UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA
PPGE – EP/FEA/IEE/IF

**O PAPEL DOS RECURSOS NATURAIS NA REPRODUÇÃO DO
PROCESSO ECONÔMICO: CONTRIBUIÇÃO À CRÍTICA
ECOLÓGICA DO CAPITALISMO**

Nilton Bispo Amado

São Paulo
2010

Nilton Bispo Amado

**O PAPEL DOS RECURSOS NATURAIS NA REPRODUÇÃO DO
PROCESSO ECONÔMICO: CONTRIBUIÇÃO À CRÍTICA
ECOLÓGICA DO CAPITALISMO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Eletrotécnica e Energia / Escola Politécnica / Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade / Instituto de Física – da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Professor Doutor Ildo Luís Sauer

**São Paulo
2010**

**AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL
DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU
ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE
CITADA A FONTE.**

FICHA CATALOGRÁFICA

Amado, Nilton Bispo.

O Papel dos Recursos Naturais na Reprodução do Processo
Econômico: Contribuição à Crítica Ecológica do Capitalismo/ Nilton
Bispo Amado

Tese (Doutorado): Programa de Pós-Graduação em Energia – EP
/ FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

197p. : il.; 30cm.

1. Energia 2. Energia – aspecto econômico. 3. Inovações
tecnológicas 4. Desenvolvimento econômico I. Título.

Nilton Bispo Amado

**O PAPEL DOS RECURSOS NATURAIS NA REPRODUÇÃO DO
PROCESSO ECONÔMICO: CONTRIBUIÇÃO À CRÍTICA
ECOLÓGICA DO CAPITALISMO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Eletrotécnica e Energia / Escola Politécnica / Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade / Instituto de Física – da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Professor Doutor Ildo Luís Sauer

**São Paulo
2010**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENERGIA
EP – FEA – IEE - IF

NILTON BISPO AMADO

*“O papel dos recursos naturais na reprodução do processo econômico:
contribuição à crítica ecológica do capitalismo”*

Tese defendida e aprovada pela Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Ildo Luis Sauer – PPGE/USP
Orientador e Presidente da Comissão Julgadora

Prof. Dr. Ademar Ribeiro Romero - UNICAMP

Prof. Dr. Jorge Luis da Silva Grespan – FFLCH/USP

Prof. Dr. Claude Adélia Moema Jeanne Cohen – UFF

Prof. Dr. Francisco Anuatti Neto - FEARP/USP

Dedicatória

*À minha mãe e ao meu pai, raízes da
liberdade, que incutiram em mim o gosto
por novas buscas.*

Agradecimentos

Ao Professor Ildo Sauer, pelo estímulo, confiança e orientação, que tornaram possível transformar uma intuição numa tese de doutorado.

Aos professores do PPGE, pela acolhida e ensinamentos.

A todos os funcionários que direta ou indiretamente garantem a estrutura que torna possível a pesquisa. Embora nosso desconhecimento a respeito desta estrutura não permita que sejamos justos nos agradecimentos, cabe mencionar nominalmente algumas destas pessoas. Agradeço ao Júlio César Teodoro, pela ajuda em vários momentos. Às secretárias Adriana F. Pelege e Renata Boaventura da Conceição, além da Rosa de Souza, que esteve conosco durante tanto tempo. Obrigado à Aparecida Luzia Colozza Gama, por fazer o local de trabalho um lugar tão agradável e pela ajuda em muitas ocasiões e de diferentes formas.

Cabe um agradecimento destacado às pessoas que trabalham na biblioteca, pela ajuda fundamental na busca interminável por livros e artigos. Obrigado à Maria de Fátima A. Mochizuki, Maria de Lourdes Montrezól, Maria Penha de Silva Oliveira, Fernanda Alfonsin, Maria Emília de Amaral e Matheus Pomboni, pelo apoio fundamental no acesso a fontes e referências.

A todos os colegas, por criarem um ambiente aberto a discussões e pela ajuda constante. Enfim, por todas aquelas pequenas coisas que fazem muita diferença, desde uma conversa descontraída até a ajuda nos segredos do Office. Um agradecimento especial à Sônia Seger e Julieta Puerto, que em várias ocasiões discutiram comigo questões ligadas a este trabalho.

Meus agradecimentos ao professor Ademar Romero, por se dispor a discutir com um estranho questões teóricas sobre a teoria da produção neoclássica. Muito obrigado pela receptividade e atenção.

Aos meus pais, pela ajuda desde há muito tempo.

À CNPQ, pela concessão da bolsa de estudos, sem a qual este trabalho não seria possível.

Resumo

Apoiando-se no contraste entre as visões da sustentabilidade preconizadas por economistas ecológicos e neoclássicos, o trabalho apresenta a atual crise ambiental como consequência da contradição entre os pressupostos subjacentes à teoria de produção prevalecente e as bases materiais biofísicas da reprodução do sistema econômico. A idéia marxiana de que o sistema capitalista move-se com base numa contradição entre a esfera qualitativa concreta dos valores de uso e a esfera quantitativa abstrata da riqueza monetária é utilizada para incorporar os fatos relativos a consumo per capita de recursos naturais observados desde a Revolução Industrial como uma refutação da teoria de produção neoclássica. O teste estatístico aplicado às previsões geradas a partir da teoria de produção neoclássica leva a rejeitar o pressuposto neoclássico de que do ponto de vista econômico há uma equivalência absoluta entre todos os fatores de produção (recursos naturais, trabalho e artefatos fabricados).

Palavras-chave: 1. Desenvolvimento econômico 2. Desenvolvimento sustentável 3. Sustentabilidade 4. Recursos naturais - aspectos econômicos 5. Teoria da produção - aspectos econômicos.

Abstract

Relying on the contrast between the visions of sustainability advocated by neoclassical and ecological economists, the study shows the current environmental crisis as a consequence of the contradiction between the assumptions underlying the prevailing theory of production and the biophysical basis of material reproduction of the economic system. The Marxian idea that the capitalist system moves based on a contradiction between the qualitative concrete sphere of use values and the quantitative abstract sphere of monetary wealth is used to incorporate the facts relative to per capita consumption of natural resources seen since the Industrial Revolution as a refutation of the neoclassical production theory. The statistical test applied to the forecasts generated from the neoclassical production theory leads to reject the neoclassical assumption that from the economic point of view there is an absolute equivalence among all production factors (natural resources, labor and manufactured artifacts).

Keywords: 1. Economic development 2. Sustainable development 3. Sustentabilidade 4. Natural resources – economic aspects 5. Production theory – economic aspects.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	ANTECEDENTES	8
2.1	Crescimento econômico como deus ex machina	8
2.2	Padrões Intrigantes	10
2.3	Um Problema de Representação	25
2.4	<i>The Limits to Growth</i>	32
2.5	O Surgimento da Economia Ecológica	46
3	DUAS VISÕES SOBRE A SUSTENTABILIDADE	55
3.1	O Princípio da Equivalência Absoluta	55
3.2	Economistas Ecológicos e Capital Natural	65
3.3	O Significado da Concepção Neoclássica de Produção	72
3.4	Uma Interpretação Carnotiana da Concepção Neoclássica de Produção	75
3.5	O Conceito de Valor de Uso	85
3.6	Consequências Políticas do Advento das Trocas Sistemáticas	87
4	VALOR DE USO VERSUS TEORIA DE PRODUÇÃO NEOCLÁSSICA	95
4.1	Indicadores de Elasticidade	97
4.2	Elasticidade de Substituição –Apresentação Algébrica	101
4.3	Elasticidade de Substituição –Apresentação Geométrica	105
4.4	Substituição Neoclássica do Capital Natural	109
4.5	Análise Aritmética da Posição Neoclássica	114

4.6	Análise Geométrica da Posição Neoclássica	119
4.7	Um Teste Estatístico	121
4.8	Reinterpretando a Evidência dos Preços	125
5	UM DIAGNÓSTICO DA CRISE AMBIENTAL GLOBAL	137
6	CONCLUSÃO	158
7	BIBLIOGRAFIA	160
8	ANEXO 1 – DETALHAMENTO DO TESTE ESTATÍSTICO	170
9	ANEXO 2 – TABELAS DE CONSUMO PER CAPITA DE ENERGIA	178

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Crescimento Populacional versus Consumo per Capita de Energia.....	19
Figura 2-2: Enlaces de Retroalimentação da Dinâmica do Crescimento Populacional	36
Figura 3-1: Máquina Térmica Realizando Trabalho	77
Figura 3-2: Ciclo Reversível.....	79
Figura 3-3: Motor Perpétuo	80
Figura 4-1: Curva de Demanda.....	98
Figura 4-2: Elasticidade Preço-Demanda	99
Figura 4-3: Curva de Substituição.....	103
Figura 4-4: Região de Substituição	104
Figura 4-5: Construção Geométrica da Elasticidade de Substituição.....	106
Figura 4-6: Recurso Natural Essencial.....	110
Figura 4-7: Recurso Natural Não-Essencial	110
Figura 4-8: Alta Elasticidade Local: Recurso Natural Essencial	110
Figura 4-9: Baixa Elasticidade Local: Recurso Não-Natural Essencial.....	111
Figura 4-10: Elasticidade de Substituição Nula	111
Figura 4-11: Elasticidade de Substituição Infinita	111
Figura 4-12: Elasticidade de Substituição Unitária.....	112
Figura 4-13: Implicação Geométrica do Modelo de Substituição Neoclássica.....	120
Figura 4-14: Representação geométrica das restrições expostas por Carnot.....	130
Figura 4-15: Representação geométrica da dinâmica de aumento da produtividade de máquinas térmicas	131
Figura 4-16: Representação geométrica da substituição de recursos naturais (n) e capital (k) sujeitos a restrições análogas às impostas pela Segunda Lei da Termodinâmica	133

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2-1: Crescimento da Economia Mundial.....	10
Tabela 2-2: Tendências no Consumo Mundial per Capita de Minerais.....	21
Tabela 3-1: Efeitos Ecológicos da Era Industrial Capitalista.....	68
Tabela 8-1: Disponibilidade de Dado de Consumo per Capita de Energia por País.....	172
Tabela 8-2: Consumo per Capita de Energia para o Reino Unido.....	173
Tabela 8-3: Tabela de Resultados do Teste de Sinal para o Reino Unido.....	174
Tabela 8-4: Síntese dos Resultados do Teste de Sinal para os Países.....	175
Tabela 9-1: África do Sul.....	179
Tabela 9-2: Alemanha.....	180
Tabela 9-3: Arábia Saudita.....	181
Tabela 9-4: Argentina.....	182
Tabela 9-5: Austrália.....	183
Tabela 9-6: Brasil.....	184
Tabela 9-7: Canadá.....	185
Tabela 9-8: China.....	186
Tabela 9-9: Coréia do Sul.....	187
Tabela 9-10: Estados Unidos.....	188
Tabela 9-11: França.....	189
Tabela 9-12: Índia.....	190
Tabela 9-13: Indonésia.....	191
Tabela 9-14: Itália.....	192
Tabela 9-15: Japão.....	193
Tabela 9-16: México.....	194
Tabela 9-17: Reino Unido.....	195
Tabela 9-18: Rússia.....	196
Tabela 9-19: Turquia.....	197

1 INTRODUÇÃO

São poucos hoje os que negam que tem havido uma piora nas condições ambientais, tanto pela variedade dos problemas quanto pela escala deles. Embora seja difícil distinguir entre catastrofismo e preocupação fundamentada nas notícias que vemos na mídia, a intuição de que há algo fora do lugar tem se difundido e ganhado apoio. Por conseguinte, movimentos políticos de matizes ideológicas as mais diversas têm professado seu compromisso com o ‘desenvolvimento sustentável’ (um termo convenientemente vago). No Brasil, como também em outros países, o Partido Verde tem crescido em grande parte apoiando-se na plataforma ambientalista.

Entretanto, o crescimento da ideologia ambientalista contrasta com nossa ignorância quanto aos processos gerativos da crise ecológica. Uma dos aspectos mais surpreendentes do atual discurso sobre sustentabilidade é que ele raramente seja diretamente formulado como um problema de produção. Invariavelmente, é apresentado como um problema moral (nosso compromisso com as gerações futuras) ou como um problema referente a comportamentos individuais (neste caso, fala-se em consumo ambientalmente responsável ou sustentável). A ênfase ideológica tem superado largamente a ênfase nos aspectos propriamente materiais da dinâmica entre mundo natural e mundo sócio-econômico.

Nos debates reconhece-se que a existência humana não pode prescindir de recursos naturais, o que é apenas um corolário de que a ação humana não pode criar nem destruir nada, apenas trabalhar sobre elementos pré-existentes. No entanto, esta premissa, assumida como um fato óbvio por todos, defensores e críticos do modo de vida burguês, geralmente não é seguida da tentativa de trabalhar suas implicações do ponto de vista da teoria de produção hegemônica. Se toda civilização precisa incorporar elementos fornecidos pela natureza às suas atividades de produção, e se cada civilização só pode existir ao longo da história se for capaz de reproduzir seus mecanismos de apropriação social da natureza, uma crise ambiental que ameaça a existência de determinada civilização deveria ser vista não simplesmente como um problema ecológico ou um problema moral, mas também como um problema nas relações econômicas que determinada sociedade estabelece com a natureza. Uma crise ambiental sistêmica provocada pelas ações humanas não seria possível se não houvesse uma contradição

entre os pressupostos subjacentes à teoria de produção adotada pela sociedade e as condições materiais biofísicas para a reprodução desta mesma sociedade.

O caráter econômico dos problemas ecológicos torna-se particularmente claro quando nos damos conta de que a existência de determinada civilização ao longo do tempo pressupõe a contínua *reprodução* das formas sociais que caracterizam a identidade específica da civilização. Isto vale para qualquer civilização, e vale tanto para as relações que as classes sociais estabelecem entre si quanto para a relação social que as classes sociais têm de estabelecer com o mundo natural. Uma civilização não pode existir se não puder reproduzir a si mesma, o que significa tanto reproduzir o conjunto de valores que a organiza quanto reproduzir as condições materiais para a vigência destes valores. A importância de atentar para a dimensão reprodutiva dos sistemas sócio-econômicos foi particularmente bem expressa por Marx (1988, p. 145)¹:

“Qualquer que seja a forma social do processo de produção, este tem de ser contínuo ou percorrer periodicamente, sempre de novo, as mesmas fases. Uma sociedade não pode parar de consumir, tampouco deixar de produzir. Considerado em sua permanente conexão e constante fluxo de sua renovação, todo processo social de produção é, portanto, ao mesmo tempo, processo de reprodução.

As condições de produção são ao mesmo tempo as condições da reprodução. Nenhuma sociedade pode produzir continuamente, isto é, reproduzir sem retransformar continuamente parte de seus produtos em meios de produção ou em elementos da nova produção. Permanecendo constantes as demais circunstâncias, ela só pode reproduzir ou manter sua riqueza na mesma escala substituindo os meios de produção, isto é, meios de trabalho, matérias-primas, e matérias auxiliares, consumidos, por exemplo, durante o ano, *in natura*, por um quantum igual de novos exemplares, separados da massa anual de produtos e incorporados, de novo, ao processo de produção.”

O perturbador de qualquer processo reprodutivo é que ele necessariamente tem de ocorrer num mundo em mudança. Recursos naturais usados no ciclo de produção anterior, qualitativamente modificados pela ação humana, não podem ser usados de novo na reprodução do ciclo (ao menos não para garantir os mesmos níveis de produtividade); mudanças ambientais não controláveis podem impedir que a safra de alimentos seja tão boa quanto a do ano passado; combustíveis de alta qualidade podem não estar tão disponíveis

¹ Marx, Karl. O capital, vol. 1, Livro Primeiro, Tomo II, Capítulo XXI, ‘Reprodução Simples’.

quanto no ciclo anterior. Evidentemente, também pode ocorrer o contrário, e as novas condições para a reprodução do ciclo serem excepcionalmente favoráveis.

Seja como for, o fato de que o ciclo produtivo precise ser reproduzido geração após geração num ambiente mutável implica que toda sociedade possui um metabolismo próprio, uma dinâmica de operações pelas quais intervém no mundo de modo a manter a imagem que faz de si mesma. Sem esta dinâmica, as variações ambientais arrastariam a sociedade aleatoriamente por caminhos exógenos, ora numa dada direção ora em outra, de modo que ela não possuiria nem identidade nem história. Seria então impossível identificar determinadas regiões no espaço-tempo como articuladas por determinada ‘civilização’. Na verdade, o simples fato de que possamos identificar, ainda que nunca perfeitamente, regiões no tempo e no espaço como coletividades articuladas em torno de relações sociais específicas, indica que estas coletividades, durante algum tempo, possuíram uma dinâmica de relações com um ambiente mutável, dinâmica esta caracterizada por padrões específicos de relações sociais. Não fosse assim, por que usaríamos expressões tais como ‘capitalismo’, ‘feudalismo’, ‘civilização maia’, etc²?

O metabolismo societal de qualquer sociedade precisa desenvolver formas específicas de lidar com os problemas que surgem para a aplicação continuada da teoria social de produção adotada. Em particular, como nenhuma sociedade pode ‘criar’ os valores de uso naturais de que faz uso, sua existência continuada depende de uma compreensão adequada das bases materiais biofísicas que garantem a reprodução do sistema sócio-econômico. Portanto, as questões que têm sido levantadas na esfera da sustentabilidade ambiental remetem-nos a perguntas sobre o que tem ocorrido na esfera da produção. Infelizmente, devido à influência

² Como exemplo relativamente recente do uso sistemático da noção de metabolismo na análise da sustentabilidade de sistemas sócio-econômicos, podem-se citar as duas edições de *Population and Environment* (volume 22, edições 2 e 3), publicadas no final do ano 2000 e início de 2001, dedicadas exclusivamente à metodologia do metabolismo societal, cujos idealizadores são Kozo Mayumi e Mario Giampietro. Para uma história intelectual desta abordagem, ver Fisher-Kowalski (2000).

da representação monetária da produção, estas perguntas não têm sido suficientemente elaboradas, na maioria das vezes sequer formuladas.

Por que, a despeito do desenvolvimento tecnológico sem precedentes ocorrido desde a Revolução Industrial, caminhamos para uma situação na qual pela primeira vez na história da humanidade é possível se falar em crise ambiental global desencadeada por ações humanas? Não deveria o progresso tecnológico e o dinamismo da ciência ter nos conduzido para uma situação de maior segurança ambiental? Por que, numa era em que há quem sugira ou mesmo afirme que as tecnologias da informação tornam possível superar o capitalismo industrial, países altamente capitalizados e tecnologicamente desenvolvidos consideram que os custos para reduzir as emissões de gases de efeito-estufa são inaceitáveis? O sistema econômico atual está estruturalmente e inevitavelmente ligado a níveis crescentes de degradação ambiental ou haveria formas pelas quais a reprodução sempre ampliada do valor econômico dos bens transacionados no mercado poderia ocorrer sem aumentar a degradação ambiental? Todas estas perguntas são questões que de uma forma ou de outra relacionam-se à teoria de produção que a sociedade adota. Pois, na medida em que a sociedade possui um modelo de produção, ela possui também teorias sobre como organizar a produção e sobre as consequências dos seus atos de produção. Embora sua confiança nas teorias de produção que adota não seja garantia de sucesso, uma sociedade não pode ser viável sem apoiar-se em teorias de produção que ela julgue confiáveis.

Se nossa compreensão dos mecanismos pelos quais o sistema econômico atual relaciona-se com o mundo natural fosse suficientemente desenvolvida, deveríamos ser capazes de responder de maneira bastante confiável às perguntas elencadas no parágrafo acima, independentemente dos nossos julgamentos de valor quanto às relações de poder que são válidas sob o capitalismo e quanto aos modos de vida associados a estas relações de poder. Na verdade, todas essas perguntas remetem a uma outra pergunta, mais básica: existiriam funções econômicas específicas desempenhadas pelos recursos naturais que não sejam de modo algum transferíveis para outras classes de fatores de produção? É essencial ter em mente que a resposta que se dá a esta pergunta orienta o prognóstico que se constrói sobre a sustentabilidade sob o capitalismo. Sejam quais forem as funções econômicas que têm sido desempenhadas pelos recursos naturais, se os usos econômicos exercidos pelos recursos

naturais puderem de algum modo serem transferíveis para outros fatores de produção, pode-se garantir que será possível conciliar a reprodução do capitalismo com a manutenção dos serviços ecossistêmicos propiciados pelos recursos naturais. Por outro lado, se esta conciliação não for possível, o problema ecológico imporá sem dúvida alguma o fim do mundo como o concebemos. Mas não se trata aqui de um fim de mundo em versão mística ou religiosa, e sim o fim da validade das categorias sociais e econômicas que temos utilizado para representar o processo produtivo. Evidentemente, não é possível dizer se o fim destas categorias daria lugar a formas de socialização mais democráticas ou se ao contrário caminharíamos em direção a formas sociais abertamente autoritárias. Entretanto, o simples fato de que a relação entre a ordem material biofísica e ordem material econômica coloque tais questões no horizonte sugere a importância de compreender melhor as bases materiais biofísicas da reprodução do processo econômico.

Neste trabalho, parte-se da divergência entre duas respostas diametralmente opostas à sustentabilidade ambiental para compreender os recursos naturais como fundamento econômico da produção capitalista. De um lado, estão as respostas dadas pela economia neoclássica, segundo a qual do ponto de vistas econômico não há nenhuma diferença entre recursos naturais e outros fatores de produção, tais como trabalho e artefatos fabricados. De outro, estão os chamados economistas ecológicos, que entendem que as bases materiais biofísicas não podem ser tomadas como exógenas à lógica econômica, sendo na realidade fatores estruturantes das formas viáveis de reprodução do sistema sócio-econômico.

Não surpreendentemente, estas duas Visões³ do processo econômico conduzem a diagnósticos e prognósticos radicalmente diferentes. Para os neoclássicos os desafios da agenda ambiental

³ Schumpeter (1949, p. 350): “Primeiro, esta percepção de um conjunto de fenômenos relacionados é um ato pré-científico. Tem de ser efetuada para dar às nossas mentes alguma coisa para fazer o trabalho científico continuar – indicar um objeto de pesquisa – mas não é em si mesmo científico. Mas embora pré-científico, não é pré-analítico. Não consiste simplesmente em perceber fatos por um ou mais de nossos sentidos. Estes fatos têm de ser reconhecidos como tendo algum significado ou relevância que justifique nosso interesse neles e eles têm de ser reconhecidos como relacionados – de modo que possamos separá-los de outros – o que envolve trabalho analítico por nossa imaginação ou senso comum. Esta mistura entre percepções e análise pré-científica devemos

podem ser resolvidos pelas categorias analíticas que vêm sendo desenvolvidas desde a Revolução Industrial; além disso, os neoclássicos são normalmente otimistas quanto às possibilidades de superar a atual crise ambiental com base em soluções organizadas majoritariamente a partir do progresso tecnológico. Os economistas ecológicos por sua vez entendem que os desafios ambientais impõem uma mudança radical não apenas em nossas categorias analíticas, mas também nos valores que orientam as ações na sociedade atual; geralmente são pessimistas quanto à possibilidade de superar os atuais dilemas com base apenas no progresso tecnológico, e eventualmente argumentam inclusive que o atual padrão de progresso tecnológico é parte central do problema.

Em suma, enquanto os economistas neoclássicos crêem ser possível superar os atuais problemas ambientais mantendo o metabolismo societal da civilização capitalista, os economistas ecológicos propõem mudanças que, na prática, significam a implantação de um novo metabolismo societal, dado o grau com que as mudanças propostas entram em conflito com os valores e as relações de poder que prevalecem hoje.

A compreensão proposta neste trabalho é construída nas seguintes etapas. No capítulo 2, apresentamos um conjunto de eventos relativos à ligação entre crescimento econômico e utilização de recursos naturais que funcionaram como ponto de partida para o questionamento da teoria de produção hegemônica. A crescente percepção social destes eventos é em grande parte a justificativa social para o surgimento e institucionalização da economia ecológica. No capítulo 3, procuramos transmitir a Visão que articula a representação neoclássica dos processos produtivos apresentando e discutindo um exemplo paradigmático da análise neoclássica; identificamos a posição neoclássica por aquilo que escolhemos chamar de princípio da equivalência absoluta. Ainda no capítulo 3, também é apresentado um modelo de produção alternativo, consoante com a Visão propugnada pela economia ecológica. Tendo feito jus às Visões em disputa, passamos propriamente à análise crítica da posição hegemônica, explicitando suposições tácitas adotadas pelo modelo neoclássico de substituição

chamar de Visão ou Intuição do trabalhador da pesquisa”. Todas as citações por extenso de textos originais em inglês feitas nesta tese correspondem a traduções para o português feitas pelo próprio autor.

de recursos naturais e usando estas suposições para gerar consequências testáveis. A análise empírica destas consequências coloca sérias dúvidas sobre a possibilidade de conciliar uma trajetória de crescimento econômico indefinidamente longa com sustentabilidade ambiental. No capítulo 4, usamos os resultados anteriores para fazer um diagnóstico do atual dilema ambiental enfatizando a necessidade de reconhecer a natureza auto-expansiva do valor monetário como uma característica definidora do capital, um aspecto surpreendentemente pouco trabalhado nos debates. Na Conclusão, defendemos a tese de que apenas a observação de uma trajetória de crescimento econômico que interrompesse a atual tendência de aceleração de fluxos de energia e materiais pelo sistema econômico poderia corroborar uma crença racional na sustentabilidade ambiental do capitalismo. Até o momento, as evidências disponíveis estão em franca contradição com esta possibilidade.

2 ANTECEDENTES

2.1 *Crescimento econômico como deus ex machina*

Do final do século dezenove até meados do século vinte, uma série de eventos colocava em dúvida não apenas a viabilidade, mas a própria racionalidade do modo de produção capitalista. Havia a ameaça do socialismo soviético, com a chegada dos bolcheviques ao poder (1917); a Primeira Guerra Mundial (1914-1918); a depressão econômica mundial (1929-1939); a ascensão do fascismo e do nazismo; a Segunda Guerra Mundial (1940-1945). Tais eventos não podem ter deixado de ter influência sobre o imaginário social quanto à lógica e viabilidade do capitalismo.

Entretanto, a partir da Segunda Guerra Mundial seguiu-se o que Joan Robinson chamou de Era de Ouro do capitalismo. As enormes taxas de crescimento econômico que passaram a ser observadas viabilizaram a social democracia, uma solução de compromisso entre o individualismo possessivo que move o sistema de produção atual e os anseios e necessidades da população. A idéia básica estava em utilizar a estrutura do estado para contornar as eventuais crises e promover alguma redistribuição do excedente produzido (via direitos sociais e transferências diretas de renda) sem no entanto comprometer o processo de acumulação do capital. Na verdade, na social democracia não se trata apenas de evitar o enfrentamento com o processo de acumulação de capital, mas de usar o processo de acumulação de capital para satisfazer as necessidades humanas por meio de mecanismos econômicos e institucionais que visam geração após geração aumentar a produção e o consumo de mercadorias.

Paulatinamente, os resultados obtidos pela social democracia, além dos resultados evidenciados pelo modelo autoritário de poder representado pelo socialismo soviético, consolidaram a idéia de que a superação do capitalismo era não somente desnecessária, mas também indesejável. As elevadas taxas de crescimento econômico observadas na era de ouro do capitalismo e o alinhamento das forças políticas de então tornaram cada vez menos plausível para a maioria da população dos países centrais a luta pela superação do capitalismo.

Para fins analíticos, pode-se tomar o período que vai do fim da Segunda Guerra Mundial (1945) ao primeiro choque do petróleo (1973) como aquele abrangendo a era de ouro do

capitalismo. De lá para cá, as dúvidas quanto à viabilidade do modelo social democrata vêm aumentando cada vez mais. As taxas de crescimento que viabilizaram o consenso em torno da agenda social democrata não são mais tão exuberantes nos países centrais do sistema. Na verdade, há indicações de que o centro do sistema esteja mudando, dadas as enormes taxas de crescimento de países como a China.

Seja qual for a avaliação normativa que se faça da era de ouro do capitalismo e da solução de compromisso representada pela social democracia, é certo que as altas taxas de crescimento econômico observadas no período foram imprescindíveis para viabilizar o contrato social que passou a vigorar nos países centrais do capitalismo após a Segunda Guerra Mundial. A dominação dos valores orientados para a acumulação de riqueza expressa sob a forma pecuniária foi consentida sob a expectativa de que ano após ano, geração após geração, o crescimento econômico, aliado a um conjunto de políticas que passou a ser conhecido como *welfare state*, tornará possível melhorar a condição de vida de cada indivíduo de cada nova geração, inclusive daqueles que se encontrem no estrato inferior da sociedade. Diante desta expectativa, mesmo o problema da desigualdade pode passar a ser visto como uma questão menor. Muitos estão dispostos a aceitar níveis consideravelmente altos de desigualdade se a promessa de que suas próprias condições de vida e as condições dos mais pobres será sempre melhorada puder ser cumprida. Ignorando-se o fato de que o eventual cumprimento da promessa seja feito por meio da submissão aos valores burgueses e à dominação que lhe é correspondente, as expectativas em torno das possibilidades do crescimento econômico têm influência decisiva para a aceitação do modo de vida burguês. Com o sucesso do *welfare state* nos países centrais do sistema, o capitalismo pôde finalmente ser apresentado como uma organização social não apenas eficiente, mas moralmente irrepreensível. Na prática, o crescimento econômico tem permitido transformar questões que para outras civilizações apareciam como problemas morais e políticos como problemas puramente técnicos. O efeito desta transformação sobre o imaginário social tem sido enorme.

No imaginário social, crescimento econômico perpétuo significa acesso a todos os objetos de desejo que o mundo pode fornecer, assim como a expectativa de acesso a outros objetos que o mercado não pode *ainda* fornecer. Por caminhos não planejados, os sucessos da social-democracia consolidaram um padrão de desenvolvimento em que a dependência material de

todas as classes sociais em relação à reprodução sempre ampliada do capital une-se simbioticamente a dependência ideológica de todas as classes sociais em relação a esta mesma reprodução sempre ampliada do capital. Um mundo no qual as necessidades humanas sejam satisfeitas sem necessariamente usar a enorme capacidade social de produção acumulada para expandir ainda mais o sistema econômico é hoje algo inconcebível para a maioria das pessoas. Ou seja, o crescimento econômico é um aspecto imprescindível da estabilidade das estruturas sociais existentes de todos os países, independentemente do nível de bem-estar material já atingido no país. Uma vez que o crescimento econômico tornou-se o *deus ex machina* dos conflitos sociais, a busca de soluções para os atuais problemas ambientais tem basicamente se esforçado por mostrar como crescimento econômico perpétuo a partir de uma base de recursos exauríveis num planeta finito tem sido possível e será sempre possível.

2.2 Padrões Intrigantes

Como crescemos num ambiente em que a estabilidade institucional só pode existir se houver condições para que a economia esteja sempre crescendo, geralmente não nos damos conta de que os padrões de desenvolvimento econômico observados no nosso tempo são extremamente recentes. A tabela abaixo sintetiza alguns fatos importantes sobre a atual trajetória de crescimento econômico vivenciada no mundo:

Ano	PIB Mundial ^a
1500	100
1820	290
1870	470
1900	824
1913	1.136
1929	1.541
1950	2.239
1973	6.696
1992	11.668

Tabela 2-1: Crescimento da Economia Mundial

Fonte: Maddison (1995, p. 19, p. 227).

^a Valores dados em números índices relativos a 1500.

A medição do tamanho das economias com base no PIB (Produto Interno Bruto) está longe de ser perfeita. O PIB (Produto Interno Bruto) é o valor total de todos os bens e serviços trazidos ao mercado dentro das fronteiras do país. Por extensão, na tabela 2-1 chama-se PIB Mundial

ao total das riquezas trazidas aos mercados no mundo, nas diversas regiões. Incorre-se em erro ao usar o PIB como medidor do tamanho do sistema econômico especialmente quando ele é aplicado a períodos e lugares nos quais parte substancial do sistema econômico não envolve operações de compra e venda num mercado. Apesar destas limitações, é possível usar o PIB com proveito como um estimador do tamanho das economias de mercado, abstendo-se por um momento de avaliar as implicações ambientais e sociais do processo gerador do crescimento. Usando-o neste sentido restrito, estima-se que o tamanho do sistema econômico em 1992 era cerca de 120 vezes maior que o de 1500⁴.

A maior parte do crescimento do sistema econômico ocorreu a partir de 1820, de modo que pode ser visto como um desdobramento da Revolução Industrial (é frequente entre os historiadores tomar o período de 1760-1820 como aquele correspondente à Revolução Industrial inglesa). O período em que o crescimento econômico foi mais rápido foi o de 1950-1973, mas em todo o período posterior à Segunda Guerra Mundial foram observadas taxas de crescimento econômico sem precedentes na história da humanidade.

São estas altíssimas taxas de crescimento econômico que têm tornado possível, principalmente nos países do centro do capitalismo, aumentar o padrão de vida de toda a população, não apenas das elites. Tem havido enormes desigualdades neste processo e muito do bem-estar dos países ricos do Norte envolveu a desestruturação sócio-econômica de populações do Sul. No que diz respeito à questão ambiental, cabe notar que estas impressionantes taxas de crescimento econômico têm sido acompanhadas de uma aceleração sem precedentes dos fluxos de energia e materiais, evidenciando a natureza heterotrófica da reprodução do sistema econômico.

O sistema econômico é heterotrófico no sentido de que sua reprodução somente pode ocorrer por meio do acesso entradas primárias não produtíveis pelo próprio sistema, mas extraídos do

⁴ A comparação das economias de 1820 em diante com as de 1500 é tão somente uma estimativa. Ela é feita usando-se dados do tamanho das economias em 1820 e estipulando-se as taxas de crescimento de renda per capita e populacional para o período de 1500-1820. Ver Maddison (1995, p. 19).

sistema ecológico no qual está contido. Além deste fato, a reprodução econômica caracteriza-se também pelo fato de que quase nunca os valores de uso⁵ empregados nas atividades de produção e consumo são encontrados na forma em que se pretende utilizá-los. Normalmente as entradas precisam ser transformadas e transportadas de uma região do sistema para outra. Sendo assim, a reprodução contínua do sistema econômico envolve um processo pelo qual as diversas partes do sistema tenham simultaneamente acesso a quantidades e qualidades variáveis de valores de uso, o que exige um fluxo contínuo de energia e materiais, recorrentemente extraídos, processados, transportados e fisicamente degradados. Quando os economistas ecológicos afirmam que o sistema econômico é aberto querem com isso que se reconheça a dependência da sociedade em relação a este fluxo contínuo de energia e materiais.

Se à percepção de que o sistema econômico é aberto unirmos a percepção de que o ambiente que circunda o sistema econômico muda, chegaremos à noção de metabolismo. De que modo o sistema econômico mantém sua estabilidade interna num ambiente em mutação? Isto seria impossível se o sistema econômico não tivesse desenvolvido ao longo de sua história mecanismos específicos que garantam sua reprodução no ambiente de mudanças (biofísicas, sociais, políticas, etc.). Enquanto estes mecanismos conseguem sustentar as concepções básicas que determinam as ações no interior do sistema econômico, o sistema econômico continua existindo.

No que diz respeito à dinâmica sociedade-natureza, o metabolismo do sistema sócio-econômico tem de assegurar que o processo pelo qual se convertem dadas propriedades materiais acessíveis em outro conjunto de propriedades materiais de interesse possa ser

⁵ Usa-se a expressão ‘valor de uso’ aqui no mesmo sentido em que era usado na economia clássica. Na economia clássica, o termo ‘valor de uso’ era usado para identificar a dimensão material qualitativa dos objetos trocados no mercado, enquanto o termo ‘valor de troca’ referia-se à dimensão quantitativa abstrata dos valores monetários. Meikle (2001) descreve o processo pelo qual a economia neoclássica tornou o conceito de valor de uso sem sentido na Economia, ao fundir valor de troca e valor de uso na noção de utilidade, supostamente mensurada pelos preços dos valores de uso no mercado.

sempre reproduzido, a despeito das variações ambientais encontradas. Dos conversores empregados pelo sistema econômico, os conversores energéticos são sem dúvida alguma os mais importantes, pois o recurso energia é imprescindível para transformar qualitativamente as formas materiais empregadas e para realizar o transporte dos valores de uso de uma região do sistema para outra (trabalho mecânico). Se bem sucedido, o metabolismo societal do sistema econômico garantirá que o fluxo de energia e materiais que sustenta reprodução do sistema econômico não seja interrompido.

Conforme bem observado por McNeill (2000, p. 10), todo problema energético consiste no problema de obter energia numa forma útil no lugar certo e no momento certo. Cada uma das partes do sistema econômico precisa, em cada momento, ter acesso à energia que possa utilizar, na quantidade requerida pelos processos reproduzidos. Para garantir isto as operações econômicas invariavelmente fazem uso de conversores energéticos.

Todo processo de conversão envolve perda de energia. Quanto menor a energia perdida durante a conversão, maior a eficiência do sistema e, conseqüentemente, menos energia primária será requerida para que a sociedade realize trabalho. Portanto, os conversores são peças fundamentais no metabolismo societal pelo qual o fluxo de valores de uso que satisfazem necessidades humanas é recorrentemente assegurado.

Antes da Revolução Industrial, o fluxo de mercadorias e serviços era seriamente limitado por gargalos nos fluxos biofísicos de qualidades concretas usáveis na produção e consumo. Para obter serviços energéticos na forma de trabalho, calor e luz era necessário recorrer à potência humana e animal, energia do movimento da água ou do vento e à queima de madeira. Além do conteúdo energético menor em relação aos conversores energéticos difundidos a partir da Revolução Industrial, tais conversores apresentam também a desvantagem de serem bem menos flexíveis, o que limitava a reprodução do sistema sócio-econômico.

Conversores biológicos de energia são extremamente ineficientes, ou seja, a parcela de energia desperdiçada no processo de conversão é bastante elevada. Por exemplo, seres humanos possuem 18% de eficiência: para cada 100 calorias absorvidas via alimentos, consegue-se obter apenas 18 calorias na forma de energia mecânica. Cavalos possuem uma eficiência de 10%. Como seres humanos eram mais eficientes que cavalos e muito mais

eficientes que bois na conversão de energia química em energia mecânica, na era pré-industrial grandes animais domesticados eram um luxo. O melhor instrumento para o ambicioso e poderoso que queria tornar-se mais rico e mais poderoso era a posse de mais escravos. A escravidão era amplamente difundida nos regimes energéticos somáticos. Na prática, não havia outra alternativa para concentrar energia além de acumular corpos humanos (McNeill, 2000, pp. 10-11).

No caso da energia mecânica obtida a partir da água ou do vento, a difusão generalizada das tecnologias empregadas esbarra no fato de que a disponibilidade de fontes primárias utilizáveis é determinada por fatores geográficos e climáticos sobre os quais a sociedade humana tem controle nulo ou praticamente nulo. Nem sempre há uma queda d'água ou regime de ventos convenientes para a reprodução sócio-econômica.

O calor é a forma de energia mais importante para a civilização atual, seja por ser usado nos processos físico-químicos endotérmicos, seja por ser usado como fonte primária de energia na obtenção de formas de energia de mais alta qualidade, como a energia elétrica. Portanto, processos pelos quais recursos encontrados no ambiente possam ser convertidos em grandes quantidades de calor são estruturantes da reprodução do sistema econômico.

Antes da era dos combustíveis fósseis, calor era obtido fundamentalmente pela queima de fitomassa (biomassa da vegetação terrestre). Isto limitava o fluxo máximo de energia incorporável pelo sistema econômico seja porque a biomassa vegetal provê outros serviços ecológicos além do provimento de energia, seja porque o conteúdo energético extraível por unidade de massa ou volume de biomassa empregada como combustível é bem menor que aquele disponibilizado por fontes hoje empregadas, tais como combustíveis fósseis ou energia nuclear.

A densidade energética da madeira típica (19MJ/kg) é cerca de um terço menor que aquela do carvão padrão e apenas cerca de 5-10% maior que a da maior parte dos resíduos de colheita (Smil 1991, p. 144). Entretanto, estas densidades energéticas valem apenas para madeira seca. Na realidade, normalmente a fitomassa apresenta níveis bastante altos de umidade, 30% em média para madeira de lei e 46% em média para madeira-branca. Mesmo a madeira que foi posta ao vento para secar (isto é, foi cortada, empilhada, abrigada e deixada para secar por

pelo menos dois meses) apresenta ainda cerca de 15% de umidade (Smil 1991, p. 144). Valores energéticos líquidos para fitomassa variam amplamente, indo de 20 MJ/kg para madeira muito seca até 15 MJ/kg para madeira seca ao vento até valores tão pequenos quanto 5-6 MJ/kg para madeira e grama frescas (Smil 1991, p. 144). Valores mais altos de densidade energética são obtidos usando o carvão vegetal, combustível de alta qualidade cuja densidade energética (29, 7 MJ/kg) é igual a do carvão de muito boa qualidade. Entretanto, Smil (1991) estima em 60% a perda para obter carvão vegetal usando métodos tradicionais e em cerca de 30% a perda usando-se os métodos dos modernos altos-fornos.

A dependência em relação à energia da fitomassa e a ineficiência dos métodos de aproveitamento de calor empregados foram a principal razão para o desflorestamento observado na Inglaterra antes de 1800. Smil (1991) estima que eram necessários de 8-20 kg de carvão vegetal (240-600 MJ/kg) para obter 1 kg de ferro fundido nos altos-fornos empregados. O mesmo Smil (1991) afirma que um único empreendimento na Inglaterra do século dezoito usando madeira de lei cultivada (15 anos de rotação, 7,5 t/ha*ano) teria requerido cerca de 1600 ha/ano, totalizando 24000 ha de árvores em 15 anos. Inevitavelmente, padrões de demanda como estes limitavam a produção de valores de uso intensivos em energia e a própria possibilidade de despendar energia transferindo valores de uso entre partes distantes do sistema de produção.

O máximo fluxo de energia mobilizável a partir de fitomassa representava um gargalo intransponível à complexificação do sistema econômico. Sem a transição do regime energético somático para o regime energético dos combustíveis fósseis, a transição sócio-econômica desencadeada pela Revolução Industrial teria certamente sido impossível. Não é necessário aderir a concepções que buscam reduzir o social ao biofísico para reconhecer-se que a capacidade social de controlar os fluxos de energia e materiais é um fator explicativo da evolução social bem mais importante do que normalmente se admite. Sem dúvida alguma, para o advento da civilização do mercado auto-regulável contribuíram fatores que podem ser estudados sem fazer referência explícita à dinâmica entre fluxos biofísicos e fluxo de

mercadorias e serviços (por exemplo, o processo histórico pelo qual o trabalho foi transformado numa mercadoria como qualquer outra)⁶.

Entretanto, têm sido largamente subestimadas as implicações econômicas do acesso a recursos naturais de alta qualidade que podem ser mobilizados a qualquer momento em qualquer lugar. Na descrição usual que se faz do sistema econômico esta mobilidade física sequer é representada, de modo que os mecanismos sociais e o processo histórico pelos quais esta mobilidade passou a ser possível normalmente não são objeto de investigação.

É apenas com o acesso sistemático a recursos energéticos de baixa entropia representados pelos combustíveis fósseis que os fluxos biofísicos naturais deixam de ser gargalos à livre circulação de bens e serviços, passando a existir uma aparente independência do sistema econômico em relação à ordem biofísica: cada vez menos os ciclos naturais são restrições à reprodução dos ciclos econômicos, de modo que os agentes concentram-se cada vez mais nos processos de troca e cada vez menos em resolver problemas relativos a gargalos nos processos de produção propriamente ditos. A partir do momento em que é possível disponibilizar qualquer qualidade concreta utilizável na produção e consumo em qualquer lugar e a qualquer momento, todo objeto consumível pode ser tornado disponível pelas instituições de mercado. Os gargalos não são mais os ciclos naturais, mas os ciclos de troca. Tudo que pode ser produzido pode ser transportado para diferentes centros de consumo, independentemente de sua localização; mesmo fábricas que não estão próximas a quedas d'água podem operar; com o advento do petróleo e do motor de combustão interna, qualquer um pode obter trabalho mecânico em qualquer lugar, não apenas os grandes consumidores de energia.

A disponibilidade de recursos energéticos que podem ser prontamente utilizados em qualquer lugar e a qualquer momento dá ao sistema econômico uma flexibilidade que o torna altamente independente de restrições impostas pela história natural. É a partir da Revolução Industrial que a taxa de reprodução do sistema econômico deixa de ser limitada pela taxa de reprodução

⁶ Sobre as radicais modificações necessárias para o advento de sociedades construídas com base na idéia de mercados auto-reguláveis, ver o clássico trabalho de Polanyi (1980).

orgânica dos sistemas biofísicos, tornando-se possível acelerar enormemente os fluxos de energia e materiais pelo sistema de produção. É difícil exagerar na importância que um fluxo contínuo e prontamente acessível de propriedades materiais biofísicas tem para um sistema econômico cujo funcionamento baseia-se num fluxo contínuo de mercadorias.

De fato, o processo disparado pela Revolução Industrial pode ser visto tanto da perspectiva de tendência persistente de aumento na riqueza pecuniária, indicada pelos aumentos no Produto Interno Bruto dos países, quanto na perspectiva de tendência persistente de aumento nos fluxos de valores de uso, como indicado por exemplo pelo aumento da população e do consumo per capita de energia⁷.

Grübler (2005) estima que o consumo global de energia no ano 2000 era 20 vezes o consumo em 1800; a população no ano 2000 é estimada em 6 vezes a população em 1800. Logo, em 200 anos (1800-2000) o consumo de energia cresceu 3,33 vezes mais rapidamente do que a população. Estes padrões tornam-se ainda mais impressionantes quando se atenta para o fato de que ocorreram num período de estrondosos aumentos na eficiência tecnológica e econômica com que recursos energéticos são utilizados (ou seja, num período em que o consumo de energia para obter cada unidade de produto vem caindo sistematicamente).

Deveria ser objeto de reflexão que os enormes ganhos de eficiência na utilização de recursos naturais observados desde a Revolução Industrial não estejam associados a diminuições na demanda por estes recursos, mas a persistentes aumentos no consumo per capita de recursos, numa trajetória de mais de 200 anos: no mínimo, estes padrões indicam que os ganhos de

⁷ Do ponto de vista da lógica do sistema capitalista, uma população importa não como um conjunto de indivíduos que compartilham uma história comum, mas como uma base de recursos cuja importância decorre da possibilidade de usar as habilidades adquiridas por estes indivíduos para gerar riqueza na forma pecuniária. Ou seja, tanto a população de pessoas quanto os recursos inertes são vistos como meros objetos cuja importância decorre da possibilidade de gerar valor a partir deles. Sendo assim, uma tendência crescente tanto na população ativa quanto na quantidade de objetos inertes utilizados indica que *ambos* têm funcionado como valores de uso eficazes no processo de geração de valor.

eficiência têm sido sistematicamente insuficientes para frear a demanda por energia⁸. Em suma, os padrões de consumo de energia observados a partir da Revolução Industrial indicam tanto um aumento na eficiência quanto um aumento nos fluxos de energia incorporados pelo sistema econômico.

A transição de regimes energéticos somáticos para regimes energéticos de combustíveis fósseis tem ocorrido de maneira bastante heterogênea entre os países. Na realidade, para grande parte da população mundial esta transição não se completou. Estima-se que quase 3 bilhões de pessoas dependam da utilização de biomassa (madeira, carvão vegetal, resíduos de colheita e esterco) como sua fonte primária de energia (Ezzati e Kammen, 2002). Nas regiões do mundo em que ocorreu, a transição energética desencadeada pela Revolução Industrial envolveu mudanças drásticas tanto nas quantidades de energia utilizadas quanto na estrutura energética (isto é, onde a energia é utilizada e quanto ao tipo de energia utilizada) (Grübler, 2005). A heterogeneidade desta transição está bem sintetizada no gráfico abaixo, extraído de Grübler (2005):

⁸ Por exemplo, os dados de consumo per capita de energia em Schurr e Netschert (1960), que cobrem o período de 1850-1955, mostram uma tendência sempre crescente no consumo per capita de energia. Dados do Departamento de Energia dos Estados Unidos cobrindo o período posterior a 1955 mostram a mesma tendência. O mesmo padrão se repete nos demais países que de uma forma ou de outra seguiram o modelo inaugurado pela Revolução Industrial inglesa.

Figura 2-1: Crescimento Populacional versus Consumo per Capita de Energia

Observações: Trajetórias de intervalos de 25 anos cobrindo o período de 1800-2000. Os dados referem-se a países industrializados (quadrados), países em desenvolvimento (triângulos), e à média mundial (círculos). Áreas dos quadrados ligando as coordenadas dos eixos x e y para 1800 e 2000 são proporcionais ao consumo total de energia. Dados anteriores a 1950 são estimativas. Fonte: Grubler (2005).

Para os países industrializados o aumento no consumo total de energia foi principalmente a consequência de aumentos no consumo per capita de energia e secundariamente a consequência de aumentos no tamanho da população; para os chamados países em desenvolvimento, o aumento no consumo total de energia é mais consequência de aumentos no tamanho da população que de aumentos no consumo per capita de energia. Apenas a partir de 1975 (parte correspondente aos dois últimos triângulos do gráfico) este padrão é quebrado, passando a haver fortes aumentos no consumo per capita de energia dos países em desenvolvimento.

Os países que apresentaram menores aumentos de população e maiores aumentos de produtividade e bem-estar (países industrializados) são aqueles nos quais se observa uma forte e persistente tendência de aumentos no consumo per capita de energia, indicando que a causa da aceleração dos fluxos de energia incorporados pelo sistema econômico tem sido menos o aumento da população e muito mais as funções desempenhadas pelo recurso energia dentro do sistema produtivo. Estes padrões de desenvolvimento permitem afirmar que os aumentos na

produtividade do trabalho humano observados desde a Revolução Industrial têm dependido não somente da engenhosidade humana ou das instituições de mercado, mas também do acesso contínuo ao estoque de recursos de alta qualidade representado principalmente pelos combustíveis fósseis.

Se tanto a população quanto o consumo per capita de energia aumentam à medida que se dá a reprodução do sistema econômico, aumentarão também os fluxos de energia extraídos do estoque de recursos e os correspondentes dejetos decorrentes da utilização destes recursos. Claramente, o aumento nas taxas de crescimento econômico observadas desde a Revolução Industrial tem estado sistematicamente correlacionado a uma aceleração dos fluxos biofísicos naturais.

Pelo papel da energia dentro da estrutura de produção, inclusive garantindo o acesso a outros recursos naturais, destacamos até aqui as tendências relativas a consumo de energia e crescimento do sistema econômico. Entretanto, o padrão de reprodução do sistema econômico desencadeado pela Revolução Industrial tem se apoiado também na apropriação crescente de materiais. A Tabela 2-2 mostra o consumo per capita de minerais selecionados no começo do século XX e no começo do século XXI:

	Consumo Mundial per capita em 1900 ^a (em gramas)	Consumo Mundial per capita em 2008 (em gramas)
Alumínio	4,08	5820,23
Chumbo	449,04	573,07
Cobalto	0,11	8,60
Cobre	296,76	2298,24
Cromo	9,89	1041,67
Estanho	56,12	44,62
Ferro	57254,20	331305,41
Manganês	354,92	1984,85
Molibdênio	0,01	32,53
Níquel	5,57	234,30
Tungstênio	1,02	8,34
Vanádio	0,62	8,37
Zinco	287,17	1731,15

Tabela 2-2: Tendências no Consumo Mundial per Capita de Minerais

Fonte: Tabela construída a partir de dados de produção mundial de minerais disponibilizados pela United States Geological Survey (USGS)⁹. Os dados de população mundial para o início do século XX foram extraídos de Clark (1967, p. 108), enquanto que os dados de população mundial em 2008 foram extraídos da International Data Base (IDB) do US Census Bureau¹⁰.

Nota a: Para alguns dos minérios exibidos na segunda coluna da Tabela 2-2 o consumo mundial per capita não se refere ao ano de 1900. São eles: cobalto (1901), estanho (1905), ferro (1904), tungstênio (1905) e vanádio (1921).

Com exceção do estanho, todos os minerais tiveram aumentos no consumo per capita, a maior parte deles aumentos bem superiores a 100%. Cabe observar que o século XX foi um período pródigo na descoberta e desenvolvimento de novos materiais, o que torna estes resultados ainda mais significativos. Nem os ganhos de eficiência nem o desenvolvimento de novos materiais têm até o momento sido capazes de frear a demanda por minerais básicos extraídos da natureza, de modo que o fluxo destes recursos pelo sistema econômico tem sempre aumentado.

A correlação entre crescimento econômico e aceleração de fluxos biofísicos (dada tanto em termos de consumo absoluto quanto de consumo per capita de recursos) tem sido

⁹ Os dados estão disponíveis eletronicamente em <http://minerals.usgs.gov/ds/2005/140/>. Na página estão disponíveis vários arquivos com tabelas de consumo de minerais cobrindo a maior parte do século XX.

¹⁰ Os dados estão disponíveis eletronicamente em <http://www.census.gov/ipc/www/idb/worldpopinfo.php>. Neste endereço eletrônico é possível baixar a tabela Total Midyear Population for the World: 1950-2050.

sistematicamente ignorada pelos economistas. Entretanto, ela sugere que a possibilidade do crescimento econômico ilimitado do sistema econômico corresponderia a possibilidade de aumentos ilimitados nos fluxos de energia e materiais. Desta correlação decorre que mesmo que seja possível ofertar recursos naturais em quantidade suficiente para garantir a cada chinês o modo de vida estadunidense, é altamente duvidoso que isto possa ser feito sem comprometer aquilo que ecologistas e economistas ecológicos chamam de capacidade de suporte, isto é, a capacidade do sistema ecológico de absorver e processar os fluxos de energia e materiais decorrentes dos atos de produção e consumo.

Embora a economia ortodoxa foque prioritariamente na questão da oferta de recursos a serem transacionados no mercado, a história econômica e ambiental mostra que tem sido muito mais difícil para o sistema econômico atual lidar com a degradação decorrente da utilização de recursos que com a escassez propriamente dita de recursos utilizáveis pelo sistema produtivo. O próprio problema do aquecimento global é em essência um problema relativo à capacidade de suporte do planeta, não um problema de escassez ou de falta de recursos: tudo indica que a utilização dos gigantescos estoques de combustíveis fósseis desencadeada pela Revolução Industrial tem jogado no ambiente uma quantidade de gases de efeito-estufa maior do que o ambiente pode processar sem que o equilíbrio homeostático do planeta seja alterado.

Na verdade, o otimismo tecnológico que prega uma conciliação entre crescimento econômico e sustentabilidade ambiental torna-se plausível apenas na medida em que se consegue ignorar sistematicamente os vínculos de longa duração entre crescimento econômico e fluxos crescentes de energia e materiais. Isto somente tem sido possível devido à enorme influência que o fetichismo monetário tem tido no aparato conceitual utilizado nas descrições que são feitas do processo desencadeado pela Revolução Industrial.

Por exemplo, Nordhaus (1991) estima que a perda global total para a economia dos Estados Unidos dos efeitos de um aumento de 3°C na temperatura dificilmente seria maior que 2% do PIB. Consistente com a visão neoclássica e a lógica dos mercados, Nordhaus (1991) afirma ainda que as mudanças climáticas são suscetíveis de produzir uma combinação de ganhos e prejuízos, sem presunção de prejuízos econômicos líquidos substanciais. Subjacente a este otimismo está a suposição de que a todo prejuízo incorrido corresponde necessariamente uma

compensação aplicável. Assume-se que se os recursos naturais em algum momento se mostrarem um problema grave, capital sob outras formas poderá ser alocado para compensar os prejuízos (vale dizer, isto é sempre assumido, nunca investigado). A visão de que o sistema econômico opera apenas com base em equivalências exploradas e sempre extensíveis é uma das principais razões para que a pequena participação relativa dos recursos naturais no PIB seja interpretada como evidência do pequeno valor econômico destes recursos, a despeito de trajetórias bastante longas de aumento no consumo per capita e total destes recursos. A lógica neoclássica das equivalências leva a uma confusão entre o valor econômico dos recursos e os preços que eles assumem no mercado.

Não fosse a confusão entre valor econômico e preço, a trajetória de queda nos preços dos recursos naturais seria interpretada como evidência da capacidade do sistema econômico depender menos de recursos naturais apenas se estivesse ligada a uma trajetória de fluxos estáveis ou decrescentes de energia e materiais. Uma trajetória de preços decrescentes e fluxos crescentes de modo algum indica que o binômio tecnologia–mercado tem sido bem sucedido em fazer a reprodução do sistema econômico depender menos dos recursos naturais. Pelo contrário, ela evidencia *ipso facto* a capacidade do binômio tecnologia–mercado de fazer com que o sistema sócio-econômico aumente sua capacidade de depender da utilização desta classe de recursos, ao viabilizar que se aumente persistentemente a oferta de recursos naturais. A civilização em que vivemos tem sido até o momento extremamente bem sucedida em utilizar aumentos nos fluxos de energia e materiais apropriáveis pelo trabalho humano para aumentar a produtividade do sistema econômico. Entretanto, e isto é central para a importância política da agenda ambiental, não há até o momento evidências que corroborem as expectativas de que os padrões de crescimento do sistema econômico e aumento da produtividade desencadeados pela Revolução Industrial possam continuar sem que nos apoiemos em fluxos crescentes de energia e materiais.

Estas relações não têm sido vistas como importantes para a construção de teorias da produção porque a abordagem econômica ortodoxa tem sido bem sucedida na elaboração e difusão de um aparato conceitual em que se abstrai largamente da dimensão qualitativa dos processos produtivos, que são vistos apenas como transferências de objetos de uma região do sistema econômico para outra. Devido a esta forma de representar os processos econômicos, implícito

na visão de que o sistema econômico possa ser reduzido a um mero conjunto de trocas monetárias, o fato observável de que a reprodução ampliada do sistema econômico tem se apoiado em incrementos recorrentes no consumo per capita de recursos naturais tem sido sistematicamente ignorado.

Para o processo pelo qual as concepções teóricas ortodoxas cerceiam a investigação das bases materiais não-monetárias da reprodução do sistema econômico tem contribuído tanto o fato de que a natureza material não-monetária do processo produtivo seja vista como algo que necessariamente não concerne aos economistas, quanto a percepção de que as variáveis endógenas ao processo econômico são apenas as de natureza monetária. Estas percepções delineiam o mecanismo pelo qual a longa correlação entre crescimento econômico e fluxos crescentes de energia e materiais desencadeada pela Revolução Industrial é posta fora do campo de observação considerado pertinente para a análise reconhecida como econômica.

No entanto, a partir do momento em que o analista se permite abandonar o universo categorial neoclássico e pensar a produção como algo que vai além de oferta e demanda e alocação ótima de recursos, considerações puramente lógicas facilmente podem torná-lo pessimista quanto à viabilidade do sistema de produção atual. Como um sistema cuja reprodução ampliada se baseia na apropriação crescente de recursos físicos extraídos de um volume físico limitado pode ser sustentável? Ora, uma série indefinidamente longa de quantidades crescentes tem necessariamente que levar a uma quantidade total infinita. Se a quantidade de recursos naturais demandada pelo sistema (no âmbito das fontes e dos reservatórios) é infinita e a quantidade disponível é finita, é difícil ver como se operacionalizaria a sustentabilidade.

A crença atual de que crescimento econômico perpétuo é conciliável com sustentabilidade ambiental somente seria plausível se houvesse fortes evidências de que é possível desvincular a reprodução ampliada do sistema econômico de fluxos crescentes de energia e materiais. Até o momento estas evidências não existem, mas tampouco existe o aparato conceitual que permitiria tornar claro o significado da ausência de tais evidências ou a compreensão dos mecanismos pelos quais o padrão de interação economia-natureza inaugurado pela Revolução Industrial tem se mantido.

2.3 *Um Problema de Representação*

O padrão pelo qual crescimento econômico tem estado ligado a fluxos crescentes de recursos naturais, embora existente e recorrente, não tem sido tornado presente para os observadores. Como no seu sentido mais filosófico representar é tornar presente, pode-se dizer que este padrão é uma existência não representada no discurso social vigente. A maneira como a atual crise ambiental é apresentada, investigada e percebida indica que as ciências sociais ainda não conseguiram desenvolver um materialismo que seja consistente tanto epistemologicamente quanto social e economicamente. Ainda hoje, mais de 250 anos depois da Revolução Industrial inglesa, as estruturas sociais pelas quais a apropriação de propriedades materiais biofísicas permitem a reprodução do sistema sócio-econômico são precariamente compreendidas. De modo geral, sequer se percebe que existe um vínculo entre a especificidade das estruturas sociais utilizadas e o advento de uma crise ambiental global de causas antropogênicas na história humana¹¹.

Apesar da situação atual, em que a análise econômica demonstra bastante dificuldade mesmo para representar a dimensão material biofísica dos sistemas econômicos, houve precursores na tentativa de construir um discurso econômico que fizesse jus à dimensão material biofísica. Uma apresentação e discussão do trabalho de precursores da economia ecológica pode ser encontrada na seminal obra de Martinez-Alier (1987). Precursores como o marxista Podolinsky, cujo trabalho poderia ter gerado implicações para a análise marxiana do capitalismo, especialmente no que concerne à sua dinâmica de longo prazo e relações entre o sistema econômico e o sistema ecológico, mas que é ignorado tanto por marxistas quanto pela ortodoxia econômica; ou Frederick Soddy, cujas críticas sobre a teoria do crescimento econômico podem ser vistas como uma forma de anti-fetichismo monetário, dentre vários outros apresentados.

¹¹ Não se quer com isto dizer que outras civilizações não vivenciaram crises ambientais desencadeadas pela ação humana, mas que o caráter global da crise é algo novo na história humana. Para exemplos de civilizações que produziram sua própria destruição ambiental, ver Diamond (2005).

Alguns destes precursores foram inclusive cientistas bastante respeitados em sua época, como Soddy e Ostwald. Apesar disso, suas colocações foram veementemente criticadas ou ignoradas, frequentemente com os seus equívocos sendo usados para desqualificar aspectos levantados por suas obras que hoje são objeto de bastante preocupação. Na verdade, a percepção destes precursores da economia ecológica de que a representação usual que se faz do sistema econômico não faz jus à dependência deste sistema em relação às suas bases materiais biofísicas é hoje considerada bem mais aceitável do que na época em que estes precursores escreveram. Tais precursores partem de imagens do processo desencadeado pela Revolução Industrial bastante diferentes daquela apresentada pelo discurso econômico ortodoxo, o que se mostra decisivo para as suas conclusões. Daí que estejam expostos a estranhamentos ausentes na percepção do economista.

Na verdade, uma relação de dependência tão longa entre fluxos crescentes de recursos naturais e crescimento econômico não poderia ser sistematicamente ignorada se o sistema de categorias utilizadas para descrever o processo produtivo não induzisse os observadores a algum tipo de cegueira sistemática: nenhum fato é um mero dado da realidade, precisa sempre ser interpretado a partir de algum conjunto de categorias herdado da tradição. Por que o processo de acumulação de capital desencadeado pela Revolução Industrial, iniciado há mais de 250 anos atrás e desde então caracterizado por um movimento permanente de introdução de novas inovações tecnológicas, continua a depender de fluxos crescentes de energia e materiais? Por que mesmo diante de uma relação de dependência tão longa a ortodoxia econômica e o senso comum de nossa época é tão otimista quanto à possibilidade de conciliar crescimento econômico com sustentabilidade ambiental?

Para aqueles cujas estruturas mentais usadas para descrever o processo produtivo têm origem apenas em visões termodinâmicas, a pergunta de por que o sistema econômico tem se apoiado em fluxos crescentes de recursos naturais parecerá ter a resposta óbvia de que nenhuma máquina térmica pode aumentar recorrentemente e indefinidamente sua capacidade de realizar trabalho sem aumentar o consumo de combustível. E do ponto de vista físico o sistema econômico atual não passa de uma gigantesca máquina térmica que tem operado com base em estoques e fluxos de combustíveis fósseis. Entretanto, tal explicação é tão correta quanto inadequada para explicar a reprodução do modo de produção atual. Da realidade

termodinâmica de que máquinas térmicas não podem aumentar indefinidamente seu produto sem aumentar o consumo de combustível não decorre que um sistema econômico que passe a ter acesso a um estoque de recursos de baixa entropia necessariamente passará a ter como princípio organizativo inquestionável da sociedade o crescimento econômico perpétuo. O crescimento econômico deve ser entendido como uma necessidade histórica da civilização atual, não como mera necessidade física.

Embora a dimensão termodinâmica seja imprescindível para a análise da sustentabilidade, uma perspectiva puramente termodinâmica impede que se reconheça com clareza a inadequação das leis postuladas pela teoria de produção aceita, por não problematizar os mecanismos sociais pelos quais a apropriação do mundo biofísico garante a reprodução do sistema econômico. Por exemplo, não tem sido adequadamente expresso nem mesmo pelos críticos da ortodoxia econômica que *do ponto de vista da teoria de produção neoclássica* o vínculo permanente entre crescimento econômico e fluxos crescentes de energia e materiais é um fato anômalo, isto é, um fato que não pode ser explicado pela teoria de produção. Tal anomalia pode ser posta nos seguintes termos.

Se a teoria de produção não estabelece *nenhum vínculo objetivo* entre valor econômico e base material biofísica, não há razão teórica para que a reprodução ampliada do sistema (crescimento econômico) baseie-se sempre em fluxos crescentes de energia e materiais. Da perspectiva da teoria de produção empregada, fluxos crescentes e decrescentes são igualmente possíveis e, a rigor, igualmente prováveis. Em outras palavras, se a realidade econômica objetiva é indiferente à dimensão material biofísica, devemos esperar que o crescimento econômico possa se dar tanto com base em fluxos crescentes quanto com base em fluxos estáveis ou decrescentes. Tal interpretação é a base lógica implícita do otimismo neoclássico. Ela é logicamente impecável e teoricamente consistente com a tradição. Só há um problema com ela: está em franca contradição com os fatos. Se a teoria de produção descreve adequadamente a realidade, por que então a longa trajetória de reprodução ampliada do capital não se desvinculou de fluxos crescentes de energia e materiais?

Para enfatizar a importância da dissonância entre o que nos diz a teoria neoclássica de produção e a realidade objetiva de fluxos per capita crescentes de recursos naturais é útil

apoiar-se no significado da passagem do mundo cinemático para o mundo termodinâmico na Física. Como se sabe, a economia neoclássica nasce profundamente influenciada pela Mecânica Clássica do século XIX.

Na verdade, parte considerável das limitações da economia neoclássica para descrever a realidade material da produção remetem ao compromisso radical da economia neoclássica com a epistemologia subjacente à Mecânica Clássica. Refletindo sobre as limitações de uma Física cujas categorias de análise abstraíssem da existência de mudança qualitativa, Mach (1911) observa que a cinemática permite construir diagramas da realidade, mas não permite representar a dimensão material qualitativa desta mesma realidade (Mach 1911, p. 159):

“A Física tratada neste sentido fornece-nos simplesmente um diagrama do mundo, em que não conhecemos a realidade de novo. De fato, acontece a homens que se submetem a esta visão por muitos anos que o mundo dos sentidos a partir do qual eles partem como província da mais alta familiaridade, de repente, torna-se aos seus olhos o supremo “enigma do mundo”.”

Significativamente, em trabalho no qual discute a exclusão do conceito de valor de uso da Economia, Meikle (2001, p. 32) observa:

“Existe hoje um sentimento, mais ou menos vago, porém real, de que os contabilistas, economistas e outros que lidam principalmente com dinheiro habitam um mundo diferente de todos os demais. Este “mundo econômico” mapeia o mundo comum das coisas, pessoas, e das atividades da vida, mas os trata sutilmente à deriva em pontos importantes de maneiras que produzem perplexidade. Os economistas freqüentemente insistem que eles vivem no “mundo real”, com a pesada implicação de que os seus críticos e detratores vivem em um mundo de sonhos, e embora esta insistência seja por vezes suficiente para silenciar a oposição, é raramente aceita como completamente convincente ou satisfatória.”

Tanto em Mach (1911) quanto em Meikle (2001) o desconforto com as teorias questionadas advem do fato de que na Economia e na cinemática adotem-se como estratégia analítica e mesmo epistemológica uma abstração radical em relação à dimensão material qualitativa dos objetos descritos. Além de reduzir a análise a uma geometria da realidade, indiferente ao conteúdo material unido pelas relações postuladas, abstrair da dinâmica de mudanças qualitativas tem também a importante consequência de ignorar o caráter unidirecional da realidade material (Georgescu-Roegen 1971, p. 196):

“A idéia de que o processo de vida possa ser revertido parece tão completamente absurda a quase toda mente humana que não aparece nem mesmo como mito na religião ou folclore. A evidência milenar de que a vida passa-se sempre numa única direção é suficiente como prova da irreversibilidade da vida para a mente comum, mas não para a ciência. Se a ciência fosse descartar

uma proposição que segue logicamente de seu fundamento teórico, meramente porque sua realização factual nunca foi observada, a maior parte da tecnologia moderna não existiria. Impossibilidade, corretamente, não é a senha na ciência. Consequentemente, se uma pedra angular da ciência é o dogma de que todos os fenômenos são governados por leis mecânicas, a ciência tem que admitir que a reversão da vida é factível. Esta admissão deve causar grande desconforto intelectual dado o fato de que, aparentemente, nenhum acadêmico da escola clássica defendeu isto manifestamente. A termodinâmica clássica, ao oferecer evidência válida de acordo com o código de procedimento da corte científica – de que mesmo no domínio físico há processos irreversíveis, reconciliou a plataforma da ciência com o senso comum geralmente compartilhado.”

Na verdade, conforme observa o próprio Gorgescu-Roegen (1971), com o advento da mecânica estatística esta reconciliação deixou de ser tão completa. Em todo caso, o ponto levantado por Gorgescu-Roegen (1971) é meramente o de que fatos que não são expressamente proibidos pelas leis científicas adotadas não podem ser descartados como impossibilidades, ainda que não tenham sido observados. Desta situação decorre uma anomalia: se as leis da mecânica não estabelecem nenhuma direção preferencial aos eventos observados, por que o calor sempre flui do corpo quente para o corpo mais frio? De uma perspectiva estritamente cinemática e anterior ao advento da termodinâmica clássica pode-se perguntar: se a direção com que os eventos observados não importa, por que o calor nunca flui naturalmente do corpo frio para o corpo quente?

Analogamente, pode-se também inquirir: se a reprodução do sistema econômico é indiferente à natureza material dos fatores produtivos empregados, por que o crescimento econômico tem se baseado em fluxos per capita crescente de recursos naturais, a despeito da enorme variedade de formas de aumento de produtividade adotadas desde a Revolução Industrial? Tendo em vista as suposições adotadas pela teoria de produção neoclássica, os fluxos per capita crescentes de energia e materiais são tão anômalos quanto o fato do calor sempre fluir do corpo quente para o corpo frio é anômalo para uma Física baseada apenas em leis teóricas cinemáticas.

Em suma, por mais importante que uma geometria da realidade tenha se mostrado para o desenvolvimento da ciência, ela abstrai daquilo que talvez seja o aspecto mais relevante da interação economia-ambiente: o fato de que a realidade material envolva não apenas mudanças de objetos homogêneos de uma região do espaço-tempo para outra, mas também modificações qualitativas em objetos qualitativamente distintos. Uma geometria da realidade não pode fazer jus à existência de mudanças qualitativas na realidade, pois sequer permite

representar a idéia de mudança qualitativa. Daí a dificuldade de reconhecer tanto os poderes causais específicos dos objetos empregados na produção quanto o fato de que atos de produção e consumo envolvam mudanças qualitativas irreversíveis sobre os fatores de produção utilizados. Tal perspectiva operacionaliza a visão da produção como mera transferência de objetos qualitativamente indiferenciados entre proprietários.

Entre os precursores da economia ecológica apresentados por Martinez-Alier (1987) há um número desproporcionalmente alto de cientistas da natureza. Aliás, as divergências entre cientistas naturais e cientistas sociais (principalmente economistas) quanto à viabilidade do atual sistema econômico são um aspecto importante da sociologia das ciências da sustentabilidade. Numa pesquisa de opinião com 22 respondentes, Nordhaus (1994) detectou total desacordo entre cientistas naturais e economistas neoclássicos não-ambientais. Por exemplo, enquanto 55% dos cientistas naturais acreditavam que caso ocorresse um aumento de 6 °C na temperatura a probabilidade de haver consequências econômicas bastante negativas era alta; apenas 3,5% dos economistas não-ambientais consideravam que no caso de haver um aumento 6 °C na temperatura a probabilidade de haver impactos econômicos bastante negativos era alta.

Esta não foi a primeira vez em que cientistas naturais e tecnólogos divergiram das expectativas da época em torno das consequências do crescimento econômico. Worster (1993) observa que foram basicamente cientistas naturais e engenheiros os responsáveis por trabalhos publicados nas décadas de 1960 e 1970 que despertaram a consciência do público para a existência de uma crise ambiental. Trabalhos como *Silent Spring* (1962), de Rachel Carson; *Science and Survival* (1966) e *The Closing Circle* (1971), de Barry Commoner; *The Population Bomb* (1968), de Paul Ehrlich; e *The Limits to Growth* (1972), cujos autores são Donella Meadows, Dennis Meadows, Jørgen Randers e Williams Behrens. Vale observar que estas obras não foram lidas apenas por círculos de especialistas (por exemplo, *The Limits to Growth* tornou-se o maior sucesso de vendas da literatura ambiental, vendendo mais de 30 milhões de cópias ao longo de suas edições). O próprio título destas obras evidencia que elas

foram escritas com o objetivo de que funcionassem como manifestos políticos em prol de uma agenda ambientalista.

O que surpreende não é a presença de cientistas naturais, mas a ausência de cientistas sociais. Esta ausência mostra que até bem pouco tempo a interação entre mundo natural e mundo social não era uma questão para as ciências sociais, principalmente no que diz respeito ao entendimento da ordem histórico-social vigente. Trabalhos de sociologia do conhecimento e epistemologia seriam necessários para entender as razões disto. Talvez haja a suposição de que incorporar o mundo natural implicaria negar a natureza social da realidade. Embora existam análises que realmente engendraram por este caminho (por exemplo, teorias energéticas do valor), não se trata de um caminho necessário. Por outro lado, é estranho pensar que um materialismo socialmente consistente e consequente possa ser construído sem fazer referência aos mecanismos sociais específicos pelos quais a base material biofísica é posta a serviço dos valores vigentes na sociedade. E certamente muitos cientistas sociais contemporâneos (não apenas marxistas) consideram-se materialistas.

Pode-se suspeitar que não foi por acaso que o ambientalismo atual tenha começado a ganhar peso durante a era de ouro do capitalismo, no qual foram observadas as maiores taxas de crescimento econômico da história da humanidade. No período de 1950-1973, apenas a variação no tamanho da economia mundial foi quase 2 vezes maior que o tamanho alcançado pela economia mundial até 1950 (ver Tabela 2-1). Em menos de 25 anos a economia mundial cresceu mais do que havia feito em mais de 11000 anos desde o advento da agricultura¹². Correspondentemente, o uso de energia e outros recursos naturais cresceu a taxas impressionantes no mesmo período. A humanidade demorou cerca de 11000 anos para atingir a marca de aproximadamente 2130 TEP (Toneladas Equivalentes de Petróleo) utilizadas durante 1 ano de produção. No período de 1950-1973 (menos de 25 anos) somente o aumento

¹² A agricultura surgiu independentemente em lugares amplamente separados do mundo, envolvendo espécies e variedades diferentes de plantas. Segundo Vasey (2004), os registros mais antigos existentes de atividade agrícola, que se referem ao cultivo de trigo e cevada no Sudeste da Ásia, situam o início da agricultura por volta de 9250 a.C.

no consumo mundial de energia foi 1,8 vezes as 2130 TEP utilizadas em 1950¹³. Ou seja, em menos de 25 anos durante a era de ouro do capitalismo o consumo de energia cresceu mais rápido que em mais de 11000 anos de história humana. Marcas tão impressionantes levaram o historiador ambiental McNeill (2001) a estimar que durante o século XX tenha sido usada mais energia que em toda a história anterior da humanidade.

Constata-se então que a onda de alertas dos cientistas naturais iniciada na década de 1960 surgiu justamente num momento em que o otimismo engendrado pelas taxas sem precedentes de crescimento econômico caminhavam *pari passu* com uma aceleração sem precedentes dos fluxos de energia e materiais. Dentre os alertas lançados cabe destacar a obra *The Limits to Growth*, por seu significado para a cisão entre economia neoclássica e economia ecológica.

2.4 *The Limits to Growth*

É importante deter-se sobre *The Limits to Growth* não porque este trabalho tenha sido mais consistente ou mais bem fundamentado que outros trabalhos lançados na mesma época alertando para os perigos ambientais da civilização atual, mas porque foi o trabalho sobre o qual os defensores da teoria de produção hegemônica mais se detiveram. Um livro que se mostra um sucesso de vendas defendendo a necessidade de interromper o crescimento econômico não pode deixar de constituir-se em objeto de preocupação para acadêmicos cuja legitimidade institucional foi em grande parte constituída com base nas expectativas sociais em torno do crescimento econômico depois da Segunda Guerra Mundial.

The Limits to Growth (daqui por diante, *LtG*) é um trabalho entremeado de fatos no mínimo curiosos. Como se explica que uma obra que defende a interrupção daquilo que a maior parte de nós considera o próprio combustível da sociedade liberal tenha sido considerada politicamente e cientificamente plausível? (a obra vendeu mais de 30 milhões de cópias em mais de 30 idiomas). Propor o abandono do dogma do crescimento econômico significa defenestrar as relações de poder que prevalecem na civilização atual. Se um radical socialista

¹³ Dados de oferta mundial de energia extraídos de Maddison (2003, p. 9).

tivesse feito isto, teria sido considerado como mais do mesmo e redondamente ignorado pela mídia e pela opinião pública. Partindo de uma matriz ideológica diferente, *The Limits to Growth* conseguiu a proeza de defender o fim de concepções que organizam o mundo atual como se isto não implicasse em nenhum rompimento radical com as instituições vigentes. Tal fato é ainda mais curioso quando se observa como o relatório foi financiado. O suporte financeiro veio do Clube de Roma (grupo formado por executivos, oficiais de estado e cientistas) a partir da Fundação Volkswagen. O que teria levado pessoas cuja carreira foi construída com base nas possibilidades abertas pelo crescimento econômico no pós-Guerra a financiarem um relatório cuja principal mensagem é a necessidade de transitar de uma sociedade do crescimento para o que entendem ser uma sociedade do equilíbrio? Numa provocativa crítica, Simmons (1975) interpreta *LtG* e o Clube de Roma como resultado do desenvolvimento da ideologia tecnocrata. Simmons (1975) compara a ideologia em torno de *LtG* e do Clube de Roma com a de movimento ocorrido nos anos de 1930 nos Estados Unidos, e conclui haver similaridades importantes, tais como a ligação entre cientistas e uma elite influente e um certo ceticismo quanto à habilidade do cidadão comum de entender por meio de processos mentais comuns a fonte dos problemas existentes ou as soluções aplicáveis. Simmons (1975) vê a ambos como movimentos tecnocráticos.

Embora os aspectos levantados por Simmons (1975) sejam um ponto de partida relevante, mais pesquisa é necessária para entender a sociologia por trás de *LtG* e de outros trabalhos de conteúdo profundamente político que vêm delineando a agenda ambiental sob a roupagem da suposta neutralidade científica. Sem dúvida alguma, a roupagem científica de *LtG* contribuiu enormemente para a aceitação da obra junto ao público geral. O fato de que uma obra com roupagem científica facilite a difusão de conclusões tão radicais como as apresentadas em *LtG* é por si só altamente significativo, seja porque nos diz algo sobre o poder do discurso ideológico científico em relação a outras formas de ideologia (política, religiosa, etc.), seja porque na realidade a metodologia adotada na obra é do ponto de vista científico questionável tanto em termos epistemológicos quanto puramente empíricos.

Do ponto de vista epistemológico, na obra adota-se a visão de que o caráter vago de determinados conceitos e proposições das ciências sociais é consequência meramente da não utilização da linguagem exata propiciada pela lógica formal e pela matemática. Supõe-se que

explorando a linguagem lógico-matemática a complexidade dos fenômenos sociais poderia ser superada fazendo-se uso dos instrumentos de cálculo hoje disponibilizados pelos computadores. De acordo com a abordagem proposta, o trabalho de processamento da mente humana seria apenas posterior à apreensão sensória das estruturas atuantes na realidade e de natureza meramente lógica. Pelo menos é isto que se depreende da exposição de Forrester (1973, pp. 14-15) quanto aos fundamentos da teoria de sistemas utilizada em *LtG*. Segundo Forrester (1973), embora a mente humana seja particularmente pródiga em sua habilidade para identificar as estruturas subjacentes a uma situação complexa, está mal equipada para desenvolver as implicações lógicas que emergem do reconhecimento destas estruturas. Ainda de acordo com Forrester (1973, p. 15):

“[...] Apenas a mente humana parece até o momento capaz de formular uma estrutura em que pedaços separados de informação possam ser acomodados. Mas uma vez que as partes do sistema tenham sido montadas, a mente é praticamente sem utilidade para antecipar o comportamento dinâmico que o sistema implica. Aqui o computador é o ideal. Traçará as interações de qualquer conjunto especificado de relações sem dúvida ou erro.

O computador é instruído dando a ele um modelo. Um modelo é um conjunto de descrições que diz ao computador como cada parte do sistema age. É agora possível construir modelos de laboratório realistas dos sistemas sociais. Tal modelo é uma simplificação de um sistema social real, mas pode ser muito mais abrangente do que os modelos mentais que de outro modo usaríamos como base para debater política social.”

Dada a maneira como Forrester (1973) ignora o papel dos conceitos empregados pelo observador tanto na percepção dos fatos sensórios quanto na ‘montagem’ destes fatos num todo coerente, depreende-se que o modelo proposto para representar o sistema do mundo pressupõe um modelo de mente no qual o único papel da mente humana é apreender percepções extraídas de um mundo exterior totalmente independente do observador. Após a montagem das percepções, que se supõe ser um processo puramente mecânico e aconceitual, as implicações puramente lógicas das estruturas apreendidas deveriam sempre que possível ser desenvolvidas apenas por computadores e não pela mente humana. Apenas as limitações tecnológicas ainda existentes e em processo de superação justificariam a utilização de modelos mentais não computacionais na análise.

Forrester (1973) reconhece que os modelos utilizados embutem teorias, mas não parece dar-se conta de que especialmente nas ciências sociais (mas não apenas nelas) a perspectiva assumida pelo observador é aspecto central da análise, de modo que nem a apreensão dos

fatos é um fenômeno puramente sensório nem o desenvolvimento das implicações estruturais resultantes é um resultado puramente lógico. Tanto a apreensão dos fatos como o desenvolvimento de suas consequências envolvem teorias postuladas pelo observador. O empiricismo radical adotado na análise de sistemas empregada para representar os sistemas sociais não passou despercebido a críticos de *LtG* (Freeman, 1975, p. 8):

“Como veremos, eles colocam grande ênfase na oposição “modelos de computador” versus “modelos mentais”. Eles argumentam que no entendimento do comportamento de sistemas complexos modelos de computador apresentam grandes vantagens. Esta visão é inatacável se estamos nos referindo ao número de variáveis, interações complexas e à velocidade de cálculo. Mas pode facilmente e perigosamente ser exagerada naquilo que é melhor descrito como fetichismo computacional. O fetichista do computador dota o modelo do computador com uma validade e um poder independente que transcendem completamente os modelos mentais que são sua base essencial. Por causa da supremacia deste fetichismo computacional nunca é demais repetir que a validade de qualquer cálculo de computador depende inteiramente da qualidade dos dados e das premissas (modelos mentais) que o alimentam. Modelos de computador não podem substituir a teoria.”

LtG é construído nos termos metodológicos e epistemológicos da perspectiva teórica que vinha sendo desenvolvida no MIT por Forrester, chamada de dinâmica dos sistemas¹⁴. A dinâmica dos sistemas foi inicialmente desenvolvida para resolver problemas em firmas industriais, mas Forrester e seus associados acreditam que tal metodologia poderia contribuir para o desenvolvimento das ciências sociais ao tornar disponíveis para estas ciências técnicas e conceitos para construir modelos computacionais capazes de antecipar o comportamento dinâmico das estruturas subjacentes à complexa realidade social.

O modelo usado em *LtG* (World3) foi construído a partir de modelo anterior (World2) apresentado por Forrester (1971) em *World Dynamics*. Uma apresentação mais detalhada das relações e suposições adotadas na construção do modelo World3 é apresentada por Meadows et al. (1974) em *Dynamics of Growth in a Finite World*. O modelo empregado representa o sistema do mundo. Nesta representação o mundo é composto de cinco grandes sub-sistemas (população, investimento de capital, recursos naturais, fração do capital dedicada à agricultura e poluição), cuja ação conjunta determina o comportamento dinâmico observado.

¹⁴ As principais obras de Jay W. Forrester são *Industrial Dynamics* (1961), *Urban Dynamics* (1969) e *World Dynamics* (1971) e *Principles of Systems* (1971).

A cada sub-sistema corresponde uma classe de variáveis (variáveis de nível) cujo valor é alterado por outra classe de variáveis (variáveis de fluxo). Cada variável de nível tem seu valor diretamente aumentado ou diminuído unicamente por variáveis de fluxo específicas que lhe correspondem. Por exemplo, o nível de recursos naturais é controlado pela taxa de uso dos recursos naturais. Entretanto, outros eventos ligados a outras variáveis de nível podem afetar indiretamente a variável de nível recursos naturais. Por exemplo, o padrão de vida material é causalmente influenciado pelo investimento de capital, e mudanças no padrão de vida material agem sobre a taxa de uso de recursos naturais. Portanto, indiretamente existe interação entre o nível dos recursos naturais e o investimento do capital. Na realidade, o modelo empregado é basicamente um conjunto de relações causais diretas e indiretas que são processadas computacionalmente.

É importante observar que as relações causais representadas não são unidirecionais, elas envolvem enlaces de retroalimentação. Também neste caso é útil raciocinar por meio de um exemplo. Na Figura 2-2 está representada a estrutura de enlace de retroalimentação do comportamento dinâmico do crescimento populacional:

Figura 2-2: Enlaces de Retroalimentação da Dinâmica do Crescimento Populacional

Se aumenta o número de nascimentos no ano, aumenta a população. Uma população maior com a mesma taxa de fertilidade aumentará ainda mais a população. Logo, o enlace indicado pelo sinal (+) na Figura 2-2 leva sempre a aumentar a população ao longo do tempo. Se

existisse apenas este enlace, a população aumentaria indefinidamente. Entretanto, há também o enlace de retroalimentação negativa, dado pelo número de mortes por ano. O número de pessoas que morrem no ano é igual à taxa média de mortalidade vezes o tamanho da população. Se ocorre uma tendência a aumentar a população com taxa média de mortalidade constante, aumentará o número de mortes por ano. Com mais mortes restarão menos pessoas na população, logo, nascerão menos pessoas e haverá uma tendência contrária à estabelecida pelo enlace (+). Tanto no enlace de retroalimentação positiva quanto naquele de retroalimentação negativa há atrasos, os quais são levados em conta no modelo. O comportamento dinâmico observado do crescimento da população é o resultado da interação entre estes dois enlaces. Enlaces similares existem para as demais variáveis de nível.

Ou seja, utilizando variáveis de nível, variáveis de fluxo e enlaces de retroalimentação, o modelo pretende representar o comportamento dinâmico do sistema do mundo pela descrição dos modos de comportamento de variáveis específicas (população, produção de alimentos, etc.)¹⁵. A análise dos modos de comportamento pode permitir a tomada de decisões mesmo que não se tenham informações suficientes para fazer quantificações mais exatas. O modelo de LtG busca explorar estas possibilidades.

Ao analisar-se criticamente LtG, deve-se ter em mente que o modelo usado não pretende fazer previsões quantitativas exatas, mas fazer previsões quanto à forma do comportamento dinâmico do sistema no longo prazo. As previsões são buscadas apenas até o ponto em que se mostrem suficientes para determinar se o atual padrão de desenvolvimento do sistema é sustentável e sob que condições um eventual padrão insustentável poderia ser tornado sustentável. Pode-se então dizer que se tratam mais de previsões estruturais qualitativas que

¹⁵ Por modos de comportamento deve-se entender (Meadows et al. 1972, pp. 99-100): "Por *modos de comportamento* queremos dizer as tendências das variáveis no sistema (população ou poluição, por exemplo) para mudar à medida que o tempo progride. Uma variável pode aumentar, diminuir, permanecer constante, oscilar, ou combinar vários destes modos característicos". Os itálicos são do texto original.

quantitativas¹⁶. As previsões utilizadas são análogas às utilizadas na seguinte situação (Meadows et al. 1972, p. 101):

“Se você atira uma bola em linha reta para o alto no ar, pode prever com certeza qual será seu comportamento geral. Subirá com velocidade decrescente, então reverterá sua direção e cairá com velocidade crescente até que ela atinja o solo. Você sabe que ela não continuará subindo para sempre, nem começará a orbitar em torno da terra, nem dará voltas três vezes antes de aterrissar. É este tipo de entendimento elementar que estamos buscando com o atual modelo de mundo. Se alguém quisesse prever o quão alto uma bola atirada subiria, seria necessário fazer um cálculo detalhado baseado em informação precisa sobre a bola, a altura, o vento, e a força com que a bola foi inicialmente atirada. Similarmente, se quiséssemos prever o tamanho exato da população da terra em 1993 dentro de uma janela de erro de alguns pontos percentuais, precisaríamos de um modelo muito mais complicado que o descrito aqui. Precisaríamos então de informação sobre o sistema do mundo mais precisa e abrangente do que é atualmente disponível”

Esta analogia proposta por Meadows et al. (1972) é bastante útil para apreender criticamente a abordagem metodológica desenvolvida em *LtG*. Por esta descrição é claro que nossas expectativas quanto aos modos de comportamento das variáveis investigadas estão ligadas a imagens que possuímos dos fenômenos representados pelos modelos que empregamos. Estas imagens por sua vez embutem teorias que conscientemente ou não sustentamos sobre a realidade e diante da realidade. Em particular, nossa imagem envolvendo o lançamento de uma pedra para o alto embute teorias, e segundo estas teorias a pedra não irá, por exemplo, continuar subindo para sempre.

É essencial ter em mente que é a relação das nossas teorias com os fatos imagináveis ou concebíveis que embasa nossas expectativas. Segundo as teorias que construímos com base na imagem da pedra atirada para o alto, não podemos considerar aceitável a proposição de que ao atirmos a pedra ela continuará subindo para sempre. Nossas teorias não admitem esta possibilidade. Mas por que isso, por que uma pedra não poderia fazer precisamente este percurso? Porque, tenhamos consciência disto ou não, consideramos que nossas teorias representam as estruturas potencialmente determinantes dos fatos observáveis. Para que uma

¹⁶ Análises deste tipo são usadas não apenas em ciências empíricas, mas também na matemática. Por exemplo, na teoria qualitativa de equações diferenciais busca-se determinar o comportamento das equações, ao invés dos valores exatos das variáveis a cada momento. Para uma exposição de tal abordagem qualitativa na matemática veja-se, por exemplo, Braun (1993, capítulo 4).

pedra pudesse continuar subindo indefinidamente, ela teria que ser indiferente às forças que agem sobre ela. Se aceitássemos isto, teríamos que conceber uma descrição estrutural completamente diferente dos fenômenos, capaz de fazer jus à subida indefinidamente longa da pedra e ao mesmo tempo prover uma redescrição consistente de todos os demais fenômenos que conhecemos.

É o impasse estrutural gerado pela existência de uma pedra que atirada ao alto continua subindo indefinidamente que nos leva a considerar tal possibilidade impossível. Daí que nossas teorias levem-nos a crer que é impossível este modo de comportamento por parte de uma pedra atirada ao alto. É impossível não simplesmente porque nunca o tenhamos observado, mas porque admitir tal possibilidade implicaria na impossibilidade de descrever consistentemente os fatos observáveis. Cabe observar que há uma enorme diferença entre se afirmar que sob as condições atuais é impossível que uma pedra atirada ao alto continue seu percurso para o alto indefinidamente, e se afirmar que é inconcebível que uma pedra atirada para o alto continue seu percurso indefinidamente. No primeiro caso trata-se de impossibilidade histórica, no último de impossibilidade tomada como ontológica. Na negação ontológica o fato imaginado é tido como estruturalmente inconsistente com a realidade objetiva. Na verdade, só consideramos razoável admitir que uma pedra atirada para o alto possa continuar subindo indefinidamente se o analista nos fornecer instrumentos tais que à descrição deste fenômeno particular poderiam ser acrescentadas descrições materialmente consistentes de todos os demais fenômenos observáveis. Se isto ocorresse, poderíamos reconsiderar nossas teorias de modo que aquilo que antes era tido como impossibilidade ontológica passe a ser visto como uma mera impossibilidade histórica.

A posição epistemológica adotada em *LtG* parece ser a de um empiricista radical, que tem pouco ou nenhum interesse nos aspectos teóricos subjacentes à sua descrição dos fatos. Seja como for, é bastante claro que *LtG* faz uso de teorias quanto à relação entre crescimento econômico e variáveis como população e industrialização para sustentar prognósticos quanto ao desenvolvimento do capitalismo. A que resultados as teorias utilizadas em *LtG* conduzem Meadows et al. (1972) e de que modo estes resultados são obtidos?

Conforme já mencionado, o modelo usado foi construído a partir do protótipo apresentado por Forrester em *World Dynamics*. Tanto em *LtG* quanto em *World Dynamics* “roda-se” o modelo e ajustam-se seus parâmetros de modo que ele corresponda tanto quanto possível à história passada observada das variáveis de nível (população, consumo de recursos não renováveis, etc.) no período de 1900 a 1970. Ao usar o modelo supõe-se que assim como ele foi capaz de descrever os modos de comportamento das variáveis de nível no período de 1900 a 1970 também será capaz de fazê-lo para o período de 1970 até 2100 (último ano investigado pelo modelo). Note-se como esta abordagem metodológica supõe que, ao menos no que diz respeito aos modos de comportamento das variáveis de nível, o modelo reproduz mecanicamente e de modo suficientemente acurado a realidade objetiva do mundo no passado e no futuro. Sendo assim, pode-se tomar os resultados do modelo rodado pelo computador para o período de 1970 até 2100 como previsões do comportamento dinâmico do sistema.

No cenário padrão, o colapso ocorre devido à exaustão dos recursos não renováveis. As variáveis de nível crescem até que ocorra a exaustão de uma fração das reservas dos recursos disponível. À medida que os preços destes recursos aumentam e as reservas esgotam-se, cada vez mais capital é necessário para obter a mesma quantidade de produto. Em determinado momento o investimento não consegue compensar o processo de depreciação econômica decorrente da exaustão das reservas e o sistema entra em colapso. Por algum tempo, embora a produção caia a população continua a aumentar, por causa dos atrasos inerentes e inevitáveis entre as mudanças nas variáveis e os mecanismos de ajuste do sistema social. Por fim, num futuro não tão distante, tanto a população quanto a produção param de crescer (*LtG*, pp. 131-132)¹⁷. Embora o modelo não permita prever com exatidão a data do colapso, a previsão de colapso iminente é tomada como significativa pelo fato de que segundo o modelo o colapso ocorrerá bem antes do ano de 2100.

¹⁷ Meadows et al. (1972, p. 132): “Podemos então dizer com alguma confiança que, sob a premissa de nenhuma grande mudança no sistema atual, o crescimento da população e da indústria certamente irão parar dentro do intervalo do próximo século, no mais tardar”.

As variações em relação ao cenário padrão investigadas em *LtG* foram as seguintes: (i) modelo com reservas dobradas de estoque de recursos naturais; (ii) modelo com acesso ilimitado a recursos naturais; (iii) modelo com acesso ilimitado a recursos naturais, controles de poluição e aumento da produtividade agrícola; (iv) modelo com acesso ilimitado a recursos naturais, controles de poluição e controle de natalidade “perfeita” (controle de natalidade perfeito é aquele que bloqueia completamente a possibilidade de haver filhos não planejados); (v) modelo com população estabilizada; (vi) modelo com população e capital estabilizados; (vii) modelo com políticas estabilizadoras introduzidas no ano 2000. Apenas o cenário (vii), no qual políticas são introduzidas para estabilizar o comportamento dinâmico do sistema, gera como resultado um regime de equilíbrio global. Limitar o controle populacional ou o capital industrial por si só não levam ao regime de equilíbrio.

Segundo o modelo de *LtG*, as políticas que, se introduzidas até o ano 2000, produzem como resultado o equilíbrio global envolvem uma série de medidas, tais como estabilizar a população a partir de 1975; a partir de 1990 impedir que o capital industrial aumente; aumentar em quatro vezes a eficiência na utilização de recursos naturais não renováveis; controles da poluição; deslocar as preferências da sociedade do consumo crescente para serviços menos intensivos em recursos naturais tais como educação e saúde; etc. (Meadows et al. 1972, pp. 169-170).

No delineamento das conclusões de *LtG* é central a ênfase dada ao impacto do crescimento exponencial das variáveis de nível (população, produção de alimentos, capital industrial, poluição e consumo de recursos naturais não-renováveis). Os analistas adotam como verdade óbvia e evidente que o crescimento exponencial das variáveis de nível tem como causa primária o crescimento exponencial do sistema econômico. Supõe-se também que a ligação entre o crescimento exponencial das variáveis de nível e o crescimento exponencial do sistema econômico não é meramente conjuntural, mas estrutural e inevitável. Sendo assim, a única forma de interromper o crescimento exponencial das variáveis de nível e o colapso que se segue a elas é interrompendo o crescimento econômico, causa primária e única.

Na verdade, não é preciso nenhum modelo empírico sofisticado para concluir que um sistema econômico cuja operação apóie-se necessariamente em quantidades crescentes de variáveis

tais como população e recursos naturais exauríveis num mundo finito entrará em algum momento em colapso. Se o sistema é limitado e as variáveis de nível exibem modos de comportamento sempre crescentes, necessariamente em algum momento faltarão recursos seja no lado da oferta, seja no lado dos reservatórios necessários para absorver os recursos após a utilização deles pelo sistema de produção e consumo. A única contribuição de um modelamento empírico neste caso seria a de fornecer elementos para que se pudesse estimar por quanto tempo o padrão insustentável poderia ser mantido. Em *LtG*, é previsto que o colapso ocorre antes do ano 2100.

Entretanto, para admitir o caráter inexorável do colapso temos que admitir também que seja impossível desvincular o crescimento econômico do crescimento exponencial das variáveis de nível apresentadas. Em outras palavras, temos que possuir uma teoria da produção em que as variáveis de nível estejam estruturalmente e inescapavelmente ligadas ao crescimento econômico. Os autores de *LtG* não parecem se dar conta em nenhum momento de que as extensões que fazem implicam na adoção de uma teoria de produção específica, a qual estão associadas suposições também específicas quanto à relação entre geração de valor econômico e fatores utilizados nos processos de produção e consumo. A resposta neoclássica a *LtG* explorou bastante as inconsistências decorrentes do empiricismo radical adotado em *LtG*.

Em artigo no qual responde aos resultados apresentados em *World Dynamics*, mas cujas respostas são igualmente aplicáveis *LtG*, Nordhaus (1973a) põe em dúvida a validade tanto empírica quanto teórica do trabalho de Forrester e seus associados. Vale a pena apontar algumas das limitações levantadas por Nordhaus (1973a):

- (i) a teoria populacional adotada assume que a população cresce bastante rapidamente à medida que a riqueza aumenta e que a população diminui quando a pobreza aumenta, enquanto os estudos demográficos indicam que o crescimento populacional diminui à medida que a afluência aumenta (Nordhaus, 1973, p. 1158; p. 1162);
- (ii) *LtG* assume que há um estoque fixo de recursos não-reprodutíveis exauríveis (Nordhaus 1973a, pp. 1166-1167). A razão pela qual esta premissa do estoque fixo é adotada não é devidamente explicada em Nordhaus (1973a). Ela é consequência

do fato de que *LtG* não distingue entre reservas e recursos. A distinção entre reservas e recursos é importante porque no cálculo das reservas somente é levado em conta a disponibilidade física de recursos cuja exploração seja economicamente viável. Sendo assim, à medida que os preços variam no mercado e novas tecnologias são introduzidas, recursos que não eram contabilizados como reservas podem passar a sê-lo (pode também ocorrer que recursos que eram contabilizados como reservas deixem de sê-lo, dependendo da evolução dos custos de extração). Contrariamente ao que sugere *LtG*, a quantidade mensurada pelo conceito de reservas é uma variável dinâmica econômico-física, não uma quantidade física estática¹⁸;

- (iii) *LtG* assume que não há possibilidade de substituíbilidade entre os recursos naturais. Do ponto de vista da teoria de produção empregada pelos economistas esta é provavelmente a premissa mais estranha adotada pelo grupo do MIT. Um pilar central do pensamento econômico neoclássico é o de que sempre existem formas alternativas pelas quais a produção pode realizar-se. Na verdade, é este pilar que leva o economista a sempre pensar em termos de eficiência: existiria sempre uma possibilidade alternativa que permitiria obter o mesmo produto com menos esforço ou mais produto a partir da mesma base de recursos¹⁹.

¹⁸ Sobre a complexidade da relação entre reservas e recursos ver Blunden (1985), particularmente o capítulo 2.

¹⁹ Nordhaus (1973, p. 1167): “Uma visão econômica mais convencional seria a de que processos mais intensivos em recursos e produtos tornar-se-iam mais caros, e que a substituição por processos menos intensivos em recursos e produtos levaria à conservação dos recursos escassos. Embora geralmente não se possa garantir que possibilidades suficientes de substituição existem, não há razão teórica geral para as premissas altamente pessimistas sobre substituição que são feitas em *World Dynamics* e Forrester não forneceu evidência adequada para justificar sua premissa”. Um comentário que permite apreender de maneira particularmente pungente a abordagem sistematicamente adotada pela escola neoclássica, na qual todo problema econômico é de alguma maneira transformado num problema de maximização ou minimização, é feito por Koopmans (1977, p. 262): “É devido a este elemento de escolha entre diferentes alternativas para atingir o mesmo resultado que um problema genuíno de otimização surge”. De outro modo: o neoclássico assume que há sempre uma equivalência que pode de algum modo ser explorada no processo pelo qual se busca atingir o resultado almejado. Esta é talvez a

Nordhaus (1973a) toma as inadequações de Forrester e seus associados como meros erros de especificação da função de produção utilizada. Embora Nordhaus (1973a) tenha razão quando afirma que Forrester não tem uma especificação clara da função de produção utilizada, tampouco é claro que a especificação neoclássica seja adequada para abordar o problema levantado por *LtG*. Daí que a resposta neoclássica tenha sido bastante bem sucedida no questionamento da validade da resposta dada por *LtG* ao problema do crescimento perpétuo num mundo finito, mas que não tenha se mostrado tão bem sucedida na tentativa de convencer que podemos ser otimistas quanto ao futuro do crescimento econômico. Os inúmeros trabalhos de Nordhaus como autor único ou autor principal (1972, 1973b, 1974, 1991, 1994, com Boyer 2000) abordando o problema formulado em *LtG* por si só indicam que o problema colocado por *LtG* é bastante real, ainda que as respostas aventadas em *LtG* sejam extremamente discutíveis. Nordhaus é um autor importante neste debate por ser provavelmente o economista mais preocupado em embasar empiricamente a posição neoclássica.

Seriam as relações supostas em *LtG* todas elas meros erros de especificação? Na verdade, parte do que os neoclássicos tomam como erros de especificação não podem ser tomados como meros erros. Este é particularmente o caso das premissas relativas à substituíbilidade dos recursos. Forrester e seus associados (é verdade que de maneira bastante unilateral e presunçosa) partem de *outra* teoria de produção. Assumem que a estruturação da ordem econômica se dá de maneira radicalmente diferente daquela pressuposta não apenas pela teoria neoclássica, mas pela civilização atual. Entretanto, não há da parte nem de Forrester nem dos autores de *LtG* a consciência de que estão postulando à realidade uma teoria de produção específica, cujos pressupostos divergem não apenas daquela que é adotada por outros acadêmicos mas daquela que tem sido efetivamente adotada no cotidiano da produção da civilização atual. O empiricismo radical assumido pelos autores os leva a discursar como

diferença mais profunda entre neoclássicos e cientistas naturais: a economia neoclássica transforma a razoabilidade de explorar convenientemente soluções equivalentes num princípio ontológico sobre a natureza constitutiva da realidade objetiva.

se houvessem simplesmente recolhido relações inerentes aos fatos e usado um procedimento puramente lógico para apresentar suas conclusões. Por esta razão consideram que não existem pressupostos a serem investigados, nem trabalho conceitual a ser feito na validação de suas conclusões.

Sem que a teoria de produção adotada em *LtG* seja explicitada de modo que seus pressupostos sejam validados, não é possível aceitar suas conclusões. Isto é ainda mais verdadeiro devido ao caráter radical delas. Ao apresentar seus modelos ignorando a teoria de produção vigente na civilização atual, Forrester e seus associados corroboram a visão delineada por Simmons (1975) de que o trabalho é expressão da ideologia tecnocrática. Uma característica do pensamento tecnocrático é a tendência a tomar a posição assumida pelo analista-observador como conclusões meramente lógicas, algo inerente à realidade objetiva das coisas.

Entretanto, é preciso que tenhamos claro que rejeitar a validade das conclusões de *LtG* não implica em assumir que o problema levantado por *LtG* não exista e nem mesmo que suas conclusões estejam erradas. Pode-se racionalmente acreditar em algo que venha a se mostrar falso, assim como se pode irracionalmente acreditar em algo que venha se mostrar verdadeiro²⁰. Na verdade, tais como têm sido articuladas, as teorias de produção hoje existentes não são suficientes nem para tomar como racionalmente válidas as conclusões apresentadas em *LtG* nem para rejeitá-las como absurdos totalmente irracionais. Se por um lado o fato de que vivemos num mundo de base material biofísica finita continua a levantar

²⁰ Neste ponto é útil a maneira como Keynes distingue crença racional de crença verdadeira (Keynes, 1943, p. 10): “Há, antes de tudo, a distinção entre aquela parte da crença que é racional e aquela que não é. Se um homem acredita em algo por uma razão que é absurda ou para a qual não há nenhuma razão, e o que ele acredita vem a se mostrar verdadeiro por alguma razão desconhecida para ele, ele não pode dizer que acredita *racionalmente*, embora ele acredite nisto e isto seja de fato verdadeiro. Por outro lado, um homem pode acreditar racionalmente numa proposição que seja *provável*, quando ela é na realidade falsa. A distinção entre crença racional e mera crença, portanto, não é a mesma que a distinção entre crenças verdadeiras e crenças falsas. O mais alto grau de crença racional, que é chamada crença racional *certa*, corresponde a *conhecimento*. Podemos dizer que conhecemos uma coisa quando temos uma crença racional certa nela, e *vice-versa*”. Todos os grifos são do texto original.

sérias dúvidas quanto à possibilidade de conciliar crescimento econômico perpétuo com sustentabilidade ambiental, por outro lado cabe lembrar que o processo de valoração dos bens econômicos adotados pela sociedade não estabelece nenhuma relação entre bases materiais biofísicas e produtividade do sistema econômico. Não poderia o crescimento econômico ser feito a partir de uma economia desmaterializada? Sendo o processo de valoração indiferente à natureza material dos fatores de produção utilizados, é teoricamente possível argumentar que crescimento econômico perpétuo é conciliável com a sustentabilidade ambiental de um planeta finito. Esta tem sido a posição neoclássica. *LtG* não fornece elementos para que sejamos conclusivos a respeito destas questões, que opõem neoclássicos a cientistas naturais e economistas ecológicos no debate sobre sustentabilidade.

Se *LtG* é bastante questionável em termos científicos, é inegável que foi extremamente bem sucedido em termos políticos, ao contribuir para chamar a atenção da opinião pública para problemas há muito tempo já levantados por precursores da economia ecológica. Ou seja, cumpriu uma função política ao romper barreiras institucionais presentes no interior da academia e obrigando os neoclássicos a responderem extensivamente a questionamentos que eles muito provavelmente teriam ignorado ou tomado como meros absurdos se tivessem sido feitos apenas no interior da academia. *LtG* mostra que a dinâmica da comunicação científica e seu poder de influência pode assumir formas normalmente ignoradas pela maioria dos pesquisadores no seu trabalho cotidiano.

2.5 O Surgimento da Economia Ecológica

Cada vez mais, o problema apresentado em *LtG* tem ganhado importância política. Tem sido difícil ignorar o fato de que o atual sistema de produção tem gerado problemas ambientais não apenas cada vez maiores, mas também bastante diversos: aquecimento global, destruição da camada de ozônio, destruição de florestas tropicais, eliminação de recifes de corais, extinção de espécies, diminuição da biodiversidade, etc. Porém, a mera observação destes fenômenos por si só não demonstra que tem havido piora nas condições ambientais. Alguém que seja extremamente otimista quanto às possibilidades do atual sistema de produção pode argumentar que os problemas não estão efetivamente aumentando, e que a lista de problemas e a escala deles é simplesmente reflexo de nossa maior preocupação com o meio ambiente.

Nesta perspectiva, tal mudança é puramente subjetiva, sendo ela mesma decorrente da maior afluência propiciada pelo crescimento econômico²¹.

Entretanto, à medida que o número de cientistas naturais apontando a insustentabilidade dos atuais mecanismos pelos quais o sistema econômico se reproduz aumenta, aumentam também as dúvidas nos centros políticos de decisão quanto à capacidade dos mecanismos automáticos de resposta do mercado de lidarem com os problemas ambientais. Significativamente, fóruns supranacionais vêm atribuindo importância cada vez maior à agenda ambiental. Em 1987 é publicado o Relatório Brundtland, da *World Commission on Energy and Development*, pelo qual a noção de desenvolvimento sustentável passa a fazer parte do vocabulário contemporâneo; também em 1987 é adotado o Protocolo de Montreal, pelo qual os países se comprometem em eliminar a produção de substâncias que deterioram a camada de ozônio; em 1992 ocorre no Rio de Janeiro Conferência das Nações Unidas sobre mudanças climáticas, cujas negociações resultam no Protocolo de Kyoto em 1997 (posteriormente não ratificado pelo maior emissor de gases de efeito-estufa, os Estados Unidos); mais recentemente em 2009 ocorreu nova conferência mundial sobre clima em Copenhague. Estes eventos são apenas uma pequena amostra dentre inúmeros outros fatos que, se não demonstram a inviabilidade da atual forma de organizar a produção, são pelo menos indicações fortes tanto da insuficiência dos mecanismos adaptativos do mercado, quanto do caráter global dos problemas ambientais, questões enfatizadas em *LtG*.

²¹ Beckerman (1993, p. 79): “As melhorias que têm ocorrido no ambiente na Grã-Bretanha e – com algum atraso – em muitos países industrializados foram, obviamente, parcialmente crédito dos movimentos ambientalistas. Mas elas também refletiram mudanças nas condições sociais e econômicas que subiram a preocupação ambiental na hierarquia das prioridades da população nos países avançados e aumentaram os meios disponíveis para lidar com o meio ambiente. Sem o crescimento econômico, os ambientes na maior parte do mundo ocidental teriam permanecido tão ruins quanto eram no século XIX - e são – ainda encontrados na maioria das cidades pobres do mundo”. Em entrevista à Ravaioli (1995), Milton Friedman apresenta o mesmo otimismo quanto à relação entre desenvolvimento do capitalismo e meio ambiente. Este ponto de vista obviamente ignora os efeitos globais das mudanças ambientais desencadeadas pela Revolução Industrial.

Os esforços para controlar as emissões dos causadores do efeito-estufa são provavelmente o exemplo mais forte da dificuldade de conciliar o imperativo do crescimento econômico com as restrições da agenda ambiental. Tais esforços iniciaram-se no começo da década de 90. Em 1992 é estabelecido o *United Nations Framework Convention for Climate Change* (UNFCC), que então consistia de metas voluntárias de emissões para os países. A falha dos países em reduzir as emissões sob este regime levou a negociações adicionais, que em 1997 resultaram no Protocolo de Kyoto. Foi a primeira vez que metas “legalmente obrigatórias” para reduzir as emissões foram estabelecidas. Pelo acordo, todos os assim chamados países industrializados deveriam, no período de 2008-2012, reduzir suas emissões a níveis 5,2% inferiores aos observados em 1990. A União Européia comprometia-se a reduzir suas emissões em 8%, os Estados Unidos em 7% e o Japão em 6%. Os países em desenvolvimento, mesmo aqueles com altos níveis de emissões como a China, não estavam legalmente obrigados a reduzir suas emissões (Foster, 2002).

Negociações subsequentes ocorridas no período de 1997 a 2001 focaram principalmente nos seguintes pontos: (i) permissões de emissões negociáveis, que permitiriam aos países reduzir suas emissões comprando permissões de emissões dos países que não precisavam delas; (ii) subsídios para “reservatórios de carbono”, que forneceriam créditos de emissões de carbono para florestas e terras agrícolas. A União Européia se opôs a ambas as propostas, por considerá-las como formas veladas de driblar os compromissos legais assumidos em Kyoto. Em novembro de 2001 em Haia chegou-se a um impasse, pois ambas as partes em conflito recusava-se a ceder. Em março de 2001, quando ainda nenhum grande país industrializado havia ratificado o acordo, a administração Bush declarou unilateralmente que o Protocolo de Kyoto era “fatalmente falho” e que estava abandonando o acordo firmado em 1997 (Foster, 2002).

Apesar disso, as negociações prosseguiram em julho de 2001 em Bonn. Para que o Protocolo de Kyoto tivesse força, era necessário que os países que contabilizavam 55% das emissões de gases de efeito-estufa participassem dele. Com a saída dos Estados Unidos, era agora essencial que Japão, Canadá e Austrália participassem do acordo. Diante desta situação, a União Européia foi obrigada a ceder. A proposta aprovada aceitava tanto a implantação das permissões de emissões quanto dos reservatórios de carbono. Com o acordo aprovado, plantar

árvores e comprar direitos de emissões seriam institucionalmente tomados como medidas efetivas redutoras das emissões. O próprio fato de que os Estados Unidos não participaram do acordo confirma o caráter débil e frágil da ratificação conseguida. Mais recentemente em 2009, uma nova rodada de negociações em Copenhague continuou a mostrar as dificuldades envolvidas na descarbonização do sistema econômico. Tendo todo este processo sido iniciado em 1992, já são quase 20 anos de negociações cujos resultados até o momento são bastante tímidos, para dizer o mínimo.

A sequência de fatos em que países comprometem-se inicialmente com metas não obrigatórias, posteriormente com metas obrigatórias e subsequentemente ‘rasgam’ estas metas obrigatórias, seja abertamente (como fizeram os Estados Unidos), seja por meio de subterfúgios (como fizeram por exemplo Japão e Austrália) pode indicar simplesmente a influência dos setores empresariais que lucram com a atual estrutura tecnológica de produção e consumo sobre os governos. Entretanto, pode também indicar a ignorância dos especialistas que assessoram os governos quanto ao grau e à dinâmica da dependência do sistema econômico em relação aos mecanismos sociais de apropriação de condições materiais biofísicas. Tal ignorância pode ter levado governos a comprometerem-se com metas que posteriormente mostraram-se bem mais difíceis de cumprir do que aquilo que fora inicialmente imaginado. Trata-se apenas de uma hipótese, mas que não pode ser descartada, dada a maneira como o sistema econômico é representado na doutrina econômica ortodoxa, aquela na qual a quase totalidade dos especialistas em Economia é formada.

A dificuldade para se chegar a um acordo para reduzir as emissões de gases de efeito-estufa e o fato de que a oposição vem sendo particularmente intensa por parte de países altamente capitalizados e tecnologicamente avançados (capazes, portanto, de ‘substituir’ o chamado capital natural por capital fabricado ou capital humano) não é facilmente conciliável com a visão ortodoxa de que a ordem material econômica é na prática independente da ordem material biofísica. A administração Clinton, que assinou o Protocolo de Kyoto em 1997, foi incapaz de impedir que as emissões de dióxido de carbono crescessem incessantemente; observaram-se também emissões crescentes no Japão ao longo da década de 1990, apesar da estagnação de sua economia; mesmo na União Européia, a maioria dos estados membros não pararam de aumentar as emissões de gases de efeito-estufa (Foster, 2002). Estamos falando de

países altamente capitalizados, com bases tecnológicas bastante sofisticadas e que vêm se transformando incessantemente há mais de 200 anos. Além disso, muitos deles apresentam taxas de crescimento demográfico baixas e alguns deles até mesmo taxas negativas. Nestas circunstâncias, a enorme dificuldade para reduzir as emissões é, no mínimo, ao menos um indício da dependência estrutural do sistema econômico em relação ao regime energético carbonífero inaugurado pela Revolução Industrial.

É neste contexto de aumento da importância política da agenda ambiental que a economia ecológica finalmente se institucionaliza, depois de ter tantos precursores ignorados por tanto tempo²². O primeiro livro com o título ‘economia ecológica’ foi publicado em 1987; o periódico *Ecological Economics*, principal veículo de comunicação das pesquisas em economia ecológica, surge em 1989; a *International Society for Ecological Economics* (ISEE) foi formada em 1988 e teve o primeiro encontro organizado em 1990 (Costanza, 2003). Portanto, a institucionalização da economia ecológica como disciplina científica ocorre quase que simultaneamente à consolidação da agenda ambiental em instâncias supranacionais tais como Nações Unidas e Banco Mundial. Vale observar que se a institucionalização dá aos praticantes da disciplina acesso a uma quantidade muito maior de recursos, enseja também certa ortodoxia no campo. Na descrição que faz do desenvolvimento da economia ecológica, Røpke (2005) observa a crescente influência da abordagem neoclássica, até pelo fato de que ano a ano chega ao mercado um número muito maior de economistas formados na tradição neoclássica do que economistas formados na tradição da economia ecológica.

Mas qual é exatamente a diferença entre a economia ecológica e a economia neoclássica? Para apreender a diferença entre economia ecológica e economia neoclássica talvez seja útil basear-se na seguinte descrição tipológica proposta por Aristóteles (Viegas, 2007, p. 47):

²² Os primeiros trabalhos precursores da abordagem econômico-ecológica apresentados por Martinez-Alier (1987) situam-se em meados do século XIX; a International Society for Ecological Economics (ISEE) foi criada no final da década de 1980. Portanto, o processo entre elaboração teórica e institucionalização durou mais de cem anos.

“Historicamente, coube a Aristóteles a primeira classificação sistemática das causas. Para ele, em todos os seres podem-se distinguir quatro causas: ou seja, duas internas, vale dizer, a causa material e a causa formal; e duas externas, ou seja, a causa eficiente e a causa final. Aristóteles cita como exemplo o caso de uma estátua. Para que esta exista, é preciso antes de tudo de um elemento indeterminado, chamado matéria-prima, que constitui a causa material da estátua, digamos, um pedaço de mármore; esse mármore pode receber uma forma que lhe confere uma determinação e se chama causa formal. São as duas causas internas. Mas para que o mármore possa receber a forma de estátua é necessário que um escultor o faça: é a causa eficiente; o escultor, porém, age em função de um objetivo em sua mente, qual seja, fazer tal ou qual estátua: é a causa final. Causa final e causa eficiente são causas externas.”

A pertinente tipologia de Aristóteles não é sem problemas: as causas exteriores não podem ser objeto de constatação empírica. Qual é a causa eficiente do *Big-Bang*? Qual é a causa final da evolução? (Viegas, 2007, p. 48). Tais perguntas nos tiram do âmbito daquilo que a ciência pode responder e nos atiram no âmbito da especulação filosófica ou religiosa. Apesar disso, a tipologia é suficiente para distinguir de modo preciso e compreensível entre as visões delineadas por economia ecológica e economia neoclássica.

A reprodução de qualquer que seja o sistema econômico envolve uma série de artefatos materiais e simbólicos (por exemplo, dinheiro), todos eles organicamente vinculados às instituições historicamente validadas pelas decisões cotidianas das pessoas. Quanto mais complexo o sistema econômico, maior a variedade de recursos nos quais sua reprodução pode basear-se. Economistas ecológicos e neoclássicos divergem profundamente quanto a qual seria forma adequada de representar os recursos dentro das operações dos processos produtivos.

Para os economistas ecológicos, por mais dinâmicos e desenvolvidos que sejam os sistemas econômicos seus artefatos e instituições nunca poderão funcionar como causas materiais dos processos econômicos; o ambiente material biofísico é visto como única causa material possível do processo econômico. Já do ponto de vista dos economistas neoclássicos não há razão para supor que apenas o ambiente material biofísico pode funcionar como causa material do processo econômico, artefatos e instituições não apenas podem como têm efetivamente assumido o papel de causa material no mesmo sentido em que o ambiente material biofísico.

Ao assumirem que apenas o ambiente material biofísico é causa material, os economistas ecológicos são levados a negar que os artefatos fabricados utilizados no âmbito da produção

capitalista (capital fabricado) possam efetivamente substituir estoques de recursos naturais dotados de propriedades materiais específicas (comumente chamados de capital natural). Enquanto os economistas ecológicos vêem capital natural e capital fabricado como complementos indissociáveis (da mesma maneira que mármore e forma são causas internas imprescindíveis na estátua), os economistas neoclássicos entendem que, ao menos no que diz respeito aos fatos econômicos, capital natural e capital fabricado são ambos causas materiais equivalentes postas em movimento pelas instituições de mercado (aqui, tomadas como causas formais).

Se os artefatos elaborados pela engenhosidade humana são causa material da reprodução do sistema econômico no mesmo sentido em que estoques de combustíveis de alta qualidade o são, pode-se de fato ser otimista quanto à possibilidade de conciliar crescimento econômico perpétuo com base limitada de recursos exauríveis. Neste caso, não há nada que impeça transferir as funções econômicas hoje desempenhadas pela causa material combustível exaurível por alguma outra causa material elaborada ou descoberta pela engenhosidade humana²³. Por outro lado, se tudo que nossa engenhosidade pode fazer é acessar um conjunto (ainda que amplo) limitado de causas materiais específicas, então é racional ser pessimista quanto à possibilidade de conciliar crescimento econômico perpétuo com sustentabilidade ambiental.

São estas duas visões do processo econômico que estão em conflito no dissenso entre economia ecológica e economia neoclássica. Visões tão distintas levam a posições radicalmente diferentes no que concerne às ações propostas para garantir a sustentabilidade ambiental. Desde Pearce et al. (1989) têm sido identificadas como constituindo dois

²³ Barnett e Morse (1963, p. 11): “A natureza impõe formas particulares de escassez, não uma escassez geral inescapável. O homem é portanto capaz, e livre, para escolher entre um número indefinidamente grande de alternativas. Não há razão para acreditar que estas alternativas irão eventualmente reduzir-se a uma que implicará em custos crescentes – em que deva necessariamente mostrar-se impossível escapar de retornos quantitativos decrescentes. A ciência, ao fazer a base de recursos mais homogênea, apaga as restrições que antes se pensava residir na falta de homogeneidade”.

paradigmas em disputa. Os economistas neoclássicos defendem a chamada sustentabilidade fraca, em que o capital natural é visto como essencialmente substituível por capital fabricado, enquanto economistas ecológicos defendem a chamada sustentabilidade forte, em que o capital natural é visto como não-substituível.

Podem ser tomados como trabalhos definidores da sustentabilidade fraca: Barnett e Morse (1963), Dasgupta e Heal (1974), Hartwick (1977, 1978, 1990), Solow (1974a, 1974b, 1974c, 1986, 1993a, 1993b) e Stiglitz (1974a, 1974b). Dentre estes trabalhos fundadores da sustentabilidade fraca, Barnett e Morse (1963) é o que apresenta uma perspectiva mais fortemente empírica. Os demais trabalhos usam argumentos ou modelos teóricos para demonstrar como a equivalência entre capital natural e capital fabricado pode ser articulada a uma trajetória de investimentos ótima que respeite as restrições impostas pela existência de uma base de recursos exauríveis e limitada. Outros trabalhos de perspectiva empírica na abordagem da sustentabilidade fraca são as várias publicações de Nordhaus (1973a, 1973b, 1974, 1991, com Boyer 2000) abordando problemas da agenda ambiental.

Por sua visão quanto ao papel dos recursos naturais no processo econômico, a sustentabilidade forte adota condições de restrição mais exigentes que as propostas pela sustentabilidade fraca. Não se considera que quantidades suficientemente elevadas de capital fabricado possam substituir as funções econômicas do capital natural. Outra diferença é que por ser uma proposta de racionalização da produção ainda em formação, análises na perspectiva da sustentabilidade forte são bem menos homogêneas que as apresentadas pela sustentabilidade fraca. Embora a variabilidade metodológica seja bem maior, é justo dizer que Herman Daly (1977, 1996), o trabalho divisor de águas de Georgescu-Roegen (1971), além de trabalhos como Norgaard (1994) e Mathews et al. (2000), são uma amostra adequada tanto da visão propugnada pela economia ecológica quanto do pluralismo metodológico que tem caracterizado a economia ecológica. O fio condutor da sustentabilidade forte é a visão de que uma descrição do sistema econômico que não faça referência às qualidades concretas utilizadas nos processos produtivos conduz a concepções nas quais são atribuídos falsamente poderes materiais causais às quantidades monetárias, com graves consequências tanto para a viabilidade sócio-econômica dos sistemas produtivos quanto para a própria ordem moral que

emerge destes sistemas. Este último aspecto é particularmente enfatizado por Herman Daly (veja-se, dentre outros, Daly e Cobb 1989).

Colocada nos termos diretos acima, a oposição entre sustentabilidade forte e fraca parecerá um tanto abstrata ou mesmo dogmática. A melhor maneira de apreender o significado deste dissenso é apresentando situações concretas nas quais cada um dos paradigmas é chamado a apresentar suas ‘soluções’. No capítulo seguinte, algumas respostas dadas por cada um dos paradigmas ao problema da sustentabilidade são apresentadas, com o intuito de transmitir a visão que orienta cada um deles. As respostas consistem de formulações teóricas ou propostas de redefinição conceitual.

3 DUAS VISÕES SOBRE A SUSTENTABILIDADE

3.1 *O Princípio da Equivalência Absoluta*

Na disputa entre sustentabilidade forte e fraca, os dois divergem radicalmente no julgamento quanto ao que é possível existir. Os aspectos políticos envolvidos não devem nos cegar para o fato de que há aqui uma divergência quanto à própria natureza constitutiva da realidade objetiva. Não notar este aspecto fundamental da discussão leva a uma representação inadequada, e injusta, de ambos os lados.

A posição neoclássica apóia-se no que chamaremos de princípio da equivalência absoluta. Segundo tal princípio, o valor não depende da natureza material dos fatores utilizados, mas apenas da utilidade das mercadorias, segundo avaliadas subjetivamente por compradores e vendedores. As condições objetivas específicas com que se produz interessam apenas como condições de restrições novas a serem levadas em conta, e não como fatores endógenos ao processo econômico.

A posição neoclássica pode soar um tanto abstrata, mas ela é meramente uma racionalização radical e sistemática daquilo que de fato acontece no âmbito da produção capitalista. Para o empresário, a natureza material do processo produtivo interessa apenas na medida em que contribui para aumentar o seu capital. Um empresário versátil saberá fazer dinheiro tanto alimentando necessidades físicas ao vender alimentos quanto alimentando devaneios ao vender revistas de fofocas. Na verdade, se ocupar-se demais com processos materiais o empresário perderá de vista as possibilidades de lucro advindas da submissão destes processos materiais à dimensão monetária. Um banqueiro não extrai seu lucro do conhecimento da economia real, mas de saber explorar o espaço real de autonomia da esfera monetária em relação à economia real. Seu conhecimento da economia real importa apenas na medida em que permite fazer isto. Alguns podem julgar que este ponto de vista aplica-se apenas a empresários calculistas. Mas tal caricatura não faz justiça aos fatos. A questão aqui nada tem a ver com julgamentos a respeito do comportamento de empresários ou de alguma classe social em particular, mas com as condições objetivas para a validação cotidiana do princípio da equivalência absoluta.

Além disso, o princípio da equivalência absoluta não habita apenas os pensamentos de empresários competentes. O chamado desenvolvimento sustentável implica no uso tácito deste princípio. Não há uma definição clara de ‘desenvolvimento sustentável’, mas é possível identificar uma característica marcante neste discurso. Há o reconhecimento dos problemas ambientais, mas em nenhum momento a hipótese de que crescimento econômico e sustentabilidade ambiental sejam eventualmente inconciliáveis é sequer levada em conta. Isto é altamente significativo. Envolve a suposição tácita de que se não for possível aumentar o valor econômico, ano após ano, por meio do aumento na escala de utilização dos recursos naturais, será possível fazê-lo de alguma outra forma. Esta suposição é a mesma do empresário competente. Na prática, assume-se que as contribuições econômicas dos recursos são totalmente expressas por seu valor monetário. Considera-se que eventuais restrições ao uso econômico dos recursos naturais poderão ser superadas se suas contribuições econômicas forem transferidas para outros recursos (e assume-se que esta transferência é não apenas desejável, mas também possível). Em outras palavras, do ponto de vista econômico, é indiferente se fazemos uso de recursos naturais, trabalho ou conhecimento para gerar valor. Daí surgem uma série de proposições normativas cujo objetivo é sempre o mesmo, preservar o dogma do crescimento econômico incorporando restrições ecológicas até então ignoradas. É importante notar que tudo isto é feito sem que a hipótese de que crescimento econômico no longo prazo e sustentabilidade ambiental são possíveis seja em nenhum momento submetida a escrutínio. Trata-se de viabilizar o ‘desenvolvimento sustentável’, não de investigar se ele é possível.

Se é possível gerar crescimento econômico a partir de qualquer conjunto de fatores de produção, é natural supor que restrições a qualquer classe de fatores possam ser contornadas pelo uso de outra classe de fatores. Assumir como válida esta possibilidade é o desenvolvimento lógico daquilo que já chamamos anteriormente de princípio da equivalência absoluta. É importante compreender precisamente o significado deste princípio. Suas consequências foram expostas de modo mais claro e direto em Baumol (1986, p. 167):

“A sabedoria recebida da literatura ambiental dá destaque ao fato de que a Terra é um planeta cujo conteúdo é finito e cujos recursos, se usados continuamente, irão necessariamente se exaurir. Tomada em seu sentido óbvio esta observação é tão inegável quanto trivial. Entretanto, como será mostrado nesta nota, há um sentido muito mais significativo para o bem-estar social em que isto não precisa ser verdade. Pelo contrário, medido em termos de sua contribuição prospectiva para o

bem-estar humano a quantidade disponível destes recursos exauríveis e irreprodutíveis pode aumentar incessantemente, ano após ano.

Em vez de se aproximar da exaustão com o uso continuado, seus inventários efetivos podem na realidade estar crescendo e eles podem nunca em nenhum momento estarem próximos do desaparecimento. Em resumo, o produto per capita de nossa sociedade, em vez de constituir um caso de licenciosidade em que a sociedade depreda seu capital, pode na realidade envolver o que acrescenta à poupança líquida de recursos irreprodutíveis, de modo que seus estoques efetivos são constantemente expandidos pela mesma família de desenvolvimentos que governam o crescimento em renda per capita real desde a Revolução Industrial. Além disso, fornecerei evidência de que isto não é mais uma mera possibilidade abstrata mas é, ao contrário, algo que realmente pode estar acontecendo agora.”

Baumol (1986) argumenta que admitir a existência de recursos fisicamente exauríveis não implica na impossibilidade de uma trajetória indefinidamente longa de crescimento. Ou seja, a inexistência de movimento perpétuo no plano físico não inviabiliza o crescimento perpétuo do sistema econômico, mesmo que este sistema econômico esteja dentro de um planeta finito e de conteúdos limitados. Mais que isso, o crescimento econômico perpétuo não é uma mera possibilidade imaginária logicamente consistente, mas algo no qual já estamos provavelmente mergulhados.

Para aqueles propensos a ver o sistema econômico numa perspectiva termodinâmica tais expectativas soam absurdas. Pode ser que sejam, mas são também o desenvolvimento conseqüente de idéias sustentadas não apenas pelos neoclássicos, mas pelo senso comum de nossa época. Se há um absurdo aqui, certamente não se trata de um mero absurdo lógico, pois ele tem sido compartilhado por diferentes gerações de diferentes populações de indivíduos.

Se partirmos da noção de quantidade efetiva apresentada por Baumol (p. 168, 1986), passa a ser possível conjecturar de modo plausível sobre a possibilidade de crescimento econômico perpétuo. A noção de quantidade efetiva não é um mero dispositivo formal ou retórico da escola neoclássica. O ponto central é que as mudanças na disponibilidade física dos recursos são apenas uma das maneiras pelas quais a sua disponibilidade econômica (*quantidade efetiva*) pode ser aumentada. Por mais estranho que possa parecer, o sistema econômico é um sistema interdependente que funciona com base em equivalências construídas a partir de estruturas materialmente distintas. A explicação para isso pode ser posta nos seguintes termos.

A utilização dos recursos exauríveis, tanto na produção quanto no consumo, depende da utilização de outras classes de recursos. Por exemplo, petróleo é extraído por meio de trabalho

e equipamentos. Portanto, qualquer redução na quantidade de horas de trabalho e na utilização dos equipamentos utilizados pela sociedade para extrair petróleo implica num aumento da quantidade de petróleo efetivamente utilizável, uma vez que a capacidade social de extração de petróleo é aumentada. Além disso, se menos recursos são necessários para extrair petróleo, esses recursos economizados podem ser utilizados para substituir o petróleo em atividades de consumo, o que também aumenta a quantidade de petróleo utilizável. Há ainda a quantidade de recursos que podem ser reciclados se os incentivos econômicos são suficientemente fortes. Claramente, a quantidade efetiva de petróleo não é uma variável física, mas econômico-física. Esta transformação é feita pelo sistema econômico através do uso de equivalências envolvendo estruturas materialmente diferentes. Nós representamos economicamente tais fatos dizendo que o petróleo tem custos, e reconhecendo que estes custos são modificáveis por inovações tecnológicas e indicados pelo sistema de preços. Em toda esta descrição há a aplicação da noção de quantidade efetiva apresentada por Baumol (1986). Esta mesma idéia é usada por outros economistas, sendo bastante importante no contexto da sustentabilidade. O fato é que esta dinâmica do sistema econômico obriga a reconhecer que a quantidade efetiva de recursos não é uma variável física, mas físico-econômica.

A aplicação do conceito de quantidade efetiva só é possível porque é objetivamente verdadeiro que existe um campo de operações onde há uma equivalência entre fatores de produção que são qualitativamente distintos: em muitos contextos, nós podemos realmente optar por usar mais recursos naturais, mais horas de trabalho ou mais dinheiro. Assim, a questão levantada pelo uso do conceito de quantidade efetiva não é a de saber se há equivalência entre recursos naturais e outras classes de outros recursos, mas a da determinação cuidadosa da extensão dessa equivalência e da forma como ela opera.

Se a equivalência entre os fatores de produção é considerada como absoluta, o conceito de quantidade efetiva nos permite obter a conclusão de que é teoricamente possível alcançar trajetórias de crescimento econômico consistentes com qualquer restrição de utilização que envolva qualquer categoria particular de fatores de produção. Dada a impossibilidade de aumentar o consumo de determinado recurso, é possível sustentar qualquer trajetória desejada de crescimento econômico, se quantidades suficientemente grandes (ainda que limitadas) de outros recursos estiverem disponíveis. A produção organizada nestes termos obedece ao

princípio da equivalência absoluta. Segundo este princípio, a natureza material dos fatores de produção é algo exógeno à Economia da Produção. A decisão entre escolher horas de trabalho ou recursos naturais ou conhecimento ou dinheiro para aumentar a produtividade num dado contexto deve-se unicamente à perspectiva subjetiva e particular assumida pelo produtor num dado momento. Teoricamente, não há nenhum impedimento intransponível à possibilidade objetiva de aumentar indefinidamente a produtividade total do sistema econômico sem ter que aumentar as quantidades absolutas utilizadas de fatores específicos, ou sem ter que diminuir as quantidades absolutas de algum fator específico (recursos naturais, horas de trabalho, etc.). Nesta perspectiva, a teoria da produção refere-se à natureza material dos fatores utilizados apenas como novas condições de restrições exógenas a serem incorporadas ao sistema econômico.

Do ponto de vista do princípio da equivalência absoluta, a contribuição dos fatores para o processo de acumulação está totalmente representada por seus preços. Quaisquer diferenças significativas são sempre diferenças quantitativas relativas às contribuições marginais dos fatores para o produto econômico. De fato, reduzir a análise da produção ao estudo da dinâmica intra-mercado é a própria expressão da crença no princípio da equivalência absoluta²⁴. Nesta perspectiva, a evidência de preços declinantes de recursos exauríveis numa trajetória de longo prazo de crescimento econômico é ela mesma evidência de que não apenas trajetórias de crescimento econômico perpétuo são possíveis, mas de que já estamos mergulhados nestas trajetórias.

Partindo desta perspectiva teórica, e sempre se parte de alguma perspectiva teórica ao observar a realidade, não é possível garantir a priori que a impossibilidade do movimento perpétuo no domínio da Física implique na impossibilidade de crescimento econômico perpétuo no domínio da Economia. Na verdade, não há nada na teoria de produção ortodoxa

²⁴ Baumol (p. 168, 1986): “Nós economistas estamos sempre inclinados a julgar a abundância de um recurso pelo seu preço. Na medida em que a demanda por um item não está caindo e os preços de mercado não são marcadamente distorcidos por interferências tais como intervenção governamental, esperamos que o preço real de um recurso subirá à medida que sua quantidade cai, em acordo com o teorema clássico de Hotelling (1931)”.

que leve a crer que crescimento econômico perpétuo seja impossível²⁵. Uma forma de conduzir a análise positiva é contrastar as expectativas geradas pela teoria hegemônica com fatos observáveis de modo a refutá-la. Isto é tanto mais proveitoso quanto mais críticos forem os fatos observáveis para a teoria. Cabe principalmente aos críticos da teoria de produção hegemônica fornecer a situação-limite que permita encontrar fatos observáveis que refutem a teoria hegemônica²⁶.

Note-se que uma teoria só pode ser refutada a partir de pressupostos que ela mesma assume como sendo básicos²⁷. Esta é uma das razões pelas quais considerações termodinâmicas têm tido tão pouco impacto entre os economistas ortodoxos. Para os economistas neoclássicos as leis da Termodinâmica são apenas uma nova restrição com a qual o arcabouço neoclássico tem de lidar. Para um neoclássico, não há nenhuma razão para assumir a priori que estas novas condições de restrição exijam uma reformulação completa em seus princípios. Na

²⁵ Deve-se observar que durante muito tempo não era óbvio para todos os cientistas e tecnólogos que movimento perpétuo é impossível. Para uma história da idéia de movimento perpétuo, ver Ord-Hume (1977).

²⁶ Esta não é a única estratégia teórica possível de ser adotada. Por exemplo, pode-se tentar desenvolver perspectivas teóricas próprias que não têm como objetivo primordial da análise nem o confronto com a teoria hegemônica nem a incorporação de conceitos do arcabouço hegemônico, mas apenas a representação fatos que não possuem significado ou relevância no arcabouço hegemônico. Há economistas ecológicos que têm efetivamente adotado esta estratégia. Um exemplo desta abordagem é a análise dos fluxos de energia e materiais pelo sistema econômico, que pode ser feita sem recorrer ao conceito de ‘capital natural’. Para uma comparação entre a abordagem econômico-ecológica baseada no ‘capital natural’ e outra baseada em estudos de fluxos de energia e materiais que se coloca explicitamente em defesa da análise de fluxos, Hinterberger *et al.* (1997). Tal abordagem tem a vantagem de permitir realizar trabalhos empíricos que de outra forma seriam inviáveis, antes de conceituar adequadamente o papel econômico dos recursos naturais. Entretanto, a médio e longo prazo não há razão para supor que uma teoria hegemônica deixará de ser adotada se não estiver cabalmente demonstrada a irrelevância e mesmo inadequação da perspectiva hegemônica para tratar os problemas ambientais.

²⁷ Não se assume aqui que a substituição de uma perspectiva teórica por outra baseia-se unicamente em refutações, mas considera-se que refutações têm um efeito bastante persuasivo naqueles contextos em que é difícil atribuir as insuficiências das teorias a fatores exógenos. Estes contextos estão sempre ligados a alguma situação-limite envolvendo o uso da teoria hegemônica.

verdade, o problema colocado pela utilização econômica de recursos exauríveis é o problema de determinar o domínio da existência de todas as inovações tecnológicas possíveis. Seriam as inovações tecnológicas imagináveis capazes de gerar crescimento econômico perpétuo?²⁸

Seguindo a tradição neoclássica, Baumol (1986) argumenta não apenas que crescimento econômico perpétuo a partir de recursos exauríveis é possível, mas que o processo disparado pela Revolução Industrial já teria nos colocado dentro de tal trajetória. Para Baumol (1986), a evidência decisiva a este respeito é a trajetória de longo prazo dos preços de minerais. Se esta trajetória é em geral de queda ou aumentos pequenos, como considerar que os recursos exauríveis são um impedimento ao crescimento econômico? Baumol (1986) apresenta também um modelo para descrever as relações que, segundo sua análise, permitem aumentar continuamente a quantidade efetiva de recursos exauríveis e deste modo sustentar uma trajetória indefinidamente longa de crescimento econômico. O modelo baseia-se nas seguintes definições (Baumol, 1986, p. 173):

“ R_t = quantidade utilizável dos recursos restantes no planeta no período t

V_t = quantidade usada no período t

D_t = quantidade demandada para propósitos de consumo e indústria neste período

E_t = estoque efetivo do recurso no período t

$M_t = R_t / E_t$ = quociente entre o estoque total e o estoque efetivamente usável, isto é, $1 - 1/M_t$ é a proporção que será desperdiçada durante o uso.

$a_t = (D_t - D_{t-1}) / D_{t-1}$ = aumento efetivo na quantidade de recurso demandada durante o período t .”

A exaustão física de recursos requer que (Baumol, 1986, p. 174):

²⁸ Aqui há questões análogas às enfrentadas por Carnot (pp. 43-44, 1897): “De modo a considerar do modo mais geral o princípio da produção de movimento pelo calor, ele tem de ser estudado independentemente de qualquer mecanismo ou qualquer agente particular. É necessário estabelecer princípios aplicáveis não apenas a máquinas a vapor mas a *todas as máquinas imagináveis*, qualquer que seja a substância de trabalho e qualquer que seja o método pelo qual é operada”. Os itálicos são meus.

$$R_{t+1} = R_t - V_t \quad (3-1)$$

A definição de M_t para o período de tempo t fornece²⁹:

$$V_t = M_t D_t \quad (3-2)$$

Depois de um formalismo para investigar o caráter único das soluções, as equações (3-1) e (3-2) são usadas para demonstrar as seguintes proposições (Baumol, 1986, p. 176):

“Proposição 1. Existem trajetórias temporais consistentes envolvendo depleção da quantidade disponível de recurso físico R_t e reduções monotônicas no coeficiente de ineficiência, que levam a aumentos monotônicos e perpétuos no inventário efetivo dos recursos, E_t .

Proposição 2. Na medida em que M_t possua um limite inferior m^* , então E_t tem de estar limitado por um limite superior finito e D_t tem que em algum momento cair abaixo de algum limite inferior pré-definido.”

A idéia básica por trás da Proposição 1 é bastante simples. Para que o estoque efetivo de recursos aumente ao longo do tempo em meio à deterioração física é necessário apenas que as inovações tecnológicas permitam aumentar a eficiência econômica mais rápido que a taxa de deterioração física. O resultado quantitativo dado pela Proposição 1 é a aplicação direta da noção de quantidade efetiva. Ao assumir que a eficiência do sistema não depende da escala de utilização dos recursos, Baumol (1986) estabeleceu as condições para tratar R_t e M_t como variáveis independentes. Neste caso, usando as definições dadas acima:

$$M_t = R_t / E_t \Rightarrow E_t = R_t / M_t \quad (3-3)$$

²⁹ Esta definição de Baumol (1986) envolve o uso tácito da premissa de que a eficiência econômica na utilização do recurso exaurível não depende da escala de utilização do recurso. A investigação desta hipótese permite usar Baumol (1986) para gerar proposições testáveis. Este teste, feito em Amado e Sauer (2010), permite mostrar que a descrição neoclássica da utilização dos recursos naturais está em contradição com os fatos observados ao longo da história econômica. Mais à frente neste texto, um teste similar mostra o significado e a inconsistência da utilização pelos neoclássicos do indicador elasticidade de substituição.

Mesmo com a deterioração física dos recursos (R_t decrescente), é claro a partir de (3-3) que o estoque real aumenta se a ineficiência M_t cai mais rápido que R_t . Deve ser enfatizado que assumir que as inovações tecnológicas são capazes de fazer isto é o mesmo que assumir que a eficiência com que os recursos são usados pode ser aumentada sem que seja necessário recorrer a aumentos na escala de utilização dos recursos³⁰.

A Proposição 2 busca incorporar restrições termodinâmicas. É sabido que a eficiência física na utilização de combustíveis não pode ser aumentada indefinidamente. Para incorporar esta restrição Baumol (1986) assume que a ineficiência tem um limite inferior absoluto m^* , que não pode ser reduzido por nenhuma inovação tecnológica. Este limite define para Baumol (1986) o domínio de existência de todas as inovações tecnológicas concebíveis. Assumindo a existência deste limite e reconhecendo que a quantidade física R_t é finita, Baumol (1986) demonstra que numa trajetória de crescimento econômico perpétuo a demanda D_t por recursos naturais é superiormente limitada (ver Baumol, 1986, p. 176).

Baumol (1986) é um exemplo claro da importância de desenvolver as implicações das teorias adotadas. Não há nada na teoria de produção neoclássica vinculando valor econômico e natureza material dos fatores de produção. Sendo assim, não há a priori nenhuma razão para um neoclássico supor que as leis da Termodinâmica implicam na impossibilidade de crescimento econômico perpétuo. Baumol (1986) demonstra coerência ideológica e científica ao argumentar que não há nenhuma contradição lógica entre crescimento econômico perpétuo e base exaurível de recursos. Se há alguma contradição, não se trata de uma contradição meramente lógica, mas de uma contradição entre uma teoria e o objeto que esta teoria pretende descrever ou explicar.

O significativo em Baumol (1986) é o fato de ele levar às últimas consequências e de modo consistente o princípio da equivalência absoluta. É fundamental perceber que o que baliza

³⁰ Em Amado e Sauer (2010) é feita uma análise mais extensa de Baumol (1986) a partir da investigação desta hipótese. Neste ponto do trabalho interessa apenas mostrar as implicações de desenvolver-se consistentemente o princípio da equivalência absoluta entre os fatores de produção.

toda a argumentação de Baumol (1986) é a suposição de que as contribuições dos diferentes tipos de fatores de produção são, *do ponto de vista do sistema econômico*, qualitativamente equivalentes. Pode haver razões não-econômicas (físicas, sociais, etc.) para distinguir qualitativamente entre os fatores de produção, mas do ponto de vista do processo objetivo da acumulação de capital tais recursos são, na perspectiva da teoria de produção neoclássica, absolutamente equivalentes. Segue-se então, como uma tautologia, que quaisquer restrições ao uso de fatores de produção específicos (por exemplo, recursos naturais exauríveis) podem ser contornadas se quantidades suficientemente grandes de outras classes de fatores de produção estiverem disponíveis.

A rigor, na perspectiva neoclássica os recursos na realidade não desempenham ‘funções’ no sentido estrito. No Dicionário Houaiss, a primeira acepção das 21 dadas para o termo ‘função’ é “atividade natural ou característica de algo (elemento, órgão, engrenagem etc.) que integra um conjunto, ou o próprio conjunto”. Uma vez que a produção seja organizada em função do princípio da equivalência absoluta, a especificidade dos fatores não existe, logo, não há lugar para reconhecer que existam ‘funções econômicas’ desempenhadas pelos fatores de produção. Há apenas contribuições quantitativas relativas distintas entre fatores subjetivamente distinguidos. Esta ausência de ‘funções econômicas’ permite supor que o produto econômico pode ser obtido a partir de qualquer combinação de fatores imaginada. Fatores de produção particulares são escolhidos unicamente por suas contribuições quantitativas relativas no que concerne à reprodução do capital.

Um médico neoclássico pode argumentar, de maneira bastante consistente, que ao invés de fazer um transplante de coração o paciente poderá ficar muito bem se quantidades suficientemente elevadas de rins, fígados, pulmões, etc. estiverem disponíveis. É a especificidade das funções do coração no organismo que impedem um médico de argumentar como um neoclássico. Note-se que esta especificidade é o que justifica falar em ‘funções’ e que ela tem de ser apreendida na experiência, não podendo ser deduzida a priori. Em outras palavras, o neoclássico não pode ser a priori descartado como um louco.

Baumol (1986) tem a vantagem de expor de modo direto o princípio da equivalência absoluta. Isto é em si mesmo um enorme mérito do autor. Entretanto, o mesmo princípio aparece

recorrentemente em outros autores neoclássicos. Na verdade, tem tido uma influência não desprezível mesmo sobre críticos do arcabouço neoclássico.

3.2 *Economistas Ecológicos e Capital Natural*

Apesar de suas críticas ao arcabouço neoclássico, economistas ecológicos também têm estado sob o jugo do princípio da equivalência absoluta. Isto aparece de maneira particularmente forte no uso do conceito de ‘capital natural’. A posição dos economistas ecológicos tem sido bastante influenciada pela concepção estendida de capital proposta por Costanza e Daly (1992, p. 38):

“Como ‘capital’ é tradicionalmente definido como meios (produzidos) de produção, o termo ‘capital natural’ requer explicação. É baseado numa definição mais funcional de capital como ‘um estoque que fornece um fluxo de bens ou serviços valiosos no futuro’. O que é funcionalmente importante é a relação de um estoque fornecendo um fluxo – se o estoque é manufaturado ou natural nesta visão é uma distinção entre tipos de capital e não uma característica propriamente definidora do capital. Por exemplo, um estoque ou população de árvores ou peixes fornece um fluxo ou produto anual de novas árvores ou peixes, um fluxo que pode ser sustentado ano após ano. O fluxo sustentado é a ‘renda natural’; o estoque que fornece o fluxo sustentável é o ‘capital natural’. Capital natural pode também fornecer serviços tais como reciclagem de materiais descartados, ou catação de água e controle de erosão, os quais são contabilizados também como renda natural. Como o fluxo dos serviços dos ecossistemas requer que eles funcionem como totalidades, a estrutura e a diversidade do sistema são componentes importantes no capital natural.”

Estas noções de capital e renda envolvem modificações nos conceitos tradicionais. É uma tentativa de incorporar benefícios não monetarizados que normalmente não são levados em conta pelos economistas nas suas concepções de ‘capital’ e ‘renda’. A noção de capital proposta por Costanza e Daly (1992) envolve um domínio muito maior que aquele no qual o conceito usual de capital tem sido posto à prova.

Dada a impossibilidade de usar os conceitos econômicos convencionais para sequer representar os problemas em questão, a hipótese de que é preciso modificar os conceitos convencionais sobre capital e renda é bastante plausível. Entretanto, ver esta modificação como uma mera extensão do domínio de validade das concepções ortodoxas traz algumas consequências negativas importantes. Em primeiro lugar, por não se buscar uma crítica positiva da conceituação neoclássica, possíveis evidências que fortaleçam a posição da sustentabilidade forte podem não receber o devido peso. Por crítica positiva entende-se aqui o uso de fatos observáveis para refutar premissas tácitas ou explícitas adotadas pelo paradigma

da sustentabilidade fraca. Em segundo lugar, a mera extensão de conceitos válidos num domínio para novos domínios fenomenológicos pode levar a inconsistências metodológicas ou mesmo lógicas, especialmente se o vínculo entre estes domínios (econômico e ecológico) não estiver ainda suficientemente compreendido. Estes dois aspectos negativos estão presentes na utilização do conceito de capital natural por economistas ecológicos, o que enfraquece duplamente a defesa da sustentabilidade forte.

A concepção de capital proposta por Costanza e Daly (1992) vê como capital qualquer estoque de propriedades materiais da qual a sociedade extraia algum benefício, independentemente da estrutura de direitos de propriedade associada a este estoque. Ou seja, a concepção de capital proposta por Costanza e Daly (1992) aplica a noção de capital a recursos para os quais não há direitos de propriedade privada definidos ou definíveis. Façamos por um momento abstração do conceito de ‘capital natural’ proposto por Costanza e Daly (1992) e usemos o termo ‘capital’ num sentido mais restrito e convencional de recursos para os quais existam direitos de propriedade privada definidos.

A pouca atenção dada pelos economistas ecológicos à relação entre capital e direitos de propriedade privada tem impedido-os de mostrar inconsistências importantes das análises de produção neoclássicas. Quando os neoclássicos incluem recursos naturais em suas funções de produção, assumem sempre que para tais recursos os direitos de propriedade estão tão bem definidos quanto os direitos de propriedade aplicados a horas de trabalho ou a artefatos fabricados que sejam usados no processo de produção. Esta hipótese é correta em inúmeros casos. Por exemplo, o combustível utilizado para obter energia é normalmente de propriedade da empresa. Mas é duvidoso que esta suposição seja adequada se pretendemos avaliar a sustentabilidade do sistema econômico como um todo. Tal percepção torna-se particularmente clara se temos em mente que o sistema econômico está contido no sistema ecológico. Uma vez que o sistema econômico esteja contido no sistema ecológico, modelos de crescimento econômico em que apenas os recursos naturais para os quais há direitos de propriedade privada claramente definidos são levados em conta são confiáveis somente na medida em que esteja demonstrado que as implicações do processo produtivo sobre as funções ecossistêmicas não monetarizadas são irrelevantes.

Entretanto, até o momento não há nenhuma razão para assumir que as consequências da ação humana sobre o ambiente envolvem apenas os recursos naturais que podem ser consistentemente classificados como capital. Na verdade, os impactos da ação humana sobre o meio ambiente passaram a ser tão amplos, variados e a assumir tal escala que há quem defenda que o período posterior à Revolução Industrial constitui uma nova era geológica³¹.

Embora a Terra tenha passado por muitos períodos de mudança ambiental, os cerca de 10.000 anos anteriores à Revolução Industrial foram marcados por uma incomum estabilidade. Foi neste período, conhecido como Holoceno, que as civilizações surgiram, desenvolveram-se e prosperaram. A partir da Revolução Industrial inicia-se um novo período, chamado de Antropoceno, no qual há um afastamento em relação ao estado ambiental estável do Holoceno, e que se caracteriza pelo fato de que as ações humanas são agora o principal motor das mudanças ambientais.

O estado ambiental do Holoceno favoreceu bastante o desenvolvimento das civilizações, sendo marcado por temperaturas regulares, disponibilidade de água doce e fluxos biogeoquímicos dentro de faixas estreitas. Principalmente devido ao uso de combustíveis fósseis e às formas industrializadas de agricultura, estamos nos afastando deste estado de estabilidade ambiental característico do Holoceno e estabelecendo condições ambientais que podem não ser tão favoráveis ao desenvolvimento humano (Rockstrom et al., 2009a). A tabela abaixo permite ilustrar a intensidade e a extensão dos efeitos das atividades humana sobre o ambiente:

³¹ Ver Crutzen (2002) e Steffen, Crutzen e McNeill (2007).

Processo sistema-terra	Parâmetros	Fronteira Proposta	Situação Atual	Valor Pré-Industrial
Mudança Climática	(i) Concentração de dióxido de carbono (partes por milhão)	350	387	280
	(ii) Mudança na força radioativa (watts por metro quadrado)	1	1,5	0
Taxa de Perda de Biodiversidade	Taxa de extinção (número de extinções por milhões de espécies por ano)	10	>100	0,1-1
Ciclo do Nitrogênio	Quantidade de N ₂ removida da atmosfera pelo uso humano (milhões de toneladas por ano)	35	121	0
Ciclo do Fósforo	Quantidade de fósforo circulando nos oceanos (milhões de toneladas por ano)	11	8,5-9,5	-1
Depleção do Ozônio Estratosférico	Concentração de ozônio (unidade Dobson)	283	283	290
Acidificação do Oceano	Saturação média global da aragonita na superfície da água do mar	2,75	2,90	3,44

Tabela 3-1: Efeitos Ecológicos da Era Industrial Capitalista

Fonte: Elaborada a partir de Rockstrom et al. (2009b)

A Tabela 3-1 deixa claro que uma parcela muito pequena das funções ecossistêmicas investigadas por Rockstrom et al. (2009b) pode ser considerada capital no sentido estrito do termo. Os dados mostram também que a partir da era industrial há uma mudança acentuada nos valores observados de variáveis críticas para a estabilidade ambiental. Estas evidências são suficientes para questionar a tese de que o uso dos recursos naturais que funcionam como autenticamente como capital natural possa ser considerado independente dos demais recursos naturais. Tal situação torna os modelos neoclássicos de produção incapazes de embasar um otimismo realista a respeito da sustentabilidade do atual sistema de produção.

As expectativas em torno da sustentabilidade fraca são plausíveis apenas se tomarmos ‘capital natural’ e ‘recursos naturais’ como sinônimos. Os economistas ecológicos têm enfatizado bastante o descompasso entre o desempenho do sistema econômico tal como medido pelos

indicadores econômicos usuais e as condições biofísicas do sistema de produção tal como expressa por indicadores físicos. Entretanto, a relevância destes indicadores físicos para mostrar o caráter espúrio das expectativas em torno da sustentabilidade fraca não tem sido adequadamente enfatizada. Uma vez que ‘recurso natural’ e ‘capital natural’ não são sinônimos, o conjunto de evidências relevantes para apoiar a sustentabilidade fraca é maior que aquele usado pelos economistas neoclássicos. Claramente, o uso inadequado do conceito de capital tem levado definir de modo arbitrário o conjunto das evidências relevantes.

O uso de indicadores tais como elasticidades de substituição ou tendências observadas nos preços dos recursos naturais para corroborar uma crença racional na sustentabilidade fraca depende necessariamente da verdade da suposição de que o processo alocativo de produção não produz implicações relevantes sobre os recursos naturais não-monetarizados. Isto decorre tanto do fato do sistema econômico estar contido no sistema ecológico quanto do fato do conceito de capital não ser automaticamente aplicável a bens para os quais não existam direitos de propriedade privada claramente definidos. Este aspecto da análise da sustentabilidade do sistema econômico não tem sido enfatizado pelos economistas ecológicos porque ao utilizarem a noção de capital têm optado por uma concepção monetária do capital, em vez de uma concepção institucionalista. As questões referentes à medição monetária do capital têm preocupado mais os economistas ecológicos do que aquelas ligadas a direitos de propriedade.

Além do fechamento à linha de argumentação apontada acima, a tentativa de modificar o conceito de capital de modo a capitalizar os recursos naturais apresenta também o defeito de não estar livre de inconsistências internas. O preço de um recurso é o valor monetário da mais alta oportunidade abandonada para utilizá-lo. Entretanto, caso se argumente que os recursos naturais executam funções que não são transferíveis, de nenhum modo, a outros tipos de recursos, assume-se que a não disponibilidade de tais recursos não pode ser compensada pela utilização de outros. Segue-se então que nenhuma compensação monetária é aplicável. De fato, se o fosse, então necessariamente as funções dos recursos naturais seriam transferíveis para outros tipos de recursos: assumir que uma coisa tem preço é assumir que existe uma equivalência entre esta coisa e outras. Capitalizar a natureza e ao mesmo tempo defender que as funções econômicas da natureza são insubstituíveis rejeitando os indicadores de

substituição neoclássicos é arbitrário e leva facilmente a um debate na qual nenhuma das partes é capaz de associar as palavras do outro a um conjunto consistente de experiências³².

Os economistas ecológicos, ao insistirem em tomar como capital ou passível de valoração monetária todas as funções ecossistêmicas, mostram estar sob forte influência do princípio da equivalência absoluta. Não é de modo algum óbvio que o valor econômico de um recurso seja representável apenas se puder ser posto em termos de quantidades monetárias, a menos que compartilhemos da metafísica neoclássica. É ainda mais estranho tomar a valoração monetária como imprescindível quando se pretende enfatizar a incomensurabilidade de propriedades materiais fornecidas pela natureza.

As limitações no uso do conceito de capital natural não são completamente ignoradas por aqueles que se apóiam neste conceito tal como definido por Costanza e Daly (1992). Costanza et al. (1997) admitem que em certo sentido as funções ecossistêmicas dos recursos naturais têm valor infinito. Entretanto, é possível que os autores vejam nesta frase um sentido puramente metafórico, pois argumentam também que embora a vida humana não tenha preço não hesitamos em calcular o valor da vida em outros contextos³³. Aparentemente, Costanza et

³² De fato, as diferenças entre a concepção de substituição/complementaridade proposta por Costanza e Daly (1992) e a concepção de substituição/complementaridade neoclássica chega ao ponto de inviabilizar qualquer possibilidade de comunicação. Exemplo eloquente disso é o debate entre Daly (1997a,b) e Solow (1997). É significativo que Solow (1997, p. 267) afirme, referindo-se às concepções adotadas por Daly: “Um dos seus menores problemas é que ele não entende o que os economistas querem dizer quando falam de complementos e substitutos”. Poder-se-ia igualmente dizer que Solow (1997) não entende o que Daly quer dizer quando fala de complementos e substitutos. Claramente, quando economistas ecológicos e neoclássicos usam palavras como ‘capital’, ‘complemento’ e ‘substituto’ não querem dizer a mesma coisa. Tais divergências levarão necessariamente a sistemas de crenças auto-confirmatórios, se as respectivas posições não forem articuladas a proposições testáveis.

³³ Costanza *et al.* (1997, p. 255): “A questão da valoração é inseparável das escolhas e decisões que temos de fazer sobre os sistemas ecológicos. Alguns argumentam que a valoração dos ecossistemas é impossível ou insensata, que não podemos colocar um valor em tais ‘intangíveis’ como vida humana, estética ambiental, ou benefícios ecológicos de longo prazo. Mas, na realidade, fazemos isto todos os dias. Quando estabelecemos

al. (1997) julgam tal cálculo como análogo ao processo de precificação dos recursos naturais. Este raciocínio envolve uma confusão entre questões normativas e positivas.

No caso da precificação da vida humana, não há nenhuma questão de viabilidade posta, apenas uma equivalência normativa construída a partir da perspectiva ética utilitarista. Ao colocarmos preços nos recursos naturais, não estamos apenas fazendo um julgamento subjetivo quanto à equivalência entre estes recursos e outros tipos de recursos, mas assumindo também um diagnóstico de viabilidade. Segundo este diagnóstico, as funções econômicas desempenhadas pelos recursos naturais não envolvem nada de específico, podendo perfeitamente serem executadas por outras classes de recursos. Sem assumir esta equivalência, é impossível estabelecer preços. No caso dos recursos naturais, embora a análise não esteja livre de juízos de valor, trata-se de investigar positivamente se o padrão de apropriação social da natureza que tem caracterizado o atual sistema de produção é ou não viável. Saber se a reprodução do atual sistema econômico é compatível com as funções ecossistêmicas dos recursos naturais envolve não apenas um julgamento de valor, mas uma avaliação positiva que permita determinar se os fatores de produção recursos naturais são ou não substituíveis por outras classes de fatores de produção. Portanto, tomar o cálculo da vida humana para fins de seguridade e a precificação dos recursos naturais como sinônimos significa ignorar as questões positivas postas pelo uso econômico dos recursos naturais.

Do ponto de vista da análise positiva, não faz o menor sentido argumentar que os recursos naturais não são substituíveis e depois tentar mostrar a inviabilidade do sistema de produção atual colocando preço nestes recursos. Se é possível precificar os recursos naturais ambientais, então eles necessariamente são substituíveis no sentido em que os economistas ortodoxos concebem substituição/complementaridade de recursos. Neste caso, não há nenhuma razão para se afastar das metodologias convencionais, fortemente baseadas nas medidas de preços relativos de recursos naturais e em elasticidades de substituição.

padrões de construção para auto-estradas, pontes e afins, valoramos a vida humana (reconheça-se ou não) porque gastar mais dinheiro na construção salvaria vidas.”

Hinterberger et al. (1997) não descartam o uso metafórico da noção de capital natural para referir-se aos recursos naturais, mas rejeitam a utilização desta noção para gerar indicadores operacionalizáveis de sustentabilidade. Victor (1991, p. 210) observa que ao tratar o ambiente como capital há a premissa implícita de que ele possa ser substituído por outras formas de capital, que seja reprodutível e que possa ser gerido da mesma forma que o capital manufaturado. A premissa tácita de substituíbilidade do ambiente vinculada à noção de capital natural é um determinante importante da preferência de parte dos economistas ecológicos por indicadores físicos de sustentabilidade. A utilização de indicadores físicos tem a vantagem de dar um significado sócio-econômico à degradação ambiental antropogênica antes que uma conceituação consistente alternativa da substituição/complementaridade dos recursos naturais tenha sido desenvolvida.

Em suma, ao invés de tentarem submeter o princípio da equivalência absoluta a escrutínio, muitos economistas ecológicos têm adotado a estratégia de estender o campo de aplicação deste princípio. Esta abordagem enfraquece os argumentos dos economistas ecológicos tanto por não permitir delimitar adequadamente o conjunto de evidências relevantes quanto por introduzir inconsistências lógicas no interior de teorias preconizadas por defensores da sustentabilidade forte. Fica claro então que o princípio da equivalência absoluta não influencia apenas a perspectiva neoclássica.

3.3 O Significado da Concepção Neoclássica de Produção

O princípio da equivalência absoluta leva necessariamente o analista a considerar secundária quaisquer considerações quanto à natureza material dos fatores de produção, no que diz respeito à explicação e previsão dos fatos econômicos. Também torna muito difícil, para não dizer impossível, construir um discurso econômico consistente que busque reconhecer a materialidade biofísica dos fatores de produção como algo endógeno à dinâmica do sistema econômico.

Na realidade, o princípio da equivalência absoluta não é uma teoria submetida à prova por experiências específicas conscientemente elaboradas, mas um princípio heurístico utilizado para orientar a construção das teorias usadas para explicar e fazer previsões ou mesmo tornar

significativos fatos observáveis. Um neoclássico nunca põe em dúvida a validade deste princípio, e com frequência sequer tem consciência de que faz uso dele. Apenas nos autores mais elaborados esta consciência surge e as consequências do princípio da equivalência absoluta são levadas às últimas consequências³⁴, e ainda assim porque são levados a isto por questionamentos externos. É duvidoso que tomemos consciência das pressuposições que adotamos ao pretender explicar a realidade fora de contextos em que situações objetivas não criadas por nós nos obriguem a isto.

De acordo com o princípio da equivalência absoluta, qualquer restrição nas quantidades absolutas disponíveis de um fator específico pode ser contornada, se quantidades suficientemente elevadas de outros fatores estiverem disponíveis. Sendo assim, se restrições ambientais limitam a utilização do ‘capital natural’, o sistema econômico pode continuar crescendo se quantidades suficientemente elevadas de outras formas de capital forem disponibilizadas.

É preciso ter em mente que os economistas ortodoxos não negam a dependência física do sistema econômico em relação a propriedades materiais biofísicas. O que dizem é que sendo a disponibilidade econômica uma variável econômico-física, e não uma variável física, não apenas a margem de manobra do sistema econômico para lidar com restrições biofísicas é maior do que supõem os ecologistas, como a dinâmica dos mecanismos utilizados pelo sistema econômico para fazê-lo tem um comportamento qualitativamente distinto daquele que pode ser apreendido por conceitos derivados da Física.

Como na teoria de produção neoclássica não é feita qualquer referência a nenhuma propriedade material específica, é necessário admitir que, do ponto de vista da explicação e previsão dos fatos econômicos, há uma equivalência absoluta entre todas as propriedades utilizáveis na produção. Ora, se é indiferente que o valor econômico seja produzido a partir de recursos físicos exauríveis ou de algo tão abstrato quanto conhecimento, como duvidar que uma trajetória indefinidamente longa de crescimento econômico seja possível?

³⁴ Como ocorreu, por exemplo, em Baumol (1986).

Na verdade, é difícil ver como um neoclássico poderia reconhecer a especificidade de formas materiais sem abandonar a teoria neoclássica, isto é, sem deixar de ser neoclássico. Uma abordagem consistentemente neoclássica tem de representar quaisquer propriedades materiais específicas como condições de contorno exógenas ao processo econômico de produção que podem ser compatibilizadas a tal processo pela imposição de condições de restrição adequadas. O analista procurará então investigar de que forma o sistema econômico pode adaptar-se a estas novas condições de restrição, tomadas sempre como exógenas às preocupações do economista. Toda esta abordagem é um mero corolário do fato de que não há na teoria de produção neoclássica nenhum vínculo entre valor econômico e condições materiais específicas, o que torna a teoria indiferente a quaisquer condições materiais particulares imagináveis.

Como de acordo com o princípio da equivalência nenhuma qualidade concreta específica é essencial, a trajetória de crescimento observada não dependerá das quantidades absolutas de nenhum fator de produção particular: se esta dependência existisse, teria de ser reconhecida a dependência em relação a este fator de produção particular. Para um neoclássico, não existe escassez absoluta, há apenas escassez relativa. Esta escassez (relativa) é sinalizada pelos preços, que indicam aos agentes como refazer o processo alocativo de modo a levar em conta as contribuições quantitativas relativas dos fatores de produção e as novas condições de oferta e demanda. Como a disponibilidade absoluta de recursos não afeta a dinâmica do sistema descrito, produzir racionalmente significa única e exclusivamente produzir eficientemente, isto é, produzir usando uma proporção de fatores que use as quantidades dadas de modo a maximizar o produto. As quantidades absolutas de fatores só importam na medida em que nos levem a determinar as proporções eficientes.

Vale a pena enfatizar que a representação econômica fundada no princípio da equivalência absoluta é essencial para que a produção possa ser vista em termos puramente quantitativos abstratos, isto é, sem fazer referência a quaisquer qualidades concretas. É a partir desta forma de observar que emerge a imagem de um mundo em que os preços, expressão máxima de equivalências, têm uma existência independente de outras realidades materiais. De outro modo, seria impossível pensar a produção em termos puramente monetários.

Resumindo, o argumento neoclássico não é o de que a materialidade dos preços seja a única existente, mas a de que as formas de materialidade não-monetárias são exógenas ao sistema econômico. Uma vez que se assuma isto como verdade, pode-se mergulhar intensamente no projeto de transformar toda teoria de produção numa geometria da produção: o que importa são as relações entre os fatores de produção e suas quantidades, não suas características materiais específicas. Nesta perspectiva, nenhuma propriedade material particular é indispensável para explicar a trajetória de crescimento de longo prazo do sistema econômico.

3.4 Uma Interpretação Carnotiana da Concepção Neoclássica de Produção

Uma vez que há uma equivalência entre todas as formas de energia, assegurada pela Primeira Lei da Termodinâmica, em tese sempre poderíamos converter uma forma de energia em outra segundo nossa conveniência e conhecimento. Em particular, não há nenhum impedimento, nos termos da Primeira Lei, à conversão de energia altamente dispersa não contida em combustíveis fósseis em trabalho mecânico. Se ficarmos nos termos da Primeira Lei, não há nenhuma razão para supor que o espaço de equivalências entre as formas de energia existentes possua restrições. Se nos restringirmos aos termos da Primeira Lei, as diferenças qualitativas das diferentes formas de energia existentes seriam fruto unicamente da nossa ignorância quanto a possibilidades objetivamente existentes, mas ainda desconhecidas por nós. Na verdade, não haveria razão para considerar a distinção qualitativa entre formas de energia um componente da realidade objetiva³⁵.

³⁵ Georgescu-Roegen defende recorrentemente o significado da Segunda Lei para a Economia ao apontar suas implicações objetivas para as distinções qualitativas entre fatores de produção. Veja-se, por exemplo, Georgescu-Roegen (1975, p. 353): “É a termodinâmica, através da Lei da Entropia, que reconhece a distinção qualitativa que economistas deveriam ter feito desde o começo entre entradas de recursos valiosos (baixa entropia) e saídas finais de rejeitos sem valor”.

Deve-se assumir que tudo aquilo que não é expressamente proibido pelas leis de que fazemos uso é permitido, isto é, pode de algum modo ser realizado³⁶. No contexto de uma sociedade que tem a opulência como sua principal meta e que depende da disponibilidade de combustíveis fósseis para realizar esta meta, por que não buscar aumentar indefinidamente a produtividade das quantidades escassas de combustíveis de alto valor econômico? É apenas com a Segunda Lei da Termodinâmica que a busca por máquinas que permitam aumentar indefinidamente a produtividade de uma dada quantidade de energia escassa torna-se um absurdo. Até então, o absurdo seria não buscar esta meta.

Tendo em vista as implicações radicais da Segunda Lei da Termodinâmica, vale a pena apresentar uma descrição do experimento mental pelo qual Carnot introduziu a Segunda Lei da Termodinâmica³⁷. A descrição que se segue é baseada extensamente em Kondepudi e Prigogine (1998, pp. 69-72). Nela rerepresentamos a descrição dada por Carnot do processo pelo qual variações de temperatura são convertidas em variações volumétricas e vice-versa.

Na máquina térmica as transferências de calor que tornam possível estas conversões fazem uso de algum fluido, que ao expandir-se ou comprimir-se produz variações volumétricas. Por convenção, diz-se que o trabalho realizado é positivo quando há expansão (aumento de volume) e negativo quando há compressão (diminuição de volume). Carnot observa que onde quer que exista diferença de temperatura é possível produzir trabalho mecânico. Note-se que isto é o mesmo que assinalar uma equivalência entre energia mecânica e energia térmica, uma

³⁶ Georgescu-Roegen (1971, p. 196): “Se a ciência fosse descartar uma proposição que segue logicamente de sua fundamentação teórica, apenas porque sua realização factual nunca foi observada, a maior parte da tecnologia moderna nunca existiria. Impossibilidade, corretamente, nunca é a senha na ciência”.

³⁷ Experimentos mentais são uma forma de tornar claro o significado de conceitos adotados por uma comunidade, frequentemente tornando patentes inconsistências que passam a existir quando se tenta aplicar tais conceitos a novos fatos ou fenômenos. A Física tem uma longa história de experimentos mentais muito importantes no desenvolvimento desta ciência. Uma característica marcante dos experimentos mentais é lidar com situações hipotéticas, que não foram examinadas em laboratório. Sobre o uso de experimentos mentais, ver Kuhn (1977).

vez que se reconhece que é possível converter uma em outra. Toda máquina térmica produzindo trabalho a partir de calor opera entre dois reservatórios de calor de temperaturas desiguais. A máquina executa trabalho mecânico ao transferir calor de um reservatório quente para um reservatório frio (ver Figura 3-1 abaixo).

Figura 3-1: Máquina Térmica Realizando Trabalho

Fonte: Elaboração própria

Carnot afirma que a condição na qual se obtém o máximo de trabalho é aquela na qual toda diferença de temperatura é transformada em diferença de volume, e toda variação de volume observada deve-se à diferença de temperatura entre o reservatório quente e o reservatório frio³⁸. Quanto mais nos aproximamos desta condição, maior é o rendimento da máquina. Na

³⁸ Carnot (pp. 56-57, 1897): “[...] A condição necessária do máximo é, portanto, *que nos corpos empregados para obter a potência motora do calor não ocorra nenhuma mudança de temperatura que não possa ser atribuída à mudança de volume*. Reciprocamente, toda vez que esta condição é satisfeita o máximo será conseguido. Nunca se deve perder de vista este princípio na construção de máquinas térmicas, é sua base fundamental. Se não puder ser estritamente observado, deve-se pelo menos se afastar tão pouco quanto possível dele”. Os itálicos são do próprio Carnot.

prática, isto é atingido em máquinas térmicas que absorvem e perdem calor durante mudanças muito lentas em volume (Kondepudi e Prigogine, 1998, p. 70).

Se toda diferença de temperatura entre os reservatórios fosse convertida em diferença de volume, e se esta variação do volume fosse usada para obter a diferença de temperatura inicial, teríamos um *processo reversível*. Uma máquina reversível executa trabalho mecânico, W , ao transferir calor do reservatório quente para o reservatório frio (nesta etapa, a máquina funciona como um motor térmico); e pode fazer o exato oposto transferindo a *mesma* quantidade de calor de um reservatório frio para um reservatório quente usando a *mesma* quantidade de trabalho (nesta etapa, a máquina funciona como um refrigerador). Num processo reversível, tanto o sistema como o meio retornam exatamente ao mesmo estado inicial sem deixar nenhum vestígio. Os sistemas reais são todos irreversíveis, de modo que é possível diferenciar entre o sistema que não realizou nenhum trabalho e o sistema que realizou trabalho líquido nulo (isto é, durante parte do processo houve variação volumétrica positiva e noutra parte esta variação foi negativa, com variação líquida nula de volume).

Além da idéia de processo reversível, há em Carnot também a noção de *ciclo*: durante sua operação a máquina sai de um estado inicial e passa por um conjunto de estados intermediários até chegar a um estado final, retornando depois ao seu estado inicial passando pelos mesmos estados intermediários em ordem inversa. Após este retorno, o processo pode ser repetido, de modo que a máquina opere com base em repetições cíclicas (ver Figura 3-2).

Figura 3-2: Ciclo Reversível

Fonte: Kondepudi e Prigogine (1998)

Vale a pena observar que num ciclo reversível tanto o sistema como o meio retornam exatamente a seus estados iniciais; nos ciclos reais, em que há irreversibilidades, o sistema volta ao seu estado inicial mas as condições iniciais do ambiente são modificadas. Note-se também que num ciclo reversível toda a quantidade de calor proveniente do reservatório quente é integralmente restituída ao reservatório quente ao final do ciclo.

Carnot argumentou que a máquina que opera com base em ciclos reversíveis é a mais eficiente que pode existir. Se alguma máquina pudesse fornecer uma quantidade de trabalho maior que aquela fornecida por uma máquina reversível, seria possível obter uma quantidade ilimitada de trabalho sem consumo líquido de combustível da seguinte forma. Comece movendo calor do reservatório quente para o reservatório frio usando a máquina mais eficiente. Então, mova esta mesma quantidade de calor de volta para o reservatório quente usando a máquina reversível (ver Figura 3-3).

Figura 3-3: Motor Perpétuo

Fonte: Elaborado a partir de Kondepudi e Prigogine (1998)

Como o processo de envio realiza mais trabalho que aquele que é necessário para realizar o processo reverso, há trabalho não-nulo sem consumo líquido de calor do reservatório quente. Neste ciclo de operações uma quantidade de calor foi simplesmente transferida do reservatório quente para o reservatório frio e enviada de volta, com um ganho líquido em trabalho (W_{liq}). Repetindo este ciclo, uma quantidade ilimitada de trabalho pode ser obtida simplesmente movendo uma quantidade de calor para a frente e para a trás entre os reservatórios quente e frio. Carnot observou que isto é impossível. O experimento mental de Carnot permite delinear as seguintes consequências (Kondepudi e Prigogine, 1998, p. 71):

“Portanto, máquinas cíclicas reversíveis necessariamente produzem a máxima quantidade de trabalho. Um corolário desta conclusão é que todas as máquinas cíclicas têm de produzir a mesma quantidade de trabalho independentemente da sua construção. Além disso, e mais importante, como todas as máquinas reversíveis produzem a mesma quantidade de trabalho a partir de uma dada quantidade de calor, a quantidade de trabalho gerada por uma máquina reversível é

independente das propriedades materiais da máquina; pode depender apenas das temperaturas dos reservatórios quente e frio. Isto nos traz a mais importante conclusão do trabalho do livro de Carnot [1, p. 20]:

“A potência motora do calor é independente dos agentes empregados para realizá-la; sua quantidade é fixada unicamente pelas temperaturas dos corpos entre os quais é efetuada, definitivamente, a transferência do calórico.”

Carnot não derivou uma expressão matemática para a máxima eficiência obtida por uma máquina térmica reversível. Isto foi feito depois por outros que perceberam a importância de sua conclusão³⁹.

É importante observar que tais conclusões definem o domínio de existência de todas as inovações tecnológicas concebíveis no campo de máquinas térmicas. A oposição entre sustentabilidade forte e fraca é, no que diz respeito à análise positiva, uma divergência quanto ao domínio de existência das inovações tecnológicas capazes de gerar crescimento econômico.

Em última instância, a relevância econômica das leis da Termodinâmica depende da possibilidade de usá-las para explicar fatos econômicos não explicáveis pela teoria ortodoxa de produção. Entretanto, economistas heterodoxos não têm sido bem sucedidos no uso das leis da Termodinâmica para incorporar fatos observáveis que permitam efetivamente *refutar* a teoria de produção neoclássica, embora tenham sido bem sucedidos em levantar questionamentos importantes.

Uma limitação da abordagem adotada pelos economistas ecológicos ao tentarem desenvolver as implicações das leis da Termodinâmica para a Economia é o foco exclusivo no difícil conceito de entropia. Não se trata de abandonar o conceito de entropia, mas de incorporar outros aspectos do experimento mental de Carnot bastante relevantes para a análise da produção⁴⁰. Aspectos importantes do experimento mental de Carnot, e mais facilmente

³⁹ Todos os itálicos são do texto de Kondepudi e Prigogine (1998).

⁴⁰ Vale lembrar que o termo ‘entropia’ não está presente em Carnot, este termo surge com Clausius. Um ponto de grande importância em Clausius está na sua demonstração de que a entropia é, tal como a energia, uma variável de estado dos sistemas. Este ponto aparece claramente na exposição de Kondepudi e Prigogine (1998). Cabe observar também que as limitações entrópicas para a reprodução de sistemas reais não necessariamente manifestam-se por meio da disponibilidade de calor para realizar trabalho. Uma hidrologia desfavorável para

suscetíveis de conceitos operacionalizáveis, não têm recebido a devida atenção. Por exemplo, a restrição exposta por Carnot revela que embora exista uma equivalência entre todas as formas de energia, tal equivalência não é absoluta. Ou seja, a equivalência entre formas de energia obedece a restrições materiais específicas e observáveis. No experimento mental apresentado por Carnot, a restrição básica diz respeito ao fato verificável de que a taxa com que é possível substituir calor da fonte quente (proveniente de combustível) por calor da fonte fria é limitada. Como se sabe, uma fonte grande de desacordo entre economistas ecológicos e neoclássicos diz respeito à substituíbilidade do chamado ‘capital natural’⁴¹.

Na ‘teoria de produção’ de Carnot, o calor da fonte quente e o calor da fonte fria são combinados para obter o produto trabalho. Ambos os fatores de produção podem ser considerados essenciais no mesmo sentido em que Dasgupta e Heal (1979) definem recurso essencial em sua análise da produção com recursos exauríveis⁴². No modelo de Carnot, tanto o calor da fonte quente quanto o calor da fonte fria são fatores essenciais, o que obriga a distinguir qualitativamente e objetivamente estes dois tipos de ‘fatores de produção’. No modelo neoclássico assume-se que a equivalência existe, o que permite formular o problema de modo independente das quantidades absolutas de fatores específicos.

operar uma hidrelétrica ou um regime de ventos desfavorável para operar uma usina eólica são ambas manifestações entrópicas. Em ambos os casos a limitação consiste na indisponibilidade de quantidades suficientes de energia qualitativamente adequada para ser convertida em trabalho útil.

⁴¹ Veja-se, por exemplo, a ríspida discussão entre Daly (1997a, 1997b) e Solow (1997).

⁴² Definição de recurso essencial segundo Dasgupta e Heal (1979, p. 198-199): “Devemos portanto considerar um recurso exaurível como sendo *não essencial* se há um programa factível ao longo do qual consumo é mantido acima de zero; ou em outras palavras, se um nível positivo sustentável de consumo é factível. Do mesmo modo, consideramos um recurso como *essencial* se consumo factível tem necessariamente de cair a zero no longo prazo. Em resumo, destruição não pode ser evitada no longo prazo se há recursos exauríveis que são essenciais”. Ou seja, um recurso exaurível é essencial, se à medida que as quantidades utilizáveis do recurso vão a zero, as quantidades de produto do sistema também tendem a zero. Numa máquina térmica, é impossível realizar trabalho sem usar quantidades não-nulas de calor da fonte quente e calor da fonte fria. Portanto, *ambos* os fatores são essenciais no sentido de Dasgupta e Heal (1979).

O modelo carnotiano opera com restrições muito mais fortes que as do modelo neoclássico. Hoje existem máquinas térmicas que reaproveitam parte do calor rejeitado, o que permite aumentar a eficiência e indica haver certa margem de substituíbilidade entre calor de combustível e calor rejeitado. Entretanto, segundo a concepção de Carnot esta substituíbilidade é necessariamente limitada. No modelo de Carnot, reconhece-se a diferença qualitativa insuperável entre fatores de produção que são, até certo ponto, substituíveis. Esta diferença qualitativa obriga o produtor de trabalho mecânico a preocupar-se não apenas com as quantidades relativas dos fatores de produção, mas também com a quantidade absoluta do combustível disponível. O produtor racional carnotiano pensa tanto em ser mais eficiente quanto em aumentar a disponibilidade de combustível, pois sabe que sua máquina térmica, paradoxalmente, consumirá menos combustível por unidade de produto se operar com quantidades absolutas maiores de combustível. O produtor racional neoclássico pensa apenas em ser mais eficiente, pois considera que não há diferenças qualitativas objetivas entre os fatores de produção.

Na teoria de produção neoclássica não há nenhuma proibição a priori quanto à possibilidade de operar com quantidades tão pequenas quanto possível de qualquer fator de produção utilizado, desde que quantidades suficientemente elevadas de outros fatores de produção estejam disponíveis⁴³. Sendo assim, para um neoclássico construindo uma máquina térmica, quantidades suficientemente elevadas de calor da fonte fria poderiam vir a substituir uma quantidade limitada de calor da fonte quente de modo a aumentar a capacidade do sistema de realizar trabalho. Na verdade, na perspectiva neoclássica não há uma justificativa econômica estritamente objetiva para classificar os fatores de produção, pois se assume que as contribuições de todos os fatores são qualitativamente idênticas, com as diferenças sendo meramente quantitativas. Nesta perspectiva, não há a rigor uma diferença qualitativa objetiva entre o calor da fonte quente e o calor da fonte fria: qualquer eventual diferença observada na

⁴³ Uma exposição que evidencia isto claramente é a de Stiglitz (1979). Em sua exposição Stiglitz (1979) claramente assume que se quantidades suficientemente elevadas de capital fabricado estiverem disponíveis, pode-se operar com quantidades tão pequenas quanto se queira do chamado capital natural.

alocação dos fatores deve-se apenas aos julgamentos meramente subjetivos do engenheiro (suas preferências e seu conhecimento) e às quantidades relativas entre os fatores. Deste ponto de vista, não há sequer a impossibilidade de movimento perpétuo, rejeitada peremptoriamente por Carnot.

Evidentemente, teoria de produção carnotiana e teoria de produção neoclássica partem de hipóteses fundamentalmente diferentes quanto à materialidade das coisas. Em particular, vale destacar a divergência à taxa com que é possível substituir um fator de produção por outro. O experimento de Carnot mostra a incomensurabilidade entre o calor da fonte fria e o calor da fonte quente ao reconhecer a impossibilidade de substituir indefinidamente um tipo de calor por outro. De fato, é esta incomensurabilidade que nos obriga diferenciar qualitativamente os ‘fatores de produção’ calor de combustível e calor rejeitado. Portanto, Carnot rejeita a hipótese de equivalência absoluta entre os fatores de produção.

É fundamental observar a conexão entre taxa limitada de substituição das quantidades totais de calor da fonte quente por calor da fonte fria, rejeição do princípio da equivalência absoluta e inexistência de crescimento perpétuo. Na realidade, caso a taxa de substituição fosse ilimitada, seria possível construir um motor perpétuo, pois o calor utilizado não precisaria ser extraído de um combustível. Além disso, a inexistência desta limitação tornaria a distinção entre calor de combustível e calor rejeitado materialmente irrelevante: uma vez que seja possível obter trabalho na quantidade desejada usando quantidades tão pequenas quanto se queira das duas fontes de calor, a disponibilidade de calor de combustível per se é irrelevante para explicar uma trajetória de longo prazo do sistema. A preferência e o conhecimento de quem controla a máquina seriam os únicos fatores causais relevantes da trajetória. Neste caso, a produção de trabalho mecânico poderia ser explicável em termos de uma teoria subjetivista, tal como faz a teoria de produção neoclássica.

A relevância histórico-econômica do experimento mental de Carnot é bastante clara para qualquer um que veja o sistema econômico como fundamentalmente um sistema pelo qual a apropriação social de propriedades materiais específicas permite satisfazer necessidades humanas. Além disso, há ampla evidência empírica de que o consumo per capita de energia tem aumentado exponencialmente desde a Revolução Industrial. Entretanto, parece ainda não

ser suficientemente clara a relevância teórico-econômica do experimento mental de Carnot, mesmo entre economistas ecológicos. Esta relevância não se deve às conclusões lógico-econômicas diretamente extraíveis de Carnot, já que o domínio fenomenológico em de que trata seu experimento mental é a Física, não a Economia. Em todo caso, o experimento mental de Carnot sugere fortemente que a possibilidade de usar fatos observáveis para refutar a teoria neoclássica existe. Por que então isto sequer tem sido tentado pelos economistas ecológicos?

Já foi dito que o princípio da equivalência absoluta tem tido influência mesmo sobre os críticos da economia neoclássica. Esta influência não se resume à utilização pelos economistas ecológicos do conceito de ‘capital natural’, vai mais adiante. Envolve a inexistência entre os economistas ecológicos de uma teoria de produção na qual o processo produtivo seja visto como encadeamento socialmente estruturado de qualidades concretas usáveis na produção e consumo. Para entender melhor o que temos em mente é preciso comparar a concepção atual que temos de ‘sistema econômico’ com alguma outra concepção compreensível no qual este encadeamento seja visto como questão central.

3.5 O Conceito de Valor de Uso

Num texto mais importante para a economia ecológica do que parece à primeira vista, Meikle (2001) observa que há hoje uma sensação mais ou menos difusa de que os economistas vivem num mundo diferente dos demais mortais. Seu questionamento surge a partir da sua observação crítica da forma como os economistas unem quantidade e qualidade em suas teorias. Para ele, a abordagem econômica atual é fruto do fato de que os neoclássicos foram bem sucedidos em retirar o conceito de ‘valor de uso’ da análise econômica. Nos clássicos, este termo é usado para referir-se às qualidades concretas usadas no processo de produção e consumo, em oposição ao termo ‘valor de troca’, que se refere à representação do valor do recurso no âmbito das trocas de mercado. Meikle (2001) mostra a genealogia do apagamento da noção de valor de uso das descrições econômicas e discute as implicações disto⁴⁴.

⁴⁴ Na realidade, embora houvesse a noção de valor de uso nos clássicos é em Marx que este conceito é usado para orientar a análise do capitalismo. Sobre este ponto, ver Groll (1980).

A concepção que temos atualmente de ‘econômico’ é bastante recente e peculiar. Uma forma de apreender sua especificidade é contratando-a com uma concepção alternativa. Neste texto isto é feito a partir do contraste com a concepção de ‘econômico’ de Aristóteles tal como apresentada por Meikle (1995). O mais importante em Meikle (1995) é a percepção de como a introdução sistemática do conceito de valor de uso gera problemas totalmente diferentes daqueles formulados pela economia neoclássica.

Aristóteles divide o que chamaríamos de ‘valor econômico’ em duas partes, valor de uso e valor de troca. A distinção feita por Aristóteles é fundadora do pensamento econômico. Esta distinção baseia-se no fato de que cada “artigo de propriedade” pode ser visto tanto em relação às qualidades concretas que possui (“valor de uso”) como também em relação ao seu “valor de troca” no mercado. Em Aristóteles esta distinção é feita de modo muito mais rigoroso do que os economistas fazem hoje. Na realidade, da perspectiva da tradição filosófica aristotélica a economia moderna elide a distinção entre valor de uso e valor de troca.

Artefatos são elaborados para satisfazer propósitos específicos. Um artefato é projetado e feito levando-se em conta apenas aquelas qualidades que o tornam útil na realização do propósito específico, e dizemos que os artefatos têm valor no uso, ou valor de uso. Entretanto, além de serem úteis quando têm suas qualidades concretas diretamente exploradas, os objetos podem também ser trocados. Quando a troca passa a ocorrer de modo sistemático eles passam a adquirir um segundo tipo de valor, valor na troca, ou valor de troca. É importante distinguir a troca sistemática, isto é, a troca dentro de um sistema de troca ou comércio, da troca ocasional ou escambo. Apenas na troca sistemática um tipo de coisa é trocada por qualquer outra coisa em proporções definidas e não-aleatórias dadas por uma ‘taxa mutável’⁴⁵. Expressa em dinheiro, esta ‘taxa mutável’ é o preço (Meikle 1995, p. 9).

Valor de uso é simplesmente uma questão das propriedades naturais do artefato ou produto. Valor de troca não se apresenta de modo tão simples e direto. Num sistema de trocas sistemáticas pode-se ter 1 mina= 5 casas = tantos sapatos= tanto de alimento. Aristóteles

⁴⁵ No texto original em inglês de Meickle (1995), o termo usado é ‘going rate’.

preocupou-se em entender como é possível esta identidade. Conforme observa Meickle (1995, p. 9):

“Os objetos que são trocados desta forma são de diferentes tipos, e sendo de diferentes tipos são por natureza incomensuráveis, embora possam ser comensuráveis de alguma outra forma que não tem a ver simplesmente com suas naturezas constitutivas”

Aristóteles tomou como seu principal problema do capítulo 5.5 de *Ética a Nicômaco* determinar esta outra propriedade que torna comensurável o que antes das trocas sistemáticas era tomado como incomensurável.

A transformação engendrada pela emergência de um sistema de trocas se apresenta como problema para Aristóteles por conta da metafísica que adota em suas concepções econômicas. O problema da comensurabilidade de bens na troca apresenta-se agudamente a Aristóteles por conta da sua teoria de substâncias e categorias (Meikle 1995, p. 13). Para Aristóteles há dois tipos de existência possível. Há entidades individuais tais como um humano, uma casa, um carneiro, um pão, uma cama, que são consideradas substâncias. E há também características que não são substâncias: qualidades, quantidades, relações, tais como norte, pesado, grande. Estas últimas podem existir apenas como atributos ou modificações de substâncias.

Por enfatizar o uso dos poderes causais associados às coisas para diferenciar e identificar os objetos, a posição metafísica de Aristóteles torna muito difícil elidir a diferença entre valor de uso e valor de troca (valor abstrato). Se a adoção do dinheiro não tem por si só o poder de tornar valores de uso distintos comparáveis, o que torna isto possível? Uma medida não cria a propriedade nas coisas que ela mede. Medidas de tamanho não criam extensão espacial (Meikle 1995, p. 23). Em outras palavras, a mera adoção do dinheiro como medida do valor das mercadorias não explica como este valor se constitui e tampouco como diferentes valores de uso tornam-se comensuráveis.

3.6 Consequências Políticas do Advento das Trocas Sistemáticas

Embora não tenha conseguido explicar completamente a natureza do valor de troca na *Ética a Nicômaco*, a distinção entre valor de uso e valor de troca é suficiente para que Aristóteles possa estabelecer as consequências políticas decorrentes do desenvolvimento das formas de

uso do dinheiro. Isto porque Aristóteles conseguiu pelo menos estabelecer que o dinheiro é uma quantidade, estando portanto numa categoria lógica diferente do valor de uso, que é uma qualidade. “A distinção de categoria [lógica] é tudo que é necessário para caminhar pela discussão da troca, pois é tudo que é necessário para fundamentar a diferença entre os dois fins que são buscados nas diferentes formas de troca” (Meikle 1995, p. 48). Num deles a riqueza é buscada como um fim em si mesmo, no outro, como instrumento para satisfazer as necessidades de cidadãos em comunidade.

Na *Política* Aristóteles olha para a troca de uma forma diferente daquela na qual olhou em na *Ética a Nicômaco*. Ocupa-se em estudar as conseqüências do sistema de trocas sobre a dinâmica social e política. O tratamento é em parte uma análise da evolução das relações de troca ao longo do tempo por meio de formas sucessivas, que ele vê como aumentando em sofisticação, e em parte uma investigação da natureza do valor de troca, que se soma aquela de *Ética a Nicômaco* por considerar seus efeitos no pensamento e comportamento humanos (Meikle 1995, p. 43)⁴⁶. Em seu tratamento Aristóteles enfatiza o papel mutante do dinheiro durante a evolução do ordenamento social, buscando mostrar seus efeitos na *ethikê* e na *politikê* da *pólis*, assim como na habilidade de seus cidadãos de verem claramente que finalidade é adequada para a vida na *pólis* (Meikle 1995, p. 44)⁴⁷.

⁴⁶ O desenvolvimento do sistema de trocas abre possibilidades de conduta até então inexistentes. A preocupação na *Política* é discutir as implicações éticas disto. A idéia de que a evolução do sistema de trocas abre novas possibilidades levanta também questões para a análise positiva da realidade material.

⁴⁷ Pode-se usar a visão aristotélica sobre o dinheiro para esquematizar a evolução do sistema de trocas marcando três momentos cruciais nesta evolução, cada um destes momentos desencadeando novas lógicas sociais: (i) antes do advento do dinheiro, as trocas somente podem ser feitas diretamente; (ii) surge o dinheiro e com ele a possibilidade de trocas indiretas. Passa a ser possível uma crematística não natural, mas a extensão dela será limitada, pois os mercados não são autônomos em relação aos demais espaços da vida social; (iii) os mercados tornam-se autônomos, de modo que buscar a riqueza na forma pecuniária como um fim em si mesmo é buscar a riqueza real. A política e os comportamentos mudam radicalmente. A política é socialmente menos valorizada que a economia. Passa a existir o capital. O comportamento aquisitivo perpassa todas as esferas da vida social.

Aristóteles pensa a produção como necessariamente ligada ao oikos e à família. Para ele não há produção em sentido abstrato. Cabe ao *oikonomikê* encontrar prontamente disponíveis ou prover as coisas necessárias à vida ou úteis para a vida na comunidade de família ou estado. Ele entende que a aquisição destas coisas necessárias é em si mesmo uma arte (*chrematiskê*) diferente da administração da casa (*oikonomikê*), pois enquanto a primeira provê a riqueza, a última a utiliza. Cabe sempre à *oikonomikê* definir como a riqueza da comunidade deve ser utilizada; na sua forma natural a *chrematiskê* está sempre subordinada à *oikonomikê*. Se a *chrematiskê* deixa de estar subordinada à *oikonomikê*, a aquisição de riqueza passa ser um fim em si mesmo e surge uma forma não natural de *chrematiskê*. As formas natural e não natural de *chrematiskê* são facilmente confundidas, pois os instrumentos de ambas as artes são os mesmos. O que as diferencia é a finalidade que as orienta. De acordo com a teoria da ação de Aristóteles, ações são definidas por suas metas ou finalidades, e se duas atividades têm por objetivo coisas diferentes elas são atividades diferentes (Meikle 1995, p. 47).

Além de permitir a Aristóteles fundamentar a distinção entre *oikonomikê*, *chrematiskê* natural e *chrematiskê* não natural, a distinção entre valor de uso e valor de troca também permite a Aristóteles construir outra diferenciação importante. Ele distingue entre riqueza na forma de valor de uso e riqueza na forma monetária. Para Aristóteles, a riqueza verdadeira consiste no estoque disponível de coisas úteis ou valores de uso. Esta riqueza é vista como algo diferente da forma de propriedade através da qual as coisas tornam-se disponíveis para uso⁴⁸. Aristóteles rejeita a crematística não natural precisamente porque ela leva à busca da riqueza como quantidade de valor de troca na forma de dinheiro, ‘riqueza do tipo espúrio’ (Meikle 1995, p. 48).

⁴⁸ Um autor contemporâneo em que a distinção entre riqueza real e monetária reaparece, assumindo inclusive o papel de princípio heurístico, é Daly. Não é clara qual é efetivamente a influência de Aristóteles nas concepções de Daly, mas ela existe. Para uma exposição de Daly das idéias de Aristóteles, ver capítulo 7 de Daly e Cobb (1989). Uma limitação importante da abordagem da Daly está no fato de ele não usar o conceito de valor de uso de forma sistêmica. Isso o leva a não distinguir entre as propriedades materiais que são apreciadas e a forma de propriedade por meio da qual elas são apreciadas, o que por sua vez o leva a aderir e formular o conceito de ‘capital natural’, trazendo inconsistências à sua análise.

Portanto, ao adotar a distinção entre valor de uso e valor de troca Aristóteles é levado a uma metafísica do econômico completamente diferente da que prevalece hoje, que influencia decisivamente suas crenças positivas e normativas. Nos economistas clássicos a distinção entre valor de uso e valor de troca está ainda presente de uma forma ou de outra. Entretanto, a partir de meados do século dezenove, com o advento da economia neoclássica, esta distinção é abandonada, “tornou-se comum nas definições de riqueza integrar, ou unir de forma indiferenciada, valor de uso e valor de troca” (Meikle 1995, p. 48). Aristóteles introduz a distinção já no início de sua investigação, enfatizando o quão diferentes são a crematística natural e não-natural. A primeira tem seus fins limitados pelo objetivo de propiciar os meios para uma boa vida. A crematística natural é limitada porque uma boa vida requer sempre uma quantidade suficiente de coisas, nunca uma quantidade ilimitada. A crematística não-natural por sua vez é ilimitada, “como é uma quantidade, o valor de troca (e sua forma corpórea em dinheiro) não tem um limite inerente” (Meikle 1995, p. 50)⁴⁹. Em suma, a distinção entre valor de uso e valor de troca leva Aristóteles a ver o sistema de trocas de maneira completamente diferente da forma pela qual este sistema é hoje representado pelos economistas ortodoxos.

Da circunstância de que alguns têm muito pouco de determinados valores de uso enquanto outros têm demais surge a troca, vista por Aristóteles como um movimento perfeitamente natural (Meikle 1995, p. 51). Tendo reconhecido este movimento natural, Aristóteles introduz a primeira forma de troca, que é primitiva tanto historicamente quanto logicamente, o escambo. O escambo é a troca direta não-monetária de uma mercadoria por outra, que será representada por C-C', para indicar a troca de uma mercadoria por outra não mediada por dinheiro. A troca mediada por dinheiro é representada por C-M-C', se vende-se para comprar;

⁴⁹ Seria mais adequado dizer que o limite inerente não existe porque o valor de troca é uma mera quantidade, e não apenas por ser uma quantidade. É a ausência de uma dimensão qualitativa própria que torna o valor de troca uma quantidade ilimitada.

e *kapalikê*, em que se compra para vender, é representada por $M-C-M'$ ⁵⁰ (Meikle 1995, p. 52). A quarta forma de desenvolvimento da troca possível é $M-M'$, em que se obtém dinheiro a partir do próprio dinheiro. Para Aristóteles, esta última forma de troca é a mais odiável e não-natural que pode existir (Meikle 1995, p. 63).

Em nota, Meikle (1995) observa que a notação dos circuitos de troca acima deve-se a Marx. A notação de Marx adapta-se tão bem à análise de Aristóteles porque a análise de Marx segue de perto a de Aristóteles (Meikle 1995, nota 7, p. 52). Há amplas indicações de que Marx tenha derivado sua própria análise econômica da realizada por Aristóteles⁵¹. Na visão de Marx, empreendimentos capitalistas, e a economia capitalista como um todo, são essencialmente organizações para a busca de $M-C-M'$, e não de $C-M-C'$. Keynes pensava o mesmo, diferentemente da maioria dos economistas (Meikle 1995, nota 7, p. 52)⁵². A notação proposta

⁵⁰ $C-M-C'$, quando se vende para comprar é a *crematística* natural; $M-C-M'$, quando se compra para vender e deste modo obter mais dinheiro é a *crematística* não-natural. Os circuitos propostos por Aristóteles sugerem que a evolução social é marcada pelo seguinte processo: $C-C' \Rightarrow C-M-C' \Rightarrow M-C-M'$.

⁵¹ Como evidência, Meikle (1995) menciona trechos da *Contribuição à Crítica da Economia Política*, de *O Capital* e de *Teorias de Mais-Valia*. Meikle (1995, nota 7, p. 52) enfatiza ainda que: “Onde Marx diverge mais profundamente e originalmente da tradição do pensamento econômico é na sua visão de que valor de uso e valor de troca são coisas bastante diferentes, e não aproximadamente a mesma coisa, como são considerados ser no pensamento econômico, e que tomar um deles como finalidade da ação leva a consequências bastante diferentes do ponto de vista do outro, de modo que devem ser entendidos como fins alternativos em vez de finalidades que possam de modo bem sucedido serem buscadas juntas”.

⁵² Para a posição de Keynes, ver John Maynard Keynes, *The Collected Works of John Maynard Keynes*, xxix (London, 1979), 81, conforme citado na nota 12 da p. 104. Pela citação na p. 104, Keynes parece entender que a busca do circuito $M-C-M'$ produz como efeito colateral os valores de uso que efetivamente satisfazem as necessidades humanas, e que os efeitos negativos de buscar-se $M-C-M'$ em vez de $C-M-C'$ podem ser controlados. Também considera que pode em algum momento do futuro ser possível e desejável parar de organizar a produção em torno de $M-C-M'$, que ele entende levar a formas patológicas de subjetividade, e passar a organizá-la em torno de $C-M-C'$. Embora divergindo quando aos prognósticos evolutivos do capitalismo, tanto Keynes quanto Marx entenderam que há implicações profundas, tanto no âmbito da subjetividade quanto da realidade objetiva, em se obter os valores de uso como efeito colateral da busca por valor de troca (dinheiro).

por Marx “está baseada numa observância estrita da distinção categorial entre valor de uso e valor de troca, respectivamente como qualidade e quantidade” (Meikle 1995, nota 7, p. 52).

Aristóteles vê a dinâmica social das trocas dentro de um processo evolutivo. “Ele diz que na casa, a primeira forma de associação onde todas as coisas são mantidas em comum, não há propósito para a troca” (Meikle 1995, p. 52). “Este propósito surgiu com o aumento do escopo da associação da vila, em que os membros, ele diz, estavam mais separados e tinham coisas para trocar; ‘depois, quando a família dividiu-se em partes, as partes compartilhavam em muitas coisas, e diferentes partes em diferentes coisas, que elas tinham que dar em troca pelas coisas que queriam’” (Meikle 1995, p. 52). De início, as trocas são feitas de modo direto. A partir de determinado momento, passam a ser mediadas por dinheiro, o que abre novas possibilidades.

Aristóteles é o primeiro a afirmar claramente o papel do dinheiro como reserva de valor⁵³: “ ‘o dinheiro nos serve como garantia de troca no futuro: supondo que não tenhamos nenhuma necessidade no momento, ele assegura que a troca será possível quando a necessidade surgir, pois satisfaz a exigência de algo que podemos fornecer em pagamento de modo a obter a coisa de que precisamos’ (NE 5, 1133b13-13)” (Meikle 1995, p. 53). No escambo (C-C’), a compra e a venda estão fundidas num único ato. Isto pode tornar difícil usar os valores de uso de que se dispõe para obter os valores de uso de que se necessita. Se você tem repolhos e vai ao mercado trocá-los por trigo, mas não encontra nenhum trigo, pode ocorrer de que seu repolho estrague antes encontre algum trigo para ser trocado, e o valor de troca do seu repolho morrerá com ele. Se for possível separar a realização do valor de troca do repolho da aquisição do trigo, então será possível guardar seu valor de troca com segurança até encontrar o trigo para ser trocado. Isto torna-se possível se houver uma mercadoria durável (digamos, prata) que possa ser usada como equivalente geral para todas as mercadorias (Meikle 1995, p. 53). O escambo entre repolho e trigo é uma transação composta por dois atos simultâneos: uma venda de repolhos e uma compra de trigo. O dinheiro permite dividir o ato singular da

⁵³ Este ponto é observado por Eric Roll (London, [1938]1961), *A History of Economic Thought*, p. 37.

transação em dois atos, C-M e M-C', o que é muito mais flexível, pois permite separar os atos de venda de repolho e compra de trigo no tempo e no espaço (Meikle 1995, p. 53). Isto é possível porque o dinheiro separa o valor de troca do repolho do repolho propriamente dito, permitindo que o valor de troca adquira uma forma de existência independente. Em suma, o dinheiro permite que o valor de troca encontre uma forma de expressão independentemente do corpo físico do repolho (Meikle 1995, p. 54).

Para Aristóteles, o uso do dinheiro que tem por objetivo a mera obtenção dos valores de uso necessários para a vida na comunidade, o circuito C-M-C', é tanto aceitável quanto necessário⁵⁴; já o uso do dinheiro que tem por objetivo ganhar mais dinheiro, o circuito M-C-M', é imoral e inaceitável. Para ele, “ ‘a vida do ganhar dinheiro é uma empreendida sob compulsão’ ” (Meikle 1995, p. 60). Para além deste julgamento de valor, é importante ressaltar que Aristóteles não vê valor de uso e valor de troca como necessariamente conectados na realidade empírica, posição bastante diferente da sustentada pela economia moderna (Meikle 1995, pp. 59-60):

“A relação, ou falta de relação, que Aristóteles estabelece entre valor de uso e valor de troca, é fundamentalmente diferente da relação sustentada entre elas na economia moderna, em que valor de troca e valor de uso são vistos como necessariamente conectados. Na economia, o valor de troca é tratado seja como um meio para o valor de uso (o melhor ou o único meio), ou como um fim conjunto com o valor de uso, de modo que buscar um é também buscar o outro. Entretanto, de acordo com Aristóteles eles são fins alternativos, e em princípio está aberto a nós escolher entre eles”

Numa visão aristotélica, confundir valor de uso e valor de troca leva a confundir crematística natural e crematística não-natural, com graves consequências para a vida na *pólis*.

⁵⁴ A introdução do dinheiro é considerada necessária porque (Meikle 1995, p. 57): “Um sentido de ‘necessário’ é ‘qualquer coisa sem a qual não é possível para o bem existir ou vir a existir, ou para o mal ser descartado ou nos livrarmos dele’ (*Met. Δ*, 1015^a 20 ff.); uma coisa é necessária se sem ela algum bem não virá a existir ou algum mal não será evitado. Se, sem a troca, alguém não terá o suficiente, então a troca é necessária”.

Esta descrição do pensamento econômico de Aristóteles é suficiente para mostrar que a nossa concepção do que seja ‘econômico’ não é de modo algum dada, mas fruto de um longo desenvolvimento histórico. É bastante claro que a concepção aristotélica não é conciliável com o princípio da equivalência absoluta, nem em termos normativos nem em termos positivos. Na verdade, há uma forte tendência no pensamento econômico contemporâneo a isolar os autores que tentam pensar, de uma forma ou de outra, uma economia dos valores de uso⁵⁵.

Uma vez que se tenha em mente que uma teoria econômica centrada nos valores de uso é ao menos concebível, passa a ser possível tornar mais claro o significado e as implicações materiais da teoria de produção neoclássica. No capítulo seguinte usamos o conceito de valor de uso e a teoria neoclássica para mostrar que as expectativas em torno da sustentabilidade fraca são inconsistentes com os fatos observáveis disponíveis desde a Revolução Industrial envolvendo utilização de recursos naturais e crescimento econômico.

⁵⁵ A expressão ‘economia dos valores de uso’ não implica em assumir nenhuma posição *a priori* quanto ao papel dos mercados na dinâmica da produção. Vale observar que o dinheiro pode ser visto como um objeto cujo valor de uso específico é funcionar como equivalente convencionalmente instituído ou como reserva de valor. Ou seja, uma economia dos valores de uso pode, teoricamente, conciliar a existência de uma economia monetária com a incorporação de propriedades ou relações tipicamente consideradas fora do escopo da Economia atualmente. Evidentemente, a consistência ou vantagem desta estratégia tem de ser mostrada empiricamente.

4 VALOR DE USO VERSUS TEORIA DE PRODUÇÃO NEOCLÁSSICA

Uma característica marcante das teorias científicas é a possibilidade de usar a experiência para sistematicamente modificá-las⁵⁶. Neste processo, fatos observáveis são usados para modificar concepções teóricas aceitas, e novas concepções teóricas são utilizadas para encontrar fatos que justifiquem modificar concepções aceitas. A discussão precedente contrastando análise baseada no princípio da equivalência absoluta e análise baseada no conceito de valor de uso teve como objetivo sensibilizar para a enorme influência que as concepções econômicas hegemônicas têm tido sobre a apreciação da realidade factual referente à dependência econômica em relação à disponibilidade de recursos naturais.

Um fato objetivo só pode ser usado para questionar uma teoria se ele for significativo do ponto de vista da própria teoria. Uma forma de descobrir este tipo de fato é pela construção de uma situação-limite que permita testar a teoria. Mas por que o teste da teoria hegemônica numa situação-limite precisou ser precedida por uma teorização? Quando se pensa em submeter uma teoria a um teste empírico severo, pensa-se em encontrar fatos que possam potencialmente refutar a teoria. Porém, não existem fatos dados. É sabido que fatos observáveis adquirem significado dentro do arcabouço de alguma teoria. Observar um fato é interpretar este fato. Sendo assim, a única maneira de usar fatos observáveis para refutar uma concepção teórica aceita é possuindo uma teoria alternativa. Sem uma teoria alternativa sobre como os fatos ocorrem ou ocorreram, fatos que refutam a teoria aceita permanecem inacessíveis⁵⁷. Isto por sua vez coloca outro problema.

⁵⁶ Em questões políticas ou morais, o problema é inverso: trata-se de modificar a experiência para que ela corresponda ou se aproxime de alguma idealização. Na prática, mesmo entre autores que se consideram materialistas, é isto que é efetivamente levado a cabo pela ação no mundo. Economia é um campo particularmente complexo, por envolver tanto a racionalidade científica quanto a racionalidade política, ambas sendo igualmente importantes.

⁵⁷ Feyerabend (1965, p. 177) argumenta que na ausência de uma teoria alternativa fatos que refutam a teoria aceita pela comunidade permanecem escondidos: “Agora se é verdade, como foi argumentado na última seção, que muitos fatos tornam-se disponíveis apenas com a ajuda de alternativas, então a recusa a considerá-las

Ora, como na teoria econômica contemporânea não se distingue entre a esfera das qualidades concretas usadas na produção e consumo e a esfera das quantidades monetárias associadas aos valores de uso transacionados pelo mercado, não há sequer como representar de modo consistente uma eventual contradição estrutural entre uma economia orientada para o crescimento econômico perpétuo e suas bases materiais biofísicas, nem mesmo como hipótese a ser investigada⁵⁸. Ou seja, sem introduzir o conceito de valor de uso, a situação-limite descrita à frente não teria impacto, pois fatos observáveis que estão em franca contradição com as previsões da teoria neoclássica continuariam despidos de significado.

Na Visão⁵⁹ adotada neste trabalho, nunca se perde de vista os valores de uso. Distingue-se entre a representação monetária utilizada, chamada de valor abstrato, e as qualidades concretas utilizadas, os valores de uso. Entende-se que numa economia de mercado os objetos transacionados pelo mercado têm sempre uma dimensão dupla, em que valor de uso e valor abstrato estão indissolivelmente ligados⁶⁰. Considera-se o princípio da equivalência absoluta

resultará na eliminação de fatos potencialmente refutadores. Mais especificamente, eliminará aqueles fatos cuja descoberta mostraria a inadequação completa e irreparável da teoria". Os itálicos são do original.

⁵⁸ O reconhecimento da dificuldade de usar as categorias econômicas contemporâneas para dar sentido às qualidades concretas usadas no processo produtivo é a contribuição central de Meikle (2001). Para Meikle (2001), esta dificuldade não pode ser superada enquanto o conceito de valor de uso não recuperar seu lugar no universo categorial da ciência econômica.

⁵⁹ Visão no mesmo sentido delineado por Schumpeter (1949), conforme já exposto na nota 3 na p. 5.

⁶⁰ A unidade entre valor de uso e valor abstrato foi bastante enfatizada por Marx já nos primeiros trechos de sua principal obra (*O Capital*). Por exemplo (Marx, 1988, p. 46): "Os valores de uso constituem o conteúdo material da riqueza, qualquer que seja a forma social desta. Na forma de sociedade a ser por nós examinada, eles constituem ao mesmo tempo os portadores materiais do valor de troca". O fato dos economistas ecológicos não observarem o papel desta unidade entre valor de uso e valor abstrato em Marx leva muitos deles a presumir precipitadamente que os erros de prognóstico ou de análise de Marx são prova cabal de que não há nada a se aprender com a utilização do seu aparato conceitual. Em particular, a visão clara de Marx quanto à importância de diferenciar entre as formas históricas institucionalizadas de apropriação de qualidades concretas socialmente valorizadas (mais especificamente, o capital) e as qualidades concretas propriamente ditas (valores de uso) tem

não como um axioma, mas como uma hipótese cujas condições de existência e provável validade têm de ser investigadas. Sendo assim, a Visão da produção que orienta este trabalho é fundamentalmente diferente da neoclássica.

No capítulo seguinte, esta visão de que existem diferenças qualitativas objetivas entre os fatores de produção é utilizada para reapresentar a análise neoclássica de substituição de recursos, de modo a evidenciar as suposições tacitamente adotadas e gerar previsões refutáveis. Após este exercício de teste da perspectiva neoclássica é feita uma reinterpretação da trajetória de utilização dos recursos naturais desencadeada pela Revolução Industrial.

4.1 Indicadores de Elasticidade

Nos cursos introdutórios de Economia um dos primeiros conceitos apresentados é o de elasticidade da demanda. A construção deste medidor é feita a partir da suposição da existência de uma correspondência bijetora entre preço (p) e quantidade produzida (q). Esta correspondência pode ser representada no plano cartesiano:

sido estranhamente negligenciada pelos economistas ecológicos. É altamente improvável que algum discurso consistente capaz de descrever os mecanismos causais envolvendo a apropriação social da natureza e suas consequências possa ser construído sem usar conscientemente esta distinção.

Figura 4-1: Curva de Demanda

O diagrama põe cada um dos preços possíveis nas ordenadas e cada uma das quantidades possíveis nas abscissas. A correspondência entre o preço p da mercadoria e a quantidade demandada q gera a chamada curva de demanda, da qual a Figura 4-1 é um exemplo. A curva 4-1 é uma representação sintética de algumas assertivas, tais como: (i) a cada preço p corresponde uma única quantidade demandada q ; (ii) a cada quantidade demandada q corresponde um único preço p ; (iii) preço e demanda variam de modo inverso.

Dado que a cada preço p corresponde uma única quantidade q e cada quantidade q corresponde um único preço p , o conhecimento da curva de demanda permite dizer que, dado um deles (p ou q), poderemos necessariamente determinar o outro. Esta correspondência biunívoca garante que as variáveis p e q estão vinculadas pelas funções inversas Φ e Ψ , as quais são supostas contínuas e diferenciáveis:

$$p = \phi(q) = \psi^{-1}(p)$$

(4-1)

Por exemplo, para o caso particular em que a causa é preço e o efeito é a demanda, a elasticidade do arco unindo os pontos A e B na Figura 4-2 pode ser calculada. Para uma mudança do preço p_A para o preço p_B a elasticidade do arco é dada por:

$$e_{AB} = \frac{-\left(\frac{\Delta q}{q}\right)}{\left(\frac{\Delta p}{p}\right)} = \frac{-\frac{(q_B - q_A)}{q_A}}{\frac{(p_B - p_A)}{p_A}}$$

$$e_{AB} = - \frac{(q_B - q_A)}{(p_B - p_A)} \cdot \frac{p_A}{q_A} \quad (4-4)$$

Se admite-se que p e q podem variar continuamente, as variações relativas podem ser tão pequenas quanto se queira. Neste caso é possível obter a elasticidade num ponto da curva, o que nos leva à tangente esboçada na Figura 4-2. A elasticidade assim obtida é a elasticidade da demanda, que faz referência sempre a um ponto da curva de demanda:

$$e = \lim_{\Delta p \rightarrow 0} \frac{-\Delta q/q}{\Delta p/p} \Rightarrow e = -\frac{dq}{dp} \cdot \frac{p}{q} \quad (4-5)$$

Aumentos de preço provocam diminuição na demanda, enquanto diminuições de preço acarretam aumento na demanda. Daí o sinal negativo das equações 4-4 e 4-5. De modo análogo podem ser obtidas elasticidades para qualquer sistema mono-causal quantitativo em que a função que vincula causa e efeito seja contínua. A expressão (4-5) não é mais que a aplicação de (4-3) para o caso em que a quantidade-causa é o preço e a quantidade-efeito é o número de mercadorias vendidas, com preço e demanda podendo variar continuamente⁶¹.

⁶¹ Evidentemente a quantidade produzida não varia continuamente, mas em unidades discretas (números inteiros). Assume-se sempre que para uma grande quantidade de mercadorias tomar tais variações descontínuas

A elasticidade da demanda é sempre utilizada tomando como referência variações relativas à base 100. Por exemplo, se $e = 1$ sabemos que um aumento no preço de 10% corresponde a uma diminuição nas vendas de 10%; se $e = 0,5$ um queda no preço de 3% corresponde a um aumento nas vendas de 6%. Note-se ainda que a existência da função Ψ garante que a elasticidade da demanda tem forma analítica, não sendo uma mera quantidade numérica, o que reforça a interpretação causal aqui apresentada.

O desenvolvimento acima foi feito para uma conhecida curva de demanda, a qual muda com o tempo. O que torna o conceito de elasticidade da demanda aplicável a problemas reais é que tais mudanças de modo geral não são repentinas, mas suficientemente graduais para que se possa assumir que a curva de demanda não muda durante certa janela de tempo.

Enfim, a elasticidade da demanda é um operador que, assumindo uma correspondência bijetora entre as quantidades preço e demanda, permite relacionar causalmente de modo inequívoco estas variáveis.

4.2 Elasticidade de Substituição –Apresentação Algébrica

O conhecimento da curva de demanda permite ao empresário resolver o problema de quanto produzir utilizando o indicador elasticidade da demanda. Mas isto ainda não é suficiente para que garanta a acumulação de seu capital. É fundamental que a receita obtida seja viabilizada ao menor custo possível, para qualquer combinação de preços observável. O conceito de função de produção pode ser utilizado para tornar possível que o empresário possa adotar a melhor combinação de fatores num ambiente em que os preços destes fatores mudam constantemente.

O processo produtivo pode ser representado como um conjunto de atividades em que quantidades de fatores específicos obtidos no mercado são combinadas para obter uma nova

como variações contínuas não implica em erros significativos. Esta representação em termos de funções contínuas é adotada por razões de tratabilidade matemática.

mercadoria, a qual a ser comercializada garante certa margem de lucro⁶². Se o empresário apenas combina quantidades determinadas de fatores específicos de modo a obter quantidades determinadas de uma mercadoria específica, seu conhecimento pode ser representado por uma função matemática, denominada função de produção. Para o caso em que apenas dois fatores de produção A e B são utilizados para obter o bem Q:

$$q = f(a, b)$$

(4-6)

Para minimizar o custo de produção devemos utilizar o maior número possível do fator menos escasso e o menor número possível do fator mais escasso (em tese, os preços indicam a escassez relativa dos recursos). Sendo A o fator mais escasso e B o fator menos escasso, a produção de q unidades deve ser feita substituindo-se tanto quanto possível unidades de A por unidades de B em cada unidade do produto Q. Ou seja, justifica-se substituir intensivamente A por B⁶³. Se nas ordenadas representarmos as quantidades de A (a) e nas abscissas as

⁶² Note-se que a suposição de que o empresário adquire seus insumos no mercado e depois os revende no mercado implica em assumir que o sistema econômico é isolado, ou seja, *é um sistema que não estabelece relações com outros sistemas*. Esta suposição nada tem de questionável quando se trata de analisar o sistema econômico numa perspectiva setorial, que é na prática a perspectiva geralmente adotada pelo empresário. No entanto, cabe ressaltar que para a análise econômica dos recursos naturais isto traz sérios problemas. Embora a exploração de recursos naturais dependa da utilização de fatores adquiridos no mercado, certamente não pode ser entendida como mera aquisição de recursos fornecidos pelo mercado, pois parte dos fatores de entrada não são recursos dotados de preço. O próprio processo pelo qual recursos não dotados de preço passam a possuir um preço precisaria ser explicado.

⁶³ Substituição intensiva refere-se à substituição realizada na obtenção de cada unidade de produto obtida. Pode-se também falar em substituição extensiva, quando há diminuição no *consumo total* de um fator devido à sua substituição por outro fator na totalidade das atividades de produção. Mais adiante retornaremos à distinção entre substituição intensiva e substituição extensiva, que é ignorada pela economia ortodoxa. Cabe adiantar que a existência de substituição intensiva não implica necessariamente em substituição extensiva.

quantidades de B (b), a correspondência entre a e b que permite obter q unidades de produto gera uma curva no plano, denominada curva de indiferença.

Como de modo geral a substituição de A por B torna-se cada vez mais difícil à medida que se faz uso dela, a representação geométrica da produção de q unidades de Q pode ser feita do seguinte modo:

Figura 4-3: Curva de Indiferença

Supõe-se nesta representação que a curva de substituição de A por B é contínua. Note-se a semelhança formal entre as curvas 4-1 e 4-3. Tanto a curva de demanda quanto a curva de substituição representam curvas de nível, e em ambas torna-se mais difícil caminhar na curva à medida que se caminha nela: em particular, é mais difícil substituir A por B à medida que b aumenta e a diminui. Para uma quantidade q constante, o diferencial da equação (4-6) é nulo, logo:

$$f_a \cdot da + f_b \cdot db = 0 \Rightarrow \frac{-db}{da} = \frac{f_a}{f_b}$$

(4-7)

A quantidade $-db/da$ é a taxa marginal de substituição do fator A pelo fator B, para uma quantidade constante do produto Q. Representa a quantidade adicional do fator B, a partir de dada combinação de fatores, necessária para manter o produto inalterado quando é feita uma

redução infinitesimal na utilização do fator A. Esta quantidade pode ser usada como uma representação da quantidade aproximada do aumento em b necessário para manter o produto quando ocorre uma pequena redução em a. Como no equilíbrio o quociente entre as produtividades marginais é igual ao quociente entre os preços relativos⁶⁴:

$$r = \frac{-db}{da} = \frac{f_a}{f_b} = \frac{p_a}{p_b}$$

(4-8)

Figura 4-4: Região de Substituição

A equação (4-8) impõe que a taxa de substituição de A por B em cada ponto é a tangente em cada ponto da curva de substituição, conforme ilustrado na Figura 4-4. Na curva apresentada a taxa marginal de substituição (r) aumenta quando aumentamos b . As retas que na Figura 4-4 partem da origem delimitam a região de substituição viável. Inovações tecnológicas podem fazer com que esta região de substituição aumente, o que é indicado pela parte tracejada da curva de substituição. O lugar geométrico das possibilidades de substituição está contido no segmento CD da curva correspondente a q unidades do produto Q . Quanto mais somos capazes de andar na curva de substituição de C para D, mais extensas são as possibilidades de

⁶⁴ Condição que minimiza o custo de produção.

substituição. É muito importante saber o quanto ainda podemos substituir A por B à medida que andamos na curva de substituição (Allen, 1962, p. 341):

“O ponto interessante agora é medir o quão rápido r aumenta, i. e., medir a “elasticidade” de substituição. Para qualquer mudança ao longo da curva de produto (a, b) , $d(b/a)$ representa o aumento (ou diminuição) no uso de B quando comparado com aquele de A e $dr = d(fa / fb)$ o aumento (ou diminuição) correspondente na taxa marginal de substituição. A quociente destes diferenciais, expresso em termos proporcionais para torná-los independentes das unidades de medida, é definida como a elasticidade de substituição entre fatores na combinação de fatores considerada. Portanto,

Definição : A elasticidade de substituição entre A e B é

$$\sigma = [(a/b) * d(b/a)] / [dr/r]$$

em que as diferenciais correspondem à variação ao longo da curva de produto constante entre (a, b) .”

A apresentação feita até aqui é suficiente para apontar um aspecto importante do indicador elasticidade de substituição. É de se notar que a análise que leva à construção deste indicador usa a hipótese de que $dq=0$, ou seja, assume-se que a substituição ocorre sob condições de equilíbrio estáticas. Nas análises de sustentabilidade ambiental nas quais o indicador elasticidade de substituição é utilizado isto tem sido sistematicamente ignorado. Apesar desta condição fundamental assumida na construção do indicador, elasticidades de substituição são aplicadas sem reservas em ambientes dinâmicos, envolvendo longas trajetórias de aumento do produto q . Isto é feito sem que sequer seja apresentada qualquer justificativa para o procedimento. Tanto a existência do procedimento quanto a ausência de uma crítica da sua adoção sugerem fortemente que o significado deste indicador não foi adequadamente apreendido. De modo a tornar mais claro o significado deste indicador, é útil recorrer à sua construção geométrica, o que é feito a seguir.

4.3 Elasticidade de Substituição –Apresentação Geométrica

A exposição da elasticidade de substituição feita no item anterior segue na sua maior parte aquela feita por Allen (1962), que é suficientemente clara para muitas aplicações do conceito de elasticidade de substituição. Entretanto, nesta exposição a elasticidade de substituição é apresentada de modo axiomático. Esta forma de apresentação torna mais difícil apreender as condições de validade do indicador e o significado material dele. Para tornar mais claras as

suposições materiais presumidas no uso deste indicador será utilizada aqui a construção geométrica da elasticidade de substituição.

A construção geométrica da elasticidade de substituição pode ser feita recorrendo-se a Lerner (1933), que mostra como a elasticidade de substituição é construída a partir de uma analogia com a elasticidade da demanda. A estrutura análoga destes indicadores tem implicações importantes para a utilização deles, particularmente para a utilização de elasticidades de substituição em contextos nos quais há mudanças de escala.

A elasticidade de substituição é uma medida da taxa de substituição. É conveniente que esta elasticidade possa receber uma interpretação tão direta e simples quanto a recebida pela elasticidade da demanda (Lerner, 1933, p. 147). A correspondência biunívoca entre preço e quantidade demandada permite utilizar a elasticidade da demanda para vincular prontamente variações relativas nos preços e variações relativas na demanda. Em suma, a elasticidade da demanda media o vínculo causal único e inequívoco entre preço e quantidade produzida. Pode-se ter um vínculo desta natureza entre taxa de substituição e fatores de produção? Lerner (1933) mostra como fazer isto. Sua exposição baseia-se nas seguintes curvas:

Figura 4.5a

Figura 4.5b

Figura 4-5: Construção Geométrica da Elasticidade de Substituição

Ao repetir o procedimento exposto por Lerner (1933, p. 149) para cada um dos pontos da curva II' geraremos uma curva estabelecendo uma correspondência biunívoca entre a taxa de substituição e quantidades representadas no eixo das abscissas, correspondentes ao quociente $(x / y)^{65}$. O procedimento para gerar geometricamente esta curva a partir da curva II' é o seguinte (Lerner, 1933, p. 149):

“Tal curva [Figura 4.5b] pode ser construída geometricamente a partir da curva II' [Figura 4.5a]. Escolha uma unidade para Y e uma unidade para X arbitrariamente. Tome a medida da unidade de Y ao longo do eixo Y de comprimento OA. A partir de A desenhe uma linha AA' paralela ao eixo X. Junte OP, e deixe OP ou a OP produzida cortar a linha AA' em Q.

Na Fig. 2 [Figura 4.5b], marque ON ao longo do eixo X igual a AQ, e desenhe uma perpendicular NS ao eixo X. Agora marque NR ao longo do eixo X igual à unidade escolhida de X, e a partir de R desenhe uma linha paralela ao segmento PL da Fig. 1 [Figura 4.5a]. Esta linha cortará NS num ponto que chamaremos P'. Da mesma forma uma série de pontos P' pode ser desenhada na Fig. 2 [Figura 4.5b], cada um correspondendo a um ponto P na curva II' na Fig. 1.”

Observando que OA é a unidade de medida para Y:

$$ON = AQ = (AQ / 1) = (AQ / OA) = (OM / MP) = (X / Y) \quad (4-9)$$

Notando ainda que NR é unidade de medida para X:

$$NP' = (NP' / 1) = (NP' / NR) = (MP / ML) = (-dX/dY) \quad (4-10)$$

O procedimento torna claro que esta representação supõe uma correspondência bijetora entre as quantidades representadas no eixo das ordenadas e as quantidades representadas no eixo das abscissas, isto é, entre a taxa marginal de substituição (r) e o quociente entre os fatores (x / y) . Usar o indicador elasticidade de substituição é aceitar esta correspondência, o que por sua vez implica em operar com um modelo bastante peculiar de substituição de recursos.

⁶⁵ Pode-se considerar a taxa marginal de substituição de X por Y ou a taxa marginal de substituição de Y por X (Lerner, 1933, p. 148): “Em P ela é igual a MP/ML ou à quantidade de Y que uma unidade de X pode substituir se estamos considerando a substituíbilidade de Y por X, ou ML/MP em termos da substituíbilidade de X por Y. Isto é óbvio a partir da simetria do diagrama, e no resto da nota falaremos apenas na substituíbilidade de Y por X”. Sendo assim, no que se segue $MP/ML = r = (-dX/dY)$. O quociente MP/ML fornece o valor da tangente à curva de substituição no ponto P.

A taxa de substituição é o quociente entre o número de unidades de y que deixam de ser utilizadas e o número de unidades de x que passam a ser utilizadas. Ao dizermos que existe uma correspondência biunívoca entre esta quantidade e o quociente dos fatores em todo o domínio de operações estamos afirmando que se tivéssemos quantidades suficientemente elevadas de x , a substituição de y por x poderia prosseguir indefinidamente. Por exemplo, havendo restrições ao uso do capital natural, elas poderão ser contornadas se quantidades suficientemente elevadas de capital fabricado puderem ser usadas para aumentar tanto quanto for necessário a taxa de substituição de capital natural por capital fabricado, por hipótese controlada unicamente pelo quociente (capital fabricado/capital natural). O uso do indicador elasticidade de substituição pressupõe que possamos vincular causalmente e de modo inequívoco variações na taxa de substituição a variações no quociente entre os fatores, do mesmo modo que na curva de demanda a elasticidade da demanda permite vincular causalmente e inequivocamente variações nas quantidades demandadas a variações nos preços.

Qualquer que seja a verdade presente no modelo neoclássico de substituição de recursos, é certo que ele não permite representar adequadamente processos carnotianos. Conforme já exposto anteriormente, uma característica dos processos carnotianos é que a taxa com que é possível substituir calor da fonte quente por calor da fonte fria possui limites absolutos. Mesmo que tivéssemos acesso a uma quantidade indefinidamente grande de calor da fonte fria, não poderíamos esperar usar esta enorme quantidade para aumentar tanto quanto quisermos a taxa de substituição de calor da fonte quente por calor da fonte fria. Em outras palavras, em processos carnotianos a taxa com que é possível substituir calor de combustível por calor da fonte fria não depende apenas do quociente entre quantidades de calor de combustível e calor da fonte fria. Daí que mesmo quantidades indefinidamente elevadas de calor da fonte fria não substituam o calor de combustível. É precisamente esta impossibilidade que nos obriga objetivamente a reconhecer a diferença entre calor da fonte quente e calor da fonte fria como uma diferença essencialmente qualitativa⁶⁶. Consequentemente, no modelo

⁶⁶ Vale observar que sem o conceito de valor de uso o espaço de equivalências tende a elidir e mascarar as diferenças qualitativas entre os fatores de produção, principalmente numa economia de mercado altamente bem

carnotiano não é possível assumir uma correspondência bijetora entre taxa marginal de substituição e quociente dos fatores em todo o domínio de operações. Portanto, a análise neoclássica da substituição de fatores envolve a utilização de hipóteses bastante peculiares: é pelo menos concebível imaginar modelos de substituição alternativos.

4.4 *Substituição Neoclássica do Capital Natural*

Uma vez que se tenha em mente que a análise neoclássica envolve um modelo particular de substituição de recursos, pode-se tornar a crítica da posição neoclássica mais produtiva, inclusive pela possibilidade de investigar os aspectos testáveis da posição neoclássica. Vale a pena então retomar a discussão neoclássica sobre substituição de recursos naturais.

Embora a construção da elasticidade de substituição mostre claramente que este indicador mede a taxa marginal de substituição sob condições de equilíbrio estático, este medidor tem sido usado para embasar inferências em situações de permanente desequilíbrio. Um exemplo bastante eloqüente disso, particularmente útil pela forma sucinta e substantiva da exposição, é Stiglitz (1979).

Stiglitz (1979) baseia sua apresentação da análise econômica dos recursos naturais nas seguintes figuras:

sucedida, a qual é fortemente influenciada pela mentalidade monetária. Enquanto a esfera da circulação monetária opera com base na descoberta de equivalências, a esfera da produção concreta só pode existir explorando sistematicamente diferenças qualitativas inerentes aos fatores de produção. A relevância do experimento mental de Carnot está em mostrar que a incomensurabilidade dos fatores utilizados adquire significado objetivo, e não meramente metafórico, se a taxa com que é possível substituir um recurso pelo outro possui limites absolutos.

Figura 4-6: Recurso Natural Essencial

Figura 4-7: Recurso Natural Não-Essencial

Figura 4-8: Alta Elasticidade Local: Recurso Natural Essencial

Figura 4-9: Baixa Elasticidade Local: Recurso Não-Natural Essencial

Figura 4-10: Elasticidade de Substituição Nula

Figura 4-11: Elasticidade de Substituição Infinita

Figura 4-12: Elasticidade de Substituição Unitária

O autor considera que o problema possa ser representado nos seguintes termos (Stiglitz, 1979, p. 41):

“A premissa de que o recurso natural é essencial implica que as isoquantas (entre o recurso natural e outros fatores de produção produzidos) nunca atingem o eixo do fator produzido. (Ver figuras 2-1 a 2-7⁶⁷ em que se considera o outro fator de produção é o capital. Na Figura 2-1 [Figura 4-6] os recursos naturais são essenciais; na figura 2-2 [Figura 4-7] os recursos naturais não são essenciais). Note que o que é crucial para saber se o recurso natural é essencial não é nenhuma propriedade da função (isoquanta) de produção quando há uma grande entrada de recursos naturais. Se a isoquanta tem curvatura relativamente pequena (i. e., é plana, como na Fig. 2-3 [Figura 4-8] podemos ser tentados a extrapolar a curva e inferir que o recurso natural é não-essencial, mas a curvatura poderia facilmente ser mudada à medida que a entrada de recurso torna-se pequena, de modo que embora no momento seja fácil substituir, digamos, recursos por capital, isto eventualmente torna-se bastante difícil. Inversamente, pode ser bastante difícil hoje substituir (a isoquanta pode ainda ser bastante curvada) mas quando os recursos tornam-se suficientemente escassos, podemos ser capazes de mudar para uma tecnologia completamente diferente, para a qual a substituição é relativamente fácil, e a isoquanta atinge o eixo (figura 2-4) [Figura 4-9].”

O indicador utilizado pelo autor para averiguar estas possibilidades é a elasticidade de substituição (Stiglitz, 1979. p. 41):

⁶⁷ As Figuras 2-1 a 2-7 em Stiglitz correspondem, respectivamente, às Figuras 4-6 a 4-12 neste trabalho.

“O conceito que os economistas normalmente usam para medir a facilidade de substituição é a “elasticidade de substituição”, que dá a mudança percentual no quociente de entradas (digamos recursos naturais por capital) que pode ser gerada por uma mudança percentual no preço relativo entre capital e recursos naturais. Se 1 por cento de mudanças nos preços relativos não dá origem a uma mudança nas entradas de fatores (figura 2-5) [Figura 4-10], a elasticidade de substituição é zero; se paramos de usar o recurso cujo preço subiu, dizemos que a elasticidade é infinita.”

De modo a tornar mais evidentes as implicações dos argumentos de Stiglitz (1979) convém explicitar suposições adotadas em sua descrição da elasticidade de substituição. A elasticidade de substituição de recursos naturais por capital para uma função de produção envolvendo unicamente os fatores capital (k) e recursos naturais (n) é dada por:

$$\sigma = [d(k/n) / (k/n)] / (dr / r) \quad (4-11)$$

Lembrando que a taxa marginal de substituição é dada por:

$$r = -db / da = f_a / f_b = p_a / p_b \quad (4-12)$$

Tomando diferenças finitas como aproximações para as diferenciais, estas equações conduzem a:

$$\sigma \approx [\Delta (k/n) / (k/n)] / [\Delta (p_n / p_k) / (p_n / p_k)] \quad (4-13)$$

A equação 4-13 exprime a elasticidade de substituição tal como concebida por Stiglitz (1979), isto é, variação percentual relativa no quociente entre recursos naturais e capital decorrente de uma variação percentual relativa nos preços relativos destes recursos. A formulação de Stiglitz (1979) assume os preços relativos como fator causal primário do quociente entre recursos naturais e capital, além de considerar que o sistema encontra-se sob a condição de equilíbrio estático.

Se a elasticidade de substituição mede a taxa marginal de substituição sob a condição de equilíbrio estático, como explicar seu difundido uso entre economistas para avaliar o papel dos recursos naturais em trajetórias de crescimento de longo prazo?⁶⁸

É importante ressaltar e analisar duas suposições fundamentais adotadas pelo modelo neoclássico ao estender para situações dinâmicas conceitos construídos para situações estáticas: (i) a curva de substituição é contínua em todo o seu domínio de existência (logo, não há saltos); (ii) a taxa marginal de substituição depende apenas do quociente entre os fatores utilizados (logo, não necessariamente depende diretamente das quantidades absolutas dos fatores utilizados).

4.5 *Análise Aritmética da Posição Neoclássica*

Supor que a taxa marginal de substituição depende apenas do quociente entre os fatores é considerar que a taxa marginal de substituição é uma função homogênea de grau zero⁶⁹. Se a taxa marginal de substituição está em correspondência biunívoca com o quociente dos fatores, ela é uma função homogênea de grau zero, o que não é sem implicações para as análises de substituíbilidade. Como verificar se as condições objetivas em que vêm ocorrendo a produção capitalista apóiam esta suposição? Para fazer esta verificação vale a pena deter-se sobre as

⁶⁸ Brown e Christensen (1981): “Uma importante premissa subjacente à maioria das aplicações da função custo é a de que todas as entradas estão em equilíbrio estático. Entretanto, em muitos casos a premissa de equilíbrio estático completo é suspeita e portanto são suspeitos também os resultados empíricos”. Em nota os mesmos autores esclarecem ainda que: “Equilíbrio estático completo e equilíbrio estático parcial são sempre referidos como equilíbrio de longo prazo e equilíbrio de curto prazo [...]”

⁶⁹ Uma função $f(x, y)$ é homogênea de grau h se satisfaz a relação $f(x, y) = (x)^h \Phi(y/x) = (y)^h \Psi(x/y)$. Φ e Ψ representam funções cujo valor depende apenas do quociente (y/x) e (x/y) , respectivamente. Numa função homogênea de grau $h=0$, os valores dependem apenas do quociente entre x e y .

relações envolvidas numa função de produção homogênea de grau $h \leq 1$ que utiliza os fatores capital (k) e recursos naturais (n) ⁷⁰:

$$q = f(k, n) = n^h * \Phi(k/n) \quad (4-14)$$

Derivando parcialmente em relação a n e k , temos:

$$f_n = n^{h-1} * [h * \Phi(k/n) - (k/n) * \Phi'(k/n)] \quad (4-15)$$

$$f_k = n^{h-1} * [\Phi'(k/n)] \quad (4-16)$$

As equações (4-14)-(4-16) podem ser usadas para verificar as situações em que podemos assumir que a taxa marginal de substituição numa função de produção homogênea de grau $h \leq 1$ depende apenas do quociente entre os fatores. Por definição, a taxa marginal de substituição de recursos naturais por capital é:

$$r = -dk / dn \quad (4-17)$$

A verificação depende de encontrarmos uma correspondência adequada entre função de produção e taxa marginal de substituição. Derivando a função de produção em relação aos recursos naturais:

$$q = f(k, n)$$

$$dq / dn = f_k * (dk/dn) + f_n$$

⁷⁰ O caso normal em Economia é aquele em que a produtividade marginal dos fatores é decrescente. Neste caso, há um máximo de produto que pode ser obtido e a função de produção é côncava. Pode-se demonstrar que para funções de produção côncavas $0 \leq h \leq 1$. Uma demonstração deste tipo pode ser encontrada, por exemplo, em Léonard e Van Long (2002, p. 17). Omitimos a demonstração aqui porque o resultado é consagrado nos livros-textos e para tornar a exposição mais sucinta.

⁷¹ $\Phi'(k/n)$ é derivada de $\Phi(k/n)$ em relação à (k/n) .

Dai vem que:

$$r = -dk/dn = f_n / f_k - (1/f_k) \cdot (dq/dn) \quad (4-18)$$

Há duas situações fundamentais que precisam ser investigadas, correspondentes a condições de equilíbrio estáticas ($dq=0$) e dinâmicas ($dq \neq 0$). Usando a restrição $dq=0$ referente às condições de equilíbrio estáticas na expressão (4-18) chega-se ao caso tradicionalmente apresentado nos livros-textos de Economia, em que:

$$r = f_n / f_k \quad (4-19)$$

Substituindo (4-15) e (4-16) em (4-18):

$$r = h^*(\Phi / \Phi') - (k/n)^{72} \quad (4-20)$$

Para que, usando a expressão (4-20), possamos considerar que a taxa marginal de substituição depende apenas do quociente entre os fatores em todo o domínio de observações é necessário que possamos garantir que r' não muda de sinal em todo o domínio⁷³. Derivando (4-20):

$$r' = (h-1) - h^*[\Phi / (\Phi')^2] \quad (4-21)$$

Aqui é preciso observar duas coisas: (i) $0 \leq h \leq 1$; (ii) Φ é um número positivo e Φ' é um número real, portanto, $[\Phi / (\Phi')^2] > 0$. Estes dois fatos garantem que:

$$r' < 0, \text{ quaisquer que sejam } k, n \quad (4-22)$$

A equação (4-22) garante que sob condições de equilíbrio estáticas há uma correspondência bijetora entre r e (k/n) por todo o domínio de observações. Em outras palavras, sob condições

⁷² Φ e Φ' indicam respectivamente $\Phi(k/n)$ e $\Phi'(k/n)$.

⁷³ r' é a derivada de $r[k/n]$ em relação à $[k/n]$.

de equilíbrio estáticas pode-se assumir que a taxa marginal de substituição não depende das quantidades absolutas k e n .

O que ocorre sob condições de equilíbrio dinâmicas, isto é, quando $dq \neq 0$? Substituindo (4-15) e (4-16) em (4-18) nesta nova condição:

$$r = (h^* \Phi / \Phi') - (k/n) - (1/\Phi') * (1/n^{h-1}) * dq/dn \quad (4-23)$$

Observando que $r > 0$:

$$(h^* \Phi / \Phi') - (k/n) - (1/n^{h-1}) * (1/\Phi') * dq/dn > 0$$

$$h^* \Phi - (k/n) * \Phi' > (1/n^{h-1}) * dq/dn \quad (4-24)$$

Sendo $0 \leq h \leq 1$, vem que:

$$\Phi - (k/n) * \Phi' > (1/n^{h-1}) * dq/dn \quad (4-25)$$

A expressão (4-25) impõe que $(1/n^{h-1}) * dq/dn < 0$, se $\Phi - (k/n) * \Phi' < 0$. Ocorre que, para uma economia de crescimento:

$$k < q$$

Logo:

$$(k/n) < (q/n)$$

$$\ln(k/n) < \ln(q/n)$$

$$d\ln(k/n) < d\ln(q/n)$$

Observando que $(q/n) \leq [q/(n^{h-1})] = \Phi(k/n)$:

$$[1/(k/n)]d(k/n) < d\ln\Phi$$

$$(n/k) < d \ln \Phi / d(k/n)$$

$$(n/k) < (1/\Phi) * (d\Phi / d[k/n])$$

Notando que $\Phi' = d\Phi / d[k/n]$:

$$(n/k) < \Phi' / \Phi$$

Daí vem que:

$$\Phi < \Phi' * (k/n)$$

$$\Phi - \Phi' * (k/n) < 0 \quad (4-26)$$

Ou seja, para uma economia de crescimento sempre vale (4-26). Usando (4-25) e (4-26):

$$(1/n^{h-1}) * dq/dn < 0$$

Uma vez que $(1/n^{h-1}) > 0$:

$$dq/dn < 0 \quad (4-27)$$

Sendo assim, para uma economia de crescimento em que a taxa marginal de substituição depende apenas do quociente (k/n) , a restrição imposta por (4-27) deve necessariamente ser respeitada. Daí vem que:

$$(dq/dt) / (dn/dt) < 0$$

Para uma economia de crescimento, tem-se que $dq/dt > 0$, logo:

$$dn/dt < 0 \quad (4-28)$$

Portanto, numa economia de crescimento em que a taxa marginal de substituição depende apenas do quociente entre os fatores, o fluxo de entradas primárias pelo sistema econômico ao longo do tempo é decrescente. A relação $dn/dt < 0$ é condição necessária tanto para validar a suposição de que a substituição de fatores depende apenas do quociente entre os fatores,

quanto para usar a elasticidade da substituição como medidor da taxa marginal de substituição em condições dinâmicas. Sendo assim, a observação empírica de trajetórias de longo prazo em que $dn/dt > 0$ é uma refutação tanto da suposição de que a substituição depende apenas do quociente dos fatores quanto das condições que permitem usar de modo consistente a elasticidade de substituição para medir a capacidade de substituição num sistema em crescimento. O mais importante aqui é notar que a trajetória $dn/dt > 0$ tem necessariamente que levar a concluir que a taxa marginal de substituição não depende apenas do quociente entre os fatores, isto é, depende também das quantidades absolutas dos fatores k e n . Além desta demonstração aritmética, pode-se obter o mesmo resultado geometricamente.

4.6 *Análise Geométrica da Posição Neoclássica*

Se a taxa marginal de substituição depender apenas do quociente entre os fatores utilizados, e não depender de suas quantidades absolutas dos recursos, então o domínio de substituição viável pode ser estendido indefinidamente. Por consequência, as quantidades absolutas dos recursos utilizados podem ser tão grandes ou tão pequenas quanto se queira, conforme já mostrado. Neste caso é possível conciliar qualquer trajetória de crescimento econômico (aumento sistemático do capital) com qualquer trajetória de utilização de recursos naturais. Em particular, é possível obter uma trajetória em que $dn/dt < 0$.

Podemos usar a assertiva $dn/dt < 0$ para provar que a tese de que o domínio de substituição pode ser expandido indefinidamente numa dada escala de produção é falsa. A Figura 4-6 foi redesenhada de modo a obter a Figura 4-13:

Figura 4-13: Implicação Geométrica do Modelo de Substituição Neoclássica

Stiglitz (1979) adota um modelo de substituição em que, embora admitindo que a região de substituição viável seja limitada num dado momento, se assume que seja sempre possível expandir a região de substituição via inovações tecnológicas. Estas regiões de substituição teoricamente viáveis são indicadas por linhas tracejadas na Figura 4-13. Admitindo-se que a região de substituição possa ser sempre expandida por inovações tecnológicas, é certo que é possível percorrer a curva de substituição ao nível de produto Q de modo a sair do ponto A e chegar ao ponto F . Em suma, os pontos A e F existem. Estes pontos determinam a reta r . Esta reta tem coeficiente angular m_r negativo. Logo:

$$m_r = \Delta n / \Delta k < 0$$

Supondo, como é usual, que n e k possam variar continuamente:

$$dn/dk < 0, \text{ para todo } n, k$$

Daí que:

$$(dn/dt) / (dk/dt) < 0$$

Numa economia de crescimento, o capital está sempre crescendo, logo, $dk/dt > 0$. Usando a expressão anterior:

$$dn/dt < 0$$

Portanto, a suposição de que a região de substituição pode ser estendida indefinidamente implica em assumir a existência do ponto F e, conseqüentemente, a validade da equação acima. Se o sistema não é estático, temos as curvas Q, Q', etc. A cada uma delas correspondem respectivamente as retas r, s, etc., caso os respectivos pontos F, F', etc. existam. A cada reta assim obtida corresponde a assertiva $dn/dt < 0$. Portanto, se estes pontos existem, a trajetória de crescimento econômico estará ligada a uma trajetória de fluxo decrescente de recursos naturais. Em outras palavras, os altos ganhos de eficiência observados desde o advento da revolução industrial estariam vinculados a um fluxo decrescente de recursos naturais pelo sistema econômico.

Reciprocamente, o fato de que $dn/dt < 0$ seja falsa impõe que a suposição de que os pontos F, F', etc. existem é falsa, pois $dn/dt < 0$ é condição necessária para a existência destes pontos. Portanto, tanto partindo de uma análise aritmética quanto partindo de uma análise geométrica das trajetórias conclui-se que num sistema econômico em que a reprodução econômica apóia-se em suposições neoclássicas a trajetória de crescimento econômico é simultânea a fluxos decrescentes de energia e materiais. Sendo assim, pode-se usar observações de fluxos de energia e materiais pelo sistema econômico para testar o princípio da equivalência absoluta entre os fatores.

4.7 Um Teste Estatístico

$$dn/dt < 0 \tag{4-28}$$

A descrição neoclássica é adequada se e somente se as observações envolvendo fluxos de energia e materiais pelo sistema econômico satisfazem 4-28. Uma das coisas testadas ao investigarmos esta equação é a validade da tese neoclássica de que os ganhos de produtividade observados desde a Revolução Industrial não têm dependido de aumentos na

escala de utilização dos recursos naturais. Mas, do ponto de vista da análise conceitual, é talvez mais importante observar que ao testarmos 4-28 estamos testando dois modelos alternativos de substituição de recursos, cada um deles vinculado a uma concepção própria de produção.

A concepção neoclássica tem uma imagem do progresso técnico em que as soluções dependem unicamente de encontrar formas apropriadas de organizar a utilização dos fatores de produção. Nesta perspectiva, não é relevante discutir a especificidade material dos fatores, pois se supõe que as diferenças entre os fatores de produção referem-se apenas a diferenças quantitativas nas contribuições ao produto. Por hipótese, do ponto de vista econômico, não há diferença qualitativa entre os fatores de produção: em tese é possível obter crescimento econômico a partir de qualquer combinação de fatores imaginável. Esta estranha suposição decorre do fato de que na perspectiva neoclássica assume-se que a taxa marginal de substituição pode ser completamente controlada recorrendo-se unicamente ao quociente entre os fatores. Nestas condições, é inevitável concluir que caso haja restrições ao uso do chamado capital natural, estas poderão ser contornadas se tivermos quantidades suficientemente elevadas de capital fabricado, de modo que possamos aumentar o quociente (capital fabricado/capital natural) até o nível necessário.

Já foi dito que o modelo de substituição neoclássico não é o único que pode ser concebido, e que tal modelo não permite descrever adequadamente processos carnotianos. Nestes processos, a taxa com que é possível substituir um fator de produção por outro possui limites absolutos, logo, não é possível supor que a taxa marginal de substituição pode ser aumentada indefinidamente se o quociente entre os fatores puder ser aumentado indefinidamente. Alguém que tenha em mente um modelo carnotiano de produção tende a ser cético quanto aos prognósticos neoclássicos sobre substituição de recursos naturais. Para este cético, assumir que a eficiência econômica é independente da escala física de utilização dos recursos parecerá uma suposição bastante estranha, até mesmo absurda. Se o neoclássico lhe disser que desde a Revolução Industrial tem havido ganhos enormes na produtividade dos recursos naturais, ele responderá que tais ganhos de produtividade têm sido acompanhados por aumentos sistemáticos no consumo de recursos naturais.

O cético tem a seu favor eventos que se tornam muito difíceis de serem explicados se lidos na perspectiva neoclássica. Será mera coincidência que os problemas ambientais globais surjam num momento histórico em que a extensão geográfica do sistema econômico torna-se efetivamente global? Além disso, sabemos das leis da Termodinâmica que máquinas térmicas operando a temperaturas mais altas (portanto, com maior disponibilidade de combustível) são mais eficientes. O cético não nega que tem havido ganhos enormes na produtividade dos recursos naturais, mas considera que aumentos nos fluxos de energia e materiais são um fator causal imprescindível para explicar tais aumentos.

Evidentemente, os dois modelos de substituição aqui considerados, que envolvem na verdade duas concepções distintas de produção, levam a previsões completamente diferentes⁷⁴ quanto à viabilidade de uma trajetória de crescimento econômico perpétuo. Testar 4-28 é nada mais que confrontar estas duas concepções. Ou, de outro modo, trata-se de confrontar as expectativas em torno da sustentabilidade fraca com aquelas oriundas da sustentabilidade forte com base em fatos observáveis.

Para fazer este teste, utilizaram-se as observações de consumo per capita de energia nos países do G20⁷⁵. Analisa-se o consumo per capita ao invés do consumo absoluto a fim de evitar confundir causas demográficas com outras causas econômicas. Uma limitação importante do teste é que o consumo indireto de energia não é investigado. A análise aqui apresentada não permite rejeitar a hipótese de que os países que passam no teste o fazem baseando-se na

⁷⁴ As diferenças envolvem não apenas as previsões, mas também o aparato conceitual básico. No modelo carnotiano a noção de valor de uso é imprescindível, pois é preciso reconhecer sistematicamente as diferenças qualitativas entre os fatores de produção. No modelo neoclássico nada se ganha com a utilização da noção de valor de uso, pois em tese a busca do valor de troca deve por si só conduzir a uma adequada alocação dos fatores: caso haja mudança na escassez relativa isto será sinalizado pelos preços. Na perspectiva neoclássica, valores de uso são algo que caem fora do escopo da ciência econômica.

⁷⁵ Escolhemos aplicar o teste ao recurso energia, mas é óbvio que o mesmo teste pode ser aplicado a qualquer outro recurso natural. Note-se que para a análise de 4-28 é irrelevante investigar a fonte dos recursos energéticos, i. e., se são ou não provenientes de fontes renováveis.

transferência de atividades poluidoras para outros países. A energia incorporada em bens e serviços adquiridos de outros países precisaria ser investigada para verificar conclusivamente a verdade de (4-28)⁷⁶. Em todo caso, o teste funciona como uma primeira checagem, e os países que não passam no teste possuem comprovadamente trajetórias insustentáveis de crescimento econômico.

O teste é simplesmente um teste de tendência, um instrumento para verificar se uma tendência está aumentando ou diminuindo. Este teste de tendência assume a forma de um teste de sinal, que é essencialmente um teste binomial em que $p = \frac{1}{2}$. Uma descrição detalhada do teste é feita no Anexo 1. Pela equação 4-28, o crescimento do sistema econômico deve ser simultâneo a uma tendência decrescente no consumo de recursos naturais. Ao usar o teste com um nível de significância de 5% para confrontar a hipótese H_0 de que não há tendência decrescente contra a hipótese H_1 de que existe tendência decrescente, fomos levados a rejeitar a hipótese H_0 de que não há tendência decrescente para todos os países analisados⁷⁷. Portanto, nenhum dos países confirmou a previsão dada pelo modelo neoclássico de substituição, segundo o qual a trajetória de crescimento econômico deveria ser simultânea a uma tendência de consumo decrescente de recursos naturais. Além disso, ao refazer o teste para averiguar se os dados evidenciam uma tendência crescente na utilização dos recursos naturais, apenas Alemanha, África do Sul e Rússia não apresentaram tendência crescente. Para todos os demais países os dados corroboram a hipótese de tendência crescente.

É altamente significativo que mais de 250 anos após a Revolução Industrial⁷⁸ mesmo países altamente capitalizados não apresentem qualquer tendência de redução nos fluxos de energia

⁷⁶ Para a relevância de levar em conta a energia e o carbono embutidos em bens e serviços importados e exportados, particularmente no caso brasileiro, ver Schaeffer e Sá (1996).

⁷⁷ Ver detalhes do teste estatístico no Anexo 1.

⁷⁸ Tomou-se, para propósitos puramente ilustrativos, o ano de 1760 como o início da Revolução Industrial. Evidentemente, sendo a Revolução Industrial um processo e não um mero evento, tomar um ano particular como o início envolve um grau de arbitrariedade e convenção.

per capita pelo sistema econômico. Por que mesmo em países tecnologicamente avançados a ‘substituição’ do recurso energia tem estado ligada a tendências crescente de consumo per capita? Estes resultados são totalmente inconsistentes com as premissas assumidas pelo modelo neoclássico de substituição de recursos naturais.

4.8 Reinterpretando a Evidência dos Preços

Estes resultados fornecem razões muito plausíveis para duvidar do modelo neoclássico de substituição. Entretanto, como explicar a tendência de preços decrescentes ou estáveis dos principais minerais, entendida pelos neoclássicos como forte evidência de que não há nenhum problema sério com a utilização de recursos naturais? Mesmo que se rejeite a tese de que os preços são indicadores confiáveis da situação, não se pode simplesmente rejeitar esta evidência como destituída de significado. Se há uma cegueira dos agentes econômicos aqui, que relações objetivas permitem que ela se constitua? Para responder perguntas deste tipo é preciso redescrever o processo pelo qual as inovações tecnológicas disparadas pela Revolução Industrial tem permitido aumentar a produtividade dos recursos naturais.

A tendência decrescente nos preços dos recursos naturais é uma consequência do processo pelo qual inovações tecnológicas são usadas para aumentar a disponibilidade absoluta destes recursos tanto quanto possível. Este processo, ao mesmo tempo em que causa uma queda no preço dos recursos naturais, aumenta a dependência societal em relação a tais recursos, como evidenciado pelas tendências crescentes de consumo per capita de energia dos diversos países. Nesta perspectiva, o aumento na escala de utilização dos recursos é um fator causal tão importante para explicar os ganhos de produtividade observados quanto a abertura institucional para a engenhosidade humana realizada pelo binômio tecnologia-mercados. Assumir que os aumentos na escala de utilização dos recursos naturais têm tal um papel central é compatível tanto com as leis da Termodinâmica (máquinas térmicas operando a temperaturas maiores são mais eficientes) quanto com as leis históricas do sistema econômico atual (operações de produção orientadas para o crescimento incessante do sistema econômico).

A trajetória de sucesso disparada pela Revolução Industrial, contrariamente ao que muitos argumentam, não mostra a capacidade humana de depender menos da natureza, mas o aprendizado de como depender mais da natureza e menos de outros tipos de recursos (por exemplo, horas de trabalho). O progresso tecnológico tem permitido ao sistema econômico tornar-se cada vez mais complexo, diferenciado e eficiente pelo aumento na extensão com que se depende dos recursos naturais. Na verdade, a confusão aqui decorre do fato de que os economistas não distinguem entre variáveis intensivas e extensivas⁷⁹. Para evitar esta confusão, distingue-se aqui entre substituição extensiva e substituição intensiva. Substituição extensiva indica um declínio no consumo absoluto do recurso; substituição intensiva indica um declínio na quantidade do recurso necessária para obter *uma* unidade de produto.

Estando consciente da distinção entre substituição extensiva e substituição intensiva é fácil ver que apenas a observação de uma trajetória de crescimento econômico simultânea a uma trajetória de substituição extensiva de recursos naturais poderia embasar os prognósticos otimistas da sustentabilidade fraca⁸⁰. Como não diferenciam entre os dois tipos de substituição, os economistas erroneamente tomam o aumento na substituição intensiva não apenas como evidência da possibilidade de substituição extensiva mas como prova de que ela já vem ocorrendo⁸¹. Esta é a única explicação plausível para a interpretação amplamente difundida de que as inovações tecnológicas têm diminuído a dependência societal em relação aos recursos naturais.

Reconhecer o papel de fluxos de energia e materiais para os aumentos de produtividade observados gera também a necessidade de diferenciar entre dois tipos de problemas

⁷⁹Para a importância de distinguir entre variáveis extensivas e intensivas, ver Pastore, Giampietro e Mayumi (2000).

⁸⁰ O teste estatístico avaliando se $dn/dt < 0$ é na realidade uma investigação sobre esta possibilidade.

⁸¹ Esta é em essência a posição de Baumol (1986), quando indica que a possibilidade de crescimento econômico perpétuo é o resultado natural do aparato institucional e tecnológico desencadeado a partir da Revolução Industrial.

diferentes. Há o problema de fornecer recursos em quantidade e qualidade adequados para a produção. O binômio mercado-tecnologia tem sido bastante bem sucedido em realizar esta tarefa. Por exemplo, recursos exauríveis como minerais podem ter seus custos de extração significativamente reduzidos se energia abundante for disponibilizada. Isto por sua vez sempre permite aumentar a quantidade efetiva de recursos minerais. O otimismo com relação à capacidade do binômio mercado-tecnologia cumprir esta tarefa pode até ser exagerado, mas não é de modo algum infundado.

Entretanto, a superação dos problemas ambientais globais hoje existentes depende também do enfrentamento de uma outra classe de problemas. Não se pode pensar em sustentabilidade ambiental sem que a capacidade de carregamento do planeta seja respeitada. Neste caso, sustentabilidade ambiental e crescimento econômico são reconciliáveis apenas se for possível observar trajetórias de crescimento econômico simultâneas a uma estabilização e mesmo redução dos fluxos de energia e materiais decorrentes das atividades econômicas. Não há até hoje, cerca de 250 anos após a Revolução Industrial, evidência de que isto seja possível. Pelo contrário, tanto partindo de considerações puramente empíricas quanto de considerações teóricas oriundas da Termodinâmica pode-se colocar sérias dúvidas sobre a possibilidade de tal padrão de crescimento econômico. Infelizmente, tudo indica que os padrões institucionais e tecnológicos inaugurados pela Revolução Industrial não são capazes de lidar com esta classe de problemas. Mais que isso, é bastante razoável considerar que tais padrões são parte do problema. Alguns economistas perceberam a diferença entre os dois tipos de problema aqui mencionados. Simpson, Toman e Ayres (2005) nomeiam o problema dos limites absolutos aos fluxos de energia e materiais como a “Nova Escassez”.

Vale a pena enfatizar a relação entre os dois tipos de problemas mencionados acima e o que nos diz a teoria de produção ortodoxa. Teoricamente, existem duas formas pelas quais o sistema econômico é capaz de lidar com a escassez de recursos naturais. Na primeira, um aumento na escala de utilização de recursos permite aumentar a eficiência do sistema econômico como um todo. Nesse arranjo, a escassez econômica é, paradoxalmente, evitada por um aumento na utilização dos recursos, caso os investimentos sejam realizados e novos recursos sejam explorados. Vale lembrar que a Segunda Lei da Termodinâmica limita a produtividade do combustível apenas se o motor térmico opera entre temperaturas limitadas.

Se a diferença entre as temperaturas dos reservatórios quente e frio puder ser aumentada de alguma forma, a eficiência máxima do sistema também é aumentada. Isso indica que uma estratégia para aumentar a produtividade da máquina térmica é fazer o reservatório de calor da fonte quente operar com temperaturas maiores, o que depende da disponibilidade absoluta de combustível. Se esta estratégia for sistematicamente adotada com sucesso pela sociedade como um todo, será observada uma tendência de longo prazo de queda dos preços dos recursos energéticos ao mesmo tempo em que os fluxos destes recursos pelo sistema econômico aumentam cada vez mais. Neste caso, haverá substituição intensiva de recursos naturais (o sistema opera de modo cada vez mais eficiente), mas não há substituição extensiva.

Na segunda possibilidade, a única pela qual a chamada “Nova Escassez” pode ser superada, há substituição extensiva dos recursos naturais. Esta possibilidade parece implausível do ponto de vista da Termodinâmica, mas antes de uma análise positiva deve ser entendida como teoricamente possível, pois as teorias econômicas contemporâneas assumem tacitamente que existe uma equivalência absoluta entre todos os fatores de produção. Não há nenhuma restrição endógena nas teorias econômicas contemporâneas a qualquer das seguintes situações: (i) produção realizada utilizando apenas capital manufaturado; (ii) produção realizada utilizando apenas capital natural, (iii) produção utilizando apenas trabalho. Seja qual for o julgamento intuitivo que se faça de abordagem tão etérea da produção, o certo que é que sem usá-la no confronto com fatos observáveis as possibilidades (i), (ii) e (iii) não podem ser teoricamente rejeitadas. O que a equação 4-28 faz é averiguar a plausibilidade da previsão neoclássica de que o sistema econômico pode expandir-se indefinidamente a partir de uma base de recursos exauríveis finita usando uma consequência lógica necessária dos pressupostos assumidos pela teoria de produção neoclássica. Se quisermos fazer progredir o debate sobre sustentabilidade é fundamental que as teorias sejam investigadas tendo em vista as consequências decorrentes dos pressupostos explícitos e implícitos que elas assumem.

Uma vez que a teoria neoclássica de produção não estabelece qualquer ligação entre natureza material dos fatores de produção e valor econômico, a reconciliação entre o crescimento econômico perpétuo mesmo em meio à existência de recursos exauríveis *tem de ser* considerada possível na perspectiva neoclássica. Em teoria, qualquer restrição ao uso de

qualquer classe particular de recursos pode ser contornada pelo uso de qualquer outro tipo de recurso. Por esta mesma razão teórica, é uma anomalia que o crescimento do sistema econômico apóie-se em uma longa história de crescimento do consumo per capita de qualquer recurso particular, como ocorreu com o uso de energia. Na verdade, a refutação de 4-28 mostra que a anomalia é na realidade uma contradição que tem se manifestado recorrentemente no curso de uma história relativamente longa. Todas as evidências indicam que, apesar dos enormes ganhos de eficiência alcançados desde a Revolução Industrial, o consumo per capita de energia tem aumentado sistematicamente desde então (pelo menos). É altamente significativo que, ainda hoje, cerca de 250 anos depois da Revolução Industrial, não haja nenhuma evidência de reversão desta tendência, mesmo para as economias altamente capitalizadas. A inconsistência entre os fatos relativos a fluxos de energia e materiais e os pressupostos fundamentais da economia neoclássica não tem sido adequadamente explorada nos debates públicos sobre sustentabilidade. Esta inconsistência precisa ser de alguma forma explicada. Uma forte razão para a pouca atenção dada a estes fatos mesmo pelos críticos da teoria neoclássica é ausência de uma teoria de produção alternativa à teoria neoclássica⁸². A ausência desta alternativa deve-se em grande parte à ausência do conceito de valor de uso nas teorias econômicas contemporâneas, cuja aplicação exigiria uma concepção de produção radicalmente diferente da que prevalece hoje.

Sem que modelos de produção consistentes com uma concepção de produção capaz de atribuir sentido às qualidades concretas usadas na produção passem a ser adotados, é bastante duvidoso que um discurso crítico consistente à abordagem neoclássica possa ser construído. Uma forma de caminhar neste sentido é desenvolver modelos de substituição alternativos ao modelo neoclássico que sejam consistentes tanto com os fatos termodinâmicos quanto com os

⁸² Sobre este ponto, ver Feyerabend (1965). O autor argumenta que na ausência de uma teoria alternativa fatos que refutam a teoria permanecem escondidos (Feyerabend, 1965, p. 177): “Agora, se é verdade, como argumentado na última seção, que muitos fatos tornam-se disponíveis apenas com a ajuda de alternativas, então a recusa a considerá-las *resultará na eliminação de fatos potencialmente* refutadores. Mais especificamente, eliminará fatos cuja descoberta mostraria a inadequação completa e irreparável da teoria”. Os itálicos estão no original.

fatos da história econômica. Uma alternativa partindo de a uma analogia com Carnot pode elaborada nos seguintes termos.

Uma vez que a máquina térmica necessariamente combina calor da fonte quente (Q_c) e calor da fonte fria (Q_r) para obter trabalho (W), podemos dizer que tal máquina permite obter o produto W a partir dos fatores de produção Q_c e Q_r . As restrições expostas por Carnot impõem que não podemos reduzir as quantidades absolutas utilizadas destes fatores na produção de W tanto quanto quisermos: estamos limitados pelas quantidades de calor correspondentes às temperaturas T_r e T_c dos reservatórios de calor rejeitado e calor combustível. Sendo assim, a produtividade máxima da máquina é independente da forma construtiva da máquina. Portanto, as restrições expostas por Carnot definem o espaço de existência viável de qualquer inovação tecnológica envolvendo máquinas térmicas. Uma representação geométrica das combinações de Q_c e Q_r que permitem obter W torna mais claro quais são as implicações destas restrições:

Figura 4-14: Representação geométrica das restrições expostas por Carnot

A eficiência da máquina aumenta quando caminhamos sobre a curva de nível correspondente ao trabalho W indo do ponto A para o ponto B. Diferentemente do que ocorre na representação neoclássica o intervalo no qual é possível substituir calor Q_c pelo calor Q_r não é infinito, correspondendo ao intervalo fechado $[Q_r, Q_c]$. Quanto menor é o calor Q_r rejeitado, maior é a eficiência da máquina, isto é, quanto menores são as quantidades absolutas de calor Q_r utilizadas, maior a eficiência do sistema. Se quisermos aumentar a produtividade da máquina indefinidamente, podemos proceder como indicado na seguinte representação:

Figura 4-15: Representação geométrica da dinâmica de aumento da produtividade de máquinas térmicas

Melhorias nos arranjos construtivos da máquina permitem-nos caminhar na curva de nível correspondente a W de modo a diminuir Q_r e aumentar Q_c . Ao fazermos isto aumentamos a substituição do número de unidades de Q_r utilizadas para produzir cada unidade de trabalho W . Entretanto, tal processo não pode continuar indefinidamente. Se quisermos continuar a aumentar a produtividade da máquina teremos que fazê-la operar com escalas de temperatura maiores. Na nova escala de temperatura, usamos calor Q_c' e rejeitamos calor Q_r' . Podemos

caminhar na curva de nível correspondente ao trabalho W' de modo a aumentar a substituição no número de unidades de calor Q_r' utilizadas para produzir uma unidade de trabalho W' (isto é, uma unidade de trabalho na escala W'). Note-se que a região de substituição existente é maior que a anterior, pois as temperaturas de operação são maiores. Assim, embora não haja substituição extensiva de recursos (tanto a quantidade absoluta de calor combustível quanto a quantidade absoluta de calor rejeitado aumentaram), há aumento na substituição intensiva. Em outras palavras, o aumento na escala de produção e consumo permite operar com maiores níveis de substituição intensiva.

Isto é suficiente para mostrar que é possível conceber o domínio de combinações de fatores utilizáveis para obter o produto econômico de modo diferente do neoclássico. Em Stiglitz (1979), supõe-se que a produção pode ocorrer com níveis tão pequenos quanto se queira de recursos naturais ou capital. É apenas uma questão de encontrar formas construtivas (arranjos organizacionais e tecnológicos) que tornem isto possível. Para a máquina térmica utilizando recursos Q_c e Q_r isto é impossível: não há arranjo construtivo que permita construir uma máquina térmica na qual a produtividade possa ser aumentada tanto quanto queiramos sem aumentar a escala de produção. Claramente, a Segunda Lei da Termodinâmica estabelece os limites do que é possível fazer em termos de inovação tecnológica envolvendo máquinas térmicas. Também indica como fazer: evidencia que operar a temperaturas maiores garante maior produtividade. Neste caso, o aumento da produtividade é tanto decorrência de adoção de novas formas construtivas quanto do aumento na oferta de calor combustível.

É útil construir um modelo de substituição de recursos naturais a partir de uma analogia com os argumentos de Carnot. Usaremos a Figura 4-16 para mostrar um modelo de substituição alternativo ao neoclássico, mais consistente com o fato observável de que o consumo per capita de energia não é decrescente, como deveria ser se a hipótese de que substituição intensiva implicasse também em substituição extensiva fosse verdadeira.

Figura 4-16: Representação geométrica da substituição de recursos naturais (n) e capital (k) sujeitos a restrições análogas às impostas pela Segunda Lei da Termodinâmica

Linhas delimitam o lugar geométrico das possibilidades de substituição. Além de assumir que a produção não pode ocorrer sem consumir alguma unidade de recurso natural e de capital, assume-se também que a região de substituição está contida, para cada nível de produção, num intervalo fechado limitado. Na situação em que esta restrição ocorre o caráter ‘essencial’ do recurso não é dado pelo fato de que as curvas de substituição não atingem os eixos, mas pelo fato de que é impossível aumentar *indefinidamente* o consumo de um deles sem ter que aumentar o consumo do outro. Diremos neste caso que ambos os recursos são limitacionais.

Se a produção se dá necessariamente a partir dos fatores limitacionais recursos naturais e capital, então somente poderemos ter uma trajetória de crescimento do produto se for possível aumentar a oferta de recursos naturais e capital ao longo do tempo. Pela Figura 4-16 é claro também que se formos bem sucedidos nesta tarefa observaremos um aumento na região de substituição viável ao longo do tempo, portanto, um aumento da elasticidade de substituição.

Uma trajetória de crescimento sujeita a tais restrições teria em linhas gerais a seguinte dinâmica. Melhorias no processo produtivo permitiriam caminhar na curva de substituição de modo a diminuir o consumo intensivo do fator mais escasso até o limite dado pelas linhas tracejadas. A partir deste ponto a produção somente pode ser aumentada se puderem ser feitos

investimentos para levar a produção ao nível Q' . Neste novo nível de produção a região de substituição é maior, logo, o sistema é capaz de operar com um nível maior de eficiência. Maior eficiência significa que menos unidades de entradas são necessárias para produzir cada unidade de produto. No entanto, note-se que o consumo absoluto tanto de recursos naturais quanto de capital é maior neste novo nível de produção. Assim, a diminuição no consumo intensivo (aumento na substituição intensiva) de um dos fatores é simultânea ao aumento no consumo absoluto de ambos os fatores.

Atingido o limite de substituição para o nível Q' a produção somente poderá ser aumentada se pudermos fazer investimentos para levarmos a produção ao nível Q'' . Ou seja, novos investimentos permitirão que trabalhemos com níveis absolutos de consumo de capital e recursos naturais maiores e também com maior eficiência. Se este processo for recorrentemente repetido, observaremos um progressivo aumento na elasticidade de substituição e na produtividade dos recursos naturais. Obviamente seria errado inferir a partir destas observações que o sistema econômico tem se tornado menos dependente de recursos naturais. Na verdade, a conclusão correta é a de que as inovações tecnológicas têm sido bem sucedidas em aumentar a dependência de recursos naturais e diminuir a dependência de outras formas de recursos. Este mecanismo torna mais claro a importância da distinção sempre ignorada pelos economistas entre substituição intensiva (diminuição na quantidade de recursos utilizada para obter uma unidade de produto) e substituição extensiva (redução na quantidade absoluta de recursos utilizada). Além disso, a distinção entre substituição intensiva e substituição extensiva nos leva a uma definição operacional de fator limitacional: *um fator é limitacional se a trajetória de crescimento não é compatível com substituição extensiva deste fator*^{83, 84}.

⁸³ Esta definição parte da proposta por Georgescu-Roegen (1935), embora existam diferenças importantes. Na definição de Georgescu a limitacionalidade é definida no ponto, aqui é definida pela observação de uma trajetória. É este erro de definição que tornou a definição de Georgescu suscetível às importantes críticas feitas por Kaldor (1937). Apesar da importância da análise de Kaldor (1937), sua defesa de que o conceito de fator limitacional pode ser reduzido ao conceito mais familiar aos economistas de complementaridade está incorreta. As noções de substituição e complementariedade usuais não permitirão apreender a situação elaborada na

Neoclássicos normalmente interpretam o aumento na elasticidade de substituição como evidência da capacidade do sistema econômico de utilizar tecnologias para substituir extensivamente a utilização de recursos naturais (ao menos é isto o que é tacitamente feito no contexto da análise econômica de recursos naturais). No entanto, a dinâmica aqui proposta permite sustentar uma interpretação alternativa, em que as inovações tecnológicas não podem prescindir de serem extensivas em recursos naturais.

O modelo de substituição apresentado não apenas nega que todo o aumento na substituição intensiva deva-se apenas a formas tecnológicas que viabilizaram aumentar a elasticidade de substituição, como também estabelece que a elasticidade de substituição tem aumentado *por causa* do aumento na oferta de recursos naturais. Esta possibilidade pode parecer estranha para aqueles que não têm algum conhecimento de termodinâmica, mas é totalmente consistente com a história e o mundo físico. É difícil negar, ainda hoje, cerca de 250 anos após a Revolução Industrial, a importância da disponibilidade de calor para as atividades produtivas. Em processos térmicos, o aumento no consumo implica no aumento no calor rejeitado, portanto, no aumento na quantidade de calor que pode ser redirecionada para o mesmo processo. Por esta razão aumentos na escala de produção permitem aumentar a eficiência de operação das máquinas. A enorme dependência dos sistemas produtivos em relação à energia térmica por si só sugere a importância quantitativa deste fenômeno.

Em suma, na situação proposta a partir da Figura 4-16 o fato das inovações tecnológicas terem permitido manter a participação relativa dos recursos naturais pequena na renda

Figura 4-16, o que por si só indica que limitacionalidade e substituição/complementaridade referem-se a questões distintas.

⁸⁴ No caso dos recursos naturais, para isolar a análise do efeito do aumento da população a substituição extensiva deve ser feita com base na variável intensiva consumo per capita. Na prática, na Figura 4-16 deve-se tomar renda per capita no eixo das abscissas e consumo per capita de recurso natural no eixo das ordenadas. Isto indica que a definição de variável extensiva e variável intensiva pode requerer ainda alguns formalismos adicionais.

nacional não é evidência da redução da importância destes recursos, mas da capacidade do sistema produtivo de aumentar a dependência extensiva em relação a tais fatores de produção por meio de aumentos sistemáticos na oferta destes recursos. Pode ser que num futuro imaginário a reprodução ampliada do sistema econômico possa ser feita sem acelerar os fluxos de energia e materiais (a teoria de produção neoclássica permite conceber tais futurismos). Entretanto, tudo o que sabemos até o momento contradiz tal possibilidade, de modo que não é racional acreditar que seja possível conciliar crescimento econômico perpétuo com sustentabilidade ambiental. A plausibilidade da posição neoclássica deixa de existir a partir do momento em que se demonstra que os fatos observáveis refutam a equação 4-28.

5 UM DIAGNÓSTICO DA CRISE AMBIENTAL GLOBAL

Os resultados apresentados no capítulo anterior não têm sido usados pelos economistas ecológicos para questionar a sustentabilidade fraca porque os economistas ecológicos não têm empreendido uma reflexão mais sistemática sobre o conceito de capital. Ou têm aderido a uma concepção equivocada de capital, largamente influenciados pela noção de capital natural proposta por Costanza e Daly (1992) ou têm tentando construir análises que tentam ignorar o conceito de capital (como ocorre nas metodologias baseadas em fluxos materiais). Ao não investigarem mais cuidadosamente o conceito de capital, os economistas ecológicos põem de lado a necessidade de investigar os mecanismos pelos quais um conceito adotado não apenas por acadêmicos mas pela sociedade civil cerceia a investigação da relação entre reprodução daquilo que é chamado de capital e mecanismos sociais de apropriação da natureza.

Da observação óbvia de que seres humanos não podem ‘criar’ o mundo material de que dependem segue que em todo sistema econômico existe algum mecanismo socialmente construído ao longo da história pelo qual se dá a apropriação de valores de uso. Há ampla evidência histórica de que tanto a forma da apropriação social dos valores de uso quanto o processo pelo qual estes valores de uso adquirem valor econômico podem variar bastante de uma civilização para outra⁸⁵.

A especificidade da civilização capitalista pode ser representada a partir de uma reflexão sobre a natureza do capital. Sob o capitalismo, a riqueza nas suas diversas formas concretas

⁸⁵ O trabalho de Polanyi (1980) sobre a especificidade da forma capitalista de estruturar a produção econômica é importante neste contexto. Em particular, pode fornecer as bases para compreender como algo que não é de fato ‘produzido’ (tais como recursos naturais ou trabalho) pode passar a ser tratado como uma mercadoria como qualquer outra. Em outras palavras (Polanyi, 1980, p. 181): “A função econômica é apenas uma entre as muitas funções vitais da terra. Esta dá estabilidade à vida do homem; é o local da sua habitação, é a condição da sua segurança física, é a paisagem e as estações do ano. Imaginar a vida do homem sem a terra é o mesmo que imaginá-lo nascendo sem mãos e pés. E, no entanto, separar a terra do homem e organizar a sociedade de forma a satisfazer as exigências de um mercado imobiliário foi parte vital do conceito utópico de uma economia de mercado”.

utilizadas nos processos de produção importa única e exclusivamente na medida em que garanta acesso a mais riqueza. No capitalismo a riqueza reside apenas transitoriamente em coisas materiais concretas (Heilbroner, 1988, p. 25), pois os valores de uso que constituem a riqueza na sua forma concreta são vistos apenas como instrumentos que dão acesso a outros valores de uso, que por sua vez darão acesso a novos valores de uso, e assim por diante. Este caráter auto-expansivo da produção capitalista é fundamental para caracterizar sua lógica e dinâmica. Entretanto, as noções de capital utilizadas no discurso econômico sobre sustentabilidade nem sempre fazem jus a este processo de auto-expansão do capital.

Se o capital fosse apenas os bens empregados na produção ou o dinheiro necessário para adquirir materiais e trabalho, então ele seria tão velho quanto a civilização, e não haveria sentido em tomá-lo como elemento identificador de determinada espécie de sociedade, digno, de fato, de ser tomado como símbolo histórico desta sociedade (Heilbroner, 1988, p. 26). Embora possa existir como dinheiro ou bens materiais usados na produção, o capital não é dinheiro nem bens materiais (Heilbroner, 1988, p. 26). Dinheiro e bens materiais existiram em outras épocas sem estarem associados a processos de auto-expansão autônomos nos quais aparecessem como meros momentos dentro de um ciclo interminável visto como internamente sustentável.

O processo repetitivo e expansivo do capital recorre sempre a formas de materialidade não-monetárias, pois as mercadorias obviamente devem ser adequadas à satisfação de necessidades humanas. Entretanto, como observa Heilbroner(1988, p. 26):

“Mas os atributos físicos dessas mercadorias, mesmo quando na forma de objetos de luxo, não são apreciados como provas de êxito final na busca de riqueza, enquanto estejam na posse do capitalista. Ao contrário, sua existência física é um obstáculo a ser superado, pela conversão das mercadorias novamente em dinheiro. Mesmo então, quando estejam vendidas, o dinheiro obtido em troca delas não é visto como resultado final, mas apenas como uma etapa em seu ciclo interminável.”

Tanto o dinheiro quanto os valores de uso na forma de mercadorias que o capitalista possui importam apenas na medida em que permitam realizar o ciclo D (dinheiro) $\Rightarrow M$ (mercadoria) $\Rightarrow D'$ (dinheiro), com $D' > D$ a cada ciclo realizado. O fato do ciclo começar e terminar com uma representação monetária tende a apagar os elos causais não-monetários

presentes no processo pelo qual o capitalismo se reproduz. No entanto, na realidade o próprio valor monetário atribuído ao capital é tão somente uma medida, largamente influenciada pela dimensão subjetiva das expectativas dos agentes no mercado, do grau com que determinados recursos viabilizam a reprodução deste ciclo. A medida do objeto não deve ser confundida com o objeto, assim como o metro não deve ser confundido com o comprimento.

“Portanto, o capital não é uma coisa material, mas um processo que utiliza coisas materiais como momentos de sua existência continuamente dinâmica” (Heilbroner, 1988, p. 27). Poder-se-ia também dizer que o capital é uma relação social específica estabelecida por determinada civilização com os valores de uso de que depende o metabolismo societal. Obviamente, este processo faz uso de coisas materiais, mas o que caracteriza o capital não são estas coisas materiais, mas o estado de permanente auto-expansão do capital (Heilbroner, 1988, p. 27). “A teoria do capital como um processo em expansão é fundamental para escapar ao fetichismo do capital como objetos, tais como máquinas, ou como uma quantia em dinheiro” (Heilbroner, 1988, p. 27). Tal teoria “nos leva a encarar o capital como uma teia de atividades sociais que permite que tenha lugar a contínua metamorfose $D - M - D$ ” (Heilbroner, 1988, par. 11, p. 27).

É fundamental rejeitar a visão do capital como coisa e incorporar a visão do capital como uma relação social específica com as coisas, na qual os objetos são apreciados não pelas suas eventuais qualidades intrínsecas que nos permitem diferenciá-los uns dos outros, mas por sua potencial contribuição na apropriação privada de coisas presentes no universo social. Como esta relação social é reproduzida incessantemente num mundo mutável ela é também um processo: recorrentemente a realidade objetiva é alterada e reestruturada para sustentar a relação social capitalista numa frequência a amplitude cada vez maiores. A ontogenia do processo de reprodução e acumulação do capital é portanto marcada pelo processo pelo qual qualidades concretas do mundo real são recorrentemente utilizadas para expandir a riqueza na forma pecuniária passível de ser apropriada privadamente.

Partindo desta concepção de capital é fácil ver que sob no sistema de produção atual os valores de uso importam primariamente como meios para aumentar o acesso e o controle sobre outros valores de uso, e apenas secundariamente por suas propriedades específicas. Na

verdade, em toda economia na qual surjam trocas sistemáticas as condições objetivas para que isto em alguma medida possa ocorrer existem, pois numa economia monetária todo objeto pode ser visto tanto como portador de propriedades materiais específicas quanto como portador de valor de troca. Como observou Aristóteles, a partir deste estágio do desenvolvimento do sistema sócio-econômico existem condições objetivas para que a produção seja organizada não em termos das necessidades dos membros da sociedade, mas em termos da busca ilimitada por riqueza pecuniária.

Mas é apenas sob o capitalismo que as potencialidades de um sistema de produção concebido monetariamente realizam-se plenamente. Em outras civilizações, restrições de um tipo ou de outro sempre impediram que o sistema econômico se tornasse autônomo o suficiente para que a reprodução econômica pudesse ser organizada no sentido de sempre aumentar a riqueza monetária a cada ciclo reprodutivo. Polanyi (1980) argumenta que apenas na civilização atual é possível separar o sistema econômico da totalidade do sistema social.

Tanto por não refletirem mais criticamente sobre a natureza do capital⁸⁶ quanto por não distinguirem entre valor de uso e valor de troca, os economistas ecológicos têm deixado de apontar o papel que os mecanismos históricos de apropriação social da natureza tiveram para o advento do capital e têm tido para a continuidade da sua existência. Isto é bastante surpreendente, pois a chamada Economia Ecológica é no final das contas uma economia dos valores de uso, isto é, uma ciência econômica na qual se busca reconhecer de modo sistemático a contribuição das formas de materialidade não-monetárias para a existência do sistema econômico.

A relação entre uma economia voltada para a expansão da riqueza monetária e a realidade de sistemas cuja reprodução depende do acesso a propriedades materiais específicas é um conflito persistentemente repostado sem nunca ser superado. Se é verdade que sistemas econômicos só podem se reproduzir pelo acesso contínuo a valores de uso, de que modo um sistema econômico cujas decisões são tomadas no sentido de reproduzir continuamente e

⁸⁶ Sobre valor na perspectiva da economia ecológica ver Amazonas (2009).

prioritariamente quantidades monetárias pode existir? A abordagem neoclássica nos fala sobre preços e substituições viabilizadas pela tecnologia, mas a partir do momento em que está claro que substituições extensivas de valores de uso primários não são a regra é preciso encontrar uma explicação alternativa.

Na verdade, como os valores de uso são apreciados pelos que controlam a produção unicamente como meio para reproduzir capital, pode-se dizer que há um processo de permanente seleção no qual valores de uso que contribuem para a reprodução do capital tendem a ser escolhidos, enquanto aqueles que não permitem aumentar a reprodução do capital tendem a ser abandonados ou ignorados, mesmo que sob outros pontos de vista possam ser apreciados positivamente. Ao se reconhecer a realidade deste processo, é difícil não atribuir importância a padrões de longo prazo envolvendo a utilização de valores de uso específicos.

Uma vez que o sistema econômico opera em meio a variações tanto casuais quanto intencionais na produção que são preservadas apenas na medida em que se mostrem eficazes na promoção do capital, a permanência de padrões de longo prazo envolvendo valores de uso específicos não pode ser gratuita: informa-nos algo sobre a dinâmica estrutural da produção capitalista. Entretanto, a informação fornecida por estes padrões de longo prazo não pode ter seu significado elucidado se partirmos de uma concepção meramente monetária da produção. Se vemos o crescimento do valor econômico como uma operação puramente monetária, não há sequer como representar as restrições materiais não-monetárias que precisam ser continuamente superadas para dar vida ao capitalismo: recursos naturais adequados precisam estar disponíveis; mão-de-obra de tipos distintos precisa ser utilizada; o consumidor precisa ser persuadido, etc. Em suma, quando se considera que a representação monetária é suficiente deixa-se de fora da análise qualquer investigação sobre os padrões estruturais envolvendo as restrições materiais não-monetárias.

Tomar a representação monetária como suficiente é admitir que a multiplicidade dos valores de uso utilizados nos processos econômicos pode ser convertida numa quantidade homogênea sem restrições. Esta é sem dúvida uma proposição bastante forte e significativa. Segundo este ponto de vista, é irrestritamente aceitável estabelecer equivalências entre bananas, tomates,

tornos mecânicos, revistas de fofocas e tudo o mais que se possa conceber ou venha a ser concebido.

A distinção proposta por Georgescu-Roegen (1984) entre tecnologias factíveis e viáveis permite construir uma redescrição do sistema econômico que contemple tanto a existência de equivalências no mundo econômico como o papel dos recursos naturais como simultaneamente limitadores e viabilizadores do processo social de produção. Segundo Georgescu-Roegen (1984, p. 29):

“Claramente, um processo (ou uma receita) é factível se no momento da discussão, conhecemos todas as suas coordenadas de fluxos e fundos. Portanto, fermentar pão, transmitir mensagens por ondas eletromagnéticas, fundir o minério de ferro, são todas receitas factíveis. Mas controlar energia termonuclear ou impedir terremotos não são. Além disso, embora todos os processos incluídos em cada tecnologia tenham que ser factíveis, nem toda tecnologia é necessariamente viável⁸⁷.”

Por que nem todo processo factível é viável? Porque apenas os processos cuja reprodução por si só é capaz de aumentar ou manter a disponibilidade de fatores limitativos socialmente apropriáveis é viável (Georgescu-Roegen, 1984, p. 29):

“Para explicar. Uma tecnologia é viável se e somente se pode manter a correspondente estrutura material e necessariamente a espécie humana. Uma ilustração instrutiva da propriedade da viabilidade é encontrada num organismo vivo ou espécie biológica. O que parece necessário enfatizar é que toda tecnologia viável é apoiada por algum combustível, por alguns recursos ambientais, mas que nenhuma tecnologia pode criar seu próprio “combustível”.

Um exemplo simples de tecnologia inviável é este. Imagine uma tecnologia em que a única ferramenta de capital é um martelo que martela o mesmo tipo de martelo a partir de pedras livremente encontradas. O mesmo martelo é usado para quebrar um tipo de noz muito dura que é o único alimento da população. Se 1 martelo não durar o

⁸⁷ Georgescu-Roegen (1984) usa o adjetivo ‘feasible’ para referir-se ao que aqui chamamos de factível e utiliza o adjetivo ‘viable’ para o que aqui chamamos de viável.

suficiente para martelar outro martelo e quebrar uma quantidade específica de nozes para manter a população, então esta tecnologia não é viável.”

Note-se que as ‘pedras encontradas livremente’ funcionam como ‘combustível’, ou seja, correspondem a valores de uso cuja disponibilidade é imprescindível para a produção e reprodução de martelos. A durabilidade do martelo está inelutavelmente ligada à qualidade das pedras encontradas. Pedras que se deteriorem rapidamente tornam impossível que o martelo dure o suficiente para martelar outro martelo e obter nozes na quantidade requerida para alimentar a população. Vale observar também que a sustentabilidade da reprodução da população humana depende não somente fatores puramente biofísicos, mas também de condições históricas: não existe uma razão a priori para que a população se alimente apenas de nozes. Portanto, o conceito de viabilidade proposto por Georgescu-Roegen (1984) embute tanto relações materiais biofísicas (não existe tecnologia viável que cria seu próprio ‘combustível’) quanto de relações cuja necessidade têm validade histórica (a dependência da população em relação a formas de consumo específicas, como evidenciado pela alimentação baseada em nozes).

Georgescu-Roegen (1984, p. 30) observa muito bem que na imensidão de tecnologias factíveis criadas ao longo da história humana uma pequena parte é viável, citando o fogo e o carvão como exemplos. É característico destas tecnologias o fato delas desencadearem processos auto-sustentáveis. Por exemplo, com uma pequena chama pode-se incendiar uma floresta inteira, na realidade, todas as florestas (Georgescu-Roegen, 1984, p. 30). A idéia de que existe uma equivalência absoluta entre os fatores de produção, de tal forma que uma trajetória de crescimento econômico indefinidamente longa seria compatível com um consumo tão pequeno quanto se queira de *qualquer fator produção*, é incompatível com a distinção entre tecnologias factíveis e viáveis proposta por Georgescu-Roegen (1984). Em suma, o princípio da equivalência absoluta assume que não existem fatores limitativos para a reprodução do sistema econômico, de modo que qualquer tecnologia factível pode ser tornada viável.

Ainda com relação à distinção entre tecnologia factível e viável, vale observar que as tecnologias factíveis não devem de modo algum serem vistas como meras parasitas de

tecnologias viáveis, pois embora não sejam auto-sustentáveis ainda assim podem ser imprescindíveis para aumentar a produtividade do sistema. As chamadas tecnologias da informação, que numa perspectiva de longuíssimo prazo poderia englobar desde o advento da escrita até a Internet, são talvez o melhor exemplo disso. Por si só, estas tecnologias não permitem aumentar a disponibilidade de fatores limitativos e inclusive implicam necessariamente na degradação de parte do estoque de valores de uso de baixa entropia. Entretanto, aliadas a tecnologias viáveis, aumentam enormemente a produtividade do sistema como um todo e das tecnologias viáveis em particular.

É verdade que a humanidade tem sido bem sucedida na descoberta de novas tecnologias viáveis que substituam tecnologias viáveis pré-existent, em particular nos últimos séculos. O petróleo substituiu o carvão, que por sua vez substituiu a madeira, e não se pode realmente descartar a possibilidade de que novas tecnologias viáveis venham a substituir o petróleo. Diante deste processo, por não observarem adequadamente a forma como tais sucessos do passado têm sido possíveis, neoclássicos têm tido a forte tendência a supor que o binômio tecnologia-mercado tem sido capaz de homogeneizar a base de recursos, sugerindo que as tecnologias desenvolvidas têm sido capazes de na prática criarem seu próprio ‘combustível’. Se a base de recursos é totalmente homogênea, a própria diferença qualitativa entre o que seja ‘combustível’ e o que seja ‘não-combustível’ deixa de existir. Além disso, o fato de que cada nova tecnologia viável tenha operado pela transformação qualitativa de valores de uso específicos, e não apenas por mudanças na forma dos arranjos produtivos, tem sido sistematicamente ignorado na representação neoclássica do processo produtivo⁸⁸.

Na perspectiva de produção neoclássica, o sistema produtivo envolve apenas a transferências de recursos entre proprietários, não a transformação qualitativa de valores de uso pré-

⁸⁸ O que Georgescu-Roegen (1984, p. 30) aponta para o fogo vale também para outras tecnologias viáveis: “O domínio do fogo foi uma invenção extraordinária porque em primeiro lugar o fogo atinge uma conversão de energia *qualitativa*, a conversão de energia química dos materiais combustíveis em poder calorífico”. Ou seja, o domínio do fogo envolveu a transformação qualitativa de um valor de uso existente em outro valor de uso socialmente valorizado. Os itálicos são do original.

existentes. Entretanto, um dos pontos mais importantes no experimento mental de Carnot é o fato de evidenciar que a existência de processos viáveis envolve não somente a transferência de recursos de uma região do sistema, mas também necessariamente a transformação qualitativa de propriedades materiais pré-existentes.

O calor de combustível usado para obter trabalho mecânico e o calor rejeitado são qualitativamente distintos: a capacidade de realizar trabalho do calor rejeitado é sempre menor que a do calor de combustível. Se o processo envolvesse simplesmente a transferência de recursos de uma região do sistema para outra, seria possível conceber alguma forma construtiva pela qual a quantidade total de calor rejeitado tivesse a mesma capacidade de realizar trabalho que o calor de combustível. Entretanto, sabe-se que isto é impossível. O calor rejeitado poderá ser utilizado para realizar trabalho, se estiver associado a um terceiro reservatório de temperatura ainda menor, mas neste caso o trabalho realizado será necessariamente menor que aquele que poderia ser realizado se o terceiro reservatório estivesse associado ao reservatório com calor de combustível.

A diferença na capacidade de realizar trabalho dos ‘fatores de produção’ calor de combustível e calor rejeitado evidencia que o calor de combustível não foi simplesmente transferido do reservatório quente para o reservatório frio, e que o calor de combustível foi qualitativamente transformado (degradado) para realizar trabalho. Soluções que aumentem a produtividade dos recursos utilizados não podem contornar o fato de que para realizar trabalho é necessário degradar recursos extraídos do ambiente transformando qualitativamente recursos de alta qualidade (baixa entropia) em recursos de baixa qualidade (alta entropia) que são devolvidos ao ambiente. Na verdade, pode-se dizer que quanto mais produtivo for o sistema, mais bem sucedido será o processo de degradação. Um sistema mais produtivo é aquele que degrada mais adequadamente os recursos, fornecendo uma maior quantidade de produto a partir da mesma quantidade de entradas.

Em suma, não é possível realizar trabalho sem transformar qualitativamente recursos pré-existentes. Não apenas aumentos de produtividade não permitem contornar este último fato, como os aumentos de produtividade dependem da possibilidade de transformar quantidades crescentes de recursos pré-existentes de alta qualidade. Como se sabe, quanto maior a

diferença de temperatura entre os reservatórios, maior a eficiência da máquina de Carnot. Entretanto, para que a máquina opere com temperaturas de reservatório quente maiores é necessário utilizar quantidades absolutas maiores de combustível de alta qualidade. Paradoxalmente, a máquina que puder consumir maiores quantidades absolutas de combustível será a mais eficiente, isto é, consumirá menos combustível por unidade de produto obtida. Num processo carnotiano o capital natural representado pela disponibilidade crescente de recursos de baixa entropia é tão ou mais importante que o capital intelectual utilizado na elaboração de novas formas construtivas de aproveitamento dos recursos.

Assim como não é possível obter trabalho mecânico sem degradar recursos de alta qualidade, também não é possível obter martelos sem degradar ‘pedras livremente encontradas’ no ambiente. No caso do exemplo hipotético concebido por Georgescu-Roegen (1984), além das pedras funcionam como ‘combustível’ também as nozes que alimentam a população. Na realidade, o que Georgescu-Roegen (1984) chama de ‘combustível’ corresponde a qualquer valor de uso de baixa entropia que limite a reprodução do sistema sócio-econômico.

O foco exclusivo em equivalências monetárias tem cegado a civilização atual para a enorme dependência do sistema sócio-econômico em relação a consumo crescente de valores de uso específicos não produtíveis e extraídos da natureza. No caso do modo de produção atual, dentre as ‘pedras livremente encontradas’ tem tido um papel destacado o estoque finito e exaurível de combustíveis fósseis, cuja degradação acelerada a partir da Revolução Industrial tem produzido como consequência inescapável tanto os aumentos de produtividade do trabalho social observados desde então quanto o aumento nas emissões de gases de efeito-estufa.

A existência de processos viáveis carnotianos não é por si só impedimento para a existência de um sistema econômico baseado na auto-expansão de quantidades monetárias e no princípio da equivalência absoluta. Para a validade histórica do princípio da equivalência absoluta basta que a oferta de fatores limitativos possa ser continuamente assegurada. Se isto ocorrer, o princípio da equivalência absoluta pode passar a ser transformado numa lei social

inquestionável. A partir do momento em que as condições objetivas para validar o princípio da equivalência absoluta estejam satisfeitas, a própria concepção social do que seja um problema econômico modifica-se⁸⁹.

Uma vez que a disponibilidade de valores de uso limitativos esteja assegurada, é possível conceber a produção econômica não em função dos valores de uso que satisfazem as necessidades humanas, mas em função dos valores pecuniários acessados a partir destes valores de uso. Por um lado, a escassez relativa dos valores de uso é sinalizada por seus preços no mercado, por outro, a disponibilidade assegurada de fatores limitativos garante que a trajetória de preços dos fatores limitativos não apresentará trajetórias de crescimento que inviabilizem a produção. Neste processo, a autonomia do mercado vem junto com uma indiferença quanto à natureza material dos fatores de produção, passando então a valer o princípio da equivalência absoluta, tomado inclusive não como lei histórica, mas como lei universal.

Da perspectiva do princípio da equivalência absoluta, todo problema da produção acaba sempre reduzido a variações de problemas de otimização, o que é bastante compreensível. De fato, se todas as quantidades são equivalentes, é bastante natural reduzir o problema da produção ao problema de como obter o máximo de produto a partir de quantidades de entradas dadas, ou de como minimizar o consumo de entradas equivalentes dadas na obtenção de uma quantidade especificada de produto. Se pensarmos a produção em termos do princípio da equivalência absoluta, é difícil ver como o problema da produção econômica poderia ser formulado de outra forma. A visão da Economia como ciência da alocação eficiente dos recursos é tão somente uma adesão radical à produção concebida nos termos do princípio da equivalência absoluta.

⁸⁹ A oferta de fatores limitativos soma-se a outras condições objetivas já amplamente discutidas pelos historiadores para o advento do capitalismo, tais como a transformação do trabalho em mercadoria e a institucionalização da propriedade privada dos meios de produção.

Vale a pena observar que sob tal perspectiva o problema da disponibilidade não é um problema realmente material, mas apenas formal: trata-se de encontrar as formas organizativas e construtivas que se mostrem mais eficientes para reproduzir o capital. Não há problema material porque, em tese, há uma equivalência absoluta entre todos os recursos: todo e qualquer recurso material pode ser dispensado se quantidades suficientemente elevadas de outros recursos estiverem disponíveis. Como todos os fatores são absolutamente equivalentes, não há realmente fatores limitativos. E, por não haver fatores limitativos, a distinção entre processos factíveis e viáveis é vista como inaplicável: tudo aquilo que é factível é em tese também viável. Não há nenhuma distorção ou exagero ao dizer-se que na perspectiva neoclássica não há nem pode haver um problema genuíno de disponibilidade⁹⁰. O argumento neoclássico usado no contexto das discussões sobre sustentabilidade é um exemplo lapidar desta afirmação, por evidenciar claramente a tese de que há uma equivalência absoluta entre os fatores de produção e a forma como tal tese poderia ser tornada consistente.

De que modo o princípio da equivalência absoluta tem sido tornado logicamente consistente? A estratégia tem sido basicamente a de delimitar drasticamente o escopo da Economia, de modo a deixar de fora da representação analítica o reconhecimento da variabilidade qualitativa dos fatores de produção. Para isto tem sido fundamental a exclusão do discurso econômico da noção de valor de uso⁹¹.

Mas procedimentos analíticos não são suficientes, nem são o mais importante no processo de redução do escopo da análise econômica. É preciso que existam condições históricas para que a representação monetária do sistema econômico possa ser tomada como suficiente para diagnosticar a reprodução do sistema econômico. Certamente, o advento e a consolidação da

⁹⁰ Isto não deixa de ser um curioso paradoxo, uma vez que a economia neoclássica define-se basicamente como a ciência da escassez. Deve-se lembrar que os neoclássicos ocupam-se fundamentalmente da escassez relativa, ignorando uma eventual escassez que pudesse ser considerada absoluta. Esta última está diretamente ligada ao problema da disponibilidade.

⁹¹ Sobre a forma como a tradição neoclássica excluiu o conceito de valor de uso da Economia, ver Meikle (2001).

mentalidade monetária, associada ao papel que os mercados passaram a assumir sob o capitalismo, naturaliza a visão de que há sempre uma equivalência entre os recursos que pode ser explorada, pois esta é em grande medida de fato a realidade do cotidiano dos mercados. Para que o princípio da equivalência absoluta tenha validade basta que seja instrumentalmente verdadeiro que a reprodução do sistema econômico independa da natureza material dos fatores de produção no contexto histórico em que a análise é aplicada. Uma vez que as abstrações em torno do princípio da equivalência absoluta tornem-se viáveis, analistas poderão reproduzi-lo como princípio organizativo de suas investigações.

Por fazer parte do núcleo duro do programa de investigação científica neoclássico, o princípio da equivalência absoluta não é submetido à crítica pelos neoclássicos. O princípio da equivalência absoluta é um postulado que o analista neoclássico assume *a priori* como verdadeiro. Não é uma verdade empírica, embora o neoclássico tenda a tomá-lo como tal, mas um princípio que, como ocorre com as assertivas que constituem o núcleo duro de todo programa de investigação científica, orienta a construção de assertivas sobre a realidade objetiva, dotando-a de significado e relevância⁹². Muitas vezes o neoclássico faz uso deste princípio de modo inconsciente, e normalmente o analista neoclássico busca em cada novo fato uma oportunidade para aplicar este princípio e outros que constituem o núcleo duro de seu programa de investigação científica⁹³.

Em termos científicos, para o neoclássico os atuais problemas ambientais são apenas um novo campo de aplicação para o princípio da equivalência absoluta. De que modo então o princípio

⁹² A idéia de que programas de investigação científica possuem um núcleo duro inquestionável envolto por proposições que funcionam como cinturão protetor deve-se a Lakatos (1989). Uma útil introdução à complexa e importante obra de Lakatos é Larvor (1988).

⁹³ Não se pretende fazer uma caracterização completa do núcleo duro do programa de pesquisa científica neoclássico. Por exemplo, outra assertiva que faz parte do núcleo duro neoclássico é sua perspectiva hedonista, na qual seres humanos são concebidos como meros maximizadores de prazer. Para os propósitos deste trabalho, basta reconhecer que o princípio da equivalência absoluta é um dos constituintes do núcleo duro do programa de investigação científica neoclássico.

da equivalência absoluta permitiria sustentar o dogma do crescimento econômico em meio ao reconhecimento da existência de recursos fisicamente exauríveis? Ou seja, qual tem sido a estratégia central neoclássica para estender a aplicação do princípio da equivalência absoluta à nova classe de problemas representada pelo desafio ambiental? Stiglitz (1979) expõe com clareza o cerne da estratégia neoclássica. Na sua exposição sobre como o indicador elasticidade de substituição permitiria medir a capacidade do sistema econômico de reproduzir-se em meio à dependência de recursos naturais, Stiglitz (1979) assume que a taxa marginal de substituição de capital natural por capital fabricado seja totalmente controlada pelo quociente (capital fabricado / capital natural). Partindo desta suposição, a posição neoclássica é bastante lógica. Se a taxa com que é possível substituir o recurso A pelo recurso B depende apenas do quociente (B/A), então se houver quantidades suficientemente elevadas de B a reprodução do sistema é compatível com qualquer trajetória imaginável de consumo do recurso A. Em particular, seria possível uma trajetória de crescimento do sistema com consumo cada vez menor do recurso A. Do ponto de vista neoclássico, é irrelevante que A sejam recursos naturais e B sejam artefatos fabricados, pois na perspectiva neoclássica não há espaço para distinguir entre processos factíveis e viáveis. Evidentemente, esta forma de representar o problema é um mero desdobramento da suposição de que há uma equivalência absoluta entre os fatores: se tivermos quantidades suficientemente elevadas do recurso B, poderemos aumentar a substituição de A por B tanto quanto quisermos⁹⁴.

Conforme já mostrado anteriormente, por assumir que a taxa de substituição de A por B depende apenas do quociente (B/A), e não das quantidades absolutas de A ou B, o medidor neoclássico da substituição (a elasticidade de substituição) gera como proposição testável a previsão de que à trajetória de crescimento econômico está associada uma trajetória de consumo decrescente do recurso A. Tal previsão está em franca contradição com a evidência

⁹⁴ Consistentemente com o fato de que as proposições do núcleo duro organizam a realidade e dão sentido a ela, Stiglitz (1979) afirma que as hipóteses assumidas pelo modelo neoclássico referente à análise de recursos naturais são bastante intuitivas. Intuições são algo imprescindível em qualquer análise substantiva. Entretanto, é sempre bom lembrar que elas dependem bastante da nossa história de relações. Na prática, pode ser bastante difícil distinguir entre uma intuição e um preconceito herdado da tradição.

histórica disponível. Na verdade, as trajetórias de consumo per capita crescente de recursos naturais mostram que a oferta crescente de valores de uso de baixa entropia tem sido uma das condições históricas para a existência e permanência do capital, e para a aparente validade do princípio da equivalência absoluta.

A posição neoclássica é análoga a de um mundo no qual se descobriu a Primeira Lei da Termodinâmica, mas não a Segunda Lei. Com a Primeira Lei da Termodinâmica, está posta a equivalência entre as diversas formas de energia. As máquinas térmicas que viabilizaram a Revolução Industrial basicamente exploram a equivalência entre energia térmica de combustíveis e energia mecânica cinética. Na perspectiva da Primeira Lei, é intuitivo pensar que a produção de trabalho poderia ser feita a contento não com base na energia térmica de combustíveis escassos, mas com base em qualquer uma das múltiplas fontes de energia dispersa que vemos à nossa volta. Por que utilizar a energia poluente dos combustíveis fósseis se podemos usar o ‘gratuito’ movimento das marés? O próprio fato de que a Primeira Lei estabelece uma equivalência entre as formas de energia sugere que as diferenças qualitativas entre os recursos que podem ser utilizados para realizar trabalho sejam apenas aparentes. Que fato físico indica que há uma diferença qualitativa objetiva entre as formas de energia, não contornável por formas construtivas adequadas? Para encontrar resposta a esta pergunta temos de recorrer à Segunda Lei da Termodinâmica.

Na verdade, Georgescu-Roegen (1971) é essencialmente um empreendimento sistemático no sentido de expor o significado da Segunda Lei da Termodinâmica para a análise econômica⁹⁵. Contrariamente à ortodoxia econômica, Georgescu-Roegen (1975) negou que o processo econômico possa ser tomado como um processo isolado e auto-sustentável. Ele percebeu claramente que o acesso a qualidades concretas específicas é um aspecto essencial da

⁹⁵ Como se sabe, em Georgescu-Roegen (1971) é apresentada a exposição mais abrangente das implicações da Segunda Lei da Termodinâmica para a análise econômica. O autor possui também inúmeros artigos nos quais expõe sua heterodoxa posição, dentre os quais pode-se citar, por exemplo, Georgescu-Roegen 1975, 1979, 1986). Edição da *Ecological Economics* de 1997 (número 22) é dedicada à obra de Georgescu-Roegen. Para uma boa exposição das idéias de Georgescu-Roegen em português, ver Cechin (2010).

reprodução do sistema econômico, o qual deve necessariamente estar incluído em qualquer representação analítica consistente do sistema. Apóia-se nesta percepção sua ênfase na Segunda Lei da Termodinâmica⁹⁶. Reinterpretando Georgescu-Roegen a partir da perspectiva de valores de uso socialmente apropriados pode-se dizer que é a Segunda Lei da Termodinâmica que impõe a existência de uma diferença qualitativa objetiva entre os valores de uso empregados ou empregáveis no processo produtivo.

Evidentemente, tal posição é inconciliável com o princípio da equivalência absoluta. Na verdade, a relação entre a imagem do processo econômico proposta por Georgescu-Roegen e aquela que emerge de um sistema econômico baseado em equivalências é análoga à relação entre a imagem do mundo físico derivada da Primeira Lei da Termodinâmica e aquela que emerge com o surgimento da Segunda Lei da Termodinâmica. Aliás, a discordância entre a Primeira e a Segunda Leis da Termodinâmica não passou despercebida a Georgescu-Roegen (1975, pp. 351-352):

“Energia, independentemente da qualidade, é assunto para uma estrita lei da conservação, a Primeira Lei da Termodinâmica, que é formalmente idêntica à conservação de energia mecânica mencionada antes. E como trabalho é uma das múltiplas formas de energia, esta lei expõe o mito do movimento perpétuo do primeiro tipo. Entretanto, não leva em conta a distinção entre energia disponível e não-disponível; *por si a lei não exclui a possibilidade de que uma quantidade de trabalho deva ser transformada em calor e este calor reconvertido na quantidade inicial de trabalho*. A Primeira Lei da Termodinâmica então permite que qualquer processo ocorra tanto para a frente quanto para trás, de modo que tudo é de novo exatamente como era no início, sem que nenhum traço seja deixado pelo acontecimento. Com apenas esta lei estamos ainda na mecânica, não no domínio dos fenômenos reais, o que certamente inclui o processo econômico.

A oposição irreduzível entre mecânica e termodinâmica sustenta-se a partir da Segunda Lei, a Lei Entrópica. A mais antiga de suas formulações é também a mais transparente para o não-especialista: “Calor flui por si mesmo apenas do corpo mais quente para o corpo mais frio, nunca no sentido contrário.” Uma mais desenvolvida mas

⁹⁶Como ocorre, por exemplo, na seguinte passagem (Georgescu-Roegen 1975, p. 353): “É a termodinâmica, através da Lei da Entropia, que reconhece a distinção qualitativa que os economistas deveriam ter feito desde o início entre as entradas de recursos valiosos (baixa entropia) e os produtos finais de resíduos sem valor (alta entropia).”

equivalente formulação é que a entropia de um sistema fechado continuamente (e irrevogavelmente) aumenta em direção a um máximo; i. e., a energia disponível é continuamente transformada em energia não disponível até que desaparece completamente⁹⁷.”

Enquanto a Primeira Lei afirma a equivalência das formas de energia, a Segunda reconhece limites a esta equivalência. São estes limites que tornam plausível falar-se em energia disponível e não-disponível ao mesmo tempo em que se diz que a energia do universo é constante. Embora a energia do universo seja constante, há uma diferença qualitativa entre estas formas de energia, que justifica o conceito de entropia e dá novo sentido à noção de escassez. É precisamente pelo fato de que não há uma equivalência absoluta entre os recursos utilizáveis que representar o processo econômico em termos de escassez relativa é errôneo: mesmo quantidades infinitas de recursos de alta entropia não podem substituir as quantidades limitadas de recurso de baixa entropia demandadas para a reprodução do sistema econômico. É por esta razão que é plausível falar-se não apenas em escassez relativa, mas também em escassez absoluta de recursos. Os fluxos crescentes de energia e materiais indicam a necessidade de distinguir entre formas de escassez relativa e absoluta: a reprodução ampliada do sistema econômico não pode prescindir de aumentos no consumo de valores de uso de baixa entropia. A escassez absoluta se manifestaria na impossibilidade de aumentar o consumo total de valores de uso de baixa entropia.

Em suma, a Segunda Lei da Termodinâmica obriga o analista a reconhecer que os processos produtivos requerem que se explore tanto o espaço de equivalências do mundo mecânico quanto o espaço de diferenças qualitativas que existem entre recursos de baixa entropia e recursos de alta entropia. Os processos produtivos envolvem tanto a transferência de recursos de uma região do sistema para outra quanto a transformação qualitativa de recursos. Uma vez que a diferença qualitativa entre os fatores de produção seja plenamente reconhecida, o que requer o abandono da idéia de que a representação monetária do sistema econômico seja

⁹⁷ Todos os *itálicos* desta citação estavam presentes no texto original em inglês.

suficiente⁹⁸, é inevitável que se enfatize o significado econômico do experimento mental pelo qual Carnot demonstrou a Segunda Lei da Termodinâmica (Georgescu-Roegen, 1971, p. 276):

“Em retrospecto é óbvio que a natureza do problema em que Carnot estava interessado é econômica: determinar as condições sob as quais se poderia obter a mais alta quantidade de trabalho mecânico a partir de uma dada quantidade de calor livre. Carnot, portanto, pode ser saudado como o primeiro economista. Mas o fato de que sua memória, o primeiro trabalho de peso na termodinâmica, tivesse uma moldura econômica não é mero acidente. Cada desenvolvimento subsequente na termodinâmica tem acrescentado nova prova da ligação entre processo econômico e princípios termodinâmicos. Apesar de esta tese parecer extravagante *prima facie*, a termodinâmica é em grande medida uma física do valor econômico, como Carnot involuntariamente estabeleceu.”

É bastante clara a convicção de Georgescu-Roegen (1971) quanto ao significado econômico da Segunda Lei da Termodinâmica. Entretanto, embora Georgescu-Roegen tenha apresentado argumentos bastante convincentes para dar peso à tese de que as leis da termodinâmica sejam relevantes para a análise econômica, ele não tentou usar sua perspectiva teórica para refutar empiricamente a teoria de produção neoclássica. Em vez disso, procurou mostrar a inadequação do aparato conceitual neoclássico, inclusive no plano epistemológico, e desenvolver as implicações do reconhecimento das leis da termodinâmica para a representação analítica dos processos econômicos. Especialmente em *The Entropy Law and the Economic Process* isto é feito de maneira bastante sistemática. Esta era sem dúvida uma tarefa essencial para estabelecer uma análise econômica na qual o processo econômico pudesse ser representado sem mistificações, ou pelo menos contendo menos mistificações.

A estratégia adotada por Georgescu-Roegen é na realidade uma etapa que precede a construção de estudos empíricos visando criticar a teoria hegemônica. Apenas um empiricismo dos mais ingênuos pode supor que a escolha de teorias adotadas é dada meramente pelo que nos dizem os dados, sem ser mediada por concepções e conceitos.

⁹⁸ Insuficientes, porém necessárias num sistema econômico altamente complexo como o atual. Georgescu-Roegen (1979) observa que não se deve confundir o reconhecimento da incorporação das leis da termodinâmica à análise econômica com teorias energéticas do valor ou algum outro tipo de reducionismo energético.

Mas, ainda que imprescindível, a reconstrução teórico-conceitual é claramente insuficiente para consolidar perspectivas teóricas que além de divergirem da posição ortodoxa estão também em confronto com ela. Um espectador indeciso ou um economista neoclássico podem se perguntar: não seria a posição de Georgescu-Roegen (1971) apenas uma teorização alternativa, interessante pelas questões filosóficas que coloca, mas ainda assim dispensável para a avaliação e construção de políticas públicas ou ações efetivas no campo da sustentabilidade ambiental? Tal pergunta sugere que tal concepção seria somente uma idiossincrasia brilhante, talvez mesmo genial, mas pouco útil para os problemas e o horizonte de tempo com o qual uma sociedade tem de lidar.

Se os defensores da sustentabilidade forte, herdeiros da perspectiva defendida por Georgescu-Roegen, pretendem ter peso político e institucional, têm de algum modo que responder negativamente à pergunta acima. Em outras palavras, é preciso mostrar que há implicações científicas negativas resultantes da forma de representar o processo econômico baseada no princípio da equivalência absoluta. Além disso, é preciso demonstrar que elas são suficientemente fortes para justificar a substituição do programa de investigação científica neoclássico por outro programa de investigação científica, mais promissor para orientar a agenda da sustentabilidade. A maneira mais direta e convincente de demonstrar a inadequação de determinado programa de investigação científica é refutando previsões incontornáveis do seu núcleo duro. Concomitantemente, é preciso que um arcabouço analítico alternativo ao hegemônico tenha ao menos uma perspectiva promissora.

Não por acaso, o experimento mental no qual Carnot apresenta a Segunda Lei da Termodinâmica fornece um ponto de partida para construir refutações críticas do arcabouço neoclássico. Aliás, dado o significado econômico presumido por Georgescu-Roegen (1971) quanto à natureza do problema abordado por Carnot (1897), é intuitivo pensar que o experimento mental de Carnot (1897) fornece a base para detectar qualquer inconsistência entre qualquer teoria de produção adotada e condições biofísicas da reprodução do sistema econômico. Este argumento ganha ainda mais peso quando se observa que o sistema econômico está contido no sistema ecológico: qualquer inconsistência sistemática entre a reprodução do sistema econômico e a reprodução do sistema ecológico gerada pelos pressupostos da teoria de produção deveria ser observável. Sendo assim, justifica-se uma

redescritção interessada do experimento mental de Carnot (1897), conforme feito em capítulos anteriores. Na redescritção apresentada, enfatizou-se o fato de que os resultados a que chegou Carnot são impossíveis sem admitir que a taxa com que é possível substituir o recurso de mais alta qualidade pelo recurso de menor qualidade em cada escala de produção é limitada. Este é um ponto de divergência fundamental entre uma imaginável ‘teoria da produção’ carnotiana e a teoria de produção neoclássica.

Conforme já dito, a teoria de produção neoclássica assume que a taxa com que é possível substituir qualquer recurso A pelo recurso B depende do quociente (B/A) , mas não das quantidades absolutas de A. No capítulo 4, desenvolveu-se uma consequência direta desta suposição neoclássica. Significativamente, a posição neoclássica leva a concluir que a trajetória de crescimento econômico desencadeada pela Revolução Industrial deveria ser simultânea a fluxos decrescentes de energia e materiais, uma previsão em franco desacordo com tudo que se observou e tem sido observado. Tal refutação permite tanto justificar a construção e utilização de teorias de produção alternativas à neoclássica quanto apresentar uma reinterpretação do significado da Revolução Industrial.

Claramente, o vínculo entre fluxos per capita crescentes de energia e materiais e a refutação da teoria de produção neoclássica mostra que os mecanismos sociais de apropriação de recursos naturais de baixa entropia são indispensáveis para explicar o advento, permanência e crescimento do capitalismo industrial. Na medida em que estes mecanismos asseguraram a oferta de fatores limitativos, tornou-se possível construir um sistema econômico no qual os valores de uso são obtidos como efeito colateral da busca por riqueza pecuniária. A dificuldade, inclusive da parte de economistas ecológicos, de representar tais vínculos é resultado da ausência do conceito de valor de uso na Economia.

Sem o conceito de valor de uso o confronto entre as exigências do capital, quantidade mensurada monetariamente com permanente tendência a auto-expansão, e qualidades concretas utilizadas nas atividades de produção e consumo não pode ser feito. E sem este confronto uma descrição consistente dos processos econômicos que se afaste do princípio da equivalência absoluta não é possível. Para fazer esta descrição não basta reconhecer o fato óbvio de que o processo produtivo faz uso de qualidades concretas, é preciso mostrar como

estas qualidades concretas garantem a autonomia da esfera dos valores de troca e a reprodução do comportamento auto-expansivo das quantidades monetárias.

O teste da teoria de produção neoclássica, construído a partir de uma analogia com o experimento mental de Carnot, mostra que fluxos crescentes de valores de uso portadores de baixa entropia possuem valor de sobrevivência para a reprodução do sistema capitalista. São instrumentos sociais pelos quais a reprodução do capital materializa-se, com as óbvias implicações ambientais que resultam disso.

A existência de crises ambientais não é exclusividade do capitalismo, mas o vínculo entre fluxos crescentes de energia e materiais e busca incessante por riqueza pecuniária expressa a especificidade da crise ambiental burguesa: ela é o resultado da forma unilateral com que a riqueza é concebida, levando a um processo incessante de modificação da estrutura material do mundo de modo converter toda variabilidade qualitativa em riqueza monetária abstrata. Ao se conceber o processo econômico com foco exclusivo na dimensão monetária (valor abstrato) e ignorar-se sistematicamente que esta dimensão monetária somente adquire vida se vinculada a qualidades concretas específicas (valores de uso), é introduzida uma contradição estrutural entre valor de uso e valor abstrato. Ao invés de se perceber a relação causal entre valor de uso e valor abstrato como um fluxo circular dotado de retroalimentação positiva, a teoria de produção neoclássica concebe o valor abstrato como autônomo e independente da esfera dos valores de uso. Sem esta concepção, o fato de que a trajetória de crescimento econômico tenha estado associada a fluxos crescentes de energia e materiais não seria ignorado. Claramente, a produtividade do trabalho humano tem sido aumentada pelo aumento na apropriação social de valores de uso de baixa entropia, os quais são direcionados para aumentar a taxa de reprodução do capital, o qual por sua vez é utilizado para aumentar novamente a apropriação social de valores de uso de baixa entropia e assim por diante. À espiral de crescimento do capital correspondem espirais de crescimento nos fluxos de valores de uso de baixa entropia, num processo que pela lógica do sistema deve prosseguir indefinidamente, mas que cada vez mais se mostra em contradição com as condições materiais biofísicas para a reprodução da vida social e econômica.

6 CONCLUSÃO

O que teria de acontecer para que o capitalismo, regime no qual a riqueza nas suas múltiplas formas de valores de uso deve sempre ser reorientada para aumentar a riqueza na forma monetária privadamente apropriada, fosse ecologicamente sustentável num planeta finito? Em algum momento, a trajetória de crescimento econômico teria de passar a depender cada vez menos da mobilização de recursos naturais, de modo que a tendência na aceleração de fluxos de energia e materiais que vem sendo observada desde o advento deste modo de produção e que foi exponencialmente aumentada a partir da Revolução Industrial seria não apenas interrompida mas também revertida. Num primeiro momento os fluxos se estabilizariam, e em seguida eles entrariam numa trajetória decrescente. Tudo isto ocorreria em meio a uma trajetória de crescimento do capital suficientemente bem sucedida para manter as decisões de investimento da burocracia capitalista que hoje controla a produção no mundo. Não apenas o capital natural seria *efetivamente* substituído⁹⁹ por capital sob outras formas, mas o aumento de produtividade tornaria possível também direcionar excedentes econômicos para eventualmente preservar serviços ecossistêmicos que não são a rigor capital, uma vez que sequer há direitos de propriedade (privada ou não) associados a eles. Este cenário é o exato oposto do temos observado sob o capitalismo.

Não fosse a enorme distorção engendrada pelas categorias econômicas hoje usadas para descrever os processos produtivos, seria bastante difícil ignorar o fato de que a reprodução do modo de produção capitalista tem dependido sistematicamente de aumentos no consumo per capita de recursos naturais. Seria também inevitável investigar a relação entre este fato recorrentemente observado e o que nos diz a teoria de produção. Gerações futuras provavelmente irão se perguntar como foi possível o fenômeno sociológico pelo qual uma civilização que se construiu com base numa apropriação sem precedentes de recursos naturais construiu uma imagem de si mesma na qual a reprodução do processo econômico é vista como independente de bases materiais biofísicas.

⁹⁹ Substituir efetivamente quer dizer substituir extensivamente. Infelizmente, a terminologia neoclássica tem distorcido enormemente o que se entende quando usamos a palavra ‘substituição’.

A rigor, o que o contraste entre o que nos diz a teoria de produção hegemônica e o que efetivamente observamos mostra é uma contradição entre crença socialmente construída numa espécie de motor perpétuo, em que o sistema econômico reproduz a dimensão material monetária independentemente da dimensão material qualitativa dos valores de uso empregados na produção, e a realidade factual do vínculo material biofísico atravessando todo o sistema de produção. Esta crença no movimento perpétuo das quantidades monetárias tem condicionado tanto a análise empírica da reprodução econômica quanto os julgamentos normativos em torno do dogma do crescimento econômico.

Diante da contradição exposta entre fluxos crescentes e pressupostos da teoria de produção hegemônica, cabe àqueles que acreditam no crescimento econômico perpétuo apresentar evidências de que sua crença é racional. Embora o futuro nunca repita o passado, só podemos agir no presente com base naquilo que observamos no passado: somente o que já aconteceu pode ser conhecido. Como base em tudo que sabemos, a crença no dogma do crescimento econômico pode com justiça ser qualificada como uma autêntica utopia: não há fatos observáveis que permitam acreditar racionalmente na possibilidade de conciliar crescimento econômico perpétuo a partir de uma base de recursos naturais exauríveis e limitada num planeta finito.

Numa época tão propensa a duvidar daquilo que não possa ser comprovado, é bastante estranho que a condução dos debates sobre sustentabilidade seja feita de modo a ignorar as evidências demonstrando que até onde sabemos a reprodução ampliada do sistema econômico tem sempre dependido de aumentos tanto no consumo per capita quanto total de recursos naturais. Este esquecimento sistemático, altamente conveniente para a utopia do crescimento perpétuo, por si só indica que as implicações políticas do ajuste a ser feito sem dúvida alguma serão ainda mais desafiadoras do que as mudanças estritamente analíticas a serem empreendidas.

7 BIBLIOGRAFIA

ALLEN, R. G. D. (1962). *Mathematical analysis for economists*. London : Macmillan and co., limited.

AMADO, N. B. e SAUER, I. L. (2010). A Test on Perpetual Economic Growth Hypothesis, manuscrito em submissão no *Cambridge Journal of Economics*.

AMAZONAS, M. C. (2009). Valor Ambiental em uma Perspectiva Heterodoxa Institucional-Ecológica, *Economia e Sociedade*, v. 18, n. 1 (35), p. 183-212.

BARNETT, H. J. e MORSE, C. (1963). *Scarcity and growth: the economics of natural resource availability*. Washington: Publicado para Resources for the Future por Johns Hopkins Press, Baltimore.

BAUMOL, W. J. (1986). On the Possibility of Continuing Expansion of Finite Resources, *Kyklos*, vol. 39, Fasc. 2, pp. 167-179.

BECKERMAN, W. (1993). Is Economic Growth Still Desirable? In: Szirmai et al., *Explaining Economic Growth – Essays in Honour of Angus Maddison*, pp. 77-100.

BLUNDEN, J. (1985). *Mineral resources and their management*. London, New York: Longman.

BRAUN, M. (1993). *Differential equations and their applications : an introduction to applied mathematics*. New York Springer-Verlag.

BROWN, R. S. e CHRISTENSEN, L. R. (1981). ‘Estimating Elasticities of Substitution in a Model of Partial Static Equilibrium: An Application to U. S. Agriculture, 1947 to 1974. In: BERNDT, E. R. e FIELD, B. C. (Editores), *Modeling and Measuring Natural Resource Substitution*.

CARNOT, S. (1897). *Reflections on the Motive Power of Heat*. Tradução de R. H. Thurston da versão original francesa de *Réflexions Puissance Motrice du Feu et Sur Les Machines Propres a Développer Cette Puissance*. New York: John Wiley & Sons. London: Chapman & Hall, limited.

CARSON, R. (1962). *Silent Spring*. New York: Houghton Mifflin Company.

CECHIN, A. D. (2010). *A natureza como limite da economia - A contribuição de Nicholas Georgescu-Roegen*. São Paulo: Editora Senac São Paulo/Edusp.

CLARK, C. (1967). *Population growth and land use*. London, Melbourne: Macmillan, New York: St. Martin's Press.

COMMONER, B. (1966). *Science and Survival*. New York: Viking.

COMMONER, B. (1971). *The Closing Circle*. New York: Knopf.

CONOVER, W. J. (1980). *Practical nonparametric statistics*. New York: Wiley.

COSTANZA, R. (2003). The Early History of Ecological Economics and the International Society for Ecological Economics (ISEE). Disponível no endereço eletrônico http://www.ecoeco.org/education_encyclopedia.php, na enciclopédia eletrônica da ISEE. Baixado em janeiro de 2010.

COSTANZA, R. e H. E. DALY (1992). Natural Capital and Sustainable Development, *Conservation Biology*, Vol. 6, No. 1 (Mar., 1992), pp. 37-46.

COSTANZA *et al.* (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature*, vol. 387, 15 de Maio de 1997.

CRUTZEN, P. J. (2002). Geology of mankind, *Nature*, vol. 415, 3 de Janeiro de 2002.

DALLY , H. E. (1977). *Steady-state economics: the economics of biophysical equilibrium and moral growth*. San Francisco: W. H. Freeman.

DALLY , H. E. (1977). *Steady-state economics: the economics of biophysical equilibrium and moral growth*. San Francisco: W. H. Freeman.

DALLY , H. E. (1996). *Beyond growth: the economics of sustainable development*. Boston: Beacon Press.

DALLY, H. E. e J. B. COBB Junior (1989). *For the common good: redirecting the economy toward community the environment, and sustainable future*. Boston, Massachussets: Beacon Press.

DALLY, H. (1997a). Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz, *Ecological Economics*, 6, pp. 261-266.

DALLY, H. (1997b). Reply to Solow/Stiglitz, *Ecological Economics*, 6, pp. 271-273.

DASGUPTA, P. e G. HEAL (1974). The Optimal Depletion of Exhaustible Resources, *The Review of Economic Studies*, vol. 41, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, pp. 3-28.

DASGUPTA, P. e G. HEAL (1979). *Economic Theory and Exhaustible Resources*. Great Britain: University Press Oxford.

DIAMOND, J. (2005). *O Colapso - como as sociedades escolhem o fracasso ou o sucesso*. Tradução de Alexandre Raposo; revisão técnica de Waldeck Diè Maia. Rio de Janeiro: Record.

EHRlich, P (1968). *The Population Bomb*. New York: Ballantine Books.

EZZATI, M. e KAMMEN, D. M. (2002). The Health Impacts of Exposure to Indoor Air Pollution from Solid Fuels in Developing Countries: Knowledge, Gaps, and Data Needs, *Environmental Health Perspectives*, volume 110, número 11, pp. 1057-68.

FEYERABEND, P. (1965). Problems of Empiricism. In: R. Colodny (Editor), *Beyond the Edge of Certainty*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, pp. 145-260.

FISHER-KOWALSKI, M. (2000). Society's Metabolism. In: Michael Redclift e Graham Woodgate (editores), *The International Handbook of Environmental Sociology*. Cheltenham: Edward Elgar.

FORRESTER, J. W. (1961). *Industrial dynamics*. Cambridge, Mass.: M.I.T. Press.

FORRESTER, J. W. (1969). *Urban dynamics*. Cambridge, Mass.: M.I.T. Press.

FORRESTER, J. W. (1971). *Principles of Systems*. Cambridge, Mass.: M.I.T. Press.

FORRESTER, J. W. (1973). *World Dynamics*. Cambridge, Mass.: M.I.T. Press. Primeira edição publicada em 1971.

FOSTER, J. B. (2002). *Ecology Against Capitalism*. New York: Monthly Review Press.

FREEMAN, C. (1975). Malthus with a Computer. In: Cole et al. (editores), *Models of doom: a critique of the Limits to Growth*. New York: Universe Books.

GEORGESCU-ROEGEN, N. (1935). Fixed Coefficients of Production and the Marginal Productivity Theory, *The Review of Economic Studies*, vol. 3, no. 1. (Oct., 1935), pp. 40-49.

GEORGESCU-ROEGEN, N. (1971). *The entropy law and the economic process*. Cambridge, Mass. : Harvard University Press.

GEORGESCU-ROEGEN, N. (1975). Energy and Economic Myths, *Southern Economic Journal*, vol. 41, pp. 347-381.

GEORGESCU-ROEGEN, N. (1979). Energy Analysis and Economic Valuation, *Southern Economic Journal*, vol. 45, no. 4, pp. 1023-1058.

GEORGESCU-ROEGEN, N. (1986). The entropy law and the economic process in retrospect, *Eastern Economic Journal*, vol. XII, número 1, pp. 3-25.

GROLL, S. (1980). The active role of 'use value' in Marx's economic analysis, *History of Political Economy* 12:3, Fall 1980, pp. 336-371.

GRÜBLER, A. (2005). Transitions in Energy Use. In: CLEVELAND, C. J. (editor-chefe), *Encyclopedia of energy*. Também disponível em versão eletrônica sob o título 'Energy Transitions' em http://www.eoearth.org/article/Energy_transitions, endereço eletrônico de The Encyclopedia of Earth. Acessado em janeiro de 2010.

HARTWICK, J. M. (1977). Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources, *American Economic Review* vol. 67 no. 5, pp. 972-974.

HARTWICK, J. M. (1978). Substitution Among Exhaustible Resources and Intergenerational Equity, *The Review of Economic Studies*, Vol. 45, No. 2 (Jun., 1978), pp. 347-354.

HARTWICK, J. M. (1990). Substitution Among Exhaustible Resources and Intergenerational Equity, *The Review of Economic Studies*, Vol. 45, No. 2 (Jun., 1978), pp. 347-354.

HINTERBERGER, F. et al. (1997). Materials flows vs. 'natural capital' - What makes an economy sustainable?, *Ecological Economics* 23, pp. 1-14.

HINTERBERGER, F.; F. LUKS; F. SCHMIDT-BLEEK (1997). Materials flows vs. 'natural capital' - What makes an economy sustainable?, *Ecological Economics* 23, pp. 1-14.

KALDOR, N. (1937). Limitational Factors and the Elasticity of Substitution, *The Review of Economic Studies*, Vol. 4, No. 2 (Feb., 1937), pp. 162-165.

KEYNES, J. M. (1943). *A treatise on probability*. London: MacMillan and Company.

KEYNES, J. M. (1979). The Distinction Between a Cooperative Economy and an Entrepreneur Economy. In: *The Collected Works of John Maynard Keynes*, Vol. XXIX: The 'General Theory' and after A supplement. New York: Cambridge University Press.

KOOPMANS, T. C. (1977). Concepts of Optimality and their Uses, *American Economic Review*, vol. 67, no. 3, pp. 261-274.

KONDEPUDI, D. e I. PRIGOGINE (1998). *Modern Thermodynamics : from heat engines to dissipative structures*. New York: John Wiley & Sons.

KUHN, T. (1977). A function for thought experiments. In: *The essential tension : selected studies in scientific tradition and change*. Chicago : The University of Chicago.

LAKATOS, I. (1989). *La metodologia de los programas de investigación científica*. Editado por John Worall e Gregory Currie; versão espanhola de Juan Carlos Zapatero; revisão de Pilar Castrillo. Madrid : Alianza.

LARVOR, B. (1998). *Lakatos: An Introduction*. London: Routledge.

LÉONARD, D. e N. van LONG (2002). *Optimal control theory and static optimization in economics*. Cambridge, New York, Melbourne: Cambridge University Press.

LERNER, A. P. (1933). The Diagrammatical Representation of Elasticity of Substitution, *The Review of Economic Studies*, Vol. 1, No. 1 (Oct., 1933), pp. 68-71.

MADDISON, A. *Monitoring the world economy 1820-1992*. Paris: OECD, Development Centre.

MARTINEZ-ALIER, J. (1987). *Ecological Economics: energy, environment and society*. Oxford: Basil Blackwell.

MARX, K. (1988). *O Capital*. Tradução do original alemão de Regis Barbosa e Flávio R. Kothe. São Paulo: Nova Cultural.

MATHEWS et al. (2000). *The Weight of Nations – Material Outflows from Industrial Economies*. Washington: World Resources Institute.

McNEILL, J.R. (2000). *Something new under the sun: an environmental history of the twentieth-century world*. New York: W.W. Norton & Company.

MEADOWS, D. H. et al. (1972). *The Limits to Growth*. New York: Universe Books.

MEADOWS, D. L. et al. (1974). *Dynamics of growth in a finite world*. Cambridge, Mass.: Wright-Allen Press.

MEIKLE, S. (1995). *Aristotle's Economic Thought*. Oxford: Clarendon Press.

MEIKLE, S. (2001). Quality and quantity in economics: the metaphysical construction of economic realm. In: Uskali Maki (editor), *The economic world view: studies in the ontology of economics*. Cambridge; New York : Cambridge University Press.

MOKYR, J. (editor) (1993). *The British industrial revolution: an economic perspective*. Boulder: Westview Press.

NORDHAUS, W. D. (1973a). World Dynamics: Measurement Without Data, *The Economic Journal*, Vol. 83, No. 332, pp. 1156-1183.

NORDHAUS, W. D. (1973b). The Allocation of Energy Resources, *Brookings Papers on Economic Activity*, Vol. 1973, No. 3 (1973), pp. 529-576.

NORDHAUS, W. D. (1974). Resources as a Constraint on Growth, *The American Economic Review*, Vol. 64, No. 2, Papers and Proceedings of the Eighty-sixth Annual Meeting of the American Economic Association, pp. 22-26.

NORDHAUS, W. D. (1991). To Slow or Not to Slow: The Economics of The Greenhouse Effect, *The Economic Journal*, Vol. 101, No. 407 (Jul., 1991), pp. 920-937.

NORDHAUS, W. D. (1994). Expert Opinion on Climate Change – Interviews with social and natural scientists reveal vast disparities in estimates of the economic impact of potential greenhouse warming, *American Scientist*, vol. 82, janeiro-fevereiro de 1994, pp. 45-51.

NORDHAUS, W. D. e BOYER, J. (2000). *Warming the world: economic models of global warming*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

NORGAARD, R. B. (1994). *Development betrayed: the end of progress and a coevolutionary revisioning of the future*. London: Routledge.

ORD-HUME, A. W. J. (1977). *Perpetual Motion - The History of an Obsession*. New York: St. Martin's Press.

PASTORE, G.; GIAMPIETRO, M.; MAYUMI, K. (2000). Societal metabolism and multiple-scale integrated assessment: Empirical validation and examples of application, *Population and Environment* Novembro de 2000. Vol. 22, Iss. 2; pp. 211-25.

PEARCE et al. (1994). *Blueprint for a Green Economy*. London: Earthscan.

PISKUNOV, N. (sem data). *Differential and Integral Calculus*. Traduzido do russo por G. Yankovsky. Moscow: Mir Publishers.

POLANYI, K. (1980). *A grande transformação: as origens da nossa época*. Tradução de: The Great Transformation por Fanny Wrobel. Revisão técnica de Ricardo Benzaquen de Araújo. Rio de Janeiro: Campus.

RAVAIOLI, C. (1995). *Economists and the Environment – What the top economists say about the Environment*. Traduzido do italiano por Richard Bates; contribuição de Paul Ekins. London, New Jersey: Zed Books.

ROCKSTROM *et al.* (2009a). Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity, *Ecology and Society* 14(2): 32.

ROCKSTROM *et al.* (2009b). A safe operating space for humanity, *Nature* vol. 46, 24 de Setembro.

ROLL, E. ([1938]1961). *A history of economic thought*. New York : Prentice-Hall.

SCHAEFFER, R. e A. L. de SÁ (1996). The Embodiment of Carbon Associated with Brazilian Imports and Exports, *Energy Conversion Management*, vol. 37, Nos. 6-8, pp. 955-960.

SCHUMPETER, J. A. (1949). Science and Ideology, *The American Economic Review*, vol. 39, No. 2 (Mar., 1949), pp. 346-359.

SIMMONS, H. (1975). System Dynamics and Technocracy. In: Cole et al. (editores), *Models of doom: a critique of the Limits to Growth*. New York: Universe Books.

SIMPSON, R. D.; M. A. TOMAN e R. U. AYRES (2005). Introduction: The “New Scarcity”, In: Simpson, R. D.; M. A. Toman e R. U. Ayres (editores), *Scarcity and Growth Revisited – Natural Resources and the Environment in the New Millenium*. Washington, DC, USA: Resources for the Future.

SMIL, V. (1991). *General Energetic: Energy in the Biosphere and Civilizations*. New York: JOHN WILEY & SONS.

SOLOW, R. M. (1974a). Intergenerational Equity and Exhaustible Resources, *The Review of Economic Studies*, Vol. 41, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources. (1974), pp. 29-45.

SOLOW, R. M. (1974b). Is the End of World at Hand? In: Weintraub et al. (editores), *The Economic Growth Controversy*, pp. 39-61. London: Macmillan.

SOLOW, R. M. (1974c). The economics of resources or the resources of economics, *The American Economic Review*, vol. 64, no. 2, pp. 1-14.

SOLOW, R. M. (1986). On the Intergenerational Allocation of Natural Resources, *The Scandinavian Journal of Economics*, vol. 88, no. 1, Growth and Distribution: Intergenerational Problems, pp. 141-149.

SOLOW, R. M. (1993a). An almost practical step toward sustainability, *Resources Policy*, pp. 162-172.

SOLOW, R. M. (1993b). Sustainability: An Economist's Perspective. In: R. DORFMAN e N. DORFMAN (editores), *Selected Readings in Environmental Economics*.

SOLOW, R. M. (1997). "Reply", *Ecological Economics*, Vol. 22, No. 3, pp. 267-268.

STEFFEN, W.; CRUTZEN, P. J. e J. R. MCNEILL (2007). The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature?, *Ambio*, vol. 36, No. 8, pp. 614-621, Dezembro de 2007.

STIGLITZ, J. E. (1974a). Growth with Exhaustible Natural Resources: Efficient and Optimal Growth Paths, *The Review of Economic Studies*, vol. 41, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, pp. 123-137.

STIGLITZ, J. E. (1974b). Growth with Exhaustible Natural Resources: The Competitive Economy, *The Review of Economic Studies*, Vol. 41, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, pp. 139-152.

STIGLITZ, J. E. (1979). A Neoclassical Analysis of the Natural Resources. In: Smith, V. Kerry (1979). *Scarcity and growth reconsidered*. Baltimore, MD : The Johns Hopkins University Press.

TOYNBEE, A. (1968). *The industrial revolution*. Boston: Beacon Press.

VASEY, D. E. (2004). Agriculture. In: KRECH III, McNEILL e MERCHANT (editores), *World Environmental History*, vol. 1. New York, London: Routledge.

VICTOR, P. A. (1991). Indicators of sustainable development: some lessons from capital theory, *Ecological Economics*, 4 pp. 191-213.

VIEGAS, W. (2007). *Fundamentos Lógicos da Metodologia Científica*. Brasília: Editora Universidade de Brasília.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (1987). *Our common future*. Oxford: Oxford University Press.

WORSTER, D. (1993). *The wealth of nature: environmental history and the ecological imagination*. New York: Oxford University Press.

8 ANEXO 1 – DETALHAMENTO DO TESTE ESTATÍSTICO

Esta descrição apóia-se extensamente Conover (1980), particularmente em sua exposição dos testes de sinal. O teste de sinal utilizado foi o teste de tendência Cox e Stuart. Como qualquer teste de sinal, trata-se de um teste binomial com probabilidade $p^* = 1/2$. Este teste pode ser usado para investigar se há alguma tendência em uma sequência de observações. Os dados utilizados no teste de tendência de Cox e Stuart consistem de observações em uma sequência de variáveis aleatórias $X_1, X_2, \dots, X_n$ dispostas na ordem em que as variáveis aleatórias foram observadas. Agrupam-se as variáveis aleatórias em pares $(X_1, X_{1+c}), (X_2, X_{2+c}), \dots (X_{n'-c}, X_n)$, onde $c = n' / 2$ se n' é par, e $c = (n'+2) / 2$ se n' é ímpar. Note-se que a variável aleatória mediana da sequência é eliminada usando esse esquema, se n' é par. Tendo montado a sequência, substitua cada par (X_i, X_{i+c}) por um "+" se $X_i < X_{i+c}$, ou por um "-" se $X_i > X_{i+c}$, ignorando os casos em que $X_i = X_{i+c}$. O número de pares assim obtido é chamado n . O teste de Cox e Stuart pode ser usado para detectar tendências fazendo uso dos seguintes pressupostos:

1. As variáveis aleatórias $X_1, X_2, \dots, X_n$ são independentes entre si;
2. A escala de medição de X_i é pelo menos ordinal. Ou seja, para cada par (X_i, X_{i+c}) é possível dizer se $X_i > X_{i+c}$ ou $X_i < X_{i+c}$ ou $X_i = X_{i+c}$;
3. Ou os valores de X_i estão identicamente distribuídos, ou há uma tendência (para baixo ou para cima). Consequentemente, se há tendência decrescente, os últimos valores de X_i são provavelmente menores que os primeiros, enquanto se houver uma tendência crescente ocorre o contrário;

A estatística T do teste é o número de "+" observados. Se não há nenhuma tendência a probabilidade de obter um "+" é a mesma de obter um "-". Portanto, o número de valores observados para '+' segue uma distribuição binomial em que $p^* = 1/2$. Usando a distribuição binomial e os pressupostos 1, 2 e 3 acima descritos, é possível investigar as seguintes hipóteses:

A. (Teste Bicaudal)

$$H_0: P(+) = P(-)$$

$$H_1: P(+) \neq P(-)$$

B. (Teste Monocaudal)

$$H_0: P(+) \leq P(-)$$

$$H_1: P(+) > P(-)$$

C. (Teste Monocaudal)

$$H_0: P(+) \geq P(-)$$

$$H_1: P(+) < P(-)$$

A interpretação dada a estas hipóteses é a seguinte:

A: H_0 : Não existe tendência

H_1 : Há uma tendência crescente ou uma tendência decrescente

B: H_0 : Não há tendência crescente

H_1 : Há uma tendência crescente

C: H_0 : Não há tendência decrescente

H_1 : Há tendência decrescente

Em nosso caso as observações de consumo per capita de energia foram usadas para investigar se há uma tendência decrescente. Valores pequenos de T indicam que um ‘-’ é mais provável que um ‘+’, em concordância com H_1 no caso C. Portanto, a região crítica do teste corresponde aos valores de T menores que ou iguais a t , sendo t encontrado entrando na tabela de distribuição binomial com $p=1/2$ e n (número de pares desiguais) e encontrando a entrada da tabela que é aproximadamente igual ao nível de significância α . O valor de y na tabela correspondente a α é t .

Aplicamos o teste de tendência de Cox e Stuart para os países do G20¹⁰⁰. Obviamente, o mesmo teste pode ser aplicado a outros países, períodos históricos e também outras classes de recursos naturais. Entretanto, os testes aqui apresentados são suficientes para deixar claro que a evidência disponível é mais que suficiente para falsear a hipótese de que o crescimento econômico perpétuo a partir de uma base de recursos exauríveis é possível. As taxas de consumo per capita de energia foram extraídas do banco de dados da OCDE, disponível eletronicamente¹⁰¹. Nesta base de dados há consumo per capita de energia de acordo com o seguinte esquema:

Período	Países
1960-2009	Austrália, Canadá, Estados Unidos, França, Itália, Japão, Reino Unido e Turquia
1971-2009	Coréia do Sul e México
1971-2008	África do Sul, Arábia Saudita, Argentina, Brasil, China, Índia e Indonésia
1990-2008	Rússia
1991-2009	Alemanha ^a
Observação a: Embora na base de dados utilizada constem dados para a Alemanha cobrindo o período de 1960-2009, optou-se por usar apenas os dados referentes ao período de 1991-2009, época correspondente à reunificação da Alemanha.	

Tabela 8-1: Disponibilidade de Dado de Consumo per Capita de Energia por País

¹⁰⁰ O G20 é composto pelos ministros das finanças e banco central da União Européia e dos seguintes 19 países: Alemanha, África do Sul, Arábia Saudita, Argentina, Austrália, Brasil, Canadá, China, Coreia do Sul, Estados Unidos, França, Índia, Indonésia, Itália, México, Japão, Reino Unido, Rússia e Turquia.

¹⁰¹ Disponível em http://lysander.sourceoecd.org/vl=6248875/cl=46/nw=1/rpsv/oecd_database.htm. É possível encontrar o Documento com dados de consumo per capita de energia na base de dados eletrônica da OCDE por meio do seguinte procedimento de busca. Selecione os itens 'OECD Databases' e 'Databases' em Publications. Use 'TPES' (Total Primary Energy Supply) como palavra-chave para a busca. Os documentos referentes a consumo de energia para membros e não-membros da OECD contêm os dados de consumo per capita de energia.

Como exemplo ilustrativo da aplicação do teste, tome-se o caso do Reino Unido. Neste caso o teste foi aplicado para o período de 1960-2009, cobrindo 50 anos de observações. Os dados de consumo per capita de energia durante o período são mostrados abaixo:

Observação	Ano	Reino Unido
		Toneladas Equivalentes de Petróleo por habitante
1	1960	3,03
2	1961	3,01
3	1962	3,08
4	1963	3,20
5	1964	3,21
6	1965	3,33
7	1966	3,31
8	1967	3,34
9	1968	3,41
10	1969	3,56
11	1970	3,69
12	1971	3,73
13	1972	3,75
14	1973	3,88
15	1974	3,73
16	1975	3,55
17	1976	3,62
18	1977	3,70
19	1978	3,68
20	1979	3,86
21	1980	3,52
22	1981	3,41
23	1982	3,40
24	1983	3,38
25	1984	3,37

Observação	Ano	Reino Unido
		Toneladas Equivalentes de Petróleo por habitante
26	1985	3,55
27	1986	3,60
28	1987	3,62
29	1988	3,64
30	1989	3,63
31	1990	3,60
32	1991	3,71
33	1992	3,69
34	1993	3,71
35	1994	3,73
36	1995	3,73
37	1996	3,88
38	1997	3,76
39	1998	3,79
40	1999	3,78
41	2000	3,79
42	2001	3,79
43	2002	3,68
44	2003	3,73
45	2004	3,71
46	2005	3,69
47	2006	3,61
48	2007	3,45
49	2008	3,40
50	2009	3,20

Tabela 8-2: Consumo per Capita de Energia para o Reino Unido

Agrupe os dados em pares (X_i , X_{i+c}). Associe um ‘+’ a eventos nos quais $X_i < X_{i+c}$ e um ‘-’ aos casos em que $X_i > X_{i+c}$. Seguindo estas regras é possível construir a Tabela 8-3:

Reino Unido	
Par	Sinal
(3.03 , 3.55)	+
(3.01 , 3.60)	+
(3.08 , 3.62)	+
(3.20 , 3.64)	+
(3.21 , 3.63)	+
(3.33 , 3.60)	+
(3.31 , 3.71)	+
(3.34 , 3.69)	+
(3.41 , 3.71)	+
(3.56 , 3.73)	+
(3.69 , 3.73)	+
(3.73 , 3.88)	+
(3.75 , 3.76)	+
(3.88 , 3.79)	-
(3.73 , 3.78)	+
(3.55 , 3.79)	+
(3.62 , 3.79)	+
(3.70 , 3.68)	-
(3.68 , 3.73)	+
(3.86 , 3.71)	-
(3.52 , 3.69)	+
(3.41 , 3.61)	+
(3.40 , 3.45)	+
(3.38 , 3.40)	+
(3.37 , 3.20)	-
T = Número Total de Sinais '+'	21

Tabela 8-3: Tabela de Resultados do Teste de Sinal para o Reino Unido

A Tabela 8.3 mostra que para $n = 25$ foram observados 21 eventos em que $X_i < X_{i+c}$ ($T=21$). Rejeita-se H_0 se ao nível de significância de 5% tem-se $T \leq t$. Se $n \leq 20$, o valor de t pode ser obtido consultando-se numa tabela de distribuição binomial o valor de y correspondente a n com o qual $p = 1/2$. Para $n > 20$, y pode ser obtido usando a equação que aproxima a distribuição binomial por uma distribuição normal:

$y_r = n \cdot p + w_r \cdot [n \cdot p \cdot (1-p)]^{1/2}$, em que w_r é o quantil r de uma variável aleatória normal padrão, obtida de uma tabela de distribuição normal.

Usando a expressão acima para $n=25$, $p=1/2$ e $w_r = w_{0,05} = -1,649$ obtém-se:

$$t_{\text{calculado}} \approx 8.4 \Rightarrow t = 8$$

Portanto, deve-se rejeitar H_0 para o Reino Unido se $T \leq 8$. Como $T = 21$ para o Reino Unido, nós aceitamos H_0 . Ou seja, a evidência disponível está em contradição com a hipótese de que o consumo de energia per capita no período 1960-2009 tem uma tendência decrescente no país. Aplicando o mesmo critério descrito para o Reino Unido para os outros países, obtemos a Tabela 8-4:

País	Número de '+'	Regra de Decisão
África do Sul	12	Aceitar H_0
Alemanha	2	Aceitar H_0
Arábia Saudita	19	Aceitar H_0
Argentina	19	Aceitar H_0
Austrália	25	Aceitar H_0
Brasil	19	Aceitar H_0
Canadá	25	Aceitar H_0
China	19	Aceitar H_0
Coréia do Sul	19	Aceitar H_0
Estados Unidos	17	Aceitar H_0
França	25	Aceitar H_0
Índia	19	Aceitar H_0
Indonésia	19	Aceitar H_0
Itália	25	Aceitar H_0
Japão	25	Aceitar H_0
México	17	Aceitar H_0
Reino Unido	21	Aceitar H_0
Rússia	5	Aceitar H_0
Turquia	25	Aceitar H_0

Tabela 8-4: Síntese dos Resultados do Teste de Sinal para os Países

Os valores de t críticos para rejeitar a hipótese H_0 de que não há tendência decrescente são $t = 8$ para Austrália, Canadá, Estados Unidos, França, Itália, Japão, Reino Unido e Turquia; $t = 5$ para África do Sul, Argentina, Arábia Saudita, Brasil, China, Coréia do Sul, Índia, Indonésia e

México; $t = 1$ para Alemanha e Rússia. A Tabela 8.4 mostra que nenhum país tem um número de '+' (T) igual ou inferior a t crítico. Portanto, H_0 deve ser aceita para todos os países estudados.

Tendo usado o teste de tendência Cox e Stuart para falsear a equação que investiga as hipóteses neoclássicas referentes à dinâmica de substituição de recursos, pode-se usar o mesmo teste para averiguar também outras possibilidades. A ausência de uma tendência decrescente não por si só não prova que há uma tendência crescente no consumo per capita de recursos, pois mesmo excluindo a possibilidade de movimentos cíclicos há a possibilidade que existe uma tendência de estabilização do consumo. Utilizando teste de tendência Cox e Stuart para investigar a possibilidade de uma tendência crescente a conclusão é de que, com exceção de Alemanha, Rússia e África do Sul, todos os países têm uma tendência crescente por consumo de energia per capita no período observado.

Os valores críticos para aceitar a hipótese de que o consumo per capita dos países está aumentando são $t \geq 17$ para Austrália, Canadá, França, Estados Unidos, Itália, Japão, Reino Unido e Turquia; $t \geq 13$ para a Argentina, África do Sul, Arábia Saudita, Brasil, China, Coreia do Sul, Índia, Indonésia e México; $t \geq 7$ para a Alemanha e Rússia.

A presença de uma tendência crescente é particularmente preocupante para os prognósticos de sustentabilidade. Evidentemente, um sistema econômico cuja reprodução depende de aumentos recorrentes nas quantidades utilizadas de recursos não-renováveis disponíveis em quantidade finita é sem sobra de dúvidas insustentável. Conhecimento do Cálculo diferencial e integral ensina que a soma de uma série indefinidamente longa cujos valores sempre crescem é infinita. Também ensina que uma série indefinidamente longa somente é superiormente limitada se apenas se os valores da série decrescem em direção a zero ao longo do tempo¹⁰². Em suma, as evidências de que dispomos são a de que a reprodução ampliada do

¹⁰² Para a demonstração matemática destas assertivas pode-se consultar, por exemplo, a exposição de Piskunov sobre séries, particularmente a seção 2 do capítulo XVI.

sistema econômico, apesar dos enormes ganhos de eficiência observados desde a Revolução Industrial, tem se apoiado numa demanda crescente por energia obtida de estoques de combustíveis fósseis. É difícil ver como um sistema que se apóia na demanda crescente de recursos finitos possa continuar a reproduzir-se perpetuamente.

9 ANEXO 2 – TABELAS DE CONSUMO PER CAPITA DE ENERGIA

Os dados de consumo per capita de energia foram todos obtidos a partir da base de dados da OCDE, disponível eletronicamente em http://lysander.sourceoecd.org/vl=6248875/cl=46/nw=1/rpsv/oecd_data_base.htm. É possível encontrar o Documento com dados de consumo per capita de energia na base de dados eletrônica da OCDE por meio do seguinte procedimento de busca. Selecione os itens 'OECD Databases' e 'Databases' em Publications. Use 'TPES' (Total Primary Energy Supply) como palavra-chave para a busca. Os documentos referentes a consumo de energia para membros e não-membros da OECD contêm os dados de consumo per capita de energia, todos medidos em Toneladas Equivalente de Petróleo por habitante.

Observação	Ano	África do Sul (TEP per capita)
1	1971	2
2	1972	1,99
3	1973	2,07
4	1974	2,11
5	1975	2,17
6	1976	2,2
7	1977	2,18
8	1978	2,26
9	1979	2,29
10	1980	2,36
11	1981	2,54
12	1982	2,7
13	1983	2,68
14	1984	2,83
15	1985	2,76
16	1986	2,81
17	1987	2,83
18	1988	2,88
19	1989	2,69
20	1990	2,58
21	1991	2,64
22	1992	2,43
23	1993	2,53
24	1994	2,61
25	1995	2,68
26	1996	2,63
27	1997	2,61
28	1998	2,58
29	1999	2,52
30	2000	2,51
31	2001	2,42
32	2002	2,31
33	2003	2,56
34	2004	2,78
35	2005	2,68
36	2006	2,72
37	2007	2,81
38	2008	2,76

Tabela 9-1: África do Sul

Observação	Ano	Alemanha (TEP per capita)
1	1960	1,9963
2	1961	2,0332
3	1962	2,16
4	1963	2,318
5	1964	2,374
6	1965	2,4055
7	1966	2,4135
8	1967	2,4196
9	1968	2,5971
10	1969	2,8062
11	1970	3,8837
12	1971	3,8937
13	1972	4,016
14	1973	4,239
15	1974	4,1577
16	1975	3,9847
17	1976	4,3157
18	1977	4,3358
19	1978	4,4844
20	1979	4,6866
21	1980	4,5615
22	1981	4,3989
23	1982	4,2578
24	1983	4,2686
25	1984	4,4474
26	1985	4,5991
27	1986	4,591
28	1987	4,6236
29	1988	4,631
30	1989	4,5191
31	1990	4,4278
32	1991	4,3079
33	1992	4,1965
34	1993	4,1266
35	1994	4,0951
36	1995	4,1275
37	1996	4,2538
38	1997	4,2094
39	1998	4,1857
40	1999	4,0886
41	2000	4,1039
42	2001	4,2188
43	2002	4,1132
44	2003	4,1453
45	2004	4,1639
46	2005	4,1072
47	2006	4,1429
48	2007	4,0468
49	2008	4,0829
50	2009	3,8857

Tabela 9-2: Alemanha

Observação	Ano	Arábia Saudita (TEP per capita)
1	1971	1,26
2	1972	1,03
3	1973	1,14
4	1974	1,22
5	1975	1,27
6	1976	1,45
7	1977	1,55
8	1978	2,06
9	1979	2,54
10	1980	3,29
11	1981	4,14
12	1982	4,37
13	1983	4,5
14	1984	3,73
15	1985	3,63
16	1986	3,71
17	1987	3,79
18	1988	4,14
19	1989	3,95
20	1990	3,6
21	1991	4,2
22	1992	4,66
23	1993	4,69
24	1994	4,81
25	1995	4,68
26	1996	4,89
27	1997	4,76
28	1998	4,95
29	1999	4,96
30	2000	5,07
31	2001	5,08
32	2002	5,48
33	2003	5,41
34	2004	5,69
35	2005	5,91
36	2006	6,04
37	2007	6,13
38	2008	6,56

Tabela 9-3: Arábia Saudita

Observação	Ano	Argentina (TEP per capita)
1	1971	1,38
2	1972	1,38
3	1973	1,41
4	1974	1,42
5	1975	1,38
6	1976	1,41
7	1977	1,42
8	1978	1,43
9	1979	1,49
10	1980	1,49
11	1981	1,43
12	1982	1,42
13	1983	1,42
14	1984	1,45
15	1985	1,36
16	1986	1,43
17	1987	1,48
18	1988	1,51
19	1989	1,45
20	1990	1,41
21	1991	1,44
22	1992	1,49
23	1993	1,47
24	1994	1,55
25	1995	1,55
26	1996	1,58
27	1997	1,64
28	1998	1,66
29	1999	1,66
30	2000	1,65
31	2001	1,55
32	2002	1,47
33	2003	1,55
34	2004	1,75
35	2005	1,73
36	2006	1,86
37	2007	1,86
38	2008	1,91

Tabela 9-4: Argentina

Observação	Ano	Austrália (TEP per capita)
1	1960	3,0263
2	1961	3,0701
3	1962	3,146
4	1963	3,2564
5	1964	3,3218
6	1965	3,4349
7	1966	3,5185
8	1967	3,6474
9	1968	3,7171
10	1969	3,7462
11	1970	4,0134
12	1971	3,9107
13	1972	3,9654
14	1973	4,191
15	1974	4,2603
16	1975	4,3222
17	1976	4,3817
18	1977	4,6418
19	1978	4,6062
20	1979	4,6556
21	1980	4,7007
22	1981	4,6551
23	1982	4,7825
24	1983	4,5278
25	1984	4,6121
26	1985	4,5799
27	1986	4,5859
28	1987	4,7268
29	1988	4,7265
30	1989	4,9619
31	1990	5,0219
32	1991	4,8975
33	1992	4,9331
34	1993	5,1345
35	1994	5,0843
36	1995	5,0875
37	1996	5,3725
38	1997	5,4438
39	1998	5,525
40	1999	5,5785
41	2000	5,6103
42	2001	5,4709
43	2002	5,6471
44	2003	5,6605
45	2004	5,6224
46	2005	5,8287
47	2006	5,875
48	2007	5,8838
49	2008	6,0478
50	2009	6,0646

Tabela 9-5: Austrália

Observação	Ano	Brasil (TEP per capita)
1	1971	0,71
2	1972	0,74
3	1973	0,79
4	1974	0,83
5	1975	0,84
6	1976	0,86
7	1977	0,87
8	1978	0,91
9	1979	0,94
10	1980	0,94
11	1981	0,88
12	1982	0,87
13	1983	0,87
14	1984	0,91
15	1985	0,95
16	1986	0,97
17	1987	0,99
18	1988	0,99
19	1989	0,99
20	1990	0,94
21	1991	0,94
22	1992	0,93
23	1993	0,94
24	1994	0,98
25	1995	1
26	1996	1,03
27	1997	1,07
28	1998	1,08
29	1999	1,09
30	2000	1,09
31	2001	1,08
32	2002	1,09
33	2003	1,1
34	2004	1,14
35	2005	1,16
36	2006	1,19
37	2007	1,24
38	2008	1,29

Tabela 9-6: Brasil

Observação	Ano	Canadá (TEP per capita)
1	1960	4,255
2	1961	4,3099
3	1962	4,4531
4	1963	4,6961
5	1964	4,9057
6	1965	5,1556
7	1966	5,274
8	1967	5,5589
9	1968	5,8763
10	1969	6,0913
11	1970	6,4764
12	1971	6,436
13	1972	6,863
14	1973	7,0844
15	1974	7,0899
16	1975	7,1702
17	1976	7,2929
18	1977	7,4309
19	1978	7,5614
20	1979	7,8624
21	1980	7,8561
22	1981	7,5662
23	1982	7,1844
24	1983	7,0766
25	1984	7,3688
26	1985	7,4677
27	1986	7,5219
28	1987	7,6711
29	1988	7,8852
30	1989	7,9632
31	1990	7,536
32	1991	7,4257
33	1992	7,5159
34	1993	7,6806
35	1994	7,8659
36	1995	7,8805
37	1996	7,9772
38	1997	7,9863
39	1998	7,8707
40	1999	8,0425
41	2000	8,194
42	2001	7,9956
43	2002	7,9185
44	2003	8,2811
45	2004	8,3766
46	2005	8,446
47	2006	8,2459
48	2007	8,2625
49	2008	8,0047
50	2009	7,4579

Tabela 9-7: Canadá

Observação	Ano	China (TEP per capita)
1	1971	0,47
2	1972	0,48
3	1973	0,49
4	1974	0,49
5	1975	0,53
6	1976	0,54
7	1977	0,58
8	1978	0,62
9	1979	0,62
10	1980	0,61
11	1981	0,6
12	1982	0,61
13	1983	0,63
14	1984	0,65
15	1985	0,66
16	1986	0,68
17	1987	0,7
18	1988	0,73
19	1989	0,73
20	1990	0,76
21	1991	0,75
22	1992	0,77
23	1993	0,8
24	1994	0,83
25	1995	0,87
26	1996	0,89
27	1997	0,89
28	1998	0,88
29	1999	0,87
30	2000	0,87
31	2001	0,86
32	2002	0,93
33	2003	1,05
34	2004	1,21
35	2005	1,3
36	2006	1,41
37	2007	1,49
38	2008	1,6

Tabela 9-8: China

Observação	Ano	Coréia do Sul (TEP per capita)
1	1971	0,5161
2	1972	0,5513
3	1973	0,6318
4	1974	0,675
5	1975	0,6933
6	1976	0,7586
7	1977	0,8663
8	1978	0,9352
9	1979	1,0632
10	1980	1,081
11	1981	1,0451
12	1982	1,0942
13	1983	1,1698
14	1984	1,2664
15	1985	1,3118
16	1986	1,4845
17	1987	1,5854
18	1988	1,7643
19	1989	1,8589
20	1990	2,1714
21	1991	2,3083
22	1992	2,5352
23	1993	2,8149
24	1994	2,9589
25	1995	3,2102
26	1996	3,4547
27	1997	3,7261
28	1998	3,3775
29	1999	3,7087
30	2000	3,9495
31	2001	3,9787
32	2002	4,1699
33	2003	4,2317
34	2004	4,334
35	2005	4,3646
36	2006	4,4211
37	2007	4,5845
38	2008	4,669
39	2009	4,7003

Tabela 9-9: Coréia do Sul

Observação	Ano	Estados Unidos (TEP per capita)
1	1960	5,6407
2	1961	5,611
3	1962	5,7736
4	1963	5,9857
5	1964	6,1358
6	1965	6,3068
7	1966	6,5902
8	1967	6,8086
9	1968	7,0722
10	1969	7,331
11	1970	7,5677
12	1971	7,6434
13	1972	7,9399
14	1973	8,1624
15	1974	7,908
16	1975	7,656
17	1976	8,0987
18	1977	8,2837
19	1978	8,4367
20	1979	8,3252
21	1980	7,9248
22	1981	7,6295
23	1982	7,2418
24	1983	7,1827
25	1984	7,4253
26	1985	7,4384
27	1986	7,3591
28	1987	7,6048
29	1988	7,832
30	1989	7,8719
31	1990	7,6544
32	1991	7,615
33	1992	7,6652
34	1993	7,6991
35	1994	7,7475
36	1995	7,7543
37	1996	7,8347
38	1997	7,8199
39	1998	7,7952
40	1999	7,9151
41	2000	8,0497
42	2001	7,8194
43	2002	7,8317
44	2003	7,7775
45	2004	7,8672
46	2005	7,833
47	2006	7,6857
48	2007	7,7437
49	2008	7,4992
50	2009	7,0631

Tabela 9-10: Estados Unidos

Observação	Ano	França (TEP per capita)
1	1960	1,696
2	1961	1,7467
3	1962	1,8553
4	1963	1,971
5	1964	2,0782
6	1965	2,1083
7	1966	2,1255
8	1967	2,2531
9	1968	2,3662
10	1969	2,5422
11	1970	2,954
12	1971	3,0258
13	1972	3,1659
14	1973	3,3798
15	1974	3,2501
16	1975	3,0609
17	1976	3,2543
18	1977	3,1795
19	1978	3,3756
20	1979	3,5016
21	1980	3,4798
22	1981	3,3799
23	1982	3,2784
24	1983	3,3462
25	1984	3,4495
26	1985	3,601
27	1986	3,6389
28	1987	3,7093
29	1988	3,6724
30	1989	3,8014
31	1990	3,8488
32	1991	4,047
33	1992	3,9577
34	1993	4,0075
35	1994	3,8423
36	1995	3,983
37	1996	4,1932
38	1997	4,0501
39	1998	4,1584
40	1999	4,1333
41	2000	4,1477
42	2001	4,2562
43	2002	4,2384
44	2003	4,2846
45	2004	4,3156
46	2005	4,2939
47	2006	4,2116
48	2007	4,1389
49	2008	4,1562
50	2009	3,9344

Tabela 9-11: França

Observação	Ano	Índia (TEP per capita)
1	1971	0,28
2	1972	0,28
3	1973	0,28
4	1974	0,29
5	1975	0,29
6	1976	0,29
7	1977	0,3
8	1978	0,29
9	1979	0,3
10	1980	0,3
11	1981	0,31
12	1982	0,32
13	1983	0,32
14	1984	0,33
15	1985	0,34
16	1986	0,34
17	1987	0,35
18	1988	0,36
19	1989	0,37
20	1990	0,38
21	1991	0,38
22	1992	0,39
23	1993	0,39
24	1994	0,4
25	1995	0,41
26	1996	0,42
27	1997	0,43
28	1998	0,43
29	1999	0,45
30	2000	0,45
31	2001	0,45
32	2002	0,46
33	2003	0,46
34	2004	0,48
35	2005	0,49
36	2006	0,51
37	2007	0,53
38	2008	0,54

Tabela 9-12: Índia

Observação	Ano	Indonésia (TEP per capita)
1	1971	0,3
2	1972	0,3
3	1973	0,31
4	1974	0,31
5	1975	0,32
6	1976	0,32
7	1977	0,35
8	1978	0,37
9	1979	0,38
10	1980	0,39
11	1981	0,4
12	1982	0,4
13	1983	0,4
14	1984	0,41
15	1985	0,42
16	1986	0,44
17	1987	0,45
18	1988	0,47
19	1989	0,49
20	1990	0,58
21	1991	0,6
22	1992	0,62
23	1993	0,64
24	1994	0,66
25	1995	0,69
26	1996	0,71
27	1997	0,73
28	1998	0,71
29	1999	0,74
30	2000	0,75
31	2001	0,78
32	2002	0,79
33	2003	0,79
34	2004	0,81
35	2005	0,81
36	2006	0,81
37	2007	0,84
38	2008	0,87

Tabela 9-13: Indonésia

Observação	Ano	Itália (TEP per capita)
1	1960	0,7989
2	1961	0,8978
3	1962	1,0136
4	1963	1,1268
5	1964	1,2272
6	1965	1,3231
7	1966	1,4385
8	1967	1,5576
9	1968	1,7035
10	1969	1,8366
11	1970	2,0262
12	1971	1,9491
13	1972	2,0508
14	1973	2,1756
15	1974	2,2122
16	1975	2,1061
17	1976	2,2641
18	1977	2,2042
19	1978	2,2476
20	1979	2,34
21	1980	2,3184
22	1981	2,2656
23	1982	2,2065
24	1983	2,2039
25	1984	2,2537
26	1985	2,2848
27	1986	2,3116
28	1987	2,4073
29	1988	2,4628
30	1989	2,5661
31	1990	2,5839
32	1991	2,6449
33	1992	2,6276
34	1993	2,612
35	1994	2,5785
36	1995	2,7994
37	1996	2,7962
38	1997	2,8344
39	1998	2,9129
40	1999	2,9573
41	2000	3,0122
42	2001	3,0213
43	2002	3,0162
44	2003	3,1147
45	2004	3,1216
46	2005	3,1374
47	2006	3,0895
48	2007	3,0163
49	2008	2,9393
50	2009	2,7238

Tabela 9-14: Itália

Observação	Ano	Japão (TEP per capita)
1	1960	0,8631
2	1961	0,9763
3	1962	1,0176
4	1963	1,1521
5	1964	1,2775
6	1965	1,3664
7	1966	1,4982
8	1967	1,7407
9	1968	1,9451
10	1969	2,2199
11	1970	2,4677
12	1971	2,5483
13	1972	2,6864
14	1973	2,9418
15	1974	2,9178
16	1975	2,7294
17	1976	2,8704
18	1977	2,893
19	1978	2,8913
20	1979	3,037
21	1980	2,9431
22	1981	2,8581
23	1982	2,8339
24	1983	2,8173
25	1984	3,0106
26	1985	2,998
27	1986	3,0166
28	1987	3,0405
29	1988	3,2392
30	1989	3,3483
31	1990	3,554
32	1991	3,5783
33	1992	3,6487
34	1993	3,6623
35	1994	3,8582
36	1995	3,952
37	1996	4,0289
38	1997	4,0622
39	1998	3,9792
40	1999	4,0444
41	2000	4,0886
42	2001	4,0119
43	2002	4,0034
44	2003	3,9642
45	2004	4,0886
46	2005	4,0745
47	2006	4,0686
48	2007	4,0332
49	2008	3,8831
50	2009	3,7217

Tabela 9-15: Japão

Observação	Ano	México (TEP per capita)
1	1971	0,8618
2	1972	0,9224
3	1973	0,9868
4	1974	1,0172
5	1975	1,0427
6	1976	1,0829
7	1977	1,1373
8	1978	1,2362
9	1979	1,3186
10	1980	1,4478
11	1981	1,5101
12	1982	1,5445
13	1983	1,4217
14	1984	1,453
15	1985	1,4774
16	1986	1,4081
17	1987	1,451
18	1988	1,4397
19	1989	1,4748
20	1990	1,4925
21	1991	1,4986
22	1992	1,4841
23	1993	1,4774
24	1994	1,5031
25	1995	1,4249
26	1996	1,4333
27	1997	1,4474
28	1998	1,4766
29	1999	1,5139
30	2000	1,4736
31	2001	1,4644
32	2002	1,4974
33	2003	1,5076
34	2004	1,5475
35	2005	1,6386
36	2006	1,639
37	2007	1,6682
38	2008	1,6947
39	2009	1,645

Tabela 9-16: México

Observação	Ano	Reino Unido (TEP per capita)
1	1960	3,0343
2	1961	3,0063
3	1962	3,0849
4	1963	3,1983
5	1964	3,2131
6	1965	3,3293
7	1966	3,3071
8	1967	3,3446
9	1968	3,406
10	1969	3,5559
11	1970	3,687
12	1971	3,7312
13	1972	3,7472
14	1973	3,8787
15	1974	3,7344
16	1975	3,5458
17	1976	3,6167
18	1977	3,6956
19	1978	3,6766
20	1979	3,8595
21	1980	3,5227
22	1981	3,4148
23	1982	3,3996
24	1983	3,3793
25	1984	3,3675
26	1985	3,5503
27	1986	3,5981
28	1987	3,6186
29	1988	3,644
30	1989	3,6263
31	1990	3,5977
32	1991	3,7076
33	1992	3,6852
34	1993	3,7125
35	1994	3,7294
36	1995	3,7271
37	1996	3,8783
38	1997	3,7599
39	1998	3,7876
40	1999	3,7837
41	2000	3,7859
42	2001	3,7855
43	2002	3,6824
44	2003	3,7317
45	2004	3,708
46	2005	3,6908
47	2006	3,6138
48	2007	3,4451
49	2008	3,3977
50	2009	3,1983

Tabela 9-17: Reino Unido

Observação	Ano	Russia
		(TEP per capita)
1	1990	5,94
2	1991	5,87
3	1992	5,36
4	1993	5,06
5	1994	4,43
6	1995	4,29
7	1996	4,25
8	1997	4,07
9	1998	3,98
10	1999	4,14
11	2000	4,22
12	2001	4,29
13	2002	4,29
14	2003	4,46
15	2004	4,5
16	2005	4,55
17	2006	4,71
18	2007	4,73
19	2008	4,84

Tabela 9-18: Rússia

Observação	Ano	Turquia (TEP per capita)
1	1960	0,3882
2	1961	0,3845
3	1962	0,4098
4	1963	0,4199
5	1964	0,4319
6	1965	0,4435
7	1966	0,475
8	1967	0,4799
9	1968	0,4921
10	1969	0,5058
11	1970	0,5156
12	1971	0,5397
13	1972	0,5944
14	1973	0,6397
15	1974	0,6456
16	1975	0,6676
17	1976	0,7116
18	1977	0,7645
19	1978	0,746
20	1979	0,6948
21	1980	0,7076
22	1981	0,6963
23	1982	0,7218
24	1983	0,7455
25	1984	0,7563
26	1985	0,7815
27	1986	0,8228
28	1987	0,8958
29	1988	0,8882
30	1989	0,9059
31	1990	0,9571
32	1991	0,9292
33	1992	0,942
34	1993	0,9823
35	1994	0,9552
36	1995	1,0299
37	1996	1,1033
38	1997	1,1445
39	1998	1,1476
40	1999	1,1106
41	2000	1,1881
42	2001	1,0809
43	2002	1,1248
44	2003	1,1639
45	2004	1,1938
46	2005	1,2303
47	2006	1,3402
48	2007	1,4234
49	2008	1,3858
50	2009	1,279

Tabela 9-19: Turquia