



**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS, ADMINISTRAÇÃO,
CONTABILIDADE E ATUARIAIS**

SOFIA SAISI SANDANO

**PERSPECTIVAS ECONÔMICAS SOBRE O MEIO AMBIENTE:
ESTUDO EXPLORATÓRIO SOBRE CORRENTES DE PENSAMENTO**

MONOGRAFIA DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

SÃO PAULO

2022

SOFIA SAISI SANDANO

**PERSPECTIVAS ECONÔMICAS SOBRE O MEIO AMBIENTE:
ESTUDO EXPLORATÓRIO SOBRE CORRENTES DE PENSAMENTO**

Monografia submetida à apreciação de banca examinadora do Departamento de Economia, como exigência parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências Econômicas, elaborada sob a orientação do Professor Doutor Antônio Carlos de Moraes.

SÃO PAULO

2022

PÁGINA DE APROVAÇÃO

Esta monografia foi examinada pelos professores abaixo relacionados e aprovada com nota final _____ (_____).

Nomes legíveis dos examinadores (orientador e demais membros da banca)

O autor desta obra autoriza sua publicação eletrônica na Biblioteca Digital da PUC-SP. Este trabalho é somente para uso privado de atividades de pesquisa e ensino. Não é autorizada sua reprodução para quaisquer fins lucrativos. Esta reserva de direitos abrange a todos os dados do documento bem como seu conteúdo. Na utilização ou citação de partes do documento é obrigatório mencionar nome da pessoa autora do trabalho e demais itens da referência bibliográfica.

Sandano, Sofia Saisi.

Perspectivas econômicas sobre o meio ambiente: estudo exploratório sobre correntes de pensamento / Sofia Saisi Sandano – São Paulo, 2022, 50 p.

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Ciências
Econômicas

Orientador: Antonio Carlos de Moraes

1. Economia ambiental neoclássica 2. Economia ecológica 3. Estado atual e aplicações práticas.

Pontifícia Universidade Católica de São Paulo

Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuariais

*Futuras gerações
Eu confesso: não tenho esperança.
Os cegos falam sobre uma saída.
Eu vejo.
Quando os erros forem consumidos
O nada se sentará ao nosso lado
Como nossa última companhia.*

—Bertolt Brecht

RESUMO

O presente trabalho avalia o debate das correntes do pensamento econômico que se ocupam do estudo de questões ambientais, investigando as convergências e divergências da teoria ambiental neoclássica e da teoria ecológica, a fim de discutir o papel do capital natural para a continuidade do bem-estar humano no longo prazo. Constatou-se que a economia ecológica é a mais adequada para se tratar da sustentabilidade das atividades humanas, devido à sua abordagem interdisciplinar e holística. A economia ambiental neoclássica, em contrapartida, apresenta limitações metodológicas e suposições demasiadamente otimistas quanto à capacidade humana de lidar e/ou reverter as transformações biofísicas do planeta.

Palavras-chave: Economia ambiental neoclássica. Economia ecológica. Sustentabilidade. Meio ambiente.

ABSTRACT

The main goal of this paper is to evaluate the debate within currents of economic thought that deal with the study of environmental issues, investigating the convergences and divergences of the neoclassical environmental theory and the ecological theory, to discuss the role of natural capital in the continuity of human well-being in the long term. It was found that ecological economics is the most suitable for dealing with the sustainability of human activities, due to its interdisciplinary and holistic approach. The neoclassical environmental theory, conversely, presents methodological limitations and overly optimistic assumptions about the human capacity to deal with and/or reverse the biophysical transformations of the planet.

Keywords: Neoclassical environmental theory. Ecological theory. Sustainability. Environment.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
2 ECONOMIA AMBIENTAL NEOCLÁSSICA	10
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	10
2.2 A TEORIA NEOCLÁSSICA DA POLUIÇÃO	12
2.3 TEORIA DOS RECURSOS NATURAIS NÃO RENOVÁVEIS.....	14
3 ECONOMIA ECOLÓGICA.....	21
3.1 ENTROPIA NO PROCESSO ECONÔMICO	23
3.2 ESCALA, DISTRIBUIÇÃO E ALOCAÇÃO	26
3.3 POLÍTICAS RECOMENDADAS	29
4 ESTADO ATUAL E APLICAÇÕES PRÁTICAS.....	34
4.1 EVIDÊNCIAS SOBRE OS LIMITES DO CRESCIMENTO	34
4.2 TEORIA DO DECRESCIMENTO.....	38
4.3 ECONOMIA ESTACIONÁRIA	40
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
REFERÊNCIAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

As áreas da ciência econômica, até recentemente, não incorporaram às análises a relevância do meio ambiente nos modelos teóricos, respaldados na ideia de que o sistema econômico é autossuficiente e isolado, funcionando independentemente do meio externo. Foi apenas no final da década de 1960 que surgiu a necessidade de incluir o meio ambiente no debate. No pós-Segunda Guerra Mundial, período conhecido como a Era de Ouro do capitalismo, houve um acentuado crescimento econômico mundial, caracterizado pela ampliação do livre comércio, aumento do consumo e da modernização. Tal cenário intensificou drasticamente a poluição e, somados a isto, os choques do petróleo explicitaram a necessidade de incluir os impactos no meio ambiente na análise econômica. As correntes de pensamento econômico que se debruçaram na questão não formaram, entretanto, um consenso.

A economia ambiental neoclássica apoia-se na abordagem da sustentabilidade fraca de que o capital natural pode ser substituído pelo capital produzido, dada a eficiência do funcionamento dos mercados livres e o contínuo aperfeiçoamento tecnológico. A substitutabilidade entre os fatores de produção é correntemente utilizada em economia quando se tratando, por exemplo, da escassez da mão-de-obra que é substituída pelo fator capital (máquinas, equipamentos) por meio dos mecanismos de preços que encarecem o primeiro.

Deste ponto de vista, a sustentabilidade é factível quando há a conservação do estoque total de capital, que engloba o produzido, o humano, o social e o natural. A escala da economia pode, portanto, aumentar mesmo que haja a diminuição do capital natural se este for substituído pelas outras formas de capital. Considera o meio ambiente neutro, em que os impactos negativos causados pela atividade econômica na natureza podem ser revertidos e que o bem-estar futuro também será beneficiado pelo desenvolvimento tecnológico e pela produção de recursos manufaturados. O progresso técnico é estimado como garantidor da superação da dependência dos recursos naturais, o qual possibilita e realça a eficiência produtiva.

Em contrapartida, a economia ecológica considera a economia como um subsistema que depende do fornecimento de capital natural do ecossistema para seu funcionamento e defende que o contínuo crescimento econômico e o aumento da produção e consumo trarão efeitos irreparáveis para o meio ambiente. Desse modo, critica o modelo de desenvolvimento sustentável, considerando-o um oxímoro por crer na possibilidade de que o aumento contínuo da produção possa ser sustentado. Considera que o capital natural e o produzido são complementares e que a escassez crescente daquele pode impedir o crescimento do produto real

da economia, visão esta denominada de sustentabilidade forte. Sua abordagem transdisciplinar permite uma visão mais ampla das relações do ser humano com o meio ambiente, indo além da representação do sistema econômico como um fluxo circular e isolado.

As contribuições do matemático romeno Nicholas Georgescu-Roegen foram essenciais para a estruturação da economia ecológica. Ao introduzir o conceito de entropia para a análise econômica, rompe com o paradigma mecanicista presumido pelas demais escolas de pensamento, desde os marxistas aos austríacos, dos keynesianos aos schumpeterianos etc., e demonstra a necessidade de considerar os limites biofísicos do planeta. A partir das conclusões de Georgescu-Roegen, tem-se que toda criação de valor econômico a partir de matéria e energia é marcada por irreversibilidade termodinâmica e redução da entropia interna ao sistema, com consequente aumento da entropia externa ao sistema (BEINHOCKER, 2006: 303).

A elaboração desta pesquisa – de caráter bibliográfico – será orientada pela perspectiva comparativa, investigando as divergências e convergências do debate, a partir do ponto de vista de economistas, sociólogos e autores que prezam a sustentabilidade e o modo de produção eficiente e duradouro. Será utilizado como referencial teórico as obras de autores como Nicholas Stern, Dennis Meadows, Donella Meadows e Jørgen Randers, para entender as consequências do rápido crescimento econômico; Robert Solow e Joseph Stiglitz, sobre a perspectiva ambiental neoclássica; Robert Costanza e Herman Daly, que apresentam a abordagem ecológica; Nicholas Georgescu-Roegen e a aplicação do conceito de entropia; Serge Latouche, sobre decrescimento econômico; de autores nacionais, destacam-se os nomes de José Eli Veiga, Ricardo Abramovay e Charles Muller.

2 ECONOMIA AMBIENTAL NEOCLÁSSICA

Neste capítulo, buscaremos elucidar as duas vertentes da economia ambiental neoclássica, suas principais aplicações e origens. O objetivo desta escola é analisar aquilo que é de utilidade direta aos seres humanos, valorável e produtivo (cf. ALIER e JUSMET, 2000). Ao centralizar sua análise no funcionamento do sistema econômico, relega às demais áreas do conhecimento o papel de estudar os efeitos humanos no meio ambiente e suas implicações. Esta hipótese, denominada ambiental tênue, apoia-se na justificativa de que este é um procedimento científico habitual.

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Até o final da década de 1960 a economia neoclássica fundamentava-se nas premissas de uma fonte inesgotável de matéria-prima e de um processo produtivo não gerador de resíduos. A consideração do meio ambiente limitava-se à aplicação das teorias de Cecil Pigou (1920) sobre externalidades negativas, tratadas, quase que exclusivamente, como exceções. Entretanto, no pós-Segunda Guerra Mundial, período conhecido como a Era de Ouro do capitalismo, houve um acentuado crescimento econômico mundial, caracterizado pela ampliação do livre comércio, aumento do consumo e da modernização.

Tal cenário intensificou drasticamente a poluição e, somados a isto, os choques do petróleo explicitaram a necessidade de incluir os impactos no meio ambiente na análise econômica. As projeções catastróficas apresentadas no Relatório de Roma, de 1972, obtidas por meio de modelos matemáticos realizados por uma equipe do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), demonstraram a incapacidade de se sustentar o atual modelo econômico em um planeta com recursos naturais finitos. O relatório concluiu que “se as tendências atuais [...] continuarem inalteradas, os limites para o crescimento neste planeta serão alcançados em algum momento nos próximos cem anos.” (MEADOWS et al, 1972: 23).

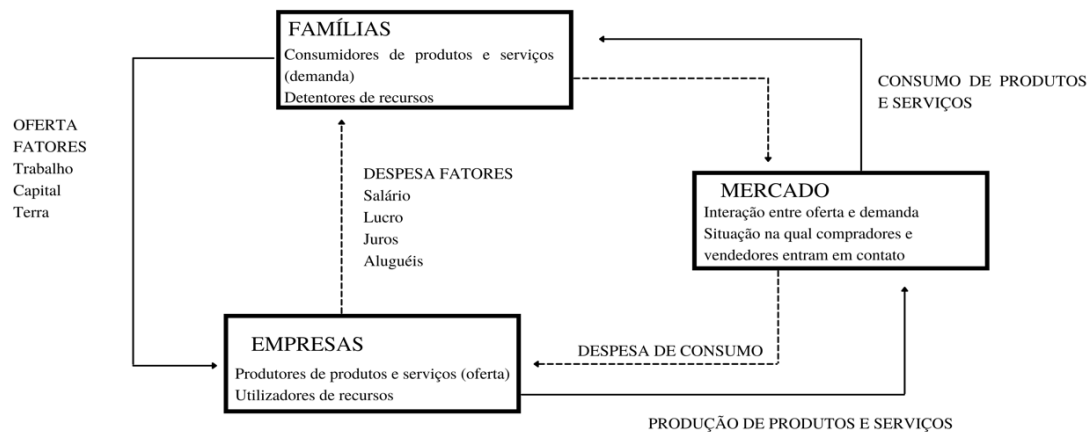
O aumento notável da escala da economia a partir da metade do século XX evidenciou a responsabilidade do sistema econômico como principal ator na geração de resíduos e na depleção dos recursos naturais, provocando o surgimento das primeiras análises neoclássicas que passam a considerar as externalidades negativas como consequências indissociáveis ao crescimento produtivo. O estudo realizado por Ayres e Kneese (1969) altera a base da teoria neoclássica de fluxo circular convencional, apresentado na figura 1, ao incorporar o princípio

do balanço de materiais que reconhece a linearidade do processo produtivo de obter materiais e energia para a transformação e devolvê-los ao meio ambiente sob a forma de resíduos e rejeitos. Segundo os autores:

Os insumos para o sistema (econômico) são os combustíveis, os alimentos e as matérias-primas que, em parte, são convertidos em bens finais e, em parte, tornam-se resíduos e rejeitos. Exceto no caso de aumentos nos estoques, os bens finais também terminam ingressando na corrente de rejeitos. Assim, em essência, os bens que são consumidos apenas fornecem certos serviços. Sua substância material continua existindo e, ou os mesmos são reaproveitados, ou são descartados no meio ambiente. (AYRES, KNEESE, 1969: 284).

Segundo Mueller (2017), a mudança central do pensamento neoclássico se deve ao reconhecimento de que: há um processo unidirecional e, pelo menos no caso da energia, irreversível; em um mundo finito, a unidirecionalidade e a irreversibilidade podem levar à crescente escassez de certos materiais; quantidades cada vez maiores de rejeitos e de poluição gerados pelo sistema econômico poderão exceder a capacidade de assimilação do ecossistema, causando degradação ambiental, que poderá ter graves consequências locais, ou mesmo globais (MUELLER, 2007: 265).

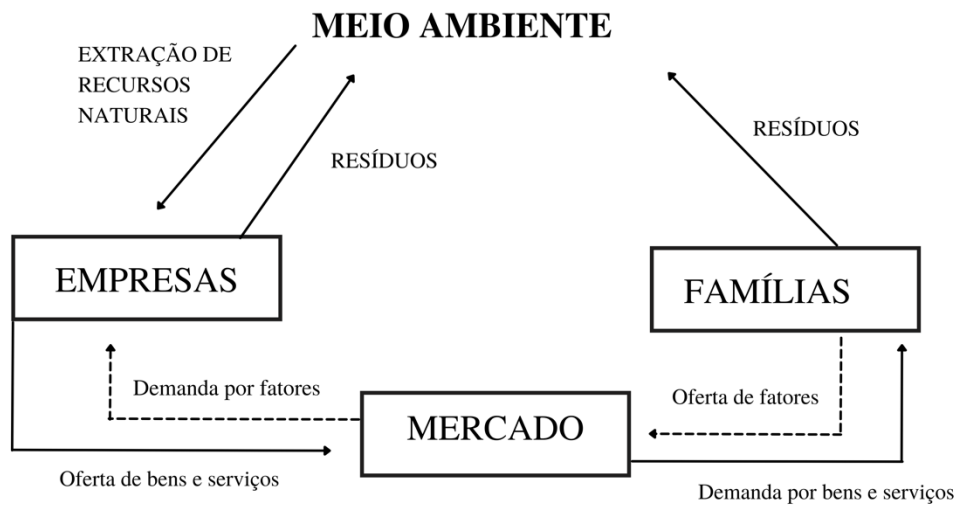
FIGURA 1 – MODELO CONVENCIONAL DO SISTEMA ECONÔMICO



FONTE: Adaptação de PEARCE, TURNER e BATEMEN (1993)

A partir da ideia de linearidade do processo de transformação de matéria e energia, houve a ramificação da análise do balanço de materiais, sob a perspectiva da função ambiental *sink*, chamada de Teoria da poluição, que compreende todo fluxo de dejetos e resíduos gerados pelo sistema econômico e sob a perspectiva da função ambiental *source*, que estuda a extração de recursos naturais, denominada de Teoria dos recursos naturais.

FIGURA 2 – MODELO DO BALANÇO DE MATERIAIS



FONTE: Adaptação de KNEESE, AYRES e D'ARGE (1970)

2.2 A TEORIA NEOCLÁSSICA DA POLUIÇÃO

A vertente neoclássica da poluição alicerça suas análises nas teorias da Escola do bem-estar, cujo estudo se refere à alocação eficiente de recursos de modo a proporcionar o bem-estar individual. Vilfredo Pareto (1897) apresenta como condição de eficiência econômica a situação em que não é possível melhorar a utilidade de um agente sem que a de outro seja prejudicada, critério este usualmente utilizado na determinação do ponto de equilíbrio entre produção e poluição.

Outra relevante herança conceitual desta escola é o da externalidade, introduzida por Marshall (1890), referindo-se aos efeitos que as unidades de produção da atividade industrial causam nos demais agentes fora do mercado, sem qualquer estimativa monetária. Conquanto, foi seu discípulo, Pigou, quem evidenciou os casos em que estes efeitos são negativos, condição na qual há uma perda do bem-estar social. A estratégia pigouviana é a imposição de uma taxa que limite a geração da externalidade negativa, a fim de equalizar o custo privado marginal e o custo social marginal.

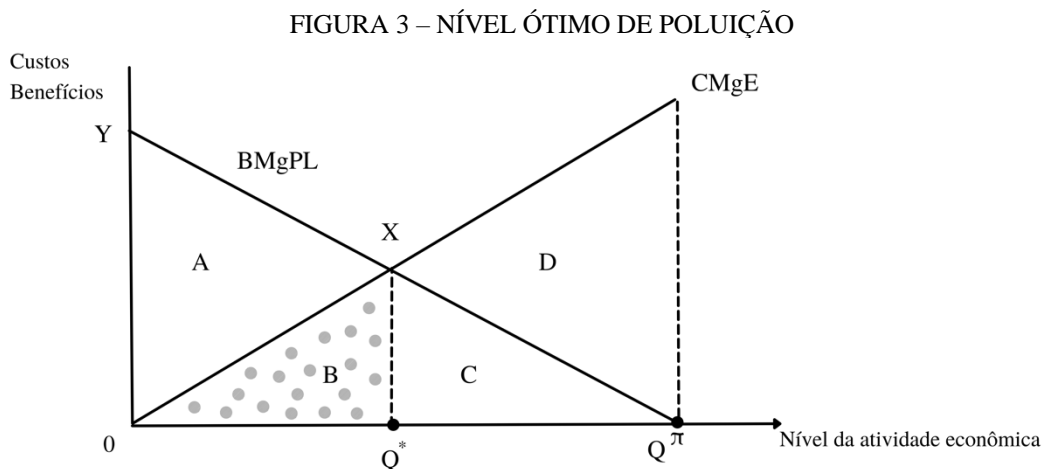
Ronald Coase (1960), em contrapartida, argumenta que a interferência do Estado no mercado não é eficiente o bastante para a maximização do bem-estar e defende que é o processo de negociação entre o causador e o sofredor da externalidade que levará a alocação eficiente, desde que os direitos de propriedade sobre o recurso natural estejam bem definidos. As críticas feitas a este teorema, por parte de Buchanan (1962) e Kneese (1971), levam em consideração

as situações de incerteza em que não é possível definir as funções de benefícios e custos, e naquelas em que há mais de duas partes envolvidas.

O aprofundamento destas bases teóricas se deve à contribuição de Kneese, Ayres e d'Arge (1971), Mäler (1974) e Tietenberg (1973), que situam o meio ambiente no ponto focal de seus estudos. Utilizam-se de modelos de equilíbrio geral microeconômicos¹, que partem do ponto de vista dos agentes individuais (*bottom-up*) em sociedade. Apresentam, pois, a existência de uma poluição ótima, situação na qual há o equilíbrio entre a satisfação individual que deriva da produção e o mal-estar causado pela poluição resultante da atividade produtiva.

Para entender este modelo, apresentaremos a demonstração feita por Pearce e Turner (1990). Na figura 3, o eixo vertical representa os custos e benefícios em termos monetários e o eixo horizontal é o nível da atividade econômica, Q . A curva do benefício marginal privado líquido, $BMgPL$, retrata o benefício adicional do produtor em mudar uma unidade de sua atividade. O custo marginal externo, $CMgE$, é o valor adicional do dano da externalidade causado pela produção.

As áreas abaixo das curvas marginais são expressas em magnitudes, portanto, a área $A+B+C$ é o benefício privado líquido total do poluidor e a área $B+C+D$ é o custo total externo. Assumindo que a condição de eficiência de Pareto, o objetivo da sociedade é maximizar a soma dos benefícios menos a soma dos custos. Assim sendo, veremos que o triângulo OYX é a maior área de benefícios líquidos obtidos. O que nos permite inferir que o nível ótimo da atividade econômica é o Q^* e que a poluição gerada pela atividade econômica neste ponto é o nível ótimo da poluição, representada em totalidade pela área OXQ^* .

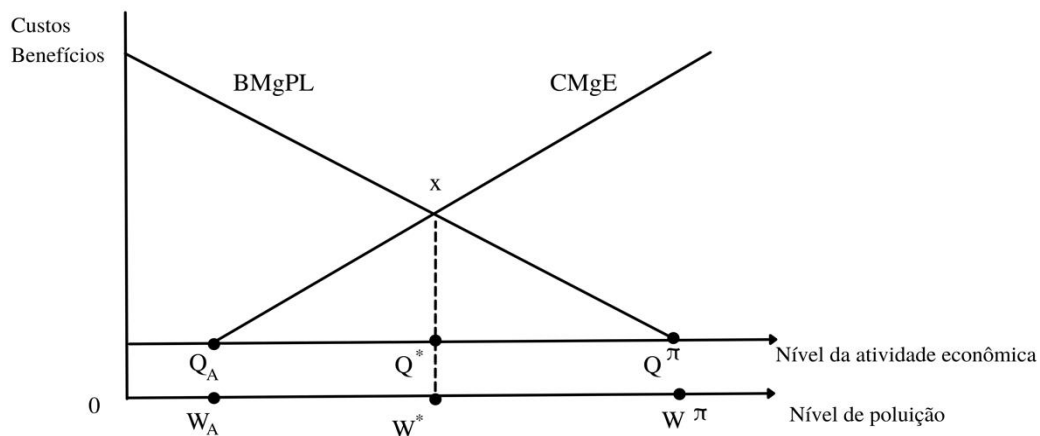


FONTE: Adaptação de PEARCE e TURNER (1990)

¹ Kneese, Ayres e d'Arge utilizam o modelo de equilíbrio geral de Walras-Cassel para o estudo de externalidades generalizadas associadas a resíduos, assumindo coeficientes técnicos fixos de produção.

Percebe-se, assim, que eliminação da poluição somente seria possível se não houvesse atividade econômica alguma. Sabe-se, entretanto, que o meio ambiente tem uma certa capacidade assimilativa de receber dejetos e resíduos sem que ocorram desequilíbrios significativos. Na figura 4, demonstramos o nível ótimo de poluição considerando esta capacidade assimilativa. Se o nível de poluição, W , é menor que a capacidade assimilativa, A , a externalidade gerada no processo de degradação e transformação é uma temporária que não causa danos à sociedade. Mas se W for maior que A então a própria capacidade assimilativa será prejudicada.

FIGURA 4 – NÍVEL ÓTIMO DE POLUIÇÃO CONSIDERANDO A CAPACIDADE ASSIMILATIVA



FONTE: Adaptação de PEARCE e TURNER (1990)

Nota-se que a não poluição, ou $W = 0$, não é o ponto ótimo em termos de bem-estar social, pois a atividade econômica também gera ganhos na utilidade dos agentes. Portanto, o nível ótimo de poluição é aquele em que o bem-estar gerado por um certo nível de atividade econômica equivale à perda de bem-estar causada pela poluição gerada na atividade. Para mais, percebemos que, na presença da externalidade, há uma divergência entre o custo social e privado que, se não for corrigida, pode levar ao nível de poluição W^π , em que os benefícios privados do poluidor são maximizados.

2.3 TEORIA DOS RECURSOS NATURAIS NÃO RENOVÁVEIS

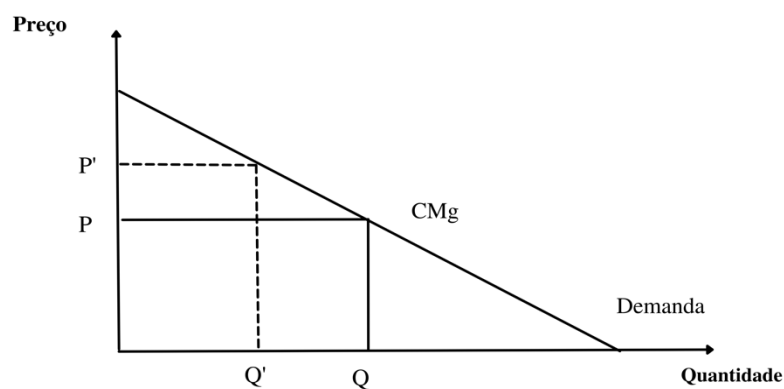
Analisando o meio ambiente sob a perspectiva *source*, a teoria dos recursos naturais compreende o estudo do manejo adequado de recursos renováveis e da taxa de depleção dos

não renováveis. Os recursos exauríveis são aqueles que possuem uma capacidade regenerativa próxima ou igual a zero com estoque de quantidades fixas e finitas.

Hotelling (1931) estabeleceu o parâmetro básico para a teoria dos recursos não renováveis, ao definir como condição de eficiência intertemporal para a extração ótima que o preço líquido de um recurso exaurível deve crescer a uma taxa igual à de desconto. Esta análise considera o recurso natural como um ativo financeiro, que pode ser vendido no período atual e ter suas receitas investidas no mercado financeiro ou mantê-lo no solo. O detentor das reservas só optará pela segunda opção se o preço líquido (preço de venda menos o custo marginal de extração) crescer exponencialmente igual à taxa de juros vigente, de modo que o valor de uma unidade do recurso seja igual, independentemente da data em que for extraído.

Na figura 5, a variação entre P' e P representa o custo de oportunidade, ou seja, o que se ganharia caso se escolhesse extrair o recurso. ΔP é o valor do preço sombra, ou também chamado de *royalty*. O preço é a soma do custo marginal de produção e este custo de oportunidade. A fórmula é comumente expressa por $\frac{p'_t}{p_t} = r$, em que r é a taxa social de desconto, p'_t é a variação do preço e p_t é o preço. Assim, $\frac{p'_t}{p_t}$ representa a taxa de crescimento do preço sombra. Por integração, temos: $p_t = p_0 \cdot e^{r \cdot t}$ (HOTELLING, 1931: 141).

FIGURA 5 – CURVA DE EFICIÊNCIA DE UM RECURSO NATURAL EXAURÍVEL



FONTE: Adaptação de MAY (1995)

A Regra de Hotelling é considerada “uma condição de eficiência necessária que deve ser satisfeita por qualquer programa de extração ótimo.” (PERMAN, 2003: 507). Apresenta, entretanto, certas restrições quanto a sua aplicabilidade. Segundo Stamford e Souza (2000), o modelo pressupõe a estrutura de mercado sob concorrência perfeita; que o estoque do recurso não renovável é conhecido, ignorando a possibilidade de descoberta de novas reservas; custo

de extração constante; curva da demanda estacionária; não existência de externalidades; e caráter homogêneo do recurso.

O estudo publicado por Hartwick (1977), logo após o primeiro choque do petróleo, enfatiza o problema da maximização intertemporal do bem-estar, de que o consumo das populações atuais restrinja o das futuras gerações. Para garantir que o nível de consumo se mantenha constante, propõe que parte das rendas provenientes das atividades de exploração de recursos não renováveis seja investida em capital reprodutível (HARTWICK, 1977: 974).

Argumenta que a renda de Hotelling deve ser utilizada como forma de compensar a depreciação do estoque de capital natural e que, caso seja consumida no período atual, levará a queda do estoque total de capital, implicando em perdas de bem-estar. Utiliza a função de produção Cobb-Douglas, $F = K^\alpha r^\beta$, em que K é o capital e r é a extração do recurso exaurível. Logo, a produtividade marginal do recurso é $F'_r = \beta K^\alpha r^{\beta-1}$, sendo a renda proveniente da exploração do recurso $r\beta K^\alpha r^{\beta-1}$, a regra de investimento de Hartwick requer que $K' = \beta K^\alpha r^\beta$.

No que tange à sustentabilidade do crescimento econômico, os estudos de Solow (1974), Dasgupta e Heal (1974), e Stiglitz (1974) firmaram a importância do grau de substituíbilidade entre o capital natural e o produzido. Para Solow, a manutenção da totalidade do capital total é garantida caso a elasticidade de substituição do capital não seja menor que uma unidade. Stiglitz constata que a condição necessária e suficiente para sustentar um nível de consumo *per capita* constante é que a razão da taxa de mudança tecnológica para a taxa de aumento populacional deve ser maior ou igual a parte dos recursos naturais (STIGLITZ, 1974: 128).

As conclusões de Dasgupta e Heal, no entanto, apresentam um cenário mais pessimista. Analisando o comportamento da elasticidade de substituição entre um capital e o recurso para grandes valores, concluíram que a utilidade e o consumo irão para zero no longo prazo (DASGUPTA & HEAL, 1974: 13).

2.4 TEORIA DOS RECURSOS RENOVÁVEIS

O recurso natural renovável é aquele que apresenta capacidade autorregenerativa de manutenção e ampliação sob o ponto de vista de escala temporal relevante ao homem (CONRAD & CLARK, 1987: 62). Porém, estes podem se tornar não renováveis caso sua taxa de exploração seja superior à taxa de renovação, situações em que há incompatibilidade entre a dinâmica biológica e a econômica.

O estoque do recurso renovável está sujeito à capacidade de suporte do ecossistema em que está inserido, portanto sua função de crescimento, a relação entre o nível do estoque e a taxa de crescimento do estoque, é determinada por fenômenos biológicos (MAY, 2010: 68). A partir da função de crescimento é possível inferir a extração máxima sustentável do recurso, a qual corresponde ao maior nível de extração, mantendo-se constante o nível de estoque.

Para definir o ponto ótimo de extração, são utilizados modelos de otimização dinâmica² que consideram o custo de extração e a demanda. A teoria demonstra o benefício em manter níveis de estoque elevados, visto que o custo de extração é inversamente proporcional ao nível do estoque e diretamente proporcional ao uso de fatores de extração. Ou seja, *ceteris paribus*, quanto maior o estoque, menor o custo (MUELLER, 2007: 371).

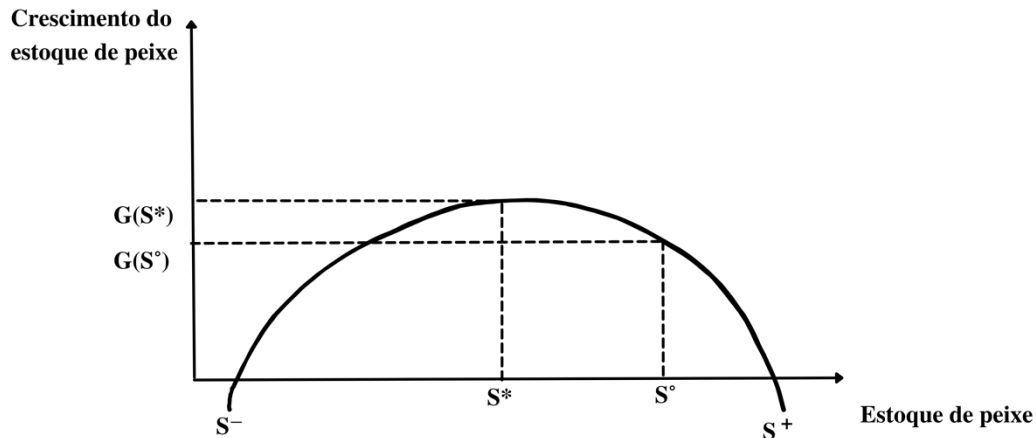
O esgotamento do estoque de recursos devido à exploração excessiva é creditado pela teoria à ausência de propriedade. Garrett Hardin (1968) apresenta o problema dos bens comuns, como oceanos, rios e populações de peixes, em que o único custo para a maximização do lucro individual é o da extração, atuando como se o preço sombra fosse zero. Extrair em nível ótimo implica que o preço do recurso seja igual ao custo marginal de extração somado ao custo de oportunidade – o que não ocorre se não há definição de propriedade.

Para ilustrar uma das aplicações da teoria dos recursos renováveis, apresentaremos o modelo de gestão de pesca, demonstrado por Tietenberg (1992). As suposições básicas são de um mercado de peixe competitivo, em que seu preço é dado e constante, o custo marginal é constante e o volume de pesca por unidade de esforço é proporcional ao tamanho do estoque de peixe.

Na figura 6, temos a função de crescimento da população de peixe, representada por $G(s)$, em que o tamanho da população está representado por S . Percebe-se que S^* é o ponto máximo de aumento da população $G(S^*)$, ou seja, a partir deste ponto, quanto maior o estoque, menor o aumento do crescimento de estoque. S^+ representa a capacidade de suporte máxima, quando o nascimento e a imigração de peixes se igualam à mortalidade e à emigração de peixes da zona analisada. Este ponto, em que a variação líquida da população é zero, é o nível de equilíbrio natural da população de peixes. O ponto S^- representa a situação em que o nível de estoque de peixe é o mínimo viável, em que qualquer fator externo pode causar a extinção.

² A otimização dinâmica busca uma trajetória ótima no tempo para cada variável.

FIGURA 6 – RELAÇÃO ENTRE O CRESCIMENTO E A POPULAÇÃO DE PEIXE



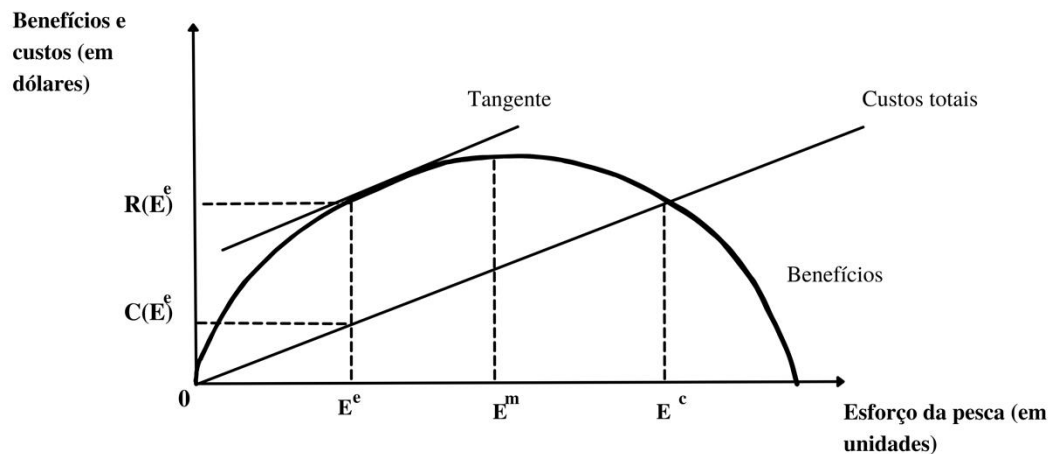
FONTE: Adaptação de TIETENBERG (1992)

Em biologia, o ponto S^* representa a população em que há a maximização da produção sustentável, pois é onde o crescimento do estoque de peixe atinge seu ápice. Assim, a produção de extração sustentável é igual a este crescimento máximo e representa o maior volume de pesca que pode ser extraído continuamente. É possível determinar a produção sustentável para qualquer tamanho de estoque ao observar o ponto de intersecção da função no eixo vertical, a partir do ponto de tamanho de estoque escolhido. Por exemplo, a produção sustentável para a população de peixe em S° é $G(S^\circ)$, pois, como a pesca é igual ao crescimento, o tamanho da população permanecerá o mesmo.

Para definir a alocação eficiente, é preciso incluir os custos e benefícios da extração. A produção sustentável máxima não corresponde ao nível eficiente, pois, para tal, se deve maximizar o benefício líquido da extração. No modelo de eficiência sustentável estática³, reproduzido na figura 7, os benefícios e custos são função do esforço da pesca, medidos em horas de trabalho. Como assume-se que o preço do peixe é constante, a forma da função de benefício é igual a da função biológica de crescimento. O ponto E^m , em que um nível de esforço adicional implicaria na redução da pesca sustentável, corresponde ao de produção sustentável máxima da figura 6, S^* .

³ É utilizado o modelo estático por não incorporar a taxa de desconto.

FIGURA 7 – FUNÇÃO DE PRODUÇÃO EFICIENTE E SUSTENTÁVEL



FONTE: Adaptação de TIETENBERG (1992)

O benefício líquido está representado como a diferença entre os benefícios (preço vezes a quantidade) e os custos (custo marginal de esforço vezes as unidades de esforço). O ponto E^e , onde a distância vertical entre benefícios e custos está maximizada, é o nível de eficiência. Verifica-se, pois, que a produção sustentável máxima, E^m não é eficiente, já que, neste ponto, o benefício marginal é menor que o custo marginal.

O modelo de eficiência dinâmica permite a inserção da taxa de desconto na análise, ao considerar a escala temporal da extração. Seus efeitos são similares àqueles de alocação de recursos exauríveis, em que majorando a taxa de desconto, aumenta-se o custo para o proprietário do recurso. Na gestão da pesca, introduzir taxas de desconto positivas elevaria o nível de eficiência de esforço para além do verificado na produção sustentável do modelo estático.

O modelo de eficiência dinâmica permite a inserção da taxa de desconto na análise, ao considerar a escala temporal da extração. Seus efeitos são similares àqueles de alocação de recursos exauríveis, em que aumentando a taxa de desconto, aumenta-se o custo para o proprietário do recurso. Na gestão da pesca, introduzir taxas de desconto positivas elevaria o nível de eficiência de esforço para além do verificado na produção sustentável do modelo estático.

Em um primeiro momento, o aumento no esforço levaria ao aumento do benefício líquido decorrente do aumento da pesca. Mas, eventualmente, a população de peixe diminuiria, visto que a pesca excede a produção sustentável para aquele estoque. Quando o nível de esforço se tornar estável e o volume da pesca se equiparar com o crescimento da população, um nível de equilíbrio mais baixo será alcançado. Com o aumento das taxas de desconto, o nível de

eficiência do esforço no modelo dinâmico, aumentará até o ponto E^c , em que o benefício líquido é zero.

Ao analisar alocações interdependentes no tempo, o custo marginal individual passa a ser medido pelo custo de oportunidade de aumentar o esforço atual. Este custo de oportunidade representa os benefícios líquidos renunciados ao extrair mais recursos no presente. Dessa forma, a disposição marginal a pagar é igual o custo marginal individual mais o custo marginal de extração.

Considerando a perpetuidade da atividade pesqueira e, portanto, sendo infinita a taxa de desconto, o custo marginal individual será zero, já que nenhum valor é recebido de futuras alocações⁴. A probabilidade de a população de peixe ser reduzida abaixo do nível de produção sustentável máximo, no qual a pesca acompanha a taxa de crescimento da população, depende da taxa de desconto. Quanto mais baixos forem os custos de extração e mais alta a taxa de desconto, maior a probabilidade de o nível de esforço eficiente exceder este ponto.

Diante do exposto, verificamos que a extinção de uma população de peixes poderia ocorrer caso o benefício de extrair a última unidade exceda o custo de extrair esta unidade, incluindo os custos das gerações futuras. Enquanto a taxa de crescimento da população exceder a taxa de desconto, este cenário será evitado.

Conforme verificado, a economia ambiental neoclássica concentra sua análise nas questões que impactam diretamente o funcionamento da economia, utilizando-se de instrumentos mercadológicos para a valoração de recursos ou danos ambientais. A economia ecológica, no entanto, destaca as características do meio ambiente que são insubstituíveis e difíceis de serem mensuradas em termos monetários, como os serviços essenciais prestados pela natureza. Esta distinção, embora simples, é fundamental para entender as políticas e aplicações oriundas das duas escolas.

⁴ Isto implica que o custo marginal da extração é igual ao preço e que os benefícios totais são iguais aos custos totais.

3 ECONOMIA ECOLÓGICA

Por séculos da história humana, cientistas e estudiosos mantiveram o interesse ativo em áreas para além de sua especialidade. John Locke especializou-se em Medicina, embora sua grande herança tenha sido na filosofia moral. Adam Smith, antes de publicar *A Riqueza das Nações*, obra vital para a estruturação do liberalismo econômico, ocupou-se do estudo e crítica da moralidade e comportamento humano. A disciplina da economia surge deste costume acadêmico da transdisciplinaridade, em meio às mudanças sociais e descobertas científicas do século XVIII, como tentativa de responder a questões éticas que surgiam com o desenvolvimento dos mercados.

A busca pelo entendimento da funcionalidade dos sistemas para o bem-estar dos seres que o compõem é, também, o escopo do estudo da ecologia. Formada como disciplina formal no século XIX, como fruto dos avanços científicos da biologia e da história natural, este campo acadêmico compartilha com a economia uma relação conceitual profunda, explícita na definição de Ernst Haeckel (1870) sobre ecologia:

Por ecologia nos referimos ao corpo de conhecimento sobre a economia da natureza - a investigação das relações totais do animal tanto ao seu ambiente inorgânico quanto ao orgânico, incluindo, acima de tudo, suas relações hostis e amigáveis com esses animais e plantas, com os quais entra em contato direto ou indireto - em uma palavra, ecologia é o estudo de todas as interrelações complexas referidas por Darwin como as condições da luta pela existência. (ALLEE et al., 1949: Frontispício).

Apesar de características teóricas semelhantes, estas duas disciplinas evoluíram em sentidos contrários. O pensamento econômico dos últimos dois séculos foi formado com base em um otimismo tecnológico e na crença do controle do homem sobre a natureza. A ecologia, por outro lado, possui uma abordagem precavida, assinalando preocupações sobre o grau de conhecimento humano nas transformações da biosfera. A visão de mundo dos ecologistas é de um complexo, incerto, interconectado e sensível a mudanças.

A economia ecológica é a tentativa de restaurar a análise integrada e interativa de problemas que caracterizaram o início da história da ciência. É somente por meio dessa análise reintegrada que podemos esperar compreender e resolver nossos problemas sociais mais prementes e complexos (COSTANZA et al., 1997).

Um importante norteador conceitual para a economia ecológica é o paradigma evolucionário, apresentado por Charles Darwin (1859), de que as espécies evoluem pelos processos de adaptação e seleção natural. O postulado central é que os sistemas complexos se adaptam e evoluem por meio do armazenamento e transmissão de informações com os genes,

da geração de novas alternativas com a recombinação sexual ou mutação genética e da seleção de alternativas de acordo com critérios de desempenho (sucesso reprodutivo).

Para a economia ecológica, estes mesmos processos de mudança ocorrem em outros sistemas, como os culturais e econômicos. Como exemplo, na evolução cultural, o meio de armazenamento é a cultura, com a tradição oral, escrita, filmes e livros, a geração de novas alternativas ocorre por meio da inovação de membros da cultura e a seleção é baseada no sucesso reprodutivo das alternativas geradas e a reprodução é feita com a disseminação e cópia do comportamento através da cultura (CONSTANZA et al. 1997: 40).

Uma diferença marcante da evolução cultural para a biológica é a escala de tempo. Para que ocorra a alteração da estrutura genética de uma espécie, é necessária a seleção e acumulação de fenótipos entre várias gerações, um processo extremamente mais lento do que o das mudanças culturais, que são aprendidas e adquiridas durante a vida de um indivíduo. Esta capacidade adaptativa excepcionalmente rápida permitiu ao *Homo sapiens* a apropriação de grande parte dos recursos planetários e o aumento substancial de sua espécie. Entretanto, esta característica da evolução cultural torna o ser humano suscetível à dependência de recompensas de curto prazo e limita sua compreensão sobre questões a longo prazo, como é o caso da sustentabilidade. Para Costanza (1987), o principal desafio da economia ecológica é conceber instrumentos de política e incentivos que possam traduzir as previsões em modificações efetivas da dinâmica evolutiva de curto prazo.

A elaboração da teoria geral de sistema pelo biólogo Ludwig von Bertalanffy (1968), de que os sistemas podem ser entendidos como partes interativas e interdependentes de um todo, ligadas por trocas complexas de matéria, energia e informação, e a continuidade desta discussão ao longo do final do século XX, tanto por ecologistas quanto por economistas, anunciam a reintegração dessas duas áreas do conhecimento. A ciência clássica utiliza de uma abordagem reducionista, ao analisar um fenômeno isolando-o em partes atômicas, unitárias. Tais condições quase nunca são encontradas em sistemas vivos complexos, isto é, sistemas em que ocorrem interações fortes e não lineares. O uso da abordagem integrativa da análise de sistemas se mostra eficiente quando considerando os sistemas ecológicos e econômicos que compartilham das características supracitadas de sistemas vivos (CONSTANZA et al., 1997: 40).

O aumento da disponibilidade de computadores e de *softwares* a partir da década de 1970 viabilizou a modelagem de sistemas complexos, antes limitados pelos procedimentos analíticos. Como exemplo, o relatório *Limites para o Crescimento* (1972) foi desenvolvido por

meio do modelo de sistemas *World3*, que simula as consequências das interações entre o planeta e os sistemas humanos.

3.1 ENTROPIA NO PROCESSO ECONÔMICO

Para entender as implicações que as leis da termodinâmica exercem sobre as atividades humanas, buscaremos, primeiramente, apresentar uma breve explicação sobre este ramo da física. Termodinâmica é o estudo das relações entre trabalho, calor e temperatura, bem como as transformações energéticas que ocorrem em um sistema. Assenta-se como ciência a partir da análise feita pelo engenheiro Sadi Carnot, que buscava construir a máquina mais eficiente, aquela em que a conversão do calor em trabalho seja a maior possível.

Uma máquina simples de vapor funciona a partir do calor de um fogo que ferve água e o vapor gerado se expande, empurrando o pistão e fazendo a roda girar. Para fechar o ciclo, o vapor entra em outro recipiente onde é condensado por água fria, e retorna para a caldeira para ser, novamente, transformada em vapor e convertida em trabalho. Carnot supôs que um ciclo termodinâmico de máxima eficiência é aquele reversível, no qual uma modificação infinitésima da temperatura pode fazer fluir o calor entre duas direções. É uma suposição ideal, visto que desconsidera a força do atrito e a perda de trabalho com a fricção. Nesta máquina ideal, o calor Q_1 na temperatura T_1 é equivalente ao calor Q_2 na temperatura T_2 , ou seja, a mesma quantidade de Q/T absorvida no sistema é liberada, não havendo nem perdas nem ganhos energéticos. A relação Q/T é chamada de entropia, denominada pela letra S . Em um ciclo reversível, não ocorre variação considerável dessa grandeza.

Entretanto, essa reversibilidade, essencial para a máxima eficiência numa máquina, é incompatível com a realidade física do mundo. Dessa maneira, a constatação de Carnot ao analisar esse sistema foi que “o calor não pode ser recebido em uma certa temperatura e convertido em trabalho sem qualquer modificação no sistema ou no meio”. Como nenhum processo é completamente reversível, nenhuma máquina que opera entre duas temperaturas fixas pode ter um rendimento maior do que a máquina ideal de Carnot (FEYNMAN, 2008: 44-2).

A ideia de irreversibilidade dos processos físicos está ligada ao estudo da multiplicidade, e pode ser bem elucidada pelo exemplo da expansão livre de um gás:

Imaginemos um recipiente dividido em duas partes iguais por uma parede. Um gás ocupa uma dessas partes e a outra está vazia. Se a divisória entre os dois lados for removida, todos sabemos que o gás irá para a metade vazia até ocupar uniformemente todo o recipiente, atingindo o que chamamos de estado de equilíbrio. Esse é um

exemplo padrão de irreversibilidade porque, afinal, ninguém diria que o gás pode voltar espontaneamente a ocupar uma metade do recipiente deixando um vácuo na outra (MOURA; AGUIAR, 2016: 12).

No estado final, o número de possibilidades diferentes em que as partículas podem se organizar é imensamente maior do que no estado inicial. E é esta multiplicidade que determina o caminho natural de um estado para outro, já que é muito mais fácil ir de um estado de baixa multiplicidade para um de alta multiplicidade. Com efeito, em um sistema macroscópico, é praticamente impossível fazer o caminho inverso.

Retornando às análises termodinâmicas, consideremos outro exemplo de irreversibilidade: colocamos uma pedra quente na água fria. Com a transferência de calor ΔQ de T_1 para T_2 , a entropia da pedra quente diminui $\Delta Q/T_1$ e a entropia da água aumenta $\Delta Q/T_2$. O calor flui naturalmente da temperatura mais alta (T_1) para a mais baixa (T_2), sendo ΔQ positivo e se $T_1 > T_2$. Conforme a equação $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T_2} - \frac{\Delta Q}{T_1}$ demonstra, a entropia do sistema como um todo aumenta (FEYNMAN, 2008: 44-12).

Temos, assim, a segunda lei da termodinâmica, a qual postula que em processos irreversíveis a entropia do sistema aumenta. O que isso significa é que em todo sistema que realiza ciclos entre temperaturas diferentes, a parcela de energia associada à entropia do sistema não pode ser convertida em trabalho. Em suma, uma certa quantidade de calor retirada da fonte quente é convertida em trabalho e o restante é rejeitado para a fonte fria. Em outras palavras, a energia livre de um sistema fechado se degrada continuamente e irreversivelmente em energia dissipada. De acordo com os estudos da estatística termodinâmica, somente em sistemas microscópicos, com poucas partículas, onde a multiplicidade não é determinante, é possível a ocorrência de processos reversíveis. Em uma situação universal, os processos termodinâmicos são irreversíveis, o que implica que a entropia do universo está sempre aumentando.

Nicholas Georgescu-Roegen (1971) salienta a incoerência de analisar o processo econômico sob uma perspectiva inteiramente mecanicista, sendo este um processo vivo que, como qualquer outro, está sujeito à irreversibilidade imposta pela lei da entropia. E, portanto, reconhece que o processo econômico transforma matéria e energia utilizável (de baixa entropia) em resíduos inutilizáveis (de alta entropia). Caso contrário, um pedaço de carvão poderia ser utilizado infinitamente como fonte de energia, sem perder sua função. Além, é claro, do déficit entrópico, a escassez de recursos é corolário à acessibilidade da energia utilizável. Mesmo que a energia esteja em um estado que pode ser utilizada pelo ser humano, ela só terá valor se estiver acessível, ou seja, se não precisarmos utilizar mais energia para extraí-la do que ela pode oferecer.

Ele ressalta que os limites biológicos restringem ainda mais o acesso humano à energia de baixa entropia. Afinal, somos sensíveis a mudanças de temperaturas e a altos níveis radioativos. De certo, é esta fragilidade humana a razão que motiva o intenso debate político sobre a obtenção de energia nuclear e sua aplicação em larga escala. O Sol, apesar de ser uma fonte abundante de energia, não pode ser explorado plenamente, nos sendo acessível somente a ínfima parcela de energia solar proveniente dos raios ultravioletas. Assim, a quantidade de energia de baixa entropia acessível é limitada, mesmo sendo a Terra um sistema termodinâmico aberto.

No que diz respeito à quantidade material acessível que pode ser utilizada, podemos chegar às mesmas conclusões. Primeiro porque, exceto em condições específicas – em escala atômica e apenas com alguns elementos –, não podemos transformar energia em matéria. Segundo que as macroestruturas materiais vão sofrer alterações se a sua entropia for mais baixa do que a do seu meio ambiente, o que é verdade para a maioria dos casos. Os recursos naturais que servem de *input* para o processo econômico e, por conseguinte, para o bem-estar humano, são insubstituíveis e complementares à energia recebida de fora do sistema da Terra. Dessa forma, podemos afirmar que a quantidade de matéria útil e acessível disponível também é limitada.

O constante crescimento da atividade econômica não só provoca o esgotamento dos recursos naturais, como aumenta a quantidade de resíduos sem utilidade no nosso planeta. Matérias inúteis e nocivas à vida, humana e animal. Além dos impactos negativos que a poluição causa à saúde, como câncer ou doenças respiratórias, diversos resíduos deterioram intensivamente o meio ambiente – talvez um dos exemplos mais marcantes seja a poluição dos oceanos por novas entidades, como o plástico e dejetos industriais, que desequilibram a fauna e a flora marinhas.

Há, contudo, certas substâncias que podem ser recicladas pelos processos naturais do meio ambiente, como é o caso do CO_2 . Árvores e plantas, por meio do processo de fotossíntese, retiram dióxido de carbono do ar e, utilizando água e energia solar, transformam estes elementos em oxigênio, água e glicose. Porém, a capacidade de absorção de CO_2 pelos processos naturais e artificiais se demonstrou incapaz de balancear as emissões antropogênicas e manter a quantidade de dióxido de carbono em níveis seguros. Para efeito de comparação, as emissões provenientes da combustão de combustíveis fósseis aumentaram em 90% desde a década 1970, período em que Georgescu-Roegen e outros já evidenciavam a problemática (BODEN, MARLAND, 2017).

A reciclagem, por vezes enaltecida como solução, elimina a poluição às custas de mais gastos energéticos. Este método “requer enormes quantidades de baixa entropia suplementar e, por outro, gera uma poluição suplementar” (GEORGESCU-ROEGEN, 1971). Também sugerida como alternativa para a questão do esgotamento dos recursos naturais, a reciclagem, entretanto, não é integral. O argumento das inovações de substituição, por sua vez, ignora o princípio de déficit energético da lei da entropia. Pauta-se na tese do constante aperfeiçoamento técnico, o qual possibilitaria tanto a substituição dos recursos escassos como também o aumento da produtividade de qualquer tipo de energia e de matéria. Para Georgescu-Roegen:

A dificuldade desse argumento é que a história prova, e de forma irrefutável, que por um lado, num espaço finito só pode haver uma quantidade finita de baixa entropia e, por outro, que a baixa entropia degenera contínua e irreversivelmente. (GEORGESCU-ROEGEN, 1971:96).

Eventualmente, pois, chegaremos ao limite termodinâmico do planeta, no qual não haverá mais energia útil disponível nem materiais acessíveis a serem utilizados no processo econômico. Estimar este prazo, entretanto, não é tarefa fácil. Em 1972, o Clube de Roma examinou as interações do aumento populacional, da produção agrícola, depleção de recursos naturais, geração de poluição e de resíduos industriais. A conclusão foi de que o planeta não suportaria as atuais taxas de crescimento econômico e populacional muito além de 2100, mesmo com tecnologias avançadas. A crítica feita por Georgescu-Roegen, em *Os Limites ao Crescimento*, baseia-se na falta de avaliação empírica concreta das relações apresentadas. Questiona a utilização da estatística de probabilidade e índices, metodologia que nomeou de “raciocínio aritmomórfico”, pois os considera instrumentos incapazes de prever as mudanças evolutivas que interferem nos cinco fatores analisados. Porém, concorda com Silk (1972) que “seria loucura ignorar as advertências gerais que o relatório comporta a respeito do crescimento da população, da poluição e do esgotamento dos recursos” (GEORGESCU-ROEGEN, 1976: 110).

3.2 ESCALA, DISTRIBUIÇÃO E ALOCAÇÃO

A fim de compreender as análises feitas pela economia ecológica, iremos apresentar, primeiramente, os três problemas com que esta escola busca lidar: alocação, distribuição e escala. A alocação se refere à divisão relativa dos fluxos de recursos para a produção de bens e serviços; distribuição, à divisão dos bens e serviços entre pessoas; e escala, ao volume físico do fluxo de matéria-energia do meio ambiente para a produção de bens e serviços. O fluxo de matéria-energia é referenciado na literatura como *throughput*, que pode ser traduzido como

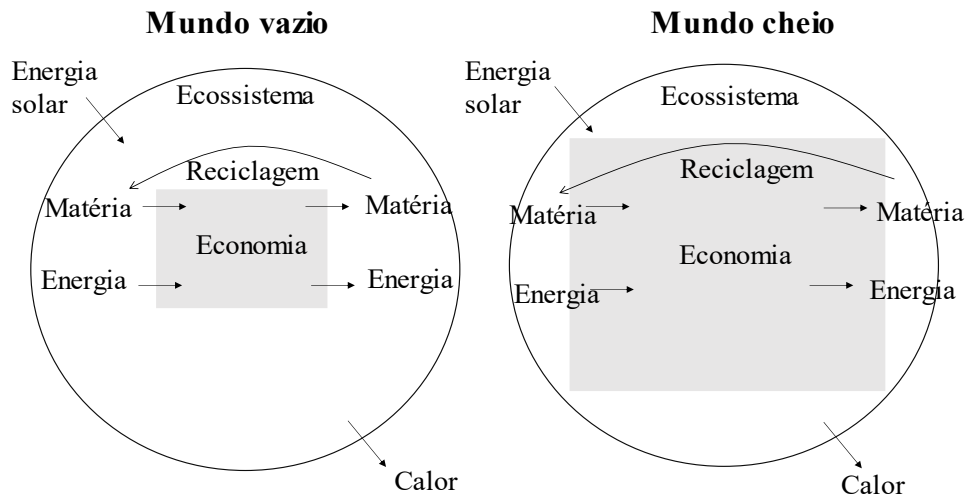
“ciclo de produção”. É o elo que liga o estudo dos *inputs* (função ambiental *source*) e dos *outputs* (função ambiental *sink*), salientando a importância do papel da entropia para o processo produtivo. Segundo Daly, “*throughput* é o fluxo de recursos naturais de baixa entropia que sofre as transformações da produção e do consumo e volta à natureza sob a forma de resíduos de alta entropia” (DALY, 1991: 4).

No primeiro capítulo, vimos que os neoclássicos consideram a condição de eficiência de Pareto como a alocação *ótima* e entendem que os preços relativos determinados pela oferta e demanda de mercados competitivos levam a esta alocação eficiente. Definida como a alocação que melhor satisfaz os desejos individuais ponderados pela capacidade de pagamento do indivíduo, a eficiência ótima pressupõe uma dada distribuição de riqueza e renda, ou seja, ao alterarmos a distribuição de renda, teremos outros preços eficientes. A questão da distribuição igualitária foi constantemente esquivada pelos ortodoxos devido ao seu caráter normativo. O principal ponto tratado, quando lidando com a distribuição, é se ela é justa, em que o grau de desigualdade é limitado dentro de um intervalo aceitável. Questão que, sem dúvida, implica um juízo de valor. Outra razão pela qual a distribuição foi deixada de lado pelos formuladores de políticas é a possibilidade de utilizar do discurso de que a concentração de capital permite que o crescimento econômico, no longo prazo, alivie a situação dos mais pobres.

Em microeconomia, é usual a utilização da escala para definir os níveis de atividade ótimos de uma empresa ou indústria. Quando os benefícios extras do aumento da atividade forem menores que os custos extras, então a atividade atingiu sua escala ótima e deve parar de crescer. Já em macroeconomia, não há essa necessidade de parar o crescimento, visto que o custo de oportunidade é insignificante. Afinal, não existe uma alternativa à escolhida quando considerada toda a atividade econômica. Essa visão, adotada pela economia convencional, pressupõe que os recursos naturais podem ser substituídos constantemente pelo capital produtivo, viabilizando o crescimento infinito da economia.

Para Daly (2004: 46), mesmo adotando a perspectiva da economia ecológica de que a economia é um subsistema dentro de um ecossistema maior, não haveria necessidade de parar de crescer se este subsistema se mantivesse relativamente menor que o ecossistema. Nesta visão de um “mundo vazio”, realmente não há um custo de oportunidade relevante. Entretanto, o crescimento contínuo da economia física em um ecossistema finito, de tamanho inalterável, levará eventualmente a um “mundo cheio”, no qual os recursos naturais são escassos e o custo de oportunidade do crescimento é significativo.

FIGURA 8 – O ECOSSISTEMA GLOBAL FINITO EM RELAÇÃO AO SUBSISTEMA ECONÔMICO



FONTE: Adaptação de GOODLAND, DALY e EL SERAFY (1992)

Diferentemente dos neoclássicos, os economistas ecológicos apontam que, à medida que o crescimento nos leva de um mundo vazio para um cheio, a produtividade do capital humano é cada vez mais limitada pela diminuição da oferta de capital natural. Argumentam que os fatores de produção são complementares e não substituíveis, contrariando a suposição convencional. A complementariedade se evidencia se imaginarmos, por exemplo, a utilidade de um barco de pesca em um mar sem peixes. Ou uma refinaria sem depósito de petróleo. Para a constituição de capital manufaturado, são necessários *inputs* advindos do meio ambiente, ou seja, o próprio substituto requer o insumo que está sendo substituído. Colocando desta forma, fica claro que o capital humano e os recursos naturais são fundamentalmente complementares, não substitutos.

A lei da entropia nos garante que matéria e energia se movem inevitavelmente a um estado menos ordenado, sem utilidade. Aumentar constantemente a escala da economia, ou seja, a quantidade de matéria-energia de baixa entropia transformadas em matéria-energia de alta entropia, levará a um estado de escassez completa de matéria-energia útil para o processo produtivo. Além de ofertar recursos para a atividade econômica e receber os dejetos dos processos produtivos, o capital natural garante a manutenção da vida na Terra e a saúde e bem-estar da sociedade. São funções indispensáveis e impossíveis, pelo menos até os dias de hoje, de serem substituídas pelo capital manufaturado. Contar com grandes descobertas tecnológicas que nos garantam a sobrevivência em um planeta alterado é uma aposta extremamente arriscada.

Assim sendo, a economia ecológica dispõe as questões a serem tratadas sob uma ordem de prioridade. Em primeiro lugar, definir os limites ecológicos de uma escala sustentável e garantir que a economia permaneça dentro deles. Em segundo, estabelecer uma distribuição justa usando sistemas de direitos de propriedade e transferências. E por último, uma vez que os problemas de escala e distribuição são resolvidos, mecanismos de mercado podem ser usados para alocar recursos de forma eficiente (CONSTANZA et al., 1997: 91).

3.3 POLÍTICAS RECOMENDADAS

Para atingir a escala sustentável, é necessário controlar o uso de *throughputs*. As políticas que visam a sustentabilidade da economia são as seguintes: regulação direta, impostos pigouvianos, subsídios pigouvianos e licenças negociáveis. Utilizar instrumentos regulatórios é a forma mais comum de política ambiental e pode se apresentar de diversas formas, como o banimento completo de uma atividade ou limitações na quantidade que certa substância pode ser emitida. Essa abordagem é especialmente vantajosa quando se trata de recursos renováveis, devido à facilidade de monitorar e delinear quantidades propícias para cada atividade. Como exemplo, podemos citar a imposição de um tamanho mínimo de pescado para a captura, o que permite que os peixes cheguem à idade de acasalamento e se reproduzam.

A desvantagem é que, em alguns casos, as regulações podem causar uma alocação ineficiente dos recursos, em que os níveis de produção fiquem bem abaixo do ótimo. Conforme visto anteriormente, a eficiência é o ponto em que os custos marginais se igualam aos benefícios marginais. Porém, custos ambientais não são facilmente medidos, de fato, só podem ser estimados. Outro revés da regulação é a falta de incentivo para reduzir ainda mais o impacto ambiental negativo. Nesse sentido, o subsídio pigouviano é uma alternativa atraente. É um pagamento feito às empresas para a redução dos custos ambientais. Enquanto o valor do subsídio for maior do que os custos de abatimento, a empresa optará pela redução. Como esse incentivo é pago pelos contribuintes, essa abordagem assume o pressuposto de que a empresa tem o direito de poluir, e a sociedade deve pagar-lhe para que não o faça.

Outra forma de estabelecer limites para uma escala sustentável é por meio de licenças negociáveis. Este mecanismo funciona com a determinação de uma cota máxima de poluição ou uso de recursos. O problema volta a ser o grau de incerteza para estimar essa quantidade máxima. Tomando como exemplo a exploração de recursos renováveis, as cotas devem reconhecer tanto o fluxo de colheitas futuras quanto o fundo de serviços ao longo do tempo.

Entretanto, nas atividades em que as licenças negociáveis são utilizadas, o aspecto fundo de serviço é habitualmente ignorado. Daly sugere que a determinação das cotas deve ser feita a partir de uma contribuição substancial dos ecologistas para garantir uma folga suficiente em relação aos limites ecológicos (DALY, 2004: 308).

Em relação à distribuição justa, os economistas ecológicos defendem a imposição de um teto de renda, limitando a acumulação de riqueza. O argumento se baseia no senso ético de legar às gerações futuras um planeta com, ao menos, as mesmas condições e oportunidades. Conforme as leis da termodinâmica, o alto nível de consumo desta geração reduzirá o estoque de recursos naturais e a capacidade do meio ambiente de fornecer serviços indispensáveis. Para garantir o direito intergeracional de desfrutar dos recursos naturais, se faz necessária a redução do consumo hoje. Tomando como premissa o senso de justiça, exigir da classe mais rica uma redução proporcional do consumo é absolutamente lógico. No estudo realizado pelo *Stockholm Environment Institute* e *Oxfam*, a relação entre riqueza, consumo e poluição se evidencia. A avaliação da distribuição global das emissões de consumo entre os indivíduos de 1990 a 2015 aponta que:

As pegadas de consumo per capita do 1% mais rico são atualmente cerca de 35 vezes maiores do que a meta para 2030 e mais de 100 vezes maiores do que os 50% mais pobres. Reduzir a pegada per capita dos 10% mais ricos para o nível consistente de 1,5 C até 2030 reduziria as emissões anuais de carbono em mais de um terço (>15 Gt), e até mesmo reduzi-lo apenas ao nível da média da UE (8,2 t/ano) reduziria as emissões anuais em mais de um quarto (c.10Gt). (GORE et al., 2020: 6).

Além da renda proveniente do trabalho, o retorno sobre o capital financeiro também é profundamente concentrado. Na realidade, os juros e lucros são fatores determinantes para a crescente desigualdade da riqueza, observada tanto em países desenvolvidos quanto nos emergentes. De acordo com o *World Inequality Lab*, a parcela da riqueza financeira dos Estados Unidos detida pelos 10% mais ricos aumentou de 63,0% na década de 1980 para 71,9% na década de 2010, um crescimento da ordem de 8,9%.

Os economistas ecológicos argumentam que uma ampla distribuição da propriedade do capital poderia aumentar a eficiência da economia de mercado, utilizando como exemplo estudos sobre a produtividade da terra em diferentes tipos de propriedade. O estudo feito por Antônio Salazar e Gershon Feder (1995) constatou que, nas terras em que o trabalhador possui um título de posse, há uma maior produtividade do que nas terras utilizadas por assalariados. Isto ocorre pois o trabalhador proprietário tem incentivos para investir na capacidade produtiva da sua terra, diferentemente do assalariado.

Esta mesma lógica pode ser usada quando analisada a indústria. Sem o usufruto proveniente do aumento da produtividade, ou seja, do lucro, não há razão para que o trabalhador

faça além do mínimo exigido. A eficiência deste modelo é, assim, contestada. Para mais, a economia ecológica critica o foco para qual a eficiência está voltada. Argumenta que o sistema econômico de máxima eficiência deveria significar a máxima produção de bem-estar humano e não de bens materiais. No modelo atual é, no mínimo, duvidável que apenas a maximização de lucro proporcione a máxima geração de bem-estar do trabalhador.

Um mecanismo que possibilita a distribuição da posse do capital é o *Employee Stock Ownership Plan (ESOP)*, plano no qual os colaboradores de uma empresa adquirem ações desta empresa, fornecendo-lhes a mesma influência sobre as decisões de gestão que os acionistas. A lucratividade da empresa torna-se interessante para o trabalhador. É um método que pode também ser utilizado para lidar com as externalidades geradas no processo produtivo. Se uma parte significativa da empresa estiver em posse dos moradores da região afetada pela poluição, estes teriam um interesse maior em manter o equilíbrio entre as externalidades negativas e os lucros.

Quanto aos retornos sobre o capital natural, muitos estão ocultos sob a forma de subsídios. Oferecidos a algumas indústrias como forma de incentivo, os subsídios livram as empresas do ônus de poluir, não as obrigando a pagar os custos que a poluição impõe à sociedade. A empresa beneficiada com o subsídio governamental monopoliza os retornos da capacidade de absorção do meio ambiente. Um exemplo recente é o Projeto de Lei nº 712/19, o qual subvenciona o uso do carvão com dinheiro público. Aprovada na Câmara no final de 2020, a decisão de prorrogar a utilização do carvão e de termelétricas até 2040 beneficia o pequeno grupo detentor das concessionárias de distribuição elétrica e lesa a população catarinense com o passivo ambiental gerado pela atividade poluidora. Daly ressalta que “livrar-se de todos esses subsídios reduziria a perda de ecossistemas e seus serviços, economizaria dinheiro dos contribuintes e geraria novas e abundantes receitas governamentais” (DALY, 2004: 400).

Tratemos, por fim, da alocação eficiente. A economia convencional defende que a eficiência alocativa pode ser alcançada por meio dos mercados, ao utilizar o mecanismo de preços para equilibrar a oferta e a demanda. Os economistas ambientais neoclássicos estendem essa ideia para a bens e serviços não comerciais, argumentando que ao atribuir valores monetários aos bens e serviços naturais, seria possível alocá-los eficientemente com o mecanismo de mercado. Com a determinação do preço de um recurso natural, outro mecanismo se faz necessário, o da internalização desses valores no sistema.

A problemática apresentada pela economia ecológica sobre a valoração de recursos naturais remete à determinação do preço pelo seu valor marginal e sua relação com a escassez. Tomemos como exemplo a água, bem essencial à vida e que possui valor de uso infinito àqueles que a consomem. Entretanto, em lugares onde este recurso é abundante, o valor de uma unidade adicional é próximo de zero. Ao passo que este recurso se torna escasso, a unidade adicional de água se torna extremamente valiosa, aumentando seu valor marginal. Assim como a água, o mesmo ocorre com todo e qualquer bem ou serviço ecossistêmico. Ao nos aproximarmos dos limites ecológicos, o valor marginal desses recursos aumenta proporcionalmente com a escassez crescente. O próprio fato de alguns bens ou serviços ecossistêmicos começarem a ser avaliados por economistas demonstra a aproximação com os limiares ambientais.

O problema consiste na necessidade de recalculer continuamente os valores ecossistêmicos, à medida que estes se tornam cada vez mais escassos e valiosos para a humanidade. Internalizar esses valores por meio de impostos ou subsídios tornaria a tarefa extremamente custosa, tanto para centralizar as informações, quanto para calcular repetidamente os valores e inseri-los no mercado novamente. Assim, a vantagem de utilizar os mecanismos de mercado pela sua facilidade em recalculer os preços sem custos, de maneira descentralizada e intervenção governamental mínima, desaparece.

Para mais, o desconhecimento e incerteza frente ao funcionamento dos ecossistemas dificulta a avaliação metódica dos recursos naturais. O método de contingência, por exemplo, consiste em perguntar às pessoas quanto elas pagariam por certo bem ou serviço não comercial. Esta metodologia falha em considerar aspectos relevantes para a valoração, tais como os limites ecológicos do recurso em questão, como este se relaciona com seu ecossistema e quais seriam os impactos quando os limites são ultrapassados.

Quando lidando com recursos renováveis, outro fator a ser considerado é o tempo. Para a economia convencional, a determinação de valor do recurso renovável deve ser feita considerando sua taxa de desconto, a fim de trazer ao presente seu valor futuro. Assim, se o recurso tiver mais valor no futuro deve ser preservado. Dessa forma, a alocação ótima do recurso é alcançada maximizando seu valor presente líquido. A ressalva feita pela economia ecológica é que esta abordagem considera apenas o valor do recurso para a geração atual, ignorando o aspecto ético da responsabilidade intergeracional. Como alternativa, apresenta a possibilidade de atribuir direitos de propriedade de recursos às gerações futuras, pautada no princípio da responsabilidade. Outra possibilidade é a imposição de um mecanismo que

determine uma certa parcela de recursos a serem destinados às futuras gerações e que a geração atual seria obrigada a garantir.

A economia ecológica, ao trazer luz à aspectos exógenos ao sistema econômico que o influenciam, salienta a importância de abandonar mitos e sofismos defendidos pelo *mainstream* e mesmo por correntes heterodoxas, como a crença irrestrita no crescimento pelo crescimento. No próximo capítulo, apresentaremos as alternativas defendidas por economistas ecológicos, como Daly (1997) e sua tese sobre a economia estacionária, e por intelectuais revolucionários, como Latouche (2009) e Gorz (1978) e a defesa pelo decrescimento, além de demonstrar as evidências empíricas das consequências alarmantes da ação antrópica no meio ambiente.

4 ESTADO ATUAL E APLICAÇÕES PRÁTICAS

No presente capítulo apresentaremos as avaliações atuais da ciência sobre como os seres humanos afetam os sistemas que permitem a estabilidade na Terra e quais são fronteiras que causariam mudanças abruptas e irreversíveis. Em seguida, discorreremos sobre duas alternativas à lógica econômica desenvolvimentista, pautada na crença pelo crescimento econômico.

4.1 EVIDÊNCIAS SOBRE OS LIMITES DO CRESCIMENTO

As evidências científicas de que já operamos em uma economia de mundo cheio são pujantes. O estudo publicado pelo *Stockholm Resilience Centre* analisou os processos biofísicos do planeta e, sob o princípio da precaução, estabeleceu os nove limites planetários quantitativos dentro dos quais a humanidade pode operar com baixo risco de desestabilizar o sistema terrestre. Diversos subsistemas são extremamente sensíveis a certas variáveis e reagem abruptamente a mudanças. Muito embora a Terra tenha passado por modificações extremas em sua história de maneira natural, as sociedades contemporâneas sofreriam efeitos catastróficos caso o planeta passe para um novo estado.

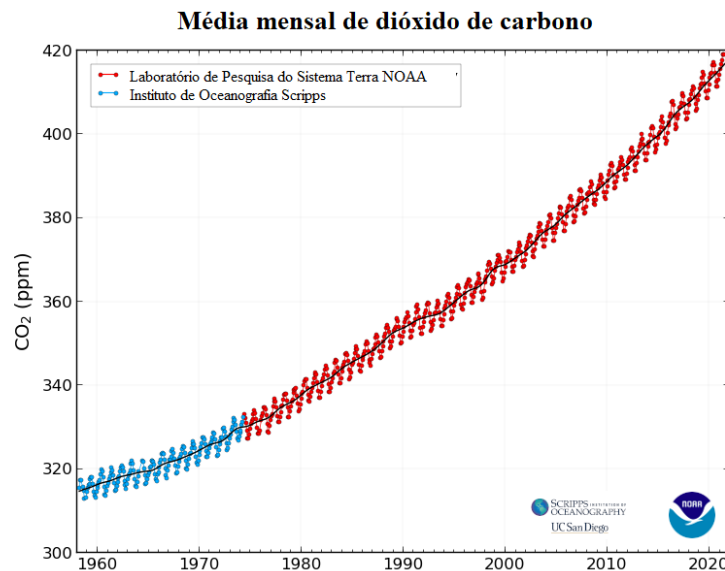
A época do Holoceno, relativamente estável, de 11.700 anos de duração, é o único estado do Sistema Terra que sabemos com certeza que pode sustentar as sociedades humanas contemporâneas. Há evidências crescentes de que as atividades humanas estão afetando o funcionamento do Sistema Terra em um grau que ameaça a resiliência do Sistema Terra – sua capacidade de persistir em um estado semelhante ao Holoceno diante de pressões e choques humanos crescentes. (STEFFEN et al., 2015: 2).

O estudo, liderado por Johan Rockström (2009), constatou que a humanidade já ultrapassou quatro dos nove limites: alteração dos ciclos biogeoquímicos, mudança no uso da terra, integridade da biosfera e mudança do clima. Em relação à mudança do clima, o consenso da comunidade científica é que a causa do aquecimento da Terra são as emissões de gases de efeito estufa provenientes da atividade humana. Pesquisa realizada por Mark Lynas et al. constata que mais de 99% dos artigos científicos revisados por pares concordam que as mudanças climáticas são consequência das ações antrópicas (LYNAS, HOULTON, PERRY, 2021).

As evidências acumuladas sugerem que a zona de incerteza para a variável de controle de CO_2 deve ser entre 350 a 450 ppm (partes por milhão) de CO_2 , e o forçamento radiativo de $+1,0 Wm^{-2}$ em relação aos níveis pré-industriais. Os valores atuais das variáveis de controle

são 414,72 ppm de CO_2 (concentração média anual para 2021) e $+2,3 Wm^{-2}$ (em 2011 em relação a 1750) (TANS, P. DLUGOKENCKY, E. NOAA/GML (gml.noaa.gov/ccgg/trends/)).

FIGURA 9 - TAXAS DE MISTURA MÉDIAS MENSAS DE DIÓXIDO DE CARBONO ATMOSFÉRICO DO OBSERVATÓRIO MAUNA LOA, HAVAI



Fonte: Global Monitoring Laboratory (2020)*

*NOTA: o acesso a esses dados ocorreu em 2022.

Como o dióxido de carbono é um dos gases responsáveis pela absorção da radiação solar, e, por conseguinte, aquecimento planetário, sua liberação exacerbada ocasiona um aumento significativo da temperatura. Com efeito, as temperaturas médias globais nos últimos 7 mil anos variavam em $0,5^{\circ}C$ até a Revolução Industrial. Desde 1880, a temperatura global média aumentou em, ao menos, $1,1^{\circ}C$ (HANSEN et al., 2010). Além do efeito perceptível do aumento de temperaturas locais, as mudanças climáticas alteram os padrões de precipitação e de circulação atmosférica. Como consequência, há o aumento da magnitude e probabilidade de ocorrência de eventos climáticos extremos como inundações, incêndios, secas e deslizamentos (IPCC, 2014).

Na Terra, existem diversas comunidades de animais e plantas, os chamados biomas, que interagem entre si em ciclos que proporcionam a perpetuidade do sistema e da diversidade. Esta variedade de espécies e plantas é fundamental para a produção de alimentos, para a oferta de água potável e ar limpo, para o sequestro de carbono e reciclagem de nutrientes. A intensa e acelerada expansão da atividade humana para *habitats* naturais, entretanto, ameaça a manutenção da vida destes biomas. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação, 37% da superfície terrestre é utilizada para a agricultura e pecuária,

sendo, desta porcentagem, um terço utilizado para o cultivo e dois terços para pastoreio de gado (FAO, 2021: 3).

As mudanças na integridade da biosfera são estimadas através da taxa de extinção de organismos nos últimos milhões de anos e do Índice de Biodiversidade Intacta. A primeira é calculada utilizando a métrica E/MSA (extinções por milhão de espécies-ano), na qual as taxas passadas são estimadas a partir de fósseis que foram extintos em um intervalo de tempo de milhões de anos e as taxas atuais são estimadas considerando um intervalo de tempo curto, de cerca de alguns séculos. Para a comparação, a proporção de extinção atual é extrapolada a fim de prever como ela seria em um intervalo de tempo de milhões de anos. O limite planetário para esta variável é de 10 a 100 E/MSA e o valor atual está entre 100 e 1000 E/MSA.

O Índice de Biodiversidade Intacta avalia o grau de modificação humana nos ecossistemas e nas populações de animais e plantas, usando como referência o período pré-industrial, no qual havia abundância na maior parte dos grupos funcionais. O IBI varia de 100% a valores mais baixos que expõem a perda da biodiversidade terrestre. Devido à insuficiência de dados empíricos sobre a capacidade do sistema Terra de suportar altos níveis de perda de biodiversidade, o limite estabelecido é de 90% do IBI, com um grau de incerteza de 90 a 30%. Para os sete países onde a métrica foi utilizada, o IBI variou de 69% a 91%. A redução do IBI é correlata com o alastramento da atividade antrópica, de acordo com o biólogo Anthony D. Barnosky:

As observações sugerem que os humanos estão causando a sexta extinção em massa através da cooptação de recursos, fragmentação de habitats, introdução de espécies não nativas, disseminação de patógenos, morte direta de espécies e mudança do clima global. (BARNOSKY, A, 2011: 51).

A importância da preservação ambiental vai muito além de uma questão moral. A polinização animal, por exemplo, permite a fertilização e reprodução de cerca de 75% das plantas cultivadas mundialmente, como o café, cacau, nozes e grande parte das frutas. Estima-se que a ausência da polinização causaria uma perda de 5 a 8% da produção agrícola mundial. Os dados de 2016, provenientes da Lista Vermelha da União Internacional Global para a Conservação da Natureza, indicam que, no mundo, cerca de 16,5% dos polinizadores vertebrados, 9% das abelhas e 9% das borboletas estão em risco de extinção (POTTS, 2016).

A apropriação da biosfera pelo ser humano pode ser observada também pelo aumento dos processos de desertificação e degradação do solo, decorrentes da atividade agropecuária. Apesar da erosão ser um problema enfrentado desde o início da civilização, a escala na qual a Terra está sendo degradada atualmente é sem precedentes. O Relatório do IPBES aponta que a

transformação e degradação do solo impactam negativamente as funções ecossistêmicas em cerca de três quartos da superfície terrestre (IPBES, 2018: 18).

Os efeitos negativos da degradação terrestre devido ao uso intensivo do solo podem ser observados nas regiões da Amazônia com 30% da floresta desmatada, onde a estação seca está ficando mais seca, quente e longa. O estresse gerado pelo aumento das temperaturas e diminuição na precipitação afeta a fotossíntese, fazendo com que as árvores emitam mais CO_2 do que o habitual. Segundo Gatti et al., atualmente a floresta amazônica emite 0,29 bilhão de toneladas de carbono além do que consegue absorver para a atmosfera por ano (GATTI et al., 2021). O climatologista Carlos Nobre ressalta, ainda, o risco de savanização da floresta amazônica se a estação seca chegar a cinco meses. Hoje ela já é quatro semanas mais longa do que nos anos oitenta (LI et al., 2006).

O nitrogênio e fósforo são dois elementos indispensáveis para a fertilização das lavouras, sendo importantes atores para o equilíbrio da cadeia alimentar. Os ciclos biogeoquímicos destes elementos foram radicalmente modificados pelos processos industriais e de agricultura. As atividades humanas convertem mais nitrogênio atmosférico em formas reativas do que todos os outros processos que ocorrem na Terra. As lavouras não conseguem absorver todo este excedente reativo, então, quando chove, o nitrogênio reativo polui rios, aquíferos e zonas costeiras. Parte do fósforo utilizado nos sistemas de produção de alimentos também acaba em sistemas aquáticos. Com excesso de nutrientes, há o crescimento de um tipo de bactéria que consome as flores das algas fornecedoras de oxigênio. Segundo Steffen et al., “registros da história da Terra mostram que eventos anóxicos⁵ oceânicos em grande escala ocorrem quando limites críticos de influxo de fósforo para os oceanos são cruzados.” (STEFFEN et al., 2009: 474).

Esse desequilíbrio causa uma ruptura na cadeia alimentar da vida aquática, uma vez que o sistema se torna pobre em oxigênio. O excedente de nitrogênio e fósforo está, inclusive, acabando nos mares, diminuindo drasticamente a vida marinha da região afetada. A “zona morta” do Golfo do México – segunda maior região costeira hipóxica⁶ do mundo – é resultado da prática insustentável de produtores rurais em descartarem resíduos contaminados nos rios Mississippi e Atchafalaya (RABALAIS et al., 2002).

⁵ Eventos anóxicos são intervalos de tempo no passado da Terra onde porções dos oceanos tornaram-se pobres em oxigênio em uma grande área geográfica.

⁶ Zonas hipóxicas apresentam baixas concentrações de oxigênio.

4.2 TEORIA DO DECRESCIMENTO

Desde a publicação do relatório do Clube de Roma (1972), a quantidade de estudos que reiteram a incompatibilidade do crescimento constante com um planeta finito, bem como a preocupação social, cresceu significativamente. Para citar os mais emblemáticos, o Relatório Stern (2006), encomendado pelo governo Britânico, sobre os efeitos das alterações climáticas na economia mundial e os relatórios fomentados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), organização que recebeu o Prêmio Nobel da Paz de 2007, demonstram como o tema se tornou relevante para as lideranças políticas e acadêmicas.

Embora as evidências sobre os limites planetários sejam, com frequência, aceitas pela comunidade científica e por chefes de estado, o questionamento e a crítica à lógica de crescimento ilimitado são constantemente desconsiderados do debate internacional. Não obstante, é absolutamente lógico afirmar que a produção e consumo não podem ultrapassar a capacidade regenerativa do planeta, tomando como verdade as sinalizações dos relatórios relacionados ao clima.

Nato no cerne das contestações antissistêmicas, o decrescimento é, em um primeiro momento, um viés político radical que propõe o abandono total da crença do crescimento pelo crescimento e vocaliza a necessidade de uma sociedade pós-desenvolvimento, “em que se viverá melhor, trabalhando e consumindo menos” (LATOUCHE, S, 2009: XIV). O termo *décroissance* foi cunhado pela primeira vez por André Gorz, no jornal francês *Le Noveul Observateur* (1972). Analisando as relações de trabalho, produção e consumo na economia contemporânea, Gortz afirma que a supremacia do capital financeiro ameaça a capacidade de reprodução do próprio sistema capitalista (GORZ, 2008).

Considerando as implicações da crise ecológica, Edgar Morin evidencia a impraticabilidade de manter inalterada a base do pensamento econômico e evitar a catástrofe ambiental:

O capital financeiro mundial, cujo dinamismo coproduz a globalização, agrava a crise ecológica. Conduz à superexploração dos recursos naturais em todo o mundo, principalmente no hemisfério sul, [estimulando] a agricultura de exportação em detrimento da agricultura de subsistência, das florestas e sua biodiversidade. A crescente escassez de recursos naturais estimula o espírito especulativo, daí o aumento dos preços, que nada mais faz do que acrescentar dificuldades às famílias pobres do mundo rico, que se sobreendividaram incitadas pelo mesmo capital financeiro. (MORIN, 2011: 80).

A teoria do decrescimento não deve ser entendida como um crescimento negativo, ou menos do mesmo. Sob a ótica do pensamento convencional, reduzir as taxas de crescimento se

traduz na estagnação da atividade econômica, aumento do desemprego e diminuição do bem-estar. Em suma, expõe Serge Latouche, “assim como não existe nada pior que uma sociedade trabalhista sem trabalho, não há nada pior que uma sociedade de crescimento na qual não há crescimento” (LATOUCHE, 2009: 5). O decrescimento propõe a completa ruptura com a lógica do sistema atual, assinalando a necessidade de abandonar a ideia viciosa do crescimento pelo crescimento.

Dessa maneira, os defensores do decrescimento rejeitam por completo a possibilidade de incorporar as considerações ambientais ao capitalismo exploratório e produtivista. A ideia de um desenvolvimento sustentável é, para Latouche, uma contradição de termos, uma vez que o “desenvolvimento não é nem duradouro nem sustentável” (LATOUCHE, 2009: 8). Definido conceitualmente no Relatório Brundtland (1987), o desenvolvimento sustentável garante ao *establishment* a perpetuação do modo de produção, afastando-se dos clamores subversivos que ganhavam força a partir da década de 1970.

Os movimentos subversivos, verbalizadas por Gorz, Latouche, François Partant, sob o envolvimento do decrescimento, foram embasadas nos estudos de Georgescu-Roegen sobre a entropia no processo econômico. Afirmam, pois, a inevitabilidade do decrescimento, modelo compatível com a realidade biofísica do planeta e que propõe a estabilização entre a economia e o meio ambiente.

A transição para uma economia sob a lógica do decrescimento pode ser feita, afirma Latouche, paulatinamente, por meio de medidas que induzam a este estado. Preliminarmente, a pegada ecológica (pressão do consumo humano sobre os recursos naturais) deve ser reduzida e estabilizada a níveis que não ultrapassem a capacidade regenerativa do planeta. Para tanto, os consumos intermediários, tais como de transporte, energia e embalagens, devem ser os primeiros a serem atenuados. Curiosamente, a Agência Internacional de Energia, entidade ligada à Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, divulgou um relatório, intitulado *A 10-Point Plan to Cut Oil Use*, com sugestões de políticas que reduzem, justamente, os consumos citados por Latouche. Entre elas, o trabalho remoto em até três dias da semana, incentivos ao ciclismo, redução dos limites de velocidade e domingos sem carro nas grandes cidades (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2022: 3).

A segunda medida sugerida é a internalização de custos gerados pelo processo produtivo – Latouche foca a crítica na atividade logística – através de taxas ecológicas. Quanto à agricultura, a estrutura produtiva deve ser restaurada à uma descentralizada, atendendo as necessidades locais, com colheitas sazonais e suprimindo o uso de agrotóxicos. A preferência

e estímulo da economia local em detrimento da global também é sugerida nas demais atividades, salientando a magnitude do impacto negativo decorrente dos deslocamentos de mercadorias entre países distantes.

Em relação ao trabalho, a proposta da teoria do decrescimento é fazer com que os ganhos de produtividade se traduzam na redução do tempo de trabalho. Aqui, a valorização do tempo de ócio não só implica a pretensão de se aumentar o bem-estar humano como também reduzir desperdícios comuns gerados pelo trabalho heterônomo, isto é, aquele necessário para a manutenção da sobrevivência do trabalhador em uma sociedade capitalista. Efetivamente, Gorz afirma que a individualidade humana deve ser respeitada e, portanto, o desejo por jornadas de trabalho menores ou maiores existirão, mas o que deve ser garantido é a liberdade do trabalhador de realizar suas atividades ociosas (GORZ, 2010: 95).

Nesse sentido, Latouche ressalta a importância do incentivo ao conhecimento, à cultura, e demais bens intangíveis, os quais enriquecem a vida em sociedade. Tais bens intangíveis não dependem do estoque finito de recursos naturais, nem provocam a poluição ao serem difundidos e reproduzidos. “Numa troca intelectual, quem dá não perde nada e quem recebe toma, mas não despoja seu interlocutor. O saber, o conhecimento, a arte podem, assim, ser compartilhados e ‘consumidos’ por todos” (MARIS, B. 2003: 182).

Por fim, com o propósito de limitar a mentalidade consumista, a publicidade deve ser altamente taxada, sobretudo as publicidades infantis. O superconsumo é, antes de tudo, decorrente do condicionamento ideológico capitalista e a publicidade, uma ferramenta extremamente eficaz em estimulá-lo por métodos psicológicos. Nas palavras do publicitário Claude Hopkins, “quanto mais conhecer sobre a psicologia, melhor. Deve aprender que determinados efeitos levam a determinadas reações, e usar tal conhecimento para melhorar os resultados e evitar erros” (HOPKINGS, 1923: 49).

4.3 ECONOMIA ESTACIONÁRIA

O conceito de um estado estacionário não é originário da economia ecológica. Na verdade, a preocupação com a escassez dos recursos naturais remonta ao século XVIII, com as primeiras considerações sobre o tema feitas pelos economistas clássicos. Adam Smith, em sua obra magna, delineou as razões para a formação da riqueza das nações, mas assinalou certa incerteza acerca de seu crescimento. Observou que “o país que adquiriu o conjunto completo

de riquezas que a natureza de seu solo e clima, e a sua situação com outros países, o permitiu adquirir, não poderia nem avançar nem retroceder” (SMITH, 1776: 78).

Conforme a taxa de lucro caísse, a nação chegaria a um estado estacionário, em que o estoque de capital e a população permaneceriam constantes. Similarmente, Ricardo (1817) expôs a possibilidade da Inglaterra chegar ao estado estacionário devido ao crescimento demográfico que demandava o uso de terras menos férteis, fazendo com que os aluguéis dos proprietários de terra crescessem, reduzindo o lucro dos capitalistas. Para evitar esta situação, propôs a internacionalização da economia, aumentando o volume de exportações industriais e das importações de produtos agrícolas. A visão de John Stuart Mill (1848), por outro lado, foi mais otimista. A suposição do utilitarista é de que o estado estacionário ofereceria as condições propícias para políticas distributivas, legislações igualitárias e para a humanidade desfrutar do tempo de lazer, “cultivando livremente as graças da vida” (MILL, 1848: 594).

A consideração do estado estacionário e a preocupação com a escassez de recursos naturais foi sendo gradativamente esquecida, à medida que a expansão imperialista europeia do século XIX garantia novas terras férteis e a crescente indústria urbana orientava o pensamento econômico dominante a outras questões. Assim, a economia neoclássica limitava sua análise da escassez à uma concepção puramente mercadológica, supondo estruturas estáticas e gerais⁷.

Com a escalada da produção e consumo no século XX, a preocupação com os limites para o crescimento voltou ao palco do debate acadêmico, sobretudo após a publicação do estudo feito pelo Clube de Roma em 1972. É nesta conjuntura que surgem as teorias mais radicais, como a do decrescimento e a do estado estacionário, que possui um viés mais tecnocrata.

Ambos os estudos se baseiam nas observações feitas por Georgescu-Roegen, de que a economia é um subsistema aberto que depende dos *inputs* de matéria e energia de baixa entropia e descarta resíduos de alta entropia que poluem o meio ambiente. A principal diferença é que Herman Daly, teórico que desenvolveu a teoria do estado estacionário, defende a gestão burocrática, sob um modelo de hierarquia. As instituições políticas sugeridas por Daly foram elaboradas sob lógica do sistema de preços e de propriedade privada.

Dessa forma, para que o estado estacionário seja alcançado e mantido, o controle de natalidade e o controle *throughputs* devem ser feitos através de três instituições compatíveis com o sistema capitalista contemporâneo. A Instituição Distribuidora garante limites máximos e mínimos para a renda e limites máximos para a acumulação de riqueza. Os benefícios desta política foram descritos no item 3.3 deste trabalho. As licenças de nascimento transferíveis

⁷ Referência à teoria do equilíbrio geral, que estuda a relação de determinados bens e serviços escassos.

estipulam, a cada ser humano que pode engravidar, a quantia de licenças de reprodução correspondentes à taxa de fecundidade, isto é, à taxa necessária para manter a quantidade de habitantes no mundo estável. Considerando que esta é de 2,1 filhos, cada pessoa que engravida receberia 2,1 licenças, as quais podem ser transferidas livremente. Assim, as diferentes preferências individuais sobre paternidade podem ser garantidas por meio da redistribuição do mercado.

A instituição que garante o controle de *throughputs* é a de cotas de depleção, visto que ao controlar o fluxo de *inputs* recebidos pelo processo econômico, controla-se também a poluição que dele resulta. O uso de cotas, argumenta Daly, é mais vantajoso do que impostos pois define um limite exato e direto para o *throughput* agregado. Na prática, o sistema de cotas dividiria o mercado de recursos em duas partes. Primeiramente, o governo realizaria leilões de direitos de cotas limitados. Ao adquirir a cota, os detentores de recursos teriam de enfrentar um mercado altamente competitivo, em que o preço se igualaria ao custo marginal. Dessa forma, os produtores mais eficientes teriam as rendas mais elevadas. Como o preço total do recurso seria a soma do preço da cota mais o preço do detentor do recurso, os preços de todos os produtos que utilizassem o recurso para sua manufatura seriam também inflacionados. Essa elevação dos preços imporia uma produção e consumo mais eficiente e moderado dos recursos naturais. O uso eficiente dos recursos naturais, possível através do uso de cotas de depleção, limitaria também a poluição (DALY, 1991: 61).

Embora tenha desenvolvido a base da teoria do estado estacionário sob a lógica do sistema de mercado, Daly enfatiza a necessidade de incluir limites para o seu funcionamento. Diferente dos neoclássicos, percebe a incapacidade do mercado, sozinho, de definir seus próprios limites físicos através da internalização de externalidades. As três instituições políticas supracitadas desempenham esse controle externo necessário para limitar o crescimento com o mínimo de intervenção na liberdade individual. Definindo bem os limites ecológicos, Daly defende a economia de mercado para alocar eficientemente os recursos e distribuir seus rendimentos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, buscamos apresentar as duas correntes econômicas que abordam a questão do meio ambiente. A economia ambiental neoclássica parte de um pressuposto otimista, denominado de sustentabilidade fraca, de que o esgotamento do capital natural não impõe limites ao crescimento econômico, dada a possibilidade de substituição entre o capital natural e o produtivo e da continuidade do progresso tecnológico. Ramifica-se em duas vertentes, a economia dos recursos naturais e a economia do meio ambiente, as quais objetivam suas análises nos efeitos que o meio ambiente tem sobre a economia. O *mainstream* neoclássico, pois, centraliza seu estudo no bem-estar humano e na alocação ótima de recursos.

Em contrapartida, a economia ecológica entende que o capital natural, além de ser um provedor de matéria e energia e fonte receptora de dejetos, fornece também serviços indispensáveis à vida humana. Considera o capital produtivo e o natural essencialmente complementares, sendo o progresso tecnológico insuficiente para superar os limites físicos decorrentes do esgotamento de recursos naturais. Esta abordagem precavida, nominada sustentabilidade forte, baseia-se nos estudos feitos pelo economista Georgescu-Roegen sobre a entropia no processo econômico, a qual afirma que, eventualmente, a crescente exploração de recursos naturais e derramamento de dejetos no meio ambiente levará a um estado em que a atividade econômica e a própria vida humana sejam inviabilizadas.

Ao apontar a profunda inter-relação e interdependência entre a economia e o meio ambiente, a economia ecológica ressalta a necessidade de repensar sofismos convencionais e incorporar concepções biológicas, físicas e químicas à análise econômica. Como alternativa ao paradigma do crescimento econômico, discutimos duas teorias políticas que defendem o bem-estar social e ambiental como indicador de prosperidade. A teoria do decrescimento e a teoria do estado estacionário se baseiam na ideia de que a economia é um subsistema aberto que depende dos *inputs* de matéria e energia e utiliza do meio ambiente como fonte receptora de dejetos. A principal diferença entre elas é que a economia estacionária, desenvolvida por Herman Daly, legitima as instituições políticas como possibilitadoras da gestão dos recursos naturais.

Dado o caráter interdisciplinar da economia ecológica, que integra ciências naturais, sociais e econômicas como forma de analisar o meio ambiente e a economia, é possível depreender que esta corrente se coloca como mais apropriada para lidar com as questões sobre sustentabilidade e perpetuação da espécie humana em um planeta complexo, conectado e não-

linear, do que a corrente neoclássica, que se mostra limitada frente aos desafios que a realidade nos impõe.

Este trabalho não pretendeu esgotar o tema, mas sim servir de convite para uma reflexão mais profunda acerca dos caminhos possíveis que o ser humano pode tomar daqui frente, num momento em que o planeta já sente os efeitos da degradação causada pelo homem, em sua busca desenfreada pela produção e consumo. A ciência econômica encontra-se, portanto, frente a um desafio, em que alguns de seus pressupostos não atendem mais às reais demandas da humanidade.

REFERÊNCIAS

- ABRAMOVAY, Ricardo. **Muito Além da Economia Verde**. São Paulo: Planeta Sustentável, 2012.
- ALLEE, W. C.; EMERSON, A. E.; PARK, O.; PARK, T.; SCHMIDT, K. P. **Principles of animal ecology**. Filadélfia: Saunders, 1949.
- ALIER, J. M.; JUSMET, J. R. **Economía ecológica y política ambiental**. México: Fondo de Cultura Económica, 2000.
- ARNT, Ricardo (org). **O que os economistas pensam sobre sustentabilidade**, v. 2, São Paulo: 34, 2011.
- ARTHUR, W. B. Self-reinforcing mechanisms in economics. In: ANDERSON, P. W.; ARROW, K. J., PINES, D. (eds.), **The economy as an evolving complex system**, pp. 9–31. Redwood City, CA: Addison Wesley, 1988.
- AYRES, Robert., KNEESE, Allen. **Production, Consumption, and Externalities**. American Economic Review, 1969.
- BARNOSKY, Anthony et al. **Has the Earth's sixth mass extinction already arrived?** Nature, 2011. Disponível em <http://ib.berkeley.edu/labs/barnosky/Barnosky%20et%20al%20Sixth%20Extinction%20Nature.pdf>>. Acesso em 10 de agosto de 2022.
- BEINHOCKER, Eric D. **The origin of wealth: evolution, complexity and the radical remaking of economics**. Boston: Harvard Business School Press, 2006.
- BODEN, T.A.; MARLAND, G., and ANDRES, R.J. **Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO2 Emissions**. Oak Ridge, Tennessee: Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, 2017.
- BRONDIZIO, Eduardo et al. **Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES)**. Bonn: IPBES secretariat, 2019.
- BUCHANAN, James. **Politics, Policy, and the Pigovian Margins**. Londres: Palgrave Macmillan, 1962.
- CMMD, World Commission on Environment and Development. **Our common Future**. Oxford: Oxford University Press, 1987.
- COASE, Ronald. **The Problem of Social Cost**. Chicago: The Journal of Law & Economics, 1960.

- CONRAD, Jon., CLARK, Colin. **Natural Resource Economics: Notes and Problems.** Cambridge: Cambridge University Press, 1987.
- COSTA, Simone S. **Introdução à Economia do meio ambiente.** Porto Alegre: Análise, 2005.
- COSTANZA, Robert. **Toward an ecological economics.** Bioscience, 1987.
- COSTANZA, Robert. **Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability.** Nova Iorque: Columbia University Press, 1991.
- DALY, Herman E. **Towards an Environmental Macroeconomics.** Wisconsin: Land Economics, 1991.
- DALY, Herman E. **Ecological Economics and Sustainable Development.** Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2008.
- DALY, Herman E.; FARLEY, Joshua. **Ecological Economics: Principles And Applications.** Washington: Island Press, 2004.
- DASGUPTA, Partha, HEAL, Geoffrey. **The Optimal Depletion of Exhaustible Resources.** The Review of Economic Studies, 1974.
- DILORRENZO, Thomas J. **Why Socialism Causes Pollution?** Foundation for Economic Education, 1992. <<https://fee.org/articles/why-socialism-causes-pollution/>> Acesso em: 22 nov. 2021.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Land use statistics and indicators: Global, regional and country trends 1990–2019.** Roma: FAOSTAT Analytical Brief Series No 28, 2021.
- FEYNMAN, Richard., LEIGHTON, Ralph., SANDS, Matthew. **Lições de física de Feynman.** Porto Alegre: Bookman, 2008.
- GATTI, L. V et al. **Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change.** Nature, 2021. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41586-021-03629-6>>. Acesso em: 20 de julho de 2022.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. **The Entropy Law and the Economic Process.** Boston: Harvard University Press, 1971.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. **Energy and Economic Myths.** Nova Iorque: Permagon Press, 1976.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. **Comments on Stiglitz and Daly.** John Hopkins University Press, 1979.

GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. **O decrescimento**: Entropia, ecologia e economia. São Paulo: Senac, 2012.

GORE, Tim et al. **The Carbon Inequality Era**. Estocolmo: Stockholm Environment Institute, 2020.

GORZ, A. **Ecologie et politique**. Paris: Editions du Seuil, 1978.

GORZ, A. **O imaterial**: conhecimento, valor e capital. São Paulo: Annablume, 2005.

GORZ, A. **Ecológica**. São Paulo: Annablume, 2010.

GUNTHER, F.; FOLKE C. Characteristics of nested living systems. **Journal of Biological Systems**, 1993.

HANSEN, J., R., RUEDY, M. Sato., LO, K. **Global surface temperature change**. Reviews of Geophysics, 2010. Disponível em

<https://pubs.giss.nasa.gov/docs/2010/2010_Hansen_ha00510u.pdf> . Acesso em 30 de agosto de 2022.

HARTWICK, J. M. Intergenerational Equity and the Investing of Rents Exhaustible Resources. **American Economic Review**, 1977.

HARVEY, David. **Para entender o capital**. São Paulo: Boitempo, 2013.

HARDIN, Garrett. **The Tragedy of the Commons**. Nova Iorque: American Association for the Advancement of Science, 1968.

HAUWERMEIREN, S. V. **Manual de economía ecológica**. Santiago: Rosa Moreno, 1998.

HOTELLING, H. The Economics of Exhaustible Resources. **Journal of Political Economy**, 1931.

HOPKINS, Claude. **Scientific Advertising**. Duke Classics, 1923.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Efficiency 2021**. Disponível em:

<<https://iea.blob.core.windows.net/assets/9c30109f-38a7-4a0b-b159-47f00d65e5be/EnergyEfficiency2021.pdf>>. Acesso em 10 de dezembro de 2021.

PACHAURI, R.K., MEYER, L.A., et al. **IPCC, 2014: Climate Change: Synthesis Report**. Geneva: IPCC, 2014.

KNEESE, Allen; AYRES, Robert U. & D'ARGE, Ralph. **Economics and the environment: a materials balance approach**. Washington D.C: Resources for the future, 1971.

KNEESE, Allen. **Environmental Pollution: Economics and Policy**. The American Economic Review, 1971.

LABANDEIRA, Xavier; CARMELO, León; VÁZQUEZ, María Xosé. **Economía Ambiental**. Madrid: Pearson Educación, 2007.

- LATOUCHE, Serge. **Pequeno tratado sobre decrescimento econômico**. São Paulo: Martins Fontes, 2009.
- LI, W.; FU, R.; DICKINSON, E. Rainfall and its seasonality over the Amazon in the 21st century as assessed by the coupled models for the IPCC AR4. **Journal of Geophysical Research**, 2006.
- LYNAS, Mark; HOULTON, Benjamin; PERRY, Simon. **Greater than 99% consensus on human caused climate change in the peer-reviewed scientific literature**. Environmental Research Letters, IOP Publishing Ltd, 2021.
- MÄLER, Karl-Göran., MALAKIS, Emile. **Environmental Economics: A Theoretical Inquiry**. Washington: Resources for the Future, 1974.
- MARTINET, Vincent. **The Hartwick rule and the characterization of constant consumption paths in the presence of an exhaustible resource**. Paris: Universidade de Paris, 2004.
- MARSHALL, Alfred. **Principles of Economics**. London and New York: MacMillan & Co., 1890.
- MARIS, Bernard. **Antimanuel d'économie**. Paris: Bréal, 2003.
- MAY, Peter H. **Economia do meio ambiente**. São Paulo: Elsevier, 2010.
- MEADOWS, Dennis L., MEADOWS, Donella; RANDERS, Jørgen. **Limits to Growth: The 30-Year Update**. White River Junction, VT: Chelsea Green, 2004.
- MILL, John Stuart. **Principles of Political Economy**. Salt Lake City, UT: Project Gutenberg, 1848.
- MONTANARELLA, L.; SCHOLLES, R.; BRAINICH, A. **The IPBES assessment report on land degradation and restoration**. Bonn: Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, 2018.
- MOTTA, R., MAY, P. H. **Valorando a Natureza: análise econômica para o desenvolvimento sustentável**. Campinas: Editora Campus, 1995.
- MOURA, Marcos; AGUIAR, Carlos E. **Entropia e a Segunda Lei da Termodinâmica**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2016.
- MORIN, E. **La Via para el futuro de la humanidad**. Barcelona: Paidós, 2011.
- MULLER C. Charles. **Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente**. Brasília: UnB, 2007.

- PACHAURI, R. K.; MEYER L. A. **IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report.** Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014.
- PARETO, Vilfredo. **The New Theories of Economics.** Chicago: The University of Chicago Press, 1897.
- PEARCE, David., TURNER, Kelly R. **Economics of Natural Resources and the Environment.** Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1990.
- PIGOU, A. C. **The Economics of Welfare.** 4a ed. Londres: Macmillan, 1932.
- POTTS, Simon et al. **Safeguarding pollinators and their values to human well-being.** Nature, 2016.
- RABALAIS, Nancy N., et al. **Gulf of Mexico Hypoxia, a.k.a. The Dead Zone.** Annual Review of Ecology and Systematics, 2002.
- ROCKSTRÖM, Johan et al. **Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity.** Ecology and Society, 2009. Disponível em: <<http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>> . Acesso em 08 de agosto de 2022.
- ROMEIRO, Ademar. **Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica.** São Paulo: Estudos avançados, 2011.
- SANTOS, Luan. **Otimização do Valor de Produção no Brasil com restrição de emissão de gases de efeito estufa a partir de uma análise Insumo-Produto.** Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2014.
- SOLOW, R. **Intergenerational Equity and Exhaustible Resources.** Review of Economic Studies, 1974.
- SMITH, Adam. **A Riqueza das Nações.** Londres: William Strahan e Thomas Caldell, 1776.
- STEFFEN, Will et al. **Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet.** Science, 2015.
- STERN, Nicholas. **The Economics of Climate Change: The Stern Review.** Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- STIGLITZ, Joseph. **Growth with Exhaustible Natural Resources: Efficient and Optimal Growth Paths.** Oxford and Stanford University, 1974.
- TIETENBERG, Thomas. **Specific Taxes and the Control of Pollution: A General Equilibrium Analysis.** Oxford: Oxford University Press, 1973.
- TIETENBERG, Thomas. **Environmental & Natural Resource Economics.** New Jersey: Pearson Education, 1992.

TURNER, R. Kelly, PEARCE, David, BATEMAN, Ian. **Environmental Economics: An elementary introduction**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press Baltimore, 1994.

VEIGA, José Eli. **Para entender o desenvolvimento sustentável**. São Paulo: 34, 2015.

VEIGA, José Eli. **O Antropoceno e a Ciência Do Sistema Terra**. São Paulo: 34, 2019.

VON BERTALANFFLY, Ludwig. **Teoria Geral dos Sistemas: Fundamentos, desenvolvimento e aplicações**. Petrópolis: Vozes, 2006.