, UKR, SVK
Aircraft	1.48	10	440B	2.00%	FRA, DEU, GBR	CAN, GBR, FRA
Not Classified	0.93	36	426B	1.94%	USA, CHN, DEU	CHN, FRA, GBR
Cereals & Vegetable Oils	-0.34	21	295B	1.34%	USA, BRA, ARG	PRY, MDA, ARG
Home & Office	1.16	23	250B	1.14%	CHN, CHE, USA	CHN, PAN, PRT
Meat & Eggs	0.64	23	242B	1.10%	USA, BRA, DEU	FRA, BEL, POL
Ships	0.83	8	232B	1.05%	KOR, CHN, JPN	ROU, POL, HRV
Petrochemicals	1.22	5	220B	1.00%	DEU, USA, BEL	PRT, BEL, FRA
Boilers	1.56	14	193B	0.88%	CHN, DEU, JPN	CHN, TUR, KOR
Fish & Seafood	-1.23	11	191B	0.87%	CHN, NOR, THA	CHL, NAM, SYC
Textile & Fabrics	0.18	32	189B	0.86%	CHN, ITA, HKG	CHN, TUR, IND
Tropical Agriculture	-1.95	16	190B	0.86%	IDN, NLD, MYS	IDN, CIV, CRI
Coal	0.21	6	183B	0.83%	AUS, IDN, RUS	CZE, COL, RUS
Misc Agriculture	-0.79	22	170B	0.78%	BRA, DEU, FRA	ESP, TZA, NIC
Precious Stones	0.02	4	170B	0.77%	IND, ISR, BEL	GBR, LBN, LKA
Pulp & Paper	1.77	11	148B	0.67%	USA, CAN, SWE	SWE, FIN, CAN
Agrochemicals	0.40	13	141B	0.64%	DEU, USA, CAN	BEL, JOR, DEU
Milk & Cheese	1.14	7	134B	0.61%	DEU, FRA, NLD	NLD, BLR, LTU
Beer, Spirits & Cigarettes	0.07	6	124B	0.57%	GBR, NLD, DEU	JAM, BEL, NLD
Inorganic Salts & Acids	-0.22	10	117B	0.53%	USA, CHN, DEU	ISR, JOR, USA
Cotton, Rice, Soy & Others	-2.25	18	96B	0.44%	USA, IND, THA	TZA, MOZ, GRC
Tobacco	-1.46	6	64B	0.29%	DEU, NLD, BRA	PHL, GRC, SEN
Leather	-0.85	14	53B	0.24%	ITA, USA, HKG	ALB, SOM, ESP
Fruit	-0.58	4	45B	0.21%	ESP, USA, CHL	NLD, LBN, LTU
Animal Fibers	-0.85	7	12B	0.06%	AUS, CHN, ITA	URY, NZL, ZAF

Retirado de Hausmann et al. (2014).

5 Indicadores Ambientais e Complexidade

“If all mankind were to disappear, the world would regenerate back to the rich state of equilibrium that existed ten thousand years ago. If insects were to vanish, the environment would collapse into chaos.”

— E. O. Wilson

5.1 Complexidade Econômica e Complexidade Ambiental

Na seção anterior foi estudado os pressupostos para a formação de um índice de complexidade ou de sofisticação a partir da quantidade de conexões que um determinado país ou um determinado produto pode ter, indicando diversidade ou ubiquidade. Os resultados, como visto, geram indicadores de capacidade produtiva, isto é, um mapa de factibilidade dado que pré-requisitos tecnológicos foram atendidos.

Um dos resultados mais interessantes realizados durante a etapa de revisão de literatura desde trabalho, foi a descoberta que existe uma conexão entre os índices de complexidade econômica com o índice de pegada de carbono ou de pegada ecológica, uma vez que uma das bases de dados que dão origem aos indicadores, é a mesma, que é a base de dados de comércio internacional do ComTrade da Onu.

De acordo com o sítio do ComTrade, a definição da missão da base de dados é dada por ¹:

“UNdata is a web-based data service for the global user community. It brings international statistical databases within easy reach of users through a single-entry point. Users can search and download a variety of statistical resources compiled by the United Nations (UN) statistical system and other international agencies. The numerous databases or tables collectively known as “datamarts” contain over 60 million data points and cover a wide range of statistical themes including agriculture, crime, communication, development assistance, education, energy, environment, finance, gender, health, labour market, manufacturing, national accounts, population and migration, science and technology, tourism, transport and trade.”

Para a construção do índice de pegada de carbono, para um dos indicadores de emissão de carbono por país, são utilizados os dados de comércio internacional, ao se considerar que cada produto agrícola contém em si energia intrínseca e carbono intrínseco.

De acordo com as notas metodológicas do Atlas de Carbono Lin et al. (2016), Atlas (2010):

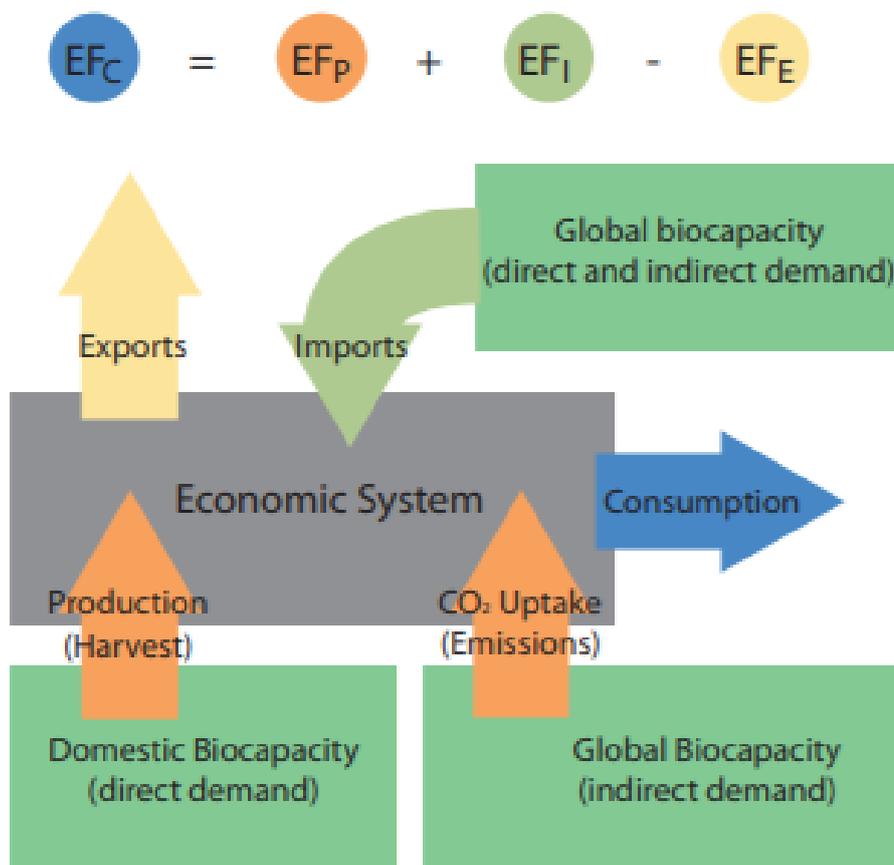
“The National Footprint Accounts, 2010 Edition track the embodied Ecological Footprint of over 700 categories of traded crop, forest, livestock,

¹ Ver <<http://data.un.org/Host.aspx?Content=About>>

and fish products. The embodied carbon dioxide emissions in 625 categories of products is used with trade flows from the United Nation's COMTRADE database (UN Commodity Trade Statistics Database 2007) to calculate the embodied carbon Footprint in traded goods. ”

Logo, fica evidente que existe uma correlação natural entre os indicadores de complexidade econômica e o indicador de pegada de carbono. As premissas iniciais da pegada de carbono é dado pela figura 24:

Figura 24 – Esquema Pegada de Carbono



Retirado de Atlas (2010).

A equação geral das pegadas de carbono é dado como se fosse um modelo macro-econômico: Emissões de Consumo E_c é igual a emissões de produção (local) E_p , mais emissões importadas menos emissões exportadas ($E_i - E_e$).

Da forma em que existe um sistema econômico que incorpora dentro de si a produção de carbono, sujeita a biodisponibilidade, que é a capacidade do sistema ecológico absorver o carbono emitido (e importado).

$$E_c = E_p + E_i - E_e \quad (5.1)$$

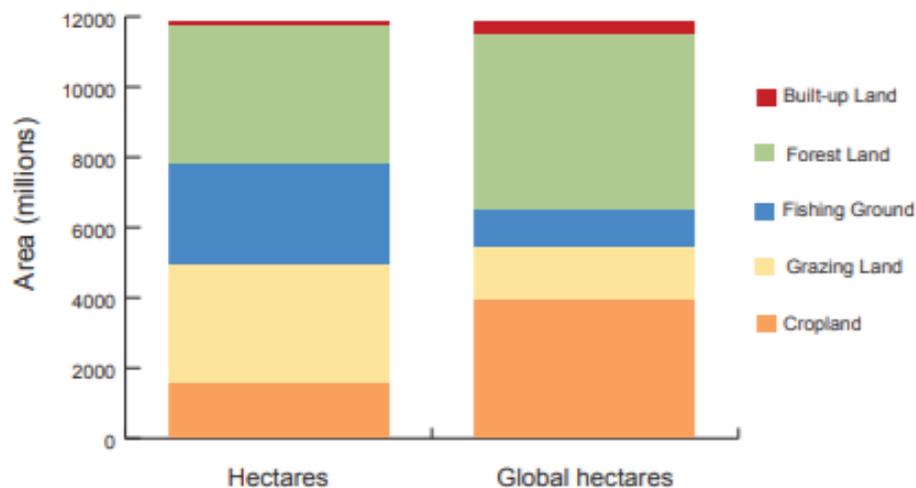
Segundo Atlas (2010), biocapacidade é a capacidade de absorção das terras e águas disponíveis de cada país, de acordo com a sua atividade fotossintética e de suporte de vida. O cálculo da biodisponibilidade é dado pela quantidade de terra ponderada pela produtividade daquele local. Dentro da biocapacidade é considerado terras agricultáveis, atividade pesqueira, florestal e pecuária. A equação da biocapacidade é dada por:

$$BC = A * YF + EQF \quad (5.2)$$

Onde, BC é o indicador de biocapacidade, A é a quantidade de terras vezes YF e somado por EQF que são os multiplicadores de equivalência dado aquele tipo de região.

O A da equação acima é dado por seis diferentes tipos de terra: terras para agricultura, terras para pecuária, áreas de criação de peixe, áreas para produção de lenha e madeira, áreas para sequestro de carbono e terras ocupadas. A proporção de terras ocupadas é dada pela figura 25.

Figura 25 – Proporção de Terras em 2007



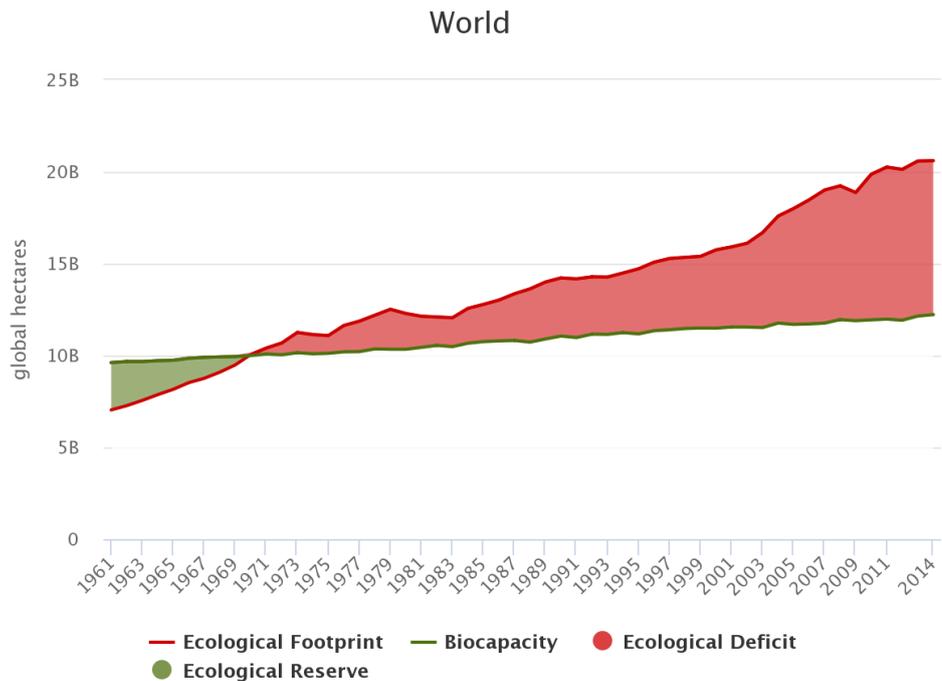
Retirado de Atlas (2010).

A metodologia de cálculo das áreas de biocapacidade, se dá pela quantidade de terras disponíveis na FAOstat, considerando a área de terras agricultáveis, as zonas florestais, as áreas com recursos pesqueiros, as áreas de atividade agropecuária e a quantidade de solo que é ocupado por infraestrutura humana.

As pegadas de carbono são calculadas somando as emissões totais de dióxido de carbono oriundos de combustíveis fósseis globalmente e do tráfego internacional de passageiros, subtraído da capacidade das florestas e dos oceanos de absorver CO₂, o saldo é tudo aquilo que foi liberado globalmente no planeta.

A figura 26 mostra a evolução do aumento das pegadas de carbono em escala mundial dado a biodisponibilidade. Na figura é possível observar a explosão em que as emissões de carbono sofreram dado o suporte do planeta. Mesmo que a biocapacidade do planeta tenha crescido um pouco, a produção de carbono é infinitamente maior, indicando que o planeta se encontra em deficit ambiental.

Figura 26 – Série Histórica da Pegada de Carbono Mundial



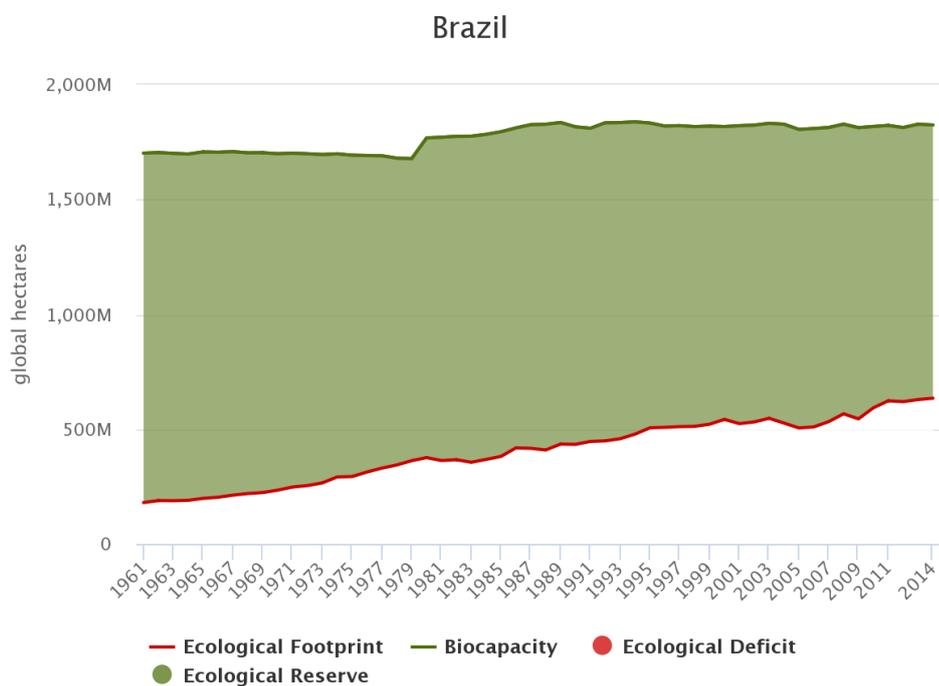
Global Footprint Network, 2018 National Footprint Accounts

Retirado de [NETWORK \(2018\)](#).

Na figura 30, pode ser constatado que o Brasil é um país com grande biocapacidade (considerando especialmente a capacidade produtiva e de absorção de um país que tem proporções continentais). No entanto, podemos constatar que o aumento da emissões de carbono aumentou, mas não a ponto de tornar o país deficitário em termos de emissão.

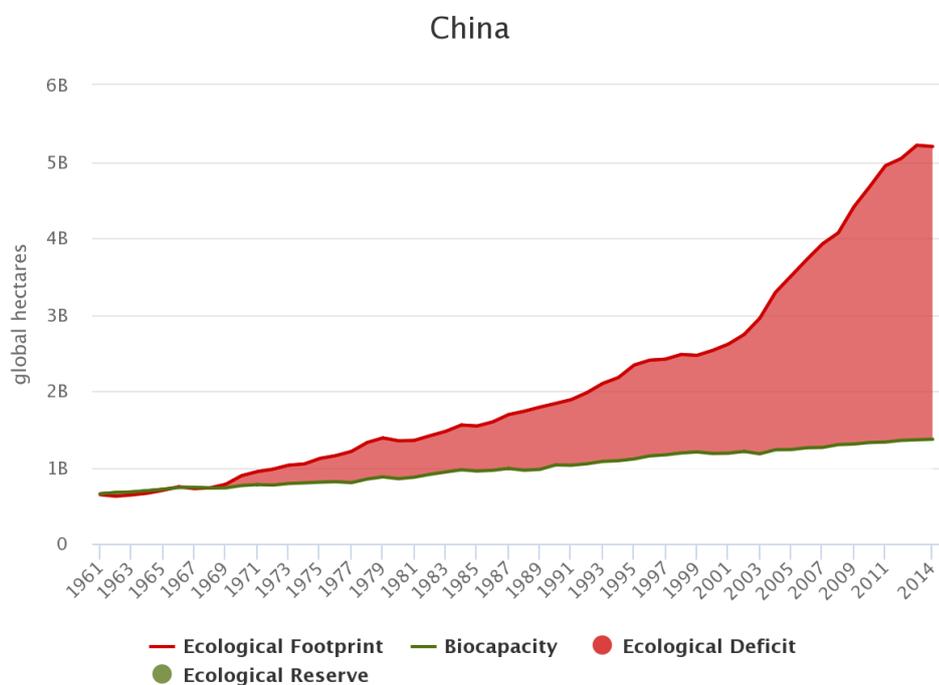
Abaixo, as figuras denotam o nível da diferença entre a biodisponibilidade dos Estados Unidos, Rússia e China. Nestes gráficos, observamos que com a exceção da Rússia, que tem um potencial ambiental muito grande, tanto os Estados Unidos quanto a China já se encontram deficitários do ponto de vista ambiental. São dois grandes colossos da economia mundial e grandes consumidores de recursos naturais. O poder gravitacional de suas economias direcionam o que os países com importância econômica subalterna produzem e com isso os rumos do comércio internacional.

Figura 27 – Série Histórica da Pegada de Carbono do Brasil



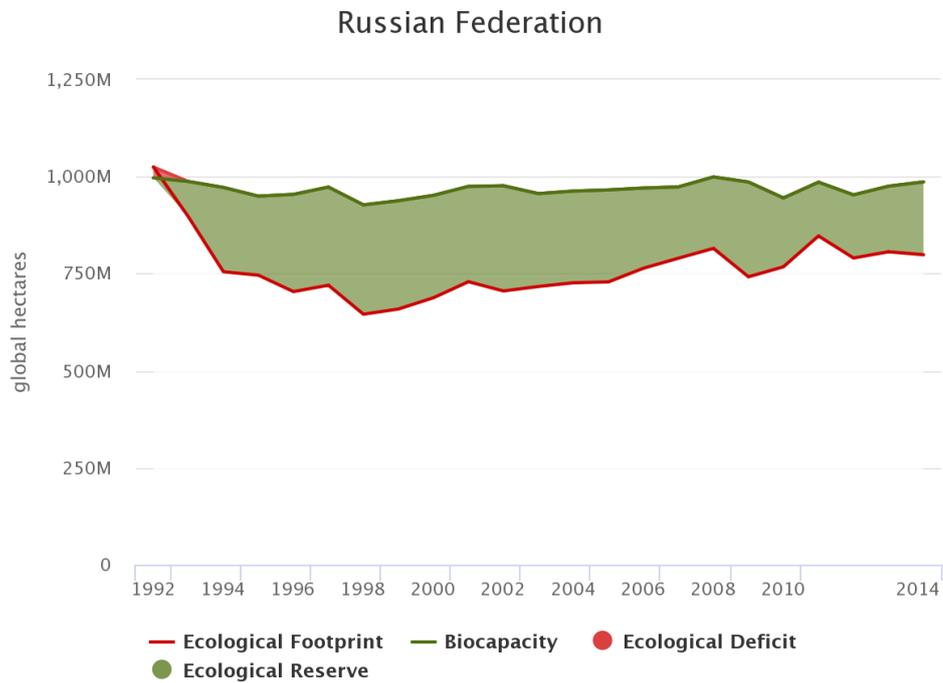
Retirado de [NETWORK \(2018\)](#).

Figura 28 – Série Histórica da Pegada de Carbono da China



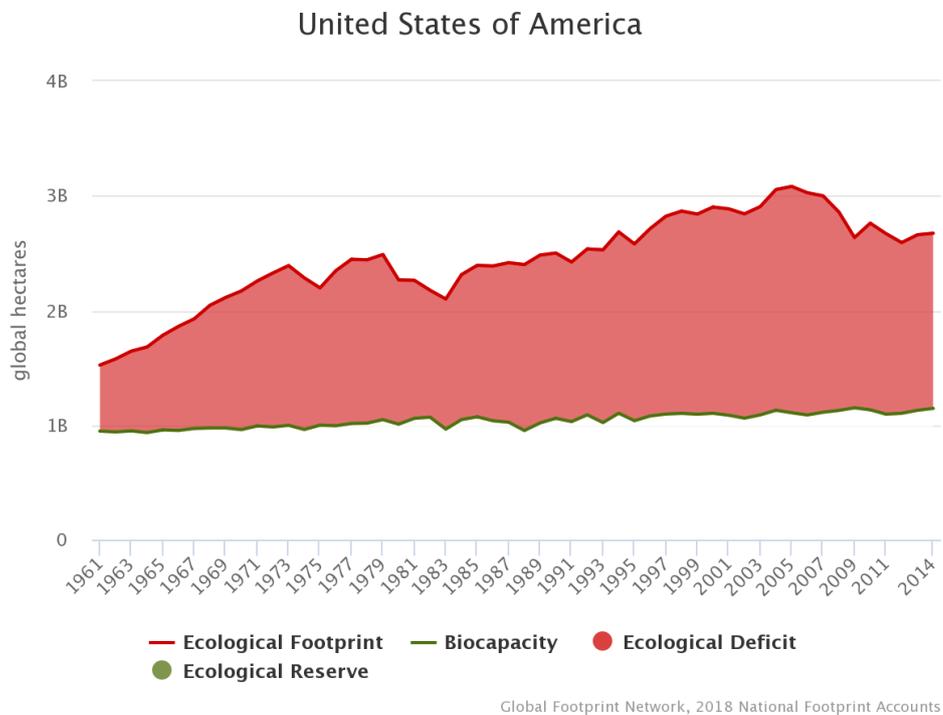
Retirado de [NETWORK \(2018\)](#).

Figura 29 – Série Histórica da Pegada de Carbono da Rússia



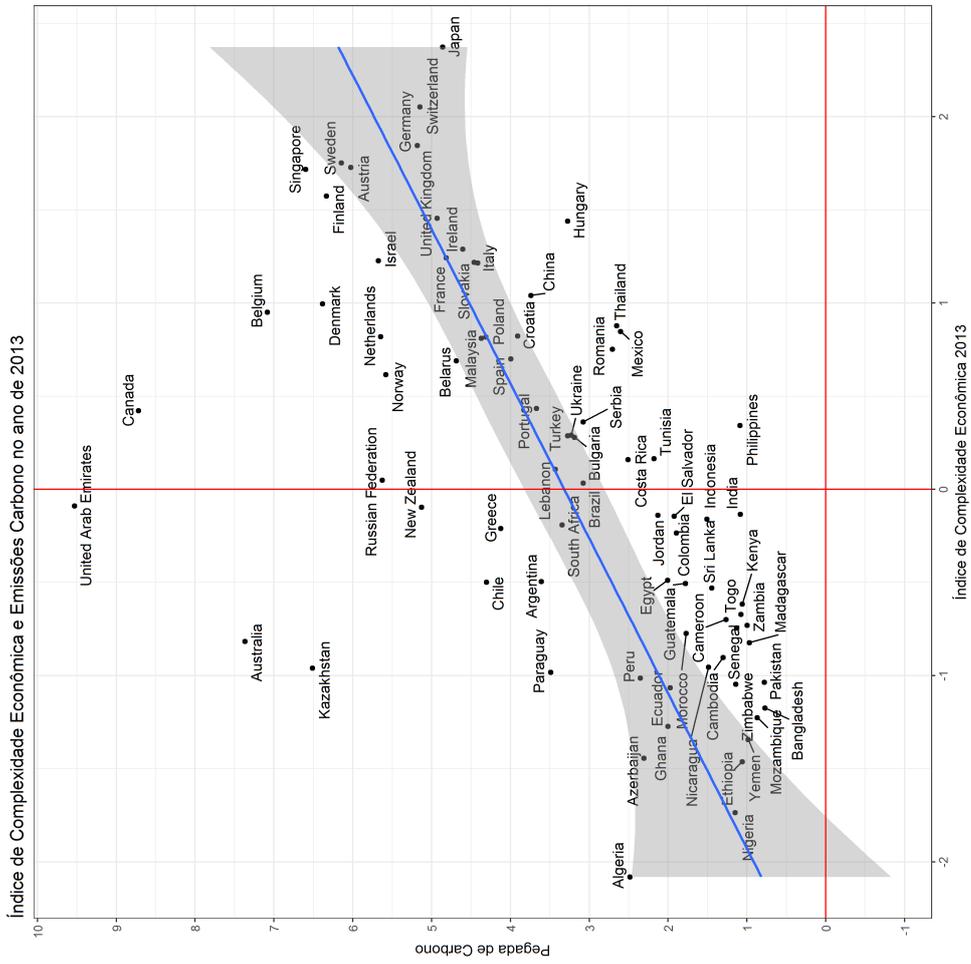
Retirado de [NETWORK \(2018\)](#).

Figura 30 – Série Histórica da Pegada de Carbono dos Estados Unidos



Retirado de [NETWORK \(2018\)](#).

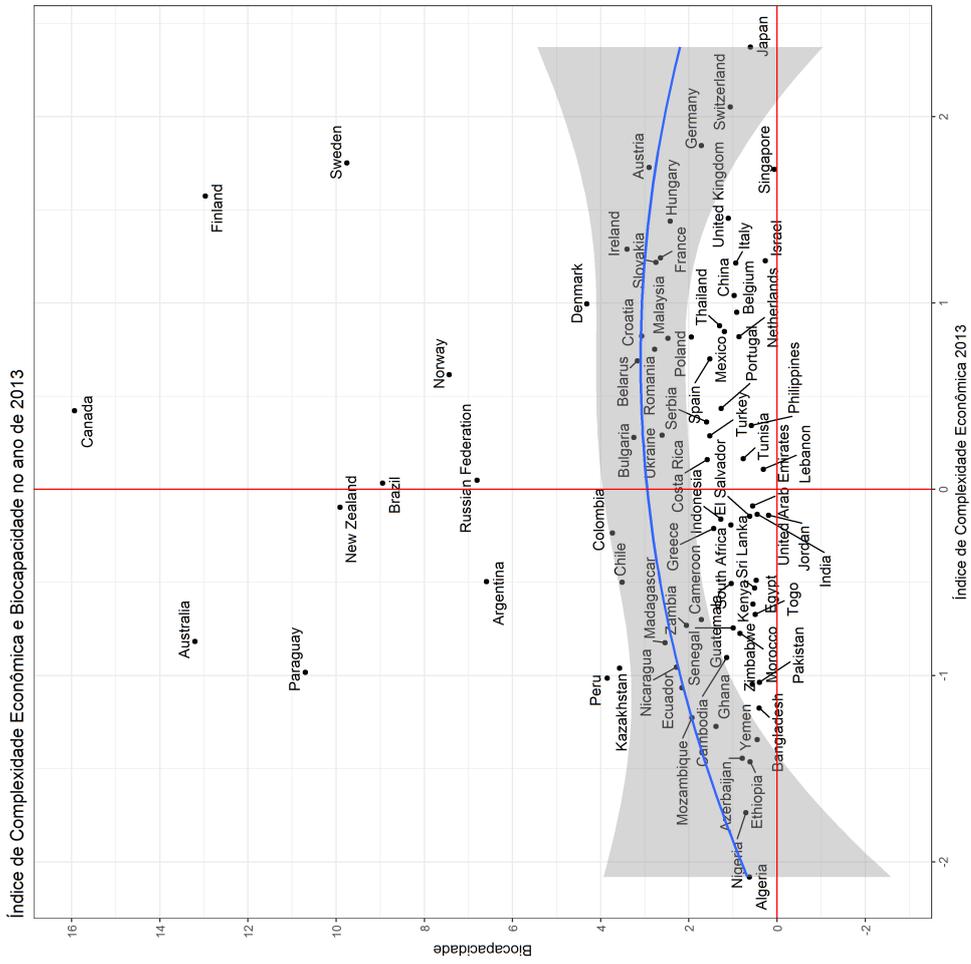
Figura 31 – Emissão de Carbono por ECI em 2013



Elaborado pelo Autor

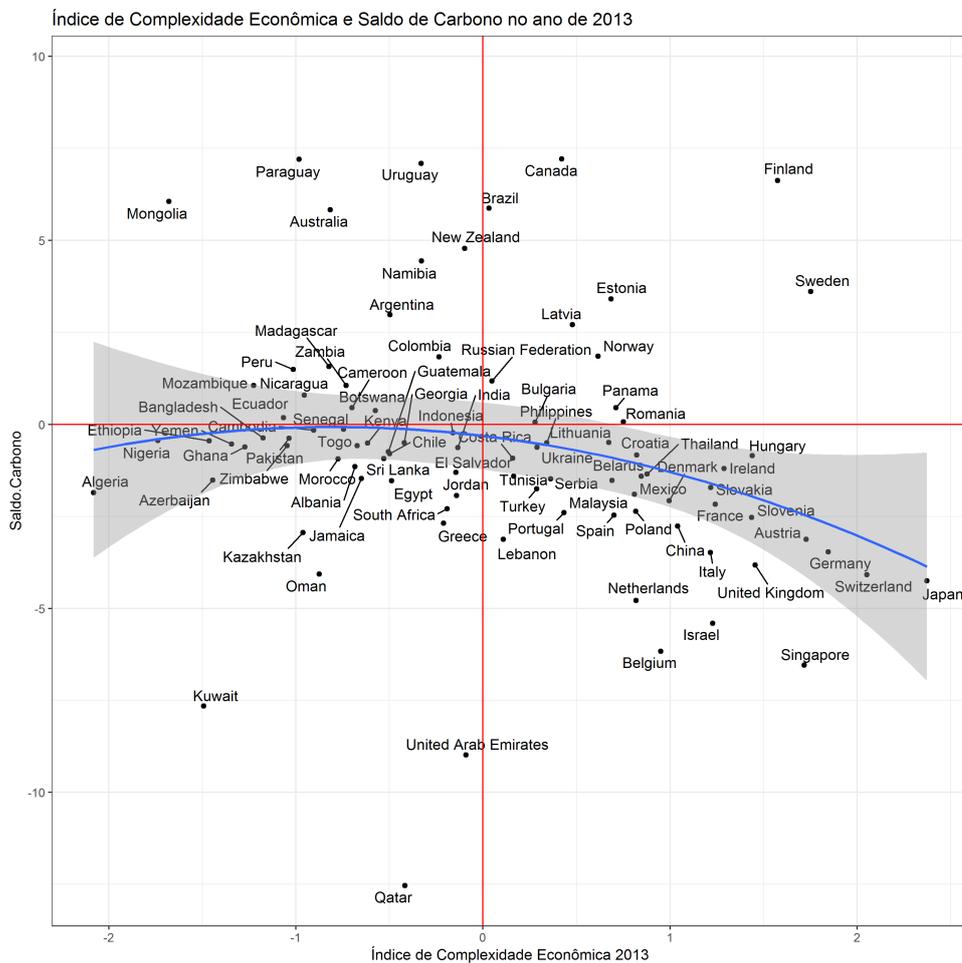
Na figura 31, vemos a relação entre a emissão de carbono pelo índice de complexidade econômica. Nesta figura, fica claro a relação entre baixa sofisticação produtiva (ECI) dado o nível de emissões. O que implica que há a interpretação possível de que países muito pobres, produzem atividade intensiva em baixo carbono (CO₂) e possivelmente tem um nível de terras produtivas/terras ocupadas em uma escala muito menor que a dos países desenvolvidos. Contudo, nessa relação temos alguns países que estão fora da curva e estes tem algumas particularidades: Emirados Árabes Unidos, país pequeno, exportador de petróleo e com alta renda *per capita*. Canadá e Austrália são países com uma demografia muito baixa, renda *per capita* elevada, sendo a Austrália uma nação rica especializada em produção de *commodities*. O Canadá tem uma configuração semelhante a da Austrália, mas lembrando que é um país abundante em florestas e com produção industrial, o que pode justificar a quantidade elevada de emissão de carbono pela queima de combustíveis fósseis.

Figura 32 – Emissão de Carbono por ECI em 2013



Na figura 32, três elementos se destacam: países com grande biocapacidade e que se destacam do mundo, incluindo Brasil, Austrália, Argentina, Finlândia, Noruega, Canada, Nova-Zelândia, Rússia e Suécia. Fica uma questão curiosa aqui, de que Noruega e Finlândia são grandes países produtores de papel de produtos pesqueiros. Existe aqui uma indicação de produção sustentável? No canto esquerdo do gráfico é possível perceber que países muito pobres se aglutinam formando um cluster de baixa complexidade e baixa biodisponibilidade, indicando que esses países caso se intensifiquem em uma economia de alto carbono imediatamente se tornarão deficitários. Ficando aqui a pergunta de que se é possível avançar industrialmente se produzir/consumir carbono. E por fim, no canto direito do gráfico detectamos um cluster de países avançados industrialmente, desenvolvidos economicamente e com baixa biodisponibilidade.

Figura 33 – Saldo de Carbono em 2013



Elaborado pelo Autor

Finalmente na figura 33, descontando as emissões da biodisponibilidade, observamos que existem países que estão de desenvolvendo em termos de sofisticação produtiva e com isso atingindo níveis avançados em complexidade econômica tendo recursos naturais disponíveis (localmente) para suportar o seu ecossistema, temos também um grande cluster

de países que estão com saldo de carbono zerado, mas no entanto se encontram presos em um nível baixo de complexidade. Esse tipo de situação é indesejada do ponto de vista ambiental, dependência de uma pauta ambiental e baixa biodisponibilidade, caso haja algum evento ambiental, os custos para a região podem ser intensos.

Há um padrão interessante neste gráfico que mostra uma relação estável até o ponto de eci igual a zero, quando o indicador avança, existe um descolamento do padrão gerando uma reta decrescente, ou seja, a medida em que se avança na complexidade econômica, o saldo de carbono se torna mais negativamente intenso. Há de fato uma relação entre altos níveis de sofisticação econômica e o nível de pegada de carbono. Resta saber se essas emissões são oriundas da transferência de produtos agrícolas que foram produzidos nos países com baixo eci e consumidos em países desenvolvidos ou se produtos altamente poluentes foram produzidos nos países e depois vendidos nos países mais pobres. Por exemplo, produção e poluição por materiais plásticos.

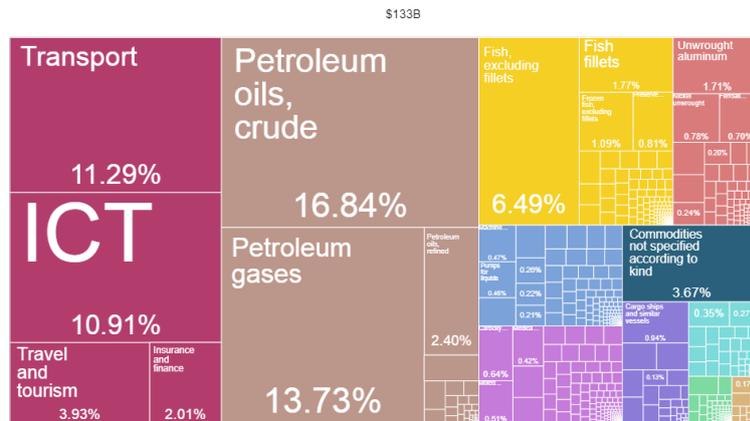
Um fato que precisa ser considerado nesta análise, mas que sua discussão foge do escopo deste trabalho, é se indústria química (altamente sofisticada) e altamente poluente entra em conta nesses indicadores ambientais. Precisaria fazer um mapeamento semelhante ao da pegada ecológica e ver se há transferência de fato de materiais poluentes a partir do comércio internacional com a poluição nas duas pontas, de países sofisticados para os países menos sofisticados.

Nas figuras abaixo, observamos um caso interessante dentro da análise proposta até agora, temos países com alto nível de biodisponibilidade, com economias bastante avançadas e sofisticadas e que tem uma pauta de exportação também atreladas à recursos naturais. Da análise que fizemos do ponto de vista teórico até o presente momento, podemos supor que: Esses países por meio de estruturas distributivas ou regulatórias conseguiram sobrepujar a armadilha dos recursos naturais, conseguiram internalizar os lucros advindos da produção atreladas à recursos naturais e desenvolveram novas tecnologias, são países produtores de tecnologia e com isso conseguem vencer a entropia do sistema, ou são países com práticas sustentáveis.

Existe uma relação estreita entre a complexidade econômica e a pegada de carbono, uma vez em que os indicadores são entrelaçados pela mesma base de dados. Também observamos pela análise dos dados que países com grande sofisticação produtiva mostram que já esgotaram a sua quota de carbono pela diferença entre a biodisponibilidade e a emissão de carbono. Quando se discute que países que são ricos poderiam comprar créditos de carbono para países pobres que ainda não se desenvolveram, não estaríamos distorcendo ainda mais a produção de complexidade no mundo?

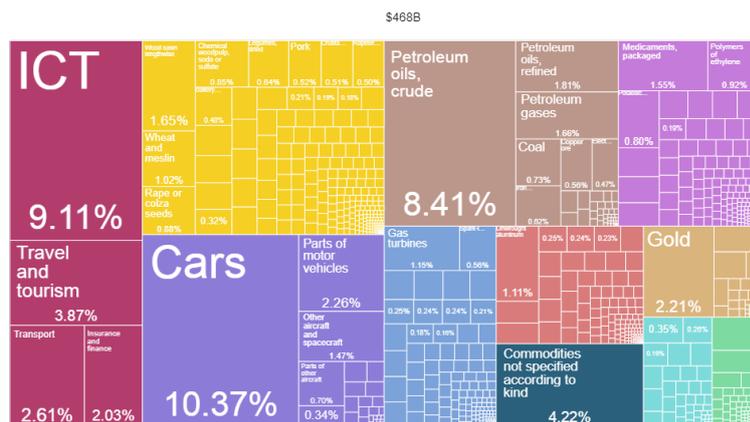
Na próxima seção, será avaliado alguns parâmetros de carbono que são complementares às análises realizadas nesta seção, o que diferencia é a fonte de dados, uma vez em que será utilizado dados do banco mundial para validar as análises que foram feitas até

Figura 34 – Exportação Noruega 2016



Elaborado pelo Autor

Figura 35 – Exportação Canadá 2016



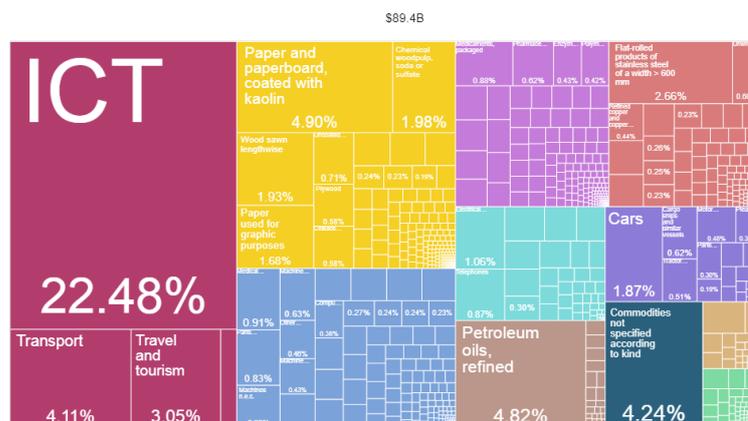
Elaborado pelo Autor

aqui.

5.2 Avaliação de Gases Poluentes e o Processo de Desenvolvimento Econômico

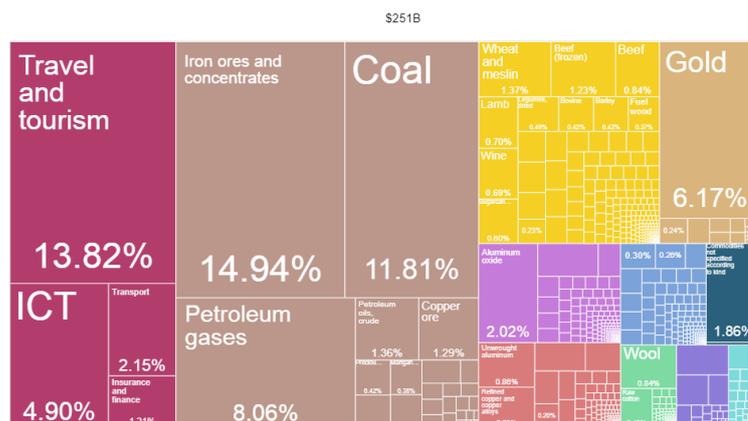
Uma das maiores preocupações nas publicações feitas pelas revistas e jornais ligados a questão da sustentabilidade, além da qualidade do ar e dos efeitos da poluição como fonte causadora de doenças respiratórias, também é levado em conta os efeitos dos cloro-flúor-carbonos ou CFCs, substâncias produzidas industrialmente, inicialmente utilizados como gases refrigeradores ou desengraxantes, onde no início da década de 90 tiveram

Figura 36 – Exportação Finlândia 2016



Elaborado pelo Autor

Figura 37 – Exportação Austrália 2016



Elaborado pelo Autor

grande denuncia por parte de agendas ambientalistas por conta dos efeitos danosos sob a camada de ozônio, os gases então reagem com a atmosfera e deixavam um grande buraco na atmosfera que serve como um escudo para o planeta de modo a proteger das radiações ultravioleta, dentre outras que podem causar sérios danos à saúde humana.

Logo após os eventos do buraco na camada de ozônio, amplamente debatido na Rio 92, foram os problemas decorrentes do aquecimento global, em especial os fenômenos do efeito estufa, que foram citados inicialmente por Paul Ehrlich no livro *The Population Bomb* (EHRlich, 1971). O efeito estufa é causado de forma semelhante a do buraco na camada de ozônio, o aumento da emissão de poluentes (neste caso gases provenientes da queima de combustíveis fósseis), feitos de forma insustentável e acima da capacidade

de regeneração do planeta (absorvidos pelos oceanos, pela fotossíntese das plantas, por sequestro de carbono, etc.), causam um efeito de aprisionamento do calor, como descrito a seguir:

Segundo Marques (2015), “o efeito estufa ocorre naturalmente na atmosfera do planeta e tem como função a manutenção das temperaturas compatíveis com as espécies que o habitam”. Ainda de acordo com o autor, caso não houvesse o fenômeno do efeito estufa, o planeta seria gélido e deserto e não haveria o processo de fotossíntese, uma vez que necessita de CO₂ para ser realizado.

O processo industrial em larga escala terminou por aumentar a quantidade de poluentes dispersos na atmosfera, que com a incidência de raios solares, que naturalmente tem uma incidência de 342 Watts por metro quadrado equivalentes a 82 calorias por segundo e por metro quadrado (MARQUES, 2015). Dentro deste contexto, 30% da energia incidida sobre a atmosfera é refletida de volta para o sistema solar (equivalente a 107 W/m²) e 70% é absorvida pelo planeta, sob a forma de ondas curtas (infravermelho), equivalentes a 235 W/m². Quanto maior a concentração de gases do efeito estufa, maior é o efeito de calor no planeta Terra.

Nesta seção do trabalho analisaremos dois indicadores ambientais de emissões de poluentes de efeito estufa e poluentes: o **EN.ATM.CO2E.PC**, que trata das emissões de gás carbônico, coletado do banco mundial, por meio da API via software R com a library `wbstats` e com o indicador de HFC's, PFC's e SF₆s que são gases poluentes que é o indicador **EN.ATM.GHGO.KT.CE**, também do banco mundial.

Como procedimento metodológico, serão primeiramente construídos gráficos para se avaliar a dispersão temporal e espacial das emissões de poluentes, de modo a se observar a evolução econômica e industrial de cada país. Posteriormente serão avaliada as séries históricas para se medir a evolução da produção de poluentes no agregado mundial.

Na análise individual serão avaliados quem são os países com maior participação na produção de poluentes, um teste de diagrama de caixa para avaliar se existem diferenças entre as décadas e por fim, analisaremos a relação da emissão dos poluentes com algumas variáveis macroeconômicas para tentar encontrar algum indício de correlação entre a industrialização da segunda metade do século XX e a emissão de poluentes.

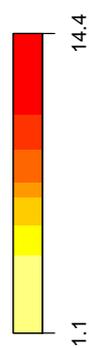
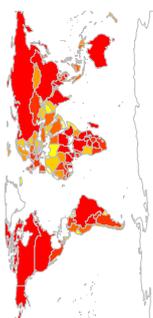
5.2.1 Análise Espacial da Emissão de Poluentes

A figura 38 é a primeira da série amostrada pelo indicador do banco mundial que mostra a quantidade de emissões de gases causadores de efeito estufa, lembrando o contexto mundial de produção industrial pautada na indústria pesada, dois anos após a publicação tanto de Primavera Silenciosa, quanto do livro *The Population Bomb*. O mundo também estava dividido na divisão clássica de primeiro, segundo e terceiro mundo. Onde

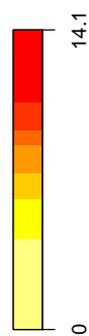
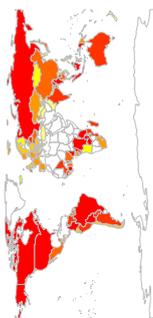
claramente, se observa que: A produção e emissão de gases poluentes estava mais intensa nas Américas, Sul da África, União Soviética e parte da Ásia. O gráfico se encontra em escala logaritmica para que a visualização se torne facilitada ao se distribuir as classes de dados para a ferramenta gráfica.

Figura 38 – Emissão de Gases Poluentes do Efeito Estufa em 1970 e 2010

Emissão Gases 2010

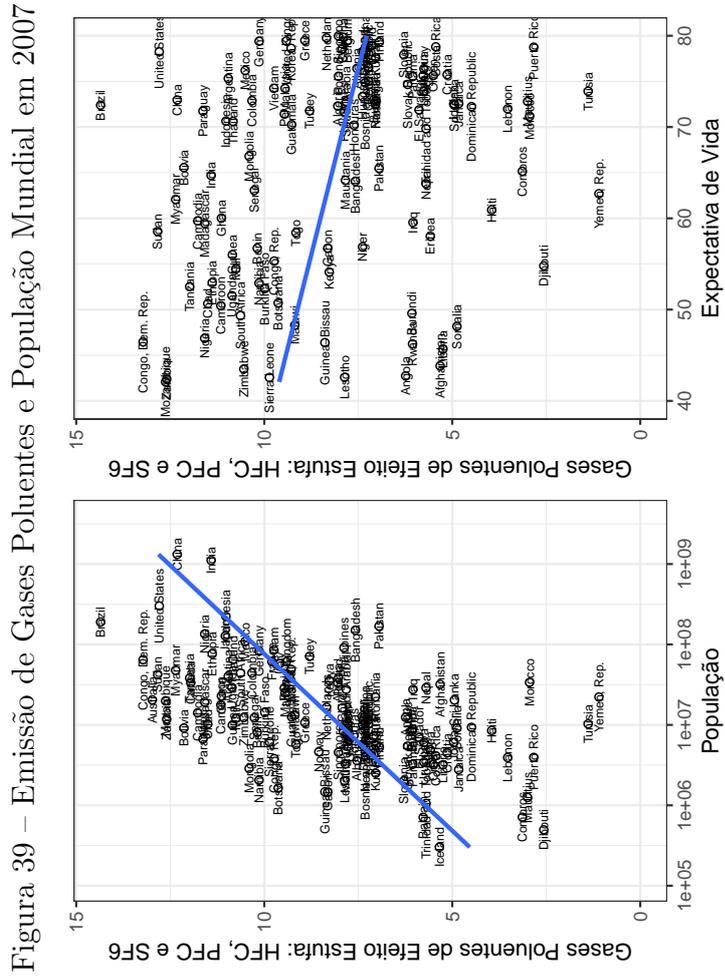


Emissão Gases 1970



Quando observamos a figura 38, para o ano de 2010, observamos que a tendência das emissões se mantém ao menos no ranqueamento dos países mais poluentes mais evidentes que Brasil, Estados Unidos, e no continente americano como um todo a produção de poluentes é mais acentuada. Verifica-se também nesse mapa uma maior participação do continente africano na produção de poluentes. Outro fator a se considerar, é a Europa também produzir maior quantidade de poluentes. O ano de 2010 é um marco bastante interessante por ser aproximadamente 20 anos depois da Rio-92, muito próximo do outro congresso que foi o Rio+20.

Ainda em relação à figura 38, no ano de 2010, fica patente o crescimento e a intensificação da participação da cor vermelha no gráfico, indicando que os países estão convergindo para a produção de poluentes, lembrando que esse indicador é apenas para mostrar o nível quantílico em escala logarítmica e mostra a diferença de contraste entre os países do mundo. A participação dos BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul), também fica destacada no gráfico. Uma possibilidade, é o indicador acompanhar os indicadores de aumento de expectativa de vida e de população mundial (assumindo maior utilização de frotas de carro por exemplo).



A relação entre a emissão de poluentes por países e o tamanho da população fica patente na figura 39. Ao se correlacionar as variáveis em um diagrama de dispersão de pontos e traçar uma reta de regressão pelos pontos, observa-se que existe uma correlação positiva entre as variáveis, o que pode indicar que países que tem uma população muito grande, por consequência, tendem a emitir uma maior quantidade de poluição, mas ainda não se pode atribuir uma relação de causalidade entre as variáveis. Os dados deste gráfico são relativos ao ano de 2007. O valor da correlação entre as variáveis é de 0.28. O que indica uma leve correlação positiva entre as variáveis.

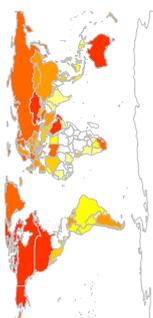
5.2.2 Análise Polulacional

As figuras 39 tanto para o gráfico de população, quanto para o gráfico de expectativa de vida, se mostram interessantes ao mostrar a dimensão da população mundial em termos de sua importância geopolítica (tamanho da população) e o nível de emissões de gases poluentes. Em especial, percebe-se que Estados- Unidos, Indonésia, Brasil e China são países com representação dentro do escopo geopolítico, além de serem países com dimensões continentais. Em especial na A figura 39, apesar de todos serem países altamente poluidores, que o modelo americano e brasileiro se diferencia e muito do modelo poluidor oriental, ambos estão separados pela reta de regressão (ou pela curva da média).

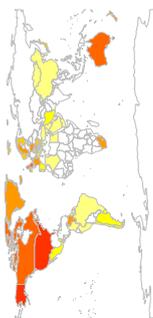
Outro aspecto importante aqui, de certa forma, curioso. É a constatação de que pode existir uma certa tendência da Curva de Kuznets Ambiental (CKA), uma vez em que fica claro na figura 39, para a expectativa de vida, o padrão entre países pobres com altas taxas de emissões de poluentes e países mais desenvolvidos (diga-se de passagem os países europeus) com uma taxa de poluição menor do que a dos países mais pobres. O fato mais interessante aqui, é que novamente as maiores nações do mundo, também são as maiores poluidoras. O que é preocupante nesse gráfico é o fato do Brasil ser um país, que como visto na seção anterior, ainda se mostra de base fortemente agrícola (em termos da participação da pauta de exportações) e com um nível de poluição bastante severa. O interessante desse gráfico é a contradição entre a alta expectativa de vida (o que é uma medida de bem estar social, parâmetro positivo no IDH) e um nível de poluição elevado. A taxa de correlação entre o aumento da expectativa de vida e o nível de poluição é de -0.19, indicando que países com uma expectativa de vida maior, aparentemente tem um nível de emissão particulada menor.

Figura 40 – Emissão de CO2 em 1960 e 2010

Emissão de CO2 em 2010



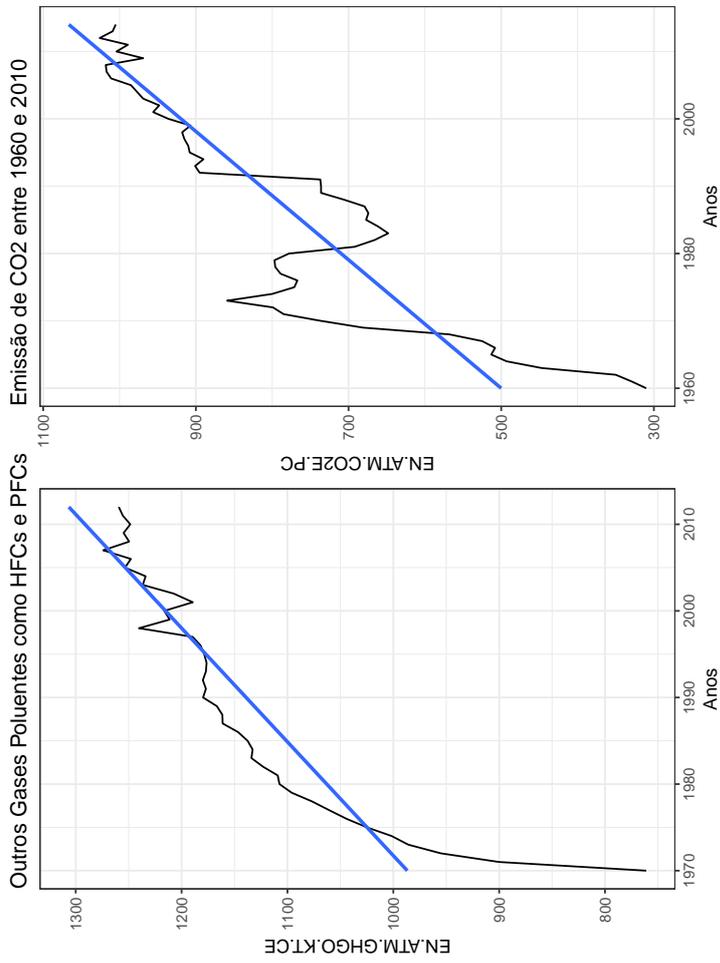
Emissão de CO2 em 1960



A figura 40 trata da evolução entre 1960 e 2010 no tocante das emissões de Gás Carbônico em toneladas métricas *per capita*, ou seja, nível de emissão feita pela população de um país. Neste gráfico, fica evidente a participação dos Estados Unidos e Austrália com uma emissão mais severa *per capita*, seguido de uma emissão moderada para o caso do Brasil, Índia e China. Em 2010, fica patente a participação do continente americano como poluidor em termos de CO₂, seguido de uma participação maior e mais densa na Ásia, Europa e grande parte do continente africano, seguido do Oriente Médio. A atividade industrial humana, aparentemente está atrelada a maior emissão de gases poluentes e maior injeção de gás carbônico na atmosfera, seja pela queima de combustíveis fósseis para gerar energia para as indústrias e para as frotas automotivas, seja por meio da queimada de florestas nas agriculturas.

A concentração de material particulado, em especial, o gás carbônico, não somente pode ser um dos agentes contribuidores do fenômeno do aquecimento global, mas também é danoso para a saúde humana por conta da poluição das grandes cidades. Com o adensamento demográfico, uma maior poluição agrava os problemas de saúde pública o que com as leis de oferta e demanda, pressionam os custos de saúde, que encarecem ainda mais o custo de vida urbano nas grandes metrópoles.

Figura 41 – Emissão de CO2 per capita em 1960 e 2010

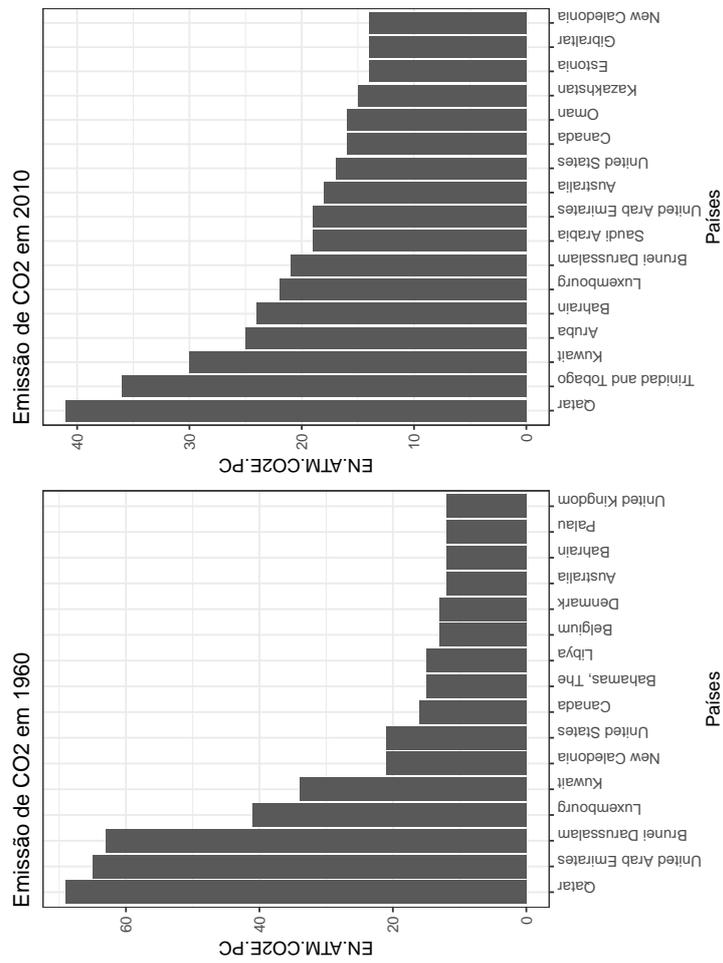


5.2.3 Evolução Temporal da Emissão de Poluição

A figura 41 mostra a série histórica mundial e o crescimento das emissões tanto de CO₂ quanto de outros gases causadores do efeito estufa. Fica claro que há de fato, juntamente a atividade industrial e ao crescimento populacional, um aumento do nível de emissões e de poluição no planeta como um todo. Se de fato o aumento da temperatura do planeta está correlacionado com o aumento das emissões de poluentes, temos aqui uma séria evidência desses fatos. Um dado preocupante aqui é o fato de em cinquenta anos para os dois indicadores. Então já começamos a desenhar um cenário para o futuro: aumento da população, aumento da expectativa de vida (que não necessariamente é algo ruim) como fatores de pressão demográfica, somados ao aumento da emissão de poluentes pode ser um sinal de estressamento dos recursos do planeta.

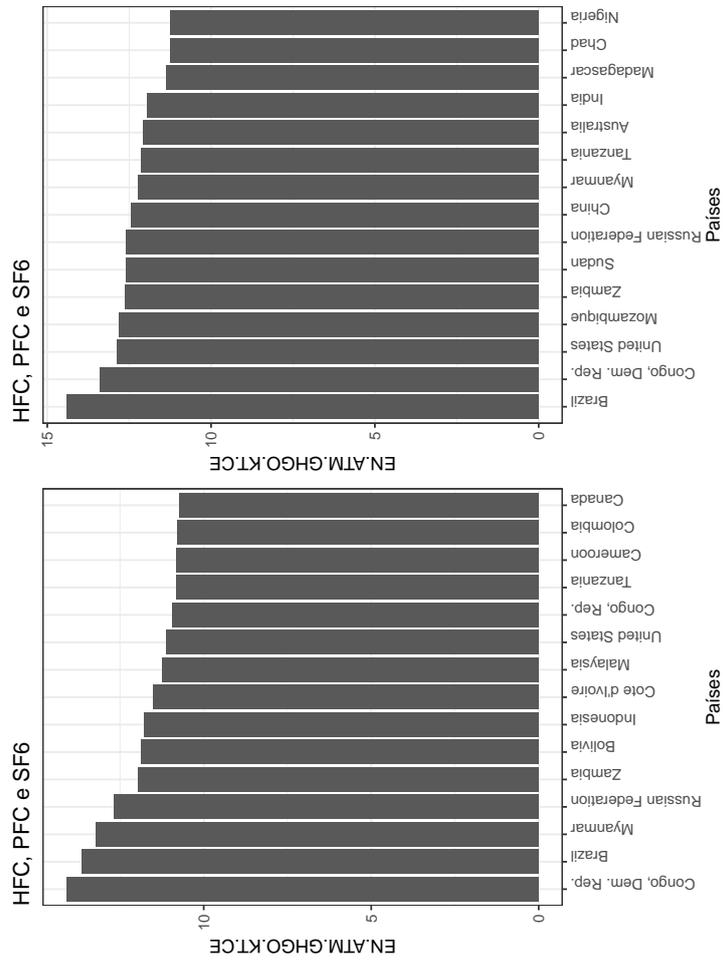
Também na figura 41, fica claro a questão da tendência de aumento das emissões de poluentes, o que faz com que se redobre a atenção para o ponto de não retorno do planeta (**tipping point**), ou seja, o ponto de estressamento em que o sistema ambiental pode alavancar em um colapso.

Figura 42 – Emissão de CO2 per capita em 1960 e 2010 por país



As figuras 42 e figuras 43 mostram os maiores emissores de poluentes. O primeiro gráfico mostra alguns países produtores de petróleo do Oriente Médio, algumas ilhas e os Estados Unidos e Austrália como maiores emissores de gás carbônico. Essa distância entre os países se torna menor, com uma maior distribuição da poluição nesse ranking dos 15 maiores poluidores entre 1960 e 2010. No gráfico relativo à outros poluentes causadores do efeito estufa, vemos que um dos maiores poluidores é o Brasil, que fica em segundo e depois em primeiro lugar. É um gráfico que mistura países muito pobres, em especial oriundos da África, com países de alta demografia, destacando, além do Brasil, Estados Unidos, China e Índia.

Figura 43 – Emissão de Gases Poluentes entre 1960 e 2010 por país



Na próxima seção, iremos investigar o comportamento da extração de recursos naturais e florestais, e ver de que forma eles se relacionam com as informações apresentadas nesta seção de poluentes do ar e causadores do efeito estufa.

5.3 Indicadores de Qualidade Ambiental

Foi usado para ilustração do que foi discutido até o momento os indicadores de complexidade econômica e foi visto as informações referentes ao indicador de pegada ecológica/pegadas de carbono e a relação entre os dois indicadores. Da mesma forma em que a produção de carbono pode estar atrelada a uma maior produção industrial, e por consequência, temos observado pressões sobre a biodisponibilidade, isto é, das terras produtivas esperando a ser ocupadas, países que se encontram em situação em que a produção de carbono já é maior que o disponível para ser absorvido pela natureza.

Uma outra forma de se observar essas modificações, mas olhando a partir de indicadores qualitativos para compreender a situação em que se encontra o meio ambiente, nesta seção do trabalho serão observados os parâmetros indicador EPI² (Environmental Performance Index) elaborado pela universidade de Yale.

O Objetivo do EPI é medir duas dimensões ambientais:

- Vitalidade do Ecossistema (Ecosystem Vitality): que é tensionado (possui uma relação negativa com a industrialização);
- Saúde Ambiental (Environmental Health): Aumenta de acordo com o crescimento e com o desenvolvimento econômico (possui uma correlação positiva).

Na figura abaixo, vemos que o EPI é formado por dois grandes indicadores, que é o Vitalidade do Ecossistema e o indicador de saúde ambiental. O indicador de saúde ambiental é composto por indicadores de qualidade de vida da população, constituído por:

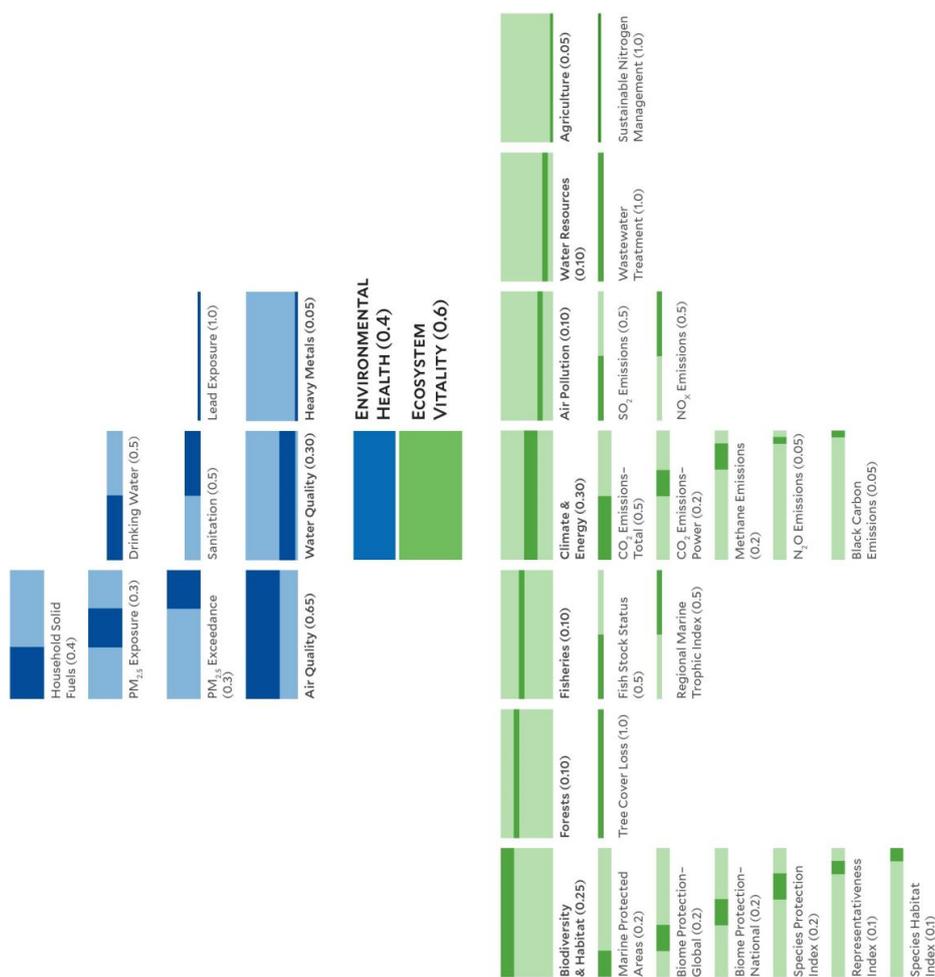
- Uso doméstico de combustíveis fósseis;
- Exposição à material particulado (poluição do ar);
- Acesso a água potável;
- Exposição excessiva à poluição do ar;
- Nível de acesso à saneamento básico;
- Exposição a chumbo;
- Qualidade do ar;
- Qualidade da água;
- Exposição e contaminação por metais pesados.

² Ver <<https://epi.envirocenter.yale.edu/>>

O indicador de Vitalidade do ecossistema é composto por sete grandes grupos:

- Biodiversidade e habitat
- Florestas
- Recursos Pesqueiros
- Clima e Energia
- Poluição do Ar
- Recursos Hídricos
- Agricultura

Figura 44 – Componentes do Indicador EPI



Fonte: Index (2014)

Percebe-se que o indicador EPI tem uma abordagem um pouco diferente do indicador de pegada ecológica, por não considerar a ótica do consumo (traduzido em função do comércio internacional), mas das emissões e dos *outputs* dados pela atividade humana.

O indicador de biodiversidade e habitat, tem uma relação muito mais ligada à questão institucional, já que todos os componentes do indicador são oriundos de regulação ou de direitos de propriedades bem definidos. Nações cujo desenvolvimento institucional é melhor regulado do que nações com essas regras menos claras, terão portanto, uma pontuação no indicador muito menor.

Na tabela que mostra com detalhamento o nome de cada indicador (boa parte deles tem como fonte primária de base de dados, o banco mundial). Que as informações tratam da forma em que cada sociedade regula tanto as dimensões sociais, ambientais e de regulação, o que permite uma maior qualidade de vida. Uma hipótese que pode ser feita de forma *ex-ante* à análise dos dados é de que uma sociedade muito pobre e com indicadores sociais e ambientais muito baixos pode incorrer em um ciclo de baixa qualidade das exportações que gera baixa distribuição de renda (que pode ser medida em termos de IDH ou de índices de gini ou palma), a baixa renda então gera uma má qualidade de vida que se perpetua de forma cíclica.

Uma sociedade que já tem bons indicadores sociais e ambientais e tendo uma maior distribuição de renda, portanto, consegue investir em infraestrutura e recursos tornando-se cada vez melhor (em um ciclo virtuoso) que contrapõem um ciclo vicioso dos países pobres.

Figura 45 – Componentes do Indicador EPI

Objective	Issue Category	Indicator	Indicator - Long name	
Environmental Health	Health Impacts	Child Mortality	Probability of dying between a child's first and fifth birthdays (between age 1 and 5)	
	Air Quality	Household Air Quality	Percentage of the population using solid fuels as primary cooking fuel.	
		Air Pollution - Average Exposure to PM2.5	Population weighted exposure to PM2.5 (three-year average)	
	Water and Sanitation	Air Pollution - PM2.5 Exceedance	Proportion of the population whose exposure is above WHO thresholds (10, 15, 25, 35 micrograms/m3)	
		Access to Drinking Water	Percentage of population with access to improved drinking water source	
		Access to Sanitation	Percentage of population with access to improved sanitation	
Ecosystem Vitality	Water Resources	Wastewater Treatment	Wastewater treatment level weighted by connection to wastewater treatment rate.	
	Agriculture		Subsidies are expressed in price of their product in the domestic market (plus any direct output subsidy) less its price at the border, expressed as a percentage of the border price (adjusting for transport costs and quality differences).	
		Agricultural Subsidies	Scoring of whether countries have signed on to the Stockholm Convention and allow, restrict, or ban the "dirty dozen" POPs that are common agricultural pesticides.	
		Pesticide Regulation	Forest loss - Forest gain in > 50% tree cover, as compared to 2000 levels.	
	Forests	Change in Forest Cover	Catch in metric tons from trawling and dredging gears (mostly bottom trawls) divided by EEZ area	
	Fisheries	Coastal Shelf Fishing Pressure	Percentage of fishing stocks overexploited and collapsed from EEZ	
		Fish Stocks	Percentage of terrestrial biome area that is protected, weighted by domestic biome area	
	Biodiversity and Habitat	Terrestrial Protected Areas (National Biome Weights)	Percentage of terrestrial biome area that is protected, weighted by global biome area.	
		Terrestrial Protected Areas (Global Biome Weights)	Marine protected areas as a percent of EEZ	
		Marine Protected Areas	Percent of critical habitat sites as designed by the Alliance for Zero Extinction protected	
	Climate and Energy	Critical Habitat Protection	Change in CO2 emissions per unit GDP from 1990 to 2010	
		Trend in Carbon Intensity	Change in Trend of CO2 emissions per unit GDP from 1990 to 2000; 2000 to 2010	
		Change of Trend in Carbon Intensity	Change in CO2 emissions from electricity and heat production	
		Trend in CO2 Emissions per KWH	Percent of population with access to electricity.	
	*NOT USED FOR CALCULATION OF EPI SCORE			

Fonte: Index (2014)

Figura 46 – Mapa do Indicador EPI



Fonte: Index (2014)

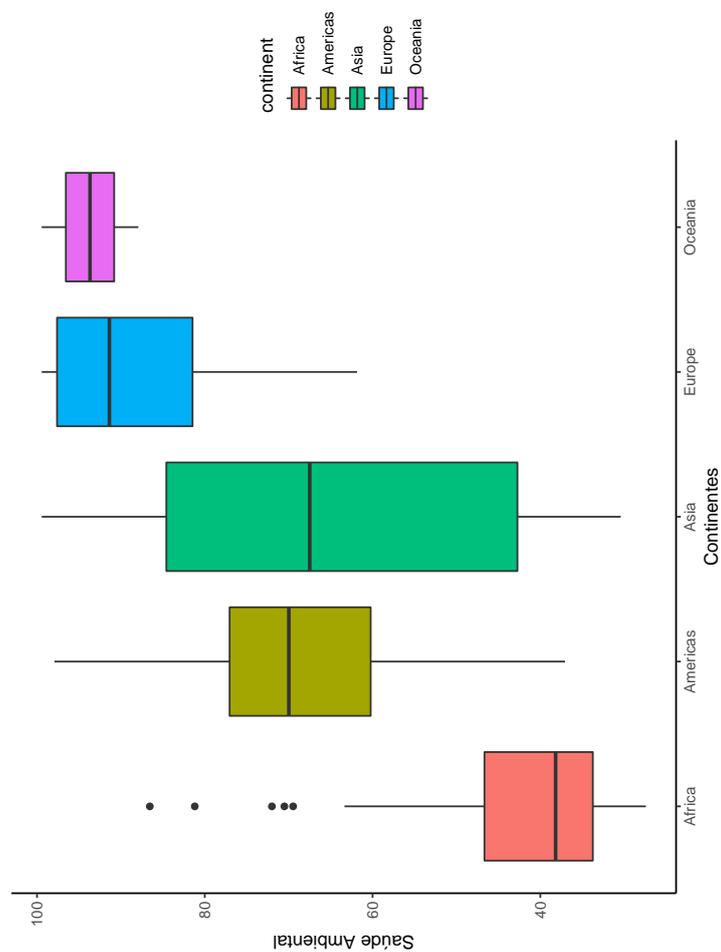
A figura 47 mostra uma relação quadrática entre o indicador de saúde ambiental e o indicador de vitalidade ambiental, a primeira observação que se tem quando se analisa os indicadores, é a formação de cluster entre grupos de países em pelo menos três grupos que envolvem África e países do Sul da Ásia, depois, países do Oriente Médio e parte da América do Sul e um terceiro grupo composto de países mais desenvolvidos, em especial países da América do Norte e Europa.

Dentro da análise dos dois indicadores, como já direcionado, países que estão em uma escala de pobreza possivelmente estão presos em uma armadilha de pobreza e ficam em uma relação conspícua entre baixa produtividade e baixas condições de vida. A exportação de recursos naturais tende a não resolver esse problema, dado ao fato já estudado dos rendimentos marginais decrescentes, estando presos assim a uma armadilha de pobreza.

A figura 48 é uma aplicação de técnica computacional de clusterização por um método chamado k-means que traça uma distância euclidiana a partir de n centros de massa (determinado pelo pesquisador) e constroi os grupos. Neste caso foram estimados três grupos a partir de uma semente fixada a partir de um gerador de números aleatórios. Os três grupos gerados se assemelham ao gráfico anterior onde a reta perpassava por três grupos próximos de países. Aqui os grupos ficam claros, demonstrando que existem (estatisticamente) três grupos de países com características semelhantes dentro dos indicadores de qualidade ambiental. O Brasil exatamente dentro do centro de massa verde, obtendo 72 pontos no indicador de saúde ambiental e 40 no de vitalidade do ecossistema.

A diferença entre os indicadores pelos continentes pode ser observado na figura 49. O diagrama de caixa (boxplot), tem como os limites superiores e inferiores de cada caixa o terceiro e primeiro quartil e na linha o valor da mediana de cada continente. O gráfico tem o mesmo poder de teste que uma análise multivariada da variância para o cálculo de teste de médias (ANOVA/MANOVA). Na figura, podemos observar que o grupo que corresponde ao continente Africano tem um valor mediano muito mais baixo que os demais continentes em relação indicador de saúde ambiental. Em contraste, Oceania (principalmente Austrália) e o continente Europeu, tem os maiores valores medianos do indicador.

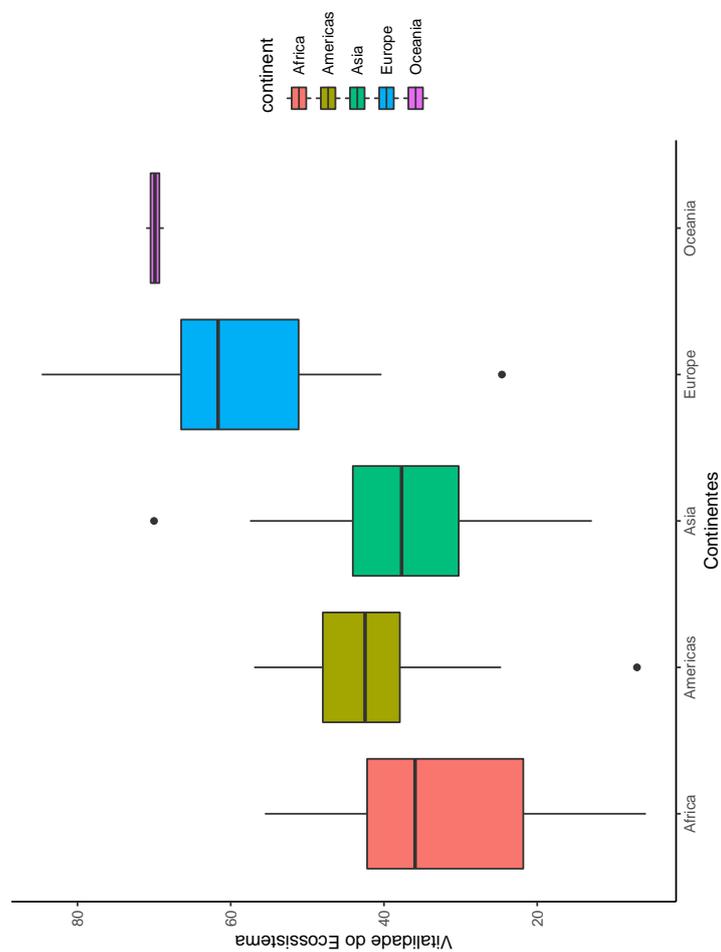
Figura 49 – Diagrama de Caixa do Indicador de Saúde Ambiental em 2014



Elaborado pelo autor e com dados de [Index \(2014\)](#)

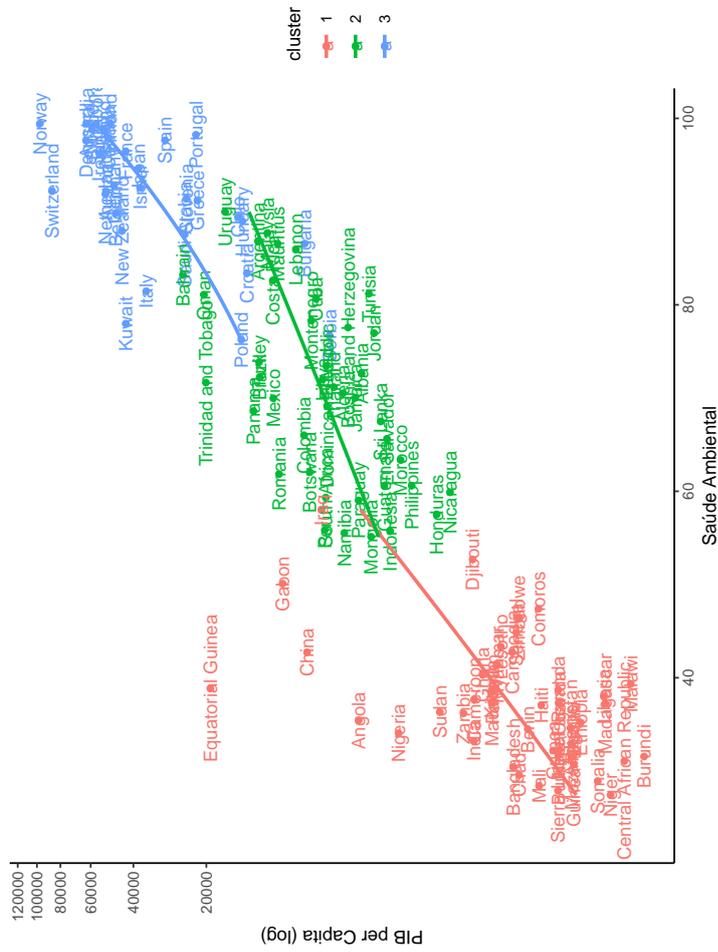
A figura 50, mostra um quadro onde os indicadores de vitalidade do meio ambiente são mais deteriorados do que o indicador de saúde ambiental, indicando que os parâmetros de população e os parâmetros de meio ambiente não andam na mesma escala. Não há distância significativa entre as medianas dos continentes África, Ásia e Américas (os três são ruins) do que os continentes Oceania e Europa.

Figura 50 – Diagrama de Caixa do Indicador de Saúde Ambiental em 2014



Elaborado pelo autor e com dados de [Index \(2014\)](#)

Figura 51 – Indicador de Vitalidade e Saúde Ambiental em 2014

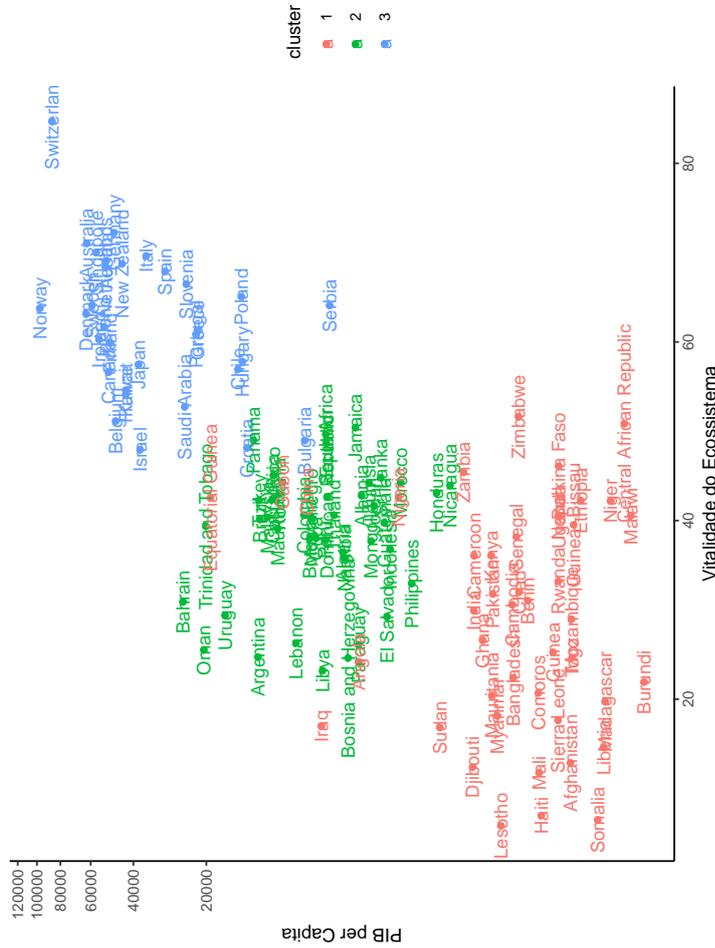


Elaborado pelo autor e com dados de Index (2014)

Na figura 51, o gráfico mostra uma relação linear entre o logaritmo da renda per capita com o indicador de saúde ambiental, novamente preservando três grandes clusters e indicando que a medida em que se aumenta a renda per capita de uma população, existe uma correlação positiva entre renda elevada e o indicador de saúde ambiental. Tal gráfico, aparentemente é uma validação da curva de Kuznets ambiental que correlaciona renda elevada e diminuição de externalidades oriundas da poluição nos países desenvolvidos. Da mesma maneira, novamente países africanos se encontram presos dentro de uma grande armadilha que engloba as dimensões econômicas/produtivas em que pobreza e baixa qualidade ambiental estão atreladas, novamente indicando o caminho proposto por Reinert de uma armadilha ambiental concatenada com a armadilha da pobreza dentro dos retornos decrescentes. Inexoravelmente, países industriais tem maior condições de fortalecer as instituições para a promoção de uma maior qualidade ambiental, como está destacado a presença da Noruega liderando os países deste gráfico.

Não obstante, quando usamos as cores da análise de *clusters*, fica patente que existem três substratos dentro dos indicadores de saúde ambiental e renda *per capita*, indicando que um alto nível de renda em uma sociedade está atrelada à melhores indicadores de qualidade de vida, para uma análise mais aprofundada nessa dimensão, seria altamente recomendado trabalhar com o indicador IDH para investigar essa relação mais a fundo.

Figura 52 – Indicador de Vitalidade e Saúde Ambiental em 2014

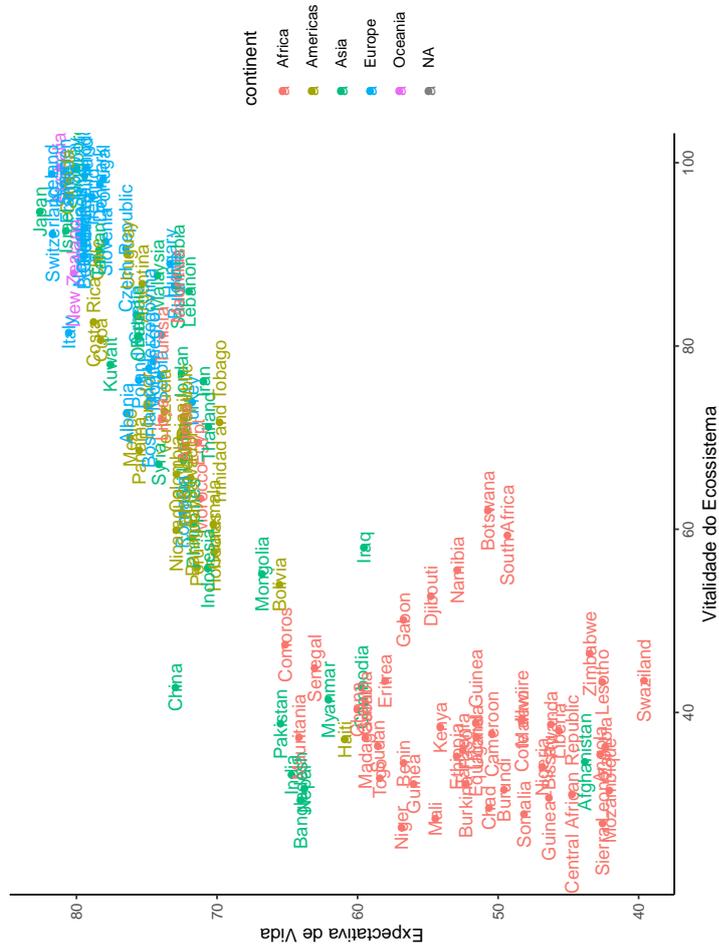


Elaborado pelo autor e com dados de Index (2014)

O indicador de vitalidade do ecossistema, mostrado pela 52 também relaciona a renda *per capita* com a manutenção dos ecossistemas, além de evidenciar o que foi descrito no diagrama de caixa, também relaciona com a questão da renda. Portanto, é de se esperar que países que tem uma relação entre o PIB baixo e intenso na produção de *commodities* também estão com os ecossistemas fragilizados, validando a hipótese de Erik Reinert.

Uma maneira de se investigar a relação entre a qualidade de vida e os indicadores de vitalidade e saúde ambiental pode ser usando expectativa de vida, que é um dos componentes do índice de desenvolvimento humano (IDH). Pode ser observado nas figuras [54](#) e [53](#).

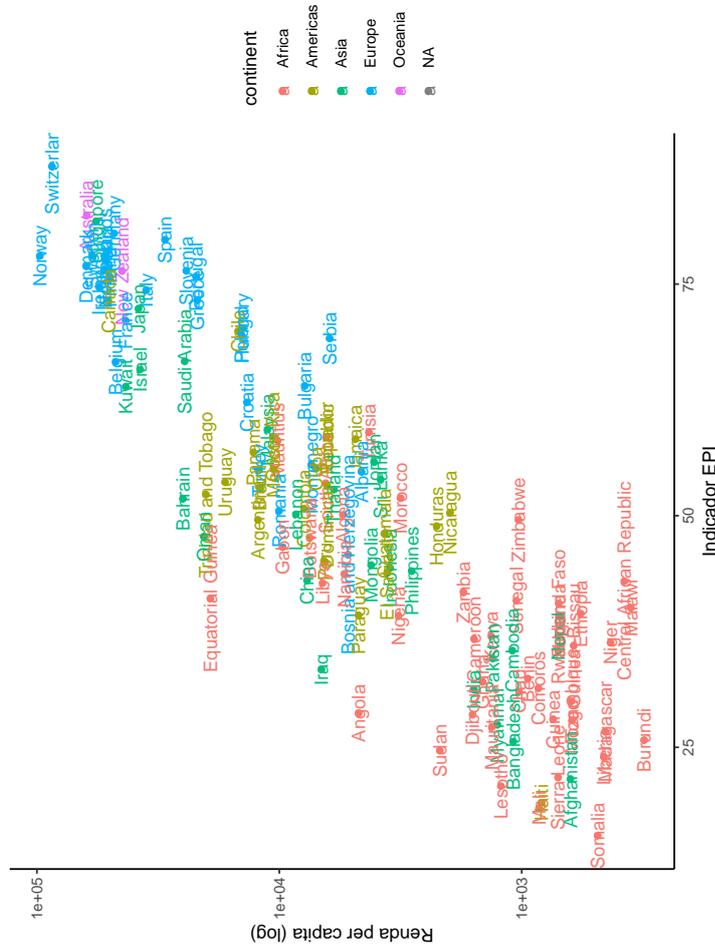
Figura 54 – Indicador de Vitalidade e Saúde Ambiental em 2014



Elaborado pelo autor e com dados de Index (2014)

Como o indicador EPI se dá pela composição dos indicadores de vitalidade e saúde do ecossistema, a relação entre a renda *per capita* e o escore do EPI é coerente com o que já foi mostrado pela figura 55.

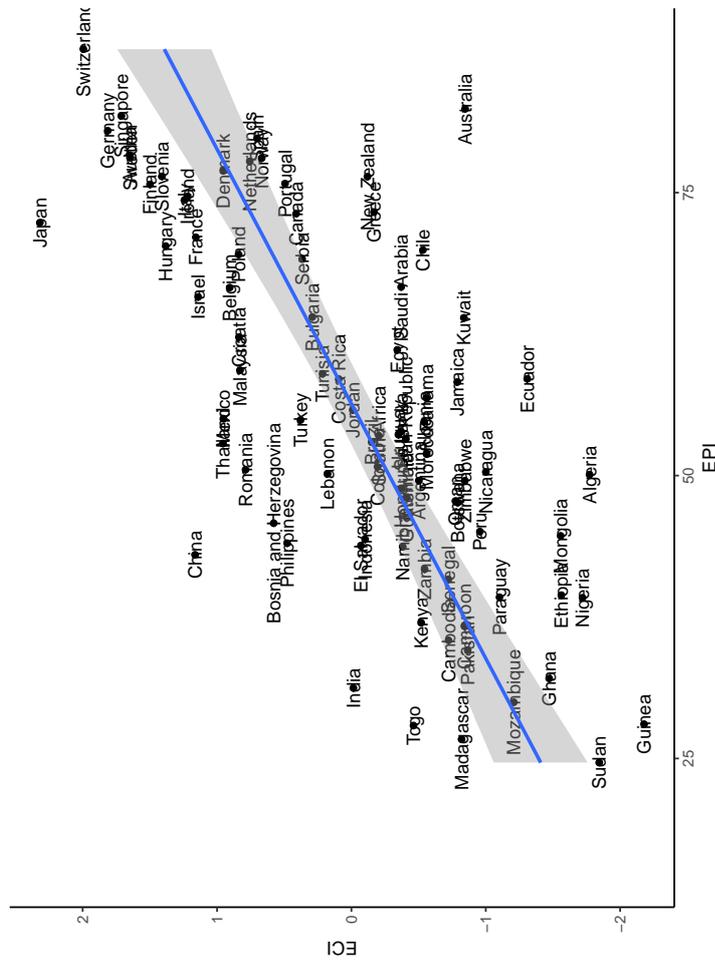
Figura 55 – Indicador de Vitalidade e Saúde Ambiental em 2014



As figuras 56 e 57 sintetizam este capítulo ao mostrar a correlação entre os indicadores de complexidade econômica (ECI) e o indicador de complexidade econômica ajustado (ECI+) com o indicador de Performance Ambiental (EPI+). Em ambas as figuras, é perceptivo que há uma reta positivamente inclinada, que indica uma correlação positiva entre as variáveis. No entanto, o que se pode intuir das relações é que países que tem uma diversificação/ubiquidade muito baixa tendem a ter uma deterioração da qualidade de vida da população e da qualidade do meio ambiente. Desta maneira, fica patente que a escolha em produzir tão somente *commodities*, mesmo que de forma não intencional, não é algo muito bom para a uma civilização.

Análises correlacionando desenvolvimento econômico, qualidade de vida e complexidade econômica pode ser visto em [Hartmann et al. \(2017\)](#) que correlaciona índice de desenvolvimento econômico (IDH) e o índice de GINI e PALMA com os indicadores de complexidade econômica. Uma proposta de trabalho é incorporar a dimensão de pegada ecológica e EPI nas análises conjuntas de IDH e complexidade e realizar um novo indicador ou estudo. Mas o nível de profundidade é recomendado para um trabalho de doutorado devido a quantidade de informações que precisam ser organizadas e com um tratamento estatístico mais formal que o lidado neste trabalho.

Figura 56 – Indicador ECI e EPI no ano de 2014



Elaborado pelo autor e com dados de [Index \(2014\)](#), [Hausmann et al. \(2014\)](#)

Figura 57 – Indicador EPI e indicador ECI+ no ano de 2014

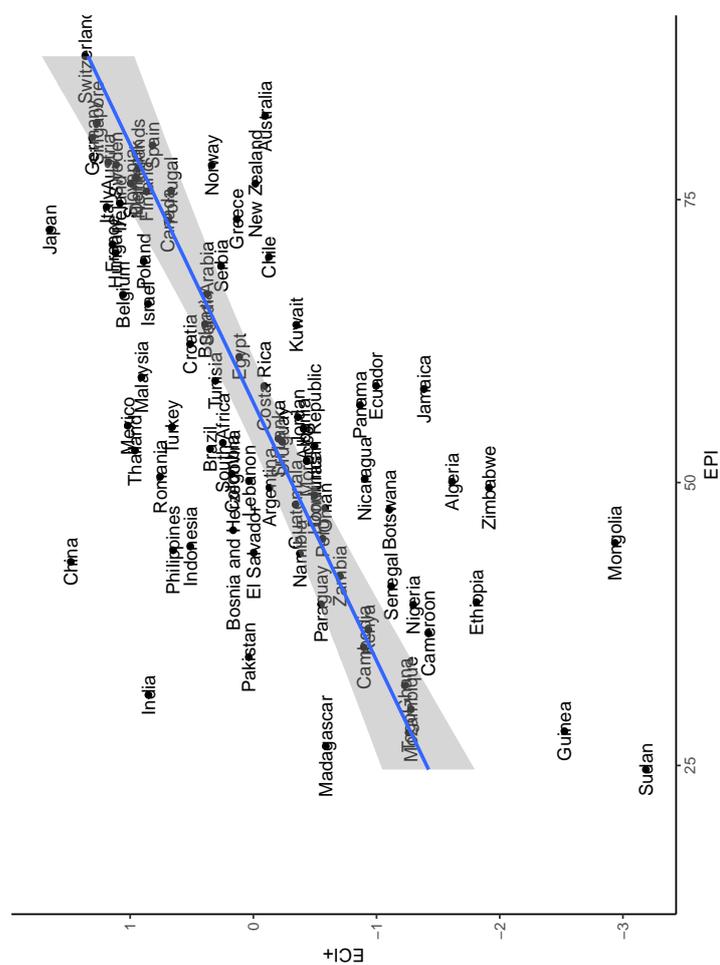


Figura 58 – Mapa EPI no ano de 2014

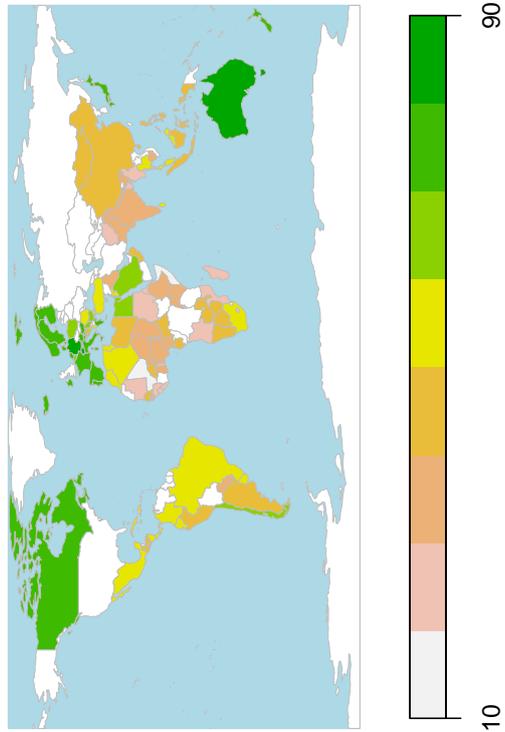
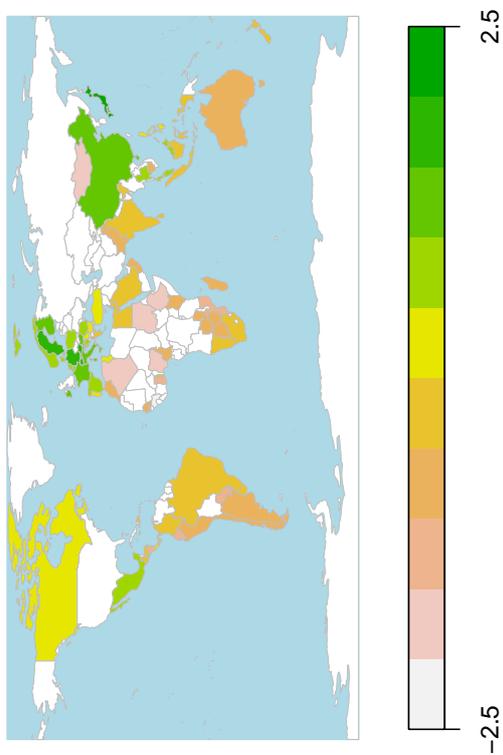
EPI – Qualidade do Meio AmbienteElaborado pelo autor e com dados de [Index \(2014\)](#)

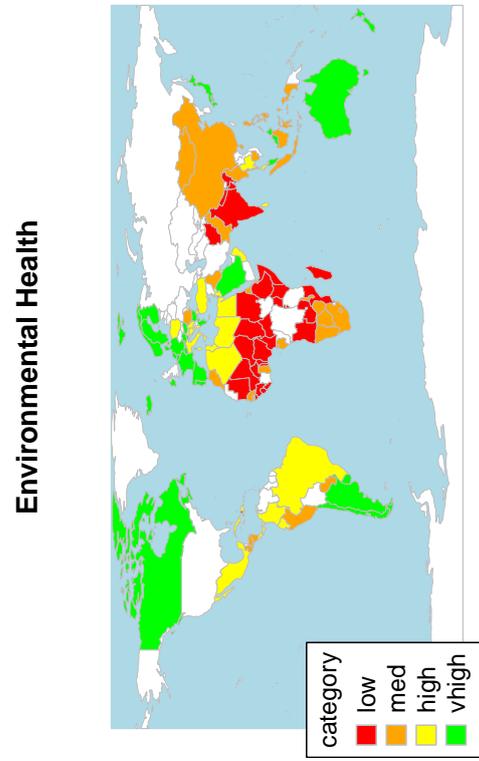
Figura 59 – Mapa ECI no ano de 2014

ECI – Complexidade Econômica



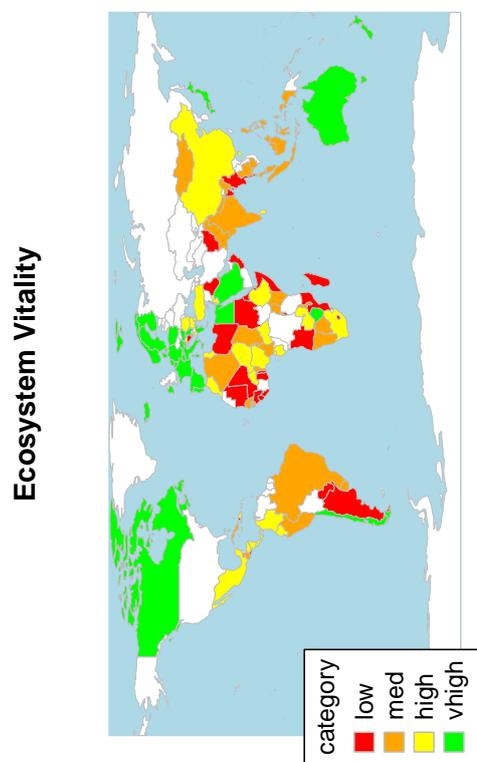
Elaborado pelo autor e com dados de [Index \(2014\)](#)

Figura 60 – Indicador de Saúde do Meio Ambiente no ano de 2014



Elaborado pelo autor e com dados de [Index \(2014\)](#)

Figura 61 – Indicador de Vitalidade do Meio Ambiente no ano de 2014



Elaborado pelo autor e com dados de [Index \(2014\)](#)

Parte III

Conclusão

6 Conclusão

Em um paradoxo de escolha lógica, se fosse possível optar entre manter o planeta intacto como uma fotografia eterna do Jardim do Éden como um símbolo de uma natureza virginal e uma ordem ambiental onde não há ação humana interagindo com as forças da natureza, perturbando parâmetros de ordem imensurável que faz com que chova em determinados locais ou outros se tornem desertos, ou, se é preferível simplesmente aceitar a mortalidade do homem e saber o quanto se é responsável pelas ações tomadas e os meios necessários para se mitigar danos, a segunda opção é sempre a melhor.

O mundo é, aceitamos ou não. As coisas sempre são o que são, independente da ideologia que corre pelas letras de livros escritos por homens velhos ou que estão embolorando em bibliotecas que nunca são visitadas. As coisas simplesmente são o que são e aceitemos a natureza do mundo.

O objetivo deste trabalho foi primeiramente delimitar a fronteira entre a análise histórica do colapso ambiental sem ser um trabalho sobre história do colapso ou falar de história do pensamento econômico sem necessariamente ser um trabalho de história do pensamento, uma vez que carece de um rigor mais aprofundado em ambas as ciências. O uso da ferramenta de análise da história, neste sentido, cabe neste trabalho mais como uma ilustração do que se passou e para onde as coisas podem convergir, ou não.

No entanto, não com o objetivo de esgotar todas as dúvidas a respeito da revisão de literatura ou do estado da arte, foi revisado as conexões entre o debate ambiental e o debate econômico, em especial ao alocar a responsabilidade de cada ciência ao que lhe cabe. A ecologia produziu uma série de livros relevantes dentro do contexto das denúncias ambientais ao longo da segunda metade do século XX, assim como livros foram escritos para descrever o curso da história dos colapsos. Não há como saber ao certo, dentro dos limites epistemológicos a data exata em que o uso exacerbado dos recursos naturais dentro da Era do Antropoceno cobrará da humanidade a sua fatura pelos seus excessos, mas é fato que diversos parâmetros ambientais envolvendo a natureza em si, plantas, animais e do próprio planeta hoje se encontram em extremo estresse, indo do aumento da temperatura do planeta, à modificações do regime de chuvas, diminuição das calotas polares à extinção desenfreada de formas de vida do planeta, muitas das quais nunca conhecemos, e possivelmente nunca iremos conhecer.

Das formas de se mensurar ou identificar o impacto do homem no meio, foi analisado alguns indicadores de complexidade econômica, indicando as questões relativas à ubiquidade e diversidade dos produtos produzidos pela atividade e inventividade humana, também foi visto que esse indicador é intrinsecamente ligado aos indicadores de pegada ecológica,

primeiro pelo segundo ser uma transformação escalar do primeiro, onde não somente as arestas do eci são consideradas, mas os valores das transações econômicas são levadas em conta, contabilizando o valor de carbono consumido, importado e exportado pelas nações. Também foi descoberto que países com maior nível de carbono são os países com maior nível de eci, indicando que nações com maior sofisticação produzem/consomem mais carbono, no entanto, quando se considera o saldo do balanço de carbono, são exatamente as nações desenvolvidas que estão no limite da produção de carbono. Logo, quais são os limites do crescimento das emissões de carbono, sujeitas a biodisponibilidade de cada país, será que a solução se dá pelos direitos de propriedade bem estabelecidos, como reza a cartilha institucionalista de North/Ostrom? Será que estamos em um dilema de escolha pública?

Também foi observado que as nações mais pobres e dependentes da exportações de *commodities* estão sobre pressão dos indicadores ambientais, ou seja, da mesma forma em que vendem seus recursos naturais, são desprovidas das benesses do desenvolvimento econômico, ao mesmo tempo em que se servem para alimentar o resto do planeta, mas a qual custo?

Este trabalho tem o intuito de provocar o debate e permitir que seja mapeado possíveis respostas para muitas das perguntas que foram feitas ao longo deste trabalho, muitas que não puderam ser respondidas por limitações de tempo e capacidade do trabalho de comportar informações.

Algumas considerações do que podem ser feito para outros trabalhos derivados deste ou como um projeto de doutorado:

- Recriar a pegada ecológica considerando não somente a emissão de carbono, mas também de energia em joules e de água intrínseca;
- Construir um indicador que comporte ao mesmo tempo: Índice de Desenvolvimento Humano, Environmental Performance Index, Pegada Ecológica e Pegada Hídrica;
- Investigar com maior profundidade os efeitos da complexidade econômica e ambiental nos países destacados como mais vulneráveis do ponto de vista dos indicadores ambientais e direcionar uma forma de política industrial que mitigue os efeitos sociais e ambientais;
- Investigar as economias que se mostraram mais performáticas ao se unir dados de complexidade e meio ambiente, destacando Noruega, Canadá, Austrália e Finlândia
- Replicar este trabalho no micro para o caso brasileiro, uma vez em que a metodologia é a mesma, precisa de dados relativos à movimentação de bens dentro do Brasil.

Espera-se que este trabalho tenha cumprido seu papel, ao servir de ferramenta de propagação e geração de conhecimento e ciência, ainda que as suas premissas não sejam as melhores ou que os referenciais teóricos tenham sido os melhores dado os disponíveis, mas que o método seja o mais honesto possível para se fazer ciência.

Referências

- ALBEAIK, S. et al. 729 new measures of economic complexity (addendum to improving the economic complexity index). *arXiv preprint arXiv:1708.04107*, 2017.
- ALBEAIK, S. et al. Measuring the knowledge intensity of economies with an improved measure of economic complexity. *arXiv preprint arXiv:1707.05826*, 2017.
- AOYAMA, H. et al. *Econophysics and Companies: Statistical Life and Death in Complex Business Networks*. [s.n.], 2010. ISBN 0521191491,9780521191494. Disponível em: <<http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=306CE9DDA9E3475B1098B872FA4DFCE3>>.
- ARTAXO, P. Uma nova era geológica em nosso planeta: o antropoceno? *Revista USP*, n. 103, p. 13–24, 2014.
- ASSAD, A. A.; GASS, S. I. *Profiles in operations research: pioneers and innovators*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2011. v. 147.
- ATLAS, E. F. Global footprint network. *Encontrado em: http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/ecological_footprint_atlas_2010*. Acesso em, v. 28, n. 07, p. 2011, 2010.
- BHASKAR, D.; VISWANATH, S.; PURUSHOTHAMAN, S. Sandal (*santalum album* l.) conservation in southern india: a review of policies and their impacts. *Journal of Tropical Agriculture*, v. 48, n. 2, p. 1–10, 2010.
- BRESSER-PEREIRA, L. C. Doença holandesa e sua neutralização: uma abordagem ricardiana. *Revista de Economia Política*, v. 28, n. 1, p. 47–71, 2007.
- BRUNDTLAND, G. *Our Common Future: The World Commission on Environment and Development*. [S.l.]: Oxford University Press, Oxford, 1987.
- CANUTO, O.; CAVALLARI, M. Natural wealth: Is it a blessing or a curse? *VoxEU*, October, v. 12, 2012.
- CARBAUGH, R. *Economia internacional*. Pioneira Thomson Learning, 2004. ISBN 9788522103287. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=riDPAAAACAAJ>>.
- CARSON, R. *Primavera silenciosa*. Editora Gaia, 2015. ISBN 9788575553954. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=Uc1cBAAQBAJ>>.
- CARVALHO, M. de; SILVA, C. da. *Economia internacional*. Saraiva, 2007. ISBN 9788502060104. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=7LgAOwAACAAJ>>.
- CHANG, H. *Chutando a escada*. UNESP, 2004. ISBN 9788571395244. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=smxW2ShQ4y0C>>.

- CHAPIN, F. et al. *Principles of Ecosystem Stewardship: Resilience-Based Natural Resource Management in a Changing World*. Springer New York, 2009. (Earth and Environmental Science). ISBN 9780387730332. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=98_0Tgfd25kC>.
- COSTANZA, R. et al. *An Introduction to Ecological Economics, Second Edition*. 2. ed. CRC Press, 2014. ISBN 156670684X,9781566706841. Disponível em: <<http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=082B19487697B18A769FF57FEF6D35A7>>.
- DALY, H. E.; FARLEY, J. *Ecological Economics, Second Edition: Principles and Applications*. 2. ed. Island Press, 2010. ISBN 1597266817,9781597266819. Disponível em: <<http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=BF5FF6CF0486509B5F1CE6868DD1B484>>.
- DIETZ, T.; OSTROM, E.; STERN, P. C. The struggle to govern the commons. *science*, American Association for the Advancement of Science, v. 302, n. 5652, p. 1907–1912, 2003.
- DURÁN, R. F. *El Antropoceno: La expansión del capitalismo global choca con la biosfera*. [S.l.]: Barcelona: Virus, 2011., 2011.
- EHRlich, P. *The Population Bomb*. Buccaneer Books, 1971. (A Sierra club/Ballantine book). ISBN 9781568495873. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=8WxeQAAACAAJ>>.
- EICHENGREEN, B. A globalização do capital. *São Paulo: Editora*, v. 34, 2000.
- FURTADO, J. Muito além da especialização regressiva e da doença holandesa: oportunidades para o desenvolvimento brasileiro. *Novos Estudos-CEBRAP*, SciELO Brasil, n. 81, p. 33–46, 2008.
- GALA, P.; MAGACHO, G.; CAMARGO, J. S. M. de. The resource curse reloaded: revisiting the dutch disease with economic complexity analysis. 2016. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/18037>>.
- GALA, P.; ROCHA, I.; MAGACHO, G. The structuralist revenge: economic complexity as an important dimension to evaluate growth and development. 2016.
- GALA, P. et al. Sophisticated jobs matter for economic development: an empirical analysis based on input-output matrices and economic complexity. 2016. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/18037>>.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. O decrescimento: entropia, ecologia, economia. *Trad. Maria José Perillo Isaac*. São Paulo: SENAC, 2012.
- GUNDERSON, L.; HOLLING, C. *Panarchy: understanding transformations in human and natural systems*. Island Press, 2002. ISBN 9781559638562. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=MC_uAAAAMAAJ>.
- HARDIN, G. The tragedy of the commons. *science* 162, 1243e1248. *Traducción al español en Gaceta Ecológica*, v. 37, p. 48–57, 1968.
- HARTMANN, D. et al. Linking economic complexity, institutions, and income inequality. *World Development*, Elsevier, v. 93, p. 75–93, 2017.

HAUSMANN, R.; HIDALGO, C. Country diversification, product ubiquity, and economic divergence. 2010.

HAUSMANN, R. et al. *The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity*. MIT Press, 2014. ISBN 9780262525428. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=cp-NAgAAQBAJ>>.

HAUSMANN, R.; KLINGER, B. et al. *The structure of the product space and the evolution of comparative advantage*. [S.l.], 2007.

HESS, C.; OSTROM, E. *Understanding knowledge as a commons*. [S.l.]: The MIT press, 2007.

HIDALGO, C. A.; HAUSMANN, R. The building blocks of economic complexity. *Proceedings of the national academy of sciences*, National Acad Sciences, v. 106, n. 26, p. 10570–10575, 2009.

HOBBSAWM, E. J. *The Pelican Economic History of Britain*. [S.l.]: Penguin Books, 1975.

HOMMA, A. K. O. O extrativismo do óleo essencial de pau-rosa na amazônia. *Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E)*, Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2003., 2003.

HUGHES, J. D. *Ecology in ancient civilizations*. [S.l.]: University of New Mexico Press, 1975.

HUGHES, J. D. *Environmental Problems of the Greeks and Romans: Ecology in the Ancient Mediterranean*. [S.l.]: JHU Press, 2014.

HUGHES, J. D.; STOLL, M. R. *The Mediterranean: An Environmental History*. ABC-CLIO, 2005. (Nature and Human Societies). ISBN 1576078108,9781576078105. Disponível em: <<http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=3FE165E1F66B90F791E0F549A096F5E4>>.

INDEX, E. P. Environmental performance index. *Yale University. Retrieved*, v. 10, 2014.

JACKSON, T. *Material Concerns: Pollution, Profit and Quality of Life*. 1. ed. Routledge, 1996. ISBN 0415132487,9780415132480,9780203287361,9780415132497,0415132495. Disponível em: <<http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=85C837AF0C1F21C15ADBDBDDCDA2CEB0>>.

KRUGMAN, P.; OBSTFELD, M. *International Economics: Theory and Policy*. Pearson Addison-Wesley, 2009. (Addison-Wesley series in economics). ISBN 9780321553980. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=NZnk5C2r8qEC>>.

LIN, D. et al. Working guidebook to the national footprint accounts: 2016. *Global Footprint Network, Oakland*, 2016.

MACKENZIE, D. Are we doomed? *New Scientist*, Elsevier, v. 198, n. 2650, p. 32–35, 2008.

MARQUES, L. *Capitalismo e colapso ambiental*. Editora Unicamp, 2015. ISBN 9788526812741. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=36XdjwEACAAJ>>.

- MEADOWS, D. H. et al. *The Limits to Growth*. 0. ed. Signet, 1972. ISBN 0451052501,9780451052506. Disponível em: <<http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=E2F8EE41F32A56FAAFA7C8F2E9BA4439>>.
- NETWORK, G. F. Open data platform :< <http://www.footprintnetwork.org/>>. *Acesso em*, 2018.
- OSTROM, E. Reformulating the commons. *Ambiente & sociedade*, SciELO Brasil, n. 10, p. 5–25, 2002.
- OSTROM, E. *Governing the commons*. [S.l.]: Cambridge university press, 2015.
- OSTROM, E. E. et al. *The drama of the commons*. [S.l.]: National Academy Press, 2002.
- PALMA, J. G. Quatro fontes de desindustrialização e um novo conceito de doença holandesa. In: *Conferência de Industrialização, Desindustrialização e Desenvolvimento organizada pela FIESP e IEDI*. [S.l.: s.n.], 2005.
- PARENTI, C. “*The Limits to Growth*”: A Book That Launched a Movement”. 2012. The Nation. Disponível em: <<https://www.thenation.com/article/limits-growth-book-launched-movement/>>. Acesso em: 03 mar 2018.
- PISANI, J. A. D. Sustainable development—historical roots of the concept. *Environmental Sciences*, Taylor & Francis, v. 3, n. 2, p. 83–96, 2006.
- REINERT, E. S. Diminishing returns and economic sustainability: The dilemma of resource-based economies under a free trade regime. In: _____. *International Trade Regulation, National Development Strategies and the Environment: Towards Sustainable Development?* Oslo: Centre for Development and the Environment, University of Oslo, 1996. p. 119–150. Disponível em: <<http://www.othercanon.org/papers/>>. Acesso em: 2 jan. 2012.
- REINERT, E. S. *How Rich Countries Got Rich and Why Poor Countries Stay Poor*. Constable, 2007. ISBN 1845293266,9781845293260. Disponível em: <<http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=5BAC69A4F2186A0DF874B6078E73477D>>.
- SABIN, P. *The Bet: Paul Ehrlich, Julian Simon, and Our Gamble over Earth’s Future*. 1st. ed. Yale University Press, 2013. ISBN 0300176481,9780300176483. Disponível em: <<http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=213098A91CEB1F25384094992C4D786B>>.
- SAVOIU, G. *Econophysics. Background and Applications in Economics, Finance, and Sociophysics*. 1. ed. Academic Press, 2013. ISBN 978-0-12-404626-9. Disponível em: <<http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=320F3CCB5F1FBF98B80CBE8C3E767F14>>.
- SILVA, V. B. D.; CRISPIM, J. d. Q. Um breve relato sobre a questão ambiental. *Revista de Geografia, Meio Ambiente e Ensino*, v. 2, n. 1, p. p–163, 2011.
- SIMÕES, J.; MACEDO, M.; BABO, P. Elinor ostrom: “governar os comuns”. *Economia e política do ambiente. Faculdade de Economia da Universidade do Porto. Mestrado em Economia e Política do Ambiente*, 2011.
- SIMON, J. *The Ultimate Resource 2*. Princeton University Press, 1998. (Princeton paperbacks : Economics). ISBN 9780691003818. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=wVyDwYqq5fMC>>.

SINHA, S. et al. *Econophysics: an introduction*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2010.

TAINTER, J. *The Collapse of Complex Societies (New Studies in Archaeology)*. Cambridge University Press, 1988. (New Studies in Archaeology). ISBN 0521340926,9780521340922. Disponível em: <<http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=95D1F492D6186FC1676042FA835D224E>>.

THE Atlas of Economic Complexity. 2018. Disponível em: <<http://atlas.cid.harvard.edu/explore/?country=32&partner=undefined&product=undefined&productClass=SITC&startYear=undefined&target=Product&year=2016>>.

TOYNBEE, A. J.; MYERS, E. D. *A study of history: Breakdowns of Civilizations*. Oxford University Press, 1951. v. 4. Disponível em: <<http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=A05F48D4F856208BB44286544478483F>>.

WELLS, J. *Complexity and Sustainability*. 1. ed. Routledge, 2012. (Routledge Studies in Ecological Economics). ISBN 0415695775,9780415695770. Disponível em: <<http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=10E532B2DD9F0EC0B85470ACB40E3859>>.

Apêndices

Anexos

