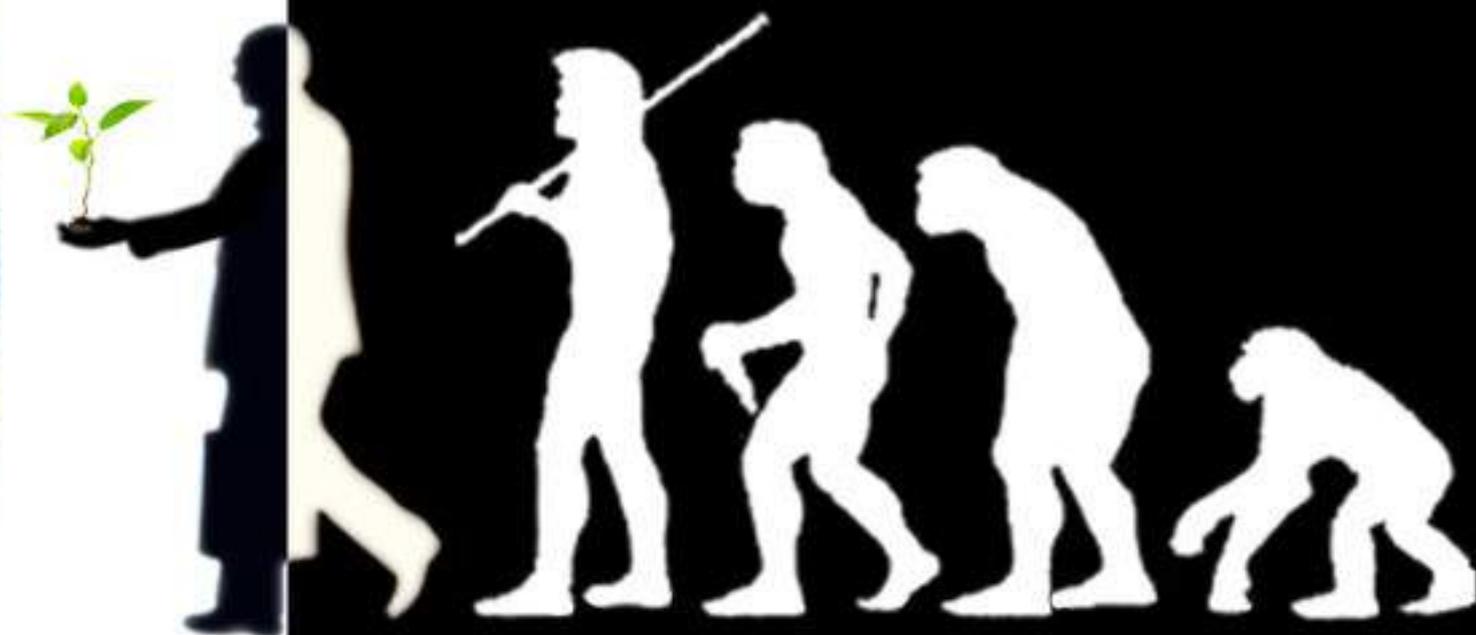


A SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS COMPLEXOS

**Conceitos básicos para uma ciência
do desenvolvimento sustentável
Aspectos Teóricos e Práticos**



**Norbert Fenzl
José Alberto da Costa Machado**

A SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS COMPLEXOS

Conceitos básicos para uma ciência
do desenvolvimento sustentável

Aspectos Teóricos e Práticos



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

Reitor

Carlos Edilson de Almeida Maneschy

Vice-Reitora

Horácio Schnrider

Pró-Reitora de Administração

Edson Ortiz de Matos

Pró-Reitor de Ensino de Graduação e Administração Acadêmica

Marlene Rodrigues Medeiros Freitas

Pró-Reitora de Extensão

Fernando Arthur de Freitas Neves

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação

Emmanuel Zagury Tourinho

Pró-Reitor de Planejamento e Desenvolvimento

Erick Nelo Pedreira

Pró-Reitora de Desenvolvimento e Gestão de Pessoal

João Cauby de Almeida Junior

Chefe de Gabinete

Maria Lúcia Langbeck Ohana

Prefeito do Campus

Aleamar Dias Rodrigues Júnior



NÚCLEO DE MEIO AMBIENTE

Diretor Geral

Prof. Dr. Gilberto de Miranda Rocha

Diretor Adjunto e Coordenador Acadêmico

Prof. Phd. Wagner Luiz Ramos Barbosa

Coordenadora de Informação Ambiental

Bibliotecária M. Sc. Marise Teles Condurú

Coordenador de Planejamento, Gestão e Avaliação

Raimundo Lima da Silva Matos

Universidade Federal do Pará
Núcleo de Meio Ambiente

Norbert Fenzl

José Alberto da Costa Machado

A SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS COMPLEXOS

Conceitos básicos para uma ciência
do desenvolvimento sustentável

Aspectos Teóricos e Práticos

Belém
NUMA/UFPA
2009

UFPA / NUMA
Sub-Coordenação de
Informação Ambien-
tal.

oc. 201140
ex. 485795

Editoração
Ione Sena

Capa
Andréas M. Fenzl

Dados internacionais de catalogação-na-publicação (CIP),
Biblioteca do Núcleo de Meio Ambiente/UFPA, Belém – PA.

Fenzl, Norbert

A Sustentabilidade de Sistemas Complexos: conceitos básicos para
uma ciência do desenvolvimento sustentável: aspectos teóricos e práticos /
Norbert Fenzl e José Alberto da Costa Machado. __ Belém: NUMA/UFPA,
2009.

285 p.

ISBN: 978-85-88998-28-5

1.Desenvolvimento sustentável. I. Título. II. Machado, José Alberto
da Costa.

CDD 21. ed. 363.7

Sumário

PREFÁCIO, 7

Capítulo I
O DEBATE E OS DESAFIOS, 13

Capítulo II
A TEORIA DE SISTEMAS COMPLEXOS, 55

Capítulo III
INDICADORES PARA UM DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL, 119

Capítulo IV
O METABOLISMO ENERGÉTICO-MATERIAL E A
CONTABILIDADE DE FLUXOS MATERIAIS, 183

Capítulo V
ESTUDO DE CASO A ANÁLISE DOS FLUXOS MATERIAIS
DA ECONOMIA BRASILEIRA, 215

A natureza criou a complexidade para simplificar o complicado

Prefácio

O presente livro é o resultado de pesquisas realizadas no âmbito do projeto *Amazônia 21*, da participação em conferências e congressos internacionais sobre Desenvolvimento Sustentável e das aulas, pesquisas e orientações de teses de doutorado realizadas no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido – PDTU do Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, NAEA da UFPA.¹

Esta experiência mostrou que há uma nítida ruptura entre o amplo *debate* sobre desenvolvimento sustentável e nossa capacidade de enfrentar na *prática* as conseqüências nefastas decorrentes da insustentabilidade dos processos econômicos e sociais.

Esta ruptura entre a discussão e a prática se deve, entre outras, à *falta de uma matriz teórica que estabeleça conceitos científicos mais claros capazes de unificar a linguagem em torno da questão do desenvolvimento sustentável.*

A grande dificuldade em traduzir o debate sobre Desenvolvimento Sustentável em ações concretas reside, basicamente, no enfrentamento de dois desafios estreitamente ligados:

a) A necessidade de *sintonizar* a linguagem científica das diversas áreas de conhecimento, construindo competência no trabalho trans- e interdisciplinar. A Teoria de Sistemas nos ensina que *o conjunto é*

¹ O Projeto Amazônia 21 teve como objetivo de estudar os aspectos práticos do desenvolvimento sustentável e foi uma tentativa de aplicar certos métodos operacionais a realidade amazônica. Os resultados do Projeto Amazonia 21 podem ser consultados no site <http://www.gpa21.org/br/publicacoes.php?CodAreaTematica=1> **Título:** Projeto Amazônia 21 - Relatório Final: Instrumentos Operacionais para o Gerenciamento do Desenvolvimento Sustentável na Amazônia.

muito mais que a somatória das partes. Assim, a interdisciplinaridade é a construção consciente de uma nova qualidade de percepção da realidade, como fruto da interação entre as diferentes áreas do conhecimento científico. Juntar as mais diversas disciplinas acadêmicas para abordar problemas do desenvolvimento sustentável, sem buscar esta nova qualidade, não gera nenhuma inovação teórica ou metodológica.

b) A necessidade de criar *métodos* adequados para *medir* concretamente o grau de insustentabilidade do desenvolvimento econômico e social, baseados em parâmetros cientificamente consistentes e incontestáveis.

A conclusão é que a construção de instrumentos operacionais para enfrentar os problemas decorrentes da insustentabilidade do desenvolvimento mundial atual, em nossa opinião o *principal desafio deste século*, requer uma *teoria e um método, conscientemente construídos*, que somente surgirão de uma nova qualidade de percepção da realidade baseada na interdisciplinaridade e na integração do conhecimento científico.

Partindo desta preocupação, o livro, dividido em cinco capítulos, coloca o debate sobre desenvolvimento sustentável no contexto da Teoria de Sistemas, e apresenta alguns exemplos de instrumentos operacionais decorrentes desta abordagem teórica.

O primeiro capítulo, **O Debate e os Desafios**, apresenta uma breve revisão da atual discussão em torno da questão do desenvolvimento sustentável

O segundo Capítulo, **A Teoria de Sistemas Complexos**, responde às seguintes perguntas: O que significa complexidade? O que é um sistema complexo? Qual é a utilidade de uma teoria de sistemas complexos para os problemas do desenvolvimento sustentável?

Finalmente, os capítulos seguintes tratam de aspectos práticos que podem ser deduzidos da Teoria de Sistemas, tais como:

– **Indicadores para um Desenvolvimento Sustentável**, que elabora uma breve revisão dos diversos sistemas de Indicadores mais importantes atualmente em uso e apresenta o sistema de Indicadores desenvolvido por H. Bossel.

– **O Metabolismo Energético-Material e Contabilidade de Fluxos Materiais**, cujo capítulo apresenta um dos principais conceitos decorrentes da Teoria de Sistemas e mostra a importância de contabilizar a intensidade material e energética dos processos econômicos modernos para entender e propor soluções para problemas de sustentabilidade diretamente ligados à maneira como a sociedade se apropria dos recursos naturais e a forma como a ela transforma os mesmos em produtos, mercadorias e *relações econômicas e sociais*.

– **A Análise dos Fluxos Materiais da Economia Brasileira**, o último capítulo, que apresenta um exemplo de aplicação prática da Contabilidade de Fluxos Materiais para o caso da economia brasileira e demonstra a utilidade do método para o desenvolvimento de políticas públicas relativas aos problemas do desenvolvimento sustentável.

Os autores

Capítulo I

O DEBATE E OS DESAFIOS

Desenvolvimento Sustentável existe?, 13

A lógica da insustentabilidade: Descontando o futuro, 15

Breve histórico do debate

O Clube de Roma. Os Limites e Além dos Limites do Crescimento, 22

O Relatório Brundtland, 23

Os objetivos de desenvolvimento do Milênio das Nações Unidas, 23

A Economia Ecológica, 26

A Ecologia Profunda (Deep Ecology), 27

O Eco-desenvolvimento e desenvolvimento includente, 27

Os serviços ambientais, 30

Os desafios para as ciências, 33

A diversidade do conceito, 35

As diferentes concepções da insustentabilidade, 38

As diferentes tentativas de aferição da sustentabilidade, 43

Referências, 48

Desenvolvimento Sustentável existe?

O conceito de *Desenvolvimento Sustentável* não é simplesmente um modismo intelectual do final do Século XX, senão é fruto da consciência dos graves problemas ambientais e socioeconômicos que a humanidade está enfrentando. As sociedades e nações do mundo em pleno processo de globalização e integração socioeconômicas estão percebendo claramente os limites dos recursos naturais do planeta. Mais ainda, os **princípios** e as **maneiras** em que esta integração mundial ocorre, produzem efeitos colaterais desastrosos, tais como impactos ambientais de dimensões planetárias, níveis de injustiça social crescentes e uma voracidade desenfreada em relação aos recursos naturais. A percepção dessas limitações do modelo econômico globalizado traz conseqüências profundas na maneira de encarar o futuro da humanidade.

Assim, **desenvolvimento sustentável** pode ser considerado de certa maneira um *contra-conceito* na medida em que ele surge como **antítese** a um desenvolvimento econômico e social do planeta que é percebido como **insustentável**.

Surge então a pergunta: *nossa forma de desenvolvimento tem futuro?*

As respostas não são simples e requerem uma nova abordagem baseada na interdisciplinaridade, quebrando com nossas tradições positivistas e lineares de pensar. De fato, a sociedade humana é um sistema complexo, longe do equilíbrio e regido por parâmetros que não obedecem à lógica mecanicista das ciências tradicionais. Eis a razão porque compreender o verdadeiro significado do conceito de desenvolvimento sustentável requer compreender as dinâmicas dos sistemas complexos. Desenvolvimento Sustentável, por ser um conceito novo e muito amplo, vem sendo interpretado das maneiras

mais diversas, sempre dependendo dos interesses específicos do usuário. As dificuldades em torno desse conceito se devem ao grande número de pontos de vista, do alto nível de abstração e da falta de elementos operacionais capazes de medir concretamente a sustentabilidade de um processo de desenvolvimento. Em outras palavras: é preciso construir uma ciência inovadora para a sociedade sustentável.

De um modo geral define-se desenvolvimento sustentável levando-se em conta as seguintes metas e objetivos básicos:

- A taxa de consumo de **recursos renováveis** não deve ultrapassar a **capacidade de renovação** dos mesmos;
- A quantidade de **rejeitos produzidos** não deve ultrapassar a **capacidade de absorção** dos ecossistemas;
- Recursos não renováveis devem ser utilizados somente **na medida em que possam ser substituídos** por um recurso equivalente renovável.

Em síntese: o conceito de desenvolvimento sustentável descreve um **processo socioeconômico ecologicamente sustentável e socialmente justo**.

É claro que diretrizes tão vagas, não podem ser traduzidas diretamente em ações práticas ou políticas públicas consistentes. As dificuldades e obstáculos para transformar esta idéia aparentemente simples em ações concretas são enormes e os debates e conflitos que surgem em torno desse conceito são equivalentes ao tamanho do problema que a humanidade está enfrentando de fato.

Entretanto, a discussão em torno das questões práticas avançou nas últimas décadas e assistimos ao surgimento de novas abordagens metodológicas que parecem promissoras¹.

¹ Por exemplo, a Holanda desenvolveu um programa interessante chamado *Sustainable Technology Development*. Este programa pede que os fluxos antropogênicos devam ser pequenos (20%) em relação aos fluxos naturais. No caso dos recursos não renováveis, o programa propõe que o uso somente deva ser permitido se há uma perspectiva de reservas pelo menos por 50 anos. Nesse período precisam ser realizados investimentos para sua substituição.

A lógica da insustentabilidade: Descontando o futuro

O ser humano tem a tendência de ser coerente dentro de certos princípios aceitos pelo conjunto da sociedade e dentro do contexto cultural em que ele for educado. Neste caso, o comportamento do indivíduo é considerado normal, ou *racional*. Assim sendo, a *racionalidade* é sempre relativa a normas socialmente aceitas e pode ser perfeitamente *irracional* em algum outro quadro de referência ética.

Por exemplo, quando queremos entender porque alguns promovem a destruição das florestas tropicais e a consideram como uma atividade racional, enquanto outros a condenam devemos perguntar sobre as *lógicas* que estão fundamentando julgamentos tão antagônicos.

A primeira lógica é basicamente utilitária. As pessoas físicas ou jurídicas que vivem de acordo com esta lógica, são os centros de suas próprias atenções. Eles consideram ter todo o direito de utilizar qualquer coisa animada ou inanimada presente no seu redor, contanto que a relação custo-benefício esteja favorável para si mesmo. Esta foi exatamente a lógica do colonialismo que marcou a história do mundo nos últimos 500 anos e continua sendo a lógica da economia capitalista atual.

Na era da globalização tal atitude traz conseqüências cada vez mais desastrosas para todos os indivíduos e sociedades, espécies e ecossistemas que não possuem poder econômico ou político para garantir seu espaço num mundo onde reina a lei do mais forte. Um excelente exemplo é a atual crise do sistema financeiro mundial.

Essa postura antropocêntrica e egocêntrica tem raízes nas nossas heranças históricas culturais, religiosas e filosóficas. Trata-se de um referencial construído, em parte, sobre interpretações ignorantes do mundo natural ao nosso redor e em parte sobre a necessidade do nosso passado remoto quando os recursos naturais pareciam infinitos e a luta pela sobrevivência do ser humano requeria uma dose cavalaresca de egocentrismo para ter sucesso.

Nesse contexto de lógicas, derrubar a floresta tropical, vender a madeira, colocar o dinheiro no banco e receber a taxa de juros, que é mais alta do que o valor da taxa de produção de madeira da floresta é necessariamente um “bom negócio”.

Entretanto, se incluirmos nas nossas reflexões e atos os interesses dos nossos filhos e netos, percebemos que na realidade estamos vivendo à custa das gerações futuras. Ou seja, estamos *descontando o futuro*. Para a economia neoclássica, trata-se de um argumento utilizado para determinar o *futuro valor* dos recursos naturais atualmente disponíveis.

BOSSEL (1996) nos dá um exemplo que adaptamos aqui para as condições brasileiras.

Imaginamos um dono de uma fazenda com uma bela árvore de mogno adulto, que certamente poderá durar ainda uns 100 anos sem aumentar sua biomassa. Digamos que a madeira de mogno desta árvore vale USD\$ 1.000, a preço do mercado atual. Para saber o que fazer com a árvore, o dono avalia as seguintes opções: derrubar e vender a madeira (i) de imediato, (ii) daqui a dez anos, (iii) daqui a cinquenta anos, (iv) daqui a cem anos. E ele sabe que pode investir o dinheiro a uma taxa segura de juros de sete por cento ao ano.

- Se o dono decide derrubar e vender de imediato, ele deposita R\$ 1.000 no banco, sobre os quais ele pode auferir juros (digamos 7%/ano) a partir de agora. Assim ele terá R\$ 2.014 em dez anos, R\$ 4.055 em 20 anos, R\$ 33.115 em 50 anos e R\$ 1.096.633 em cem anos.

- Se o dono decide de derrubar a árvore somente daqui a 10 anos, ele receberia os US\$ 1.000 somente daqui a dez anos e deixaria de ganhar os R\$10.014 de juros. Em outras palavras, o valor da madeira *agora* seria somente R\$ 500, se o preço for calculado para uma venda daqui a 10 anos.

- Seguindo este raciocínio, o valor da árvore agora seria somente de R\$ 30 hoje, se fosse derrubada daqui a 100 anos.

Assim sendo, dentro desta lógica, o mais lucrativo é cortar o mogno e colocar R\$ 1.000 no banco a uma taxa de 7% e garantir

para os netos uma boa quantidade de dinheiro no banco, o que eles certamente preferirão no lugar da velha árvore. Do ponto de vista da lógica capitalista isto seria chamado de *gerenciamento sustentável de recursos*. Esta é exatamente a lógica com que governos, e empresas ou indivíduos derrubam florestas tropicais, sobre-pescam os oceanos, esgotam os recursos naturais e bombeiam campos de petróleo até secarem.

Uma vez que o dinheiro esteja no banco, em princípio, ter-se-á uma “fonte sustentável” de dinheiro, com um fluxo constante de juros. Isto é (ou pelo menos *era* até a quebra geral do sistema financeiro mundial) a lógica vigente.

Claro que os governos e seus gurus economistas vêem a floresta desaparecer, a pesca entrando em colapso, campos de petróleo secando. Mas, aparentemente, eles descobriram uma “novidade”: *sempre que um recurso natural se torna raro, a tecnologia arranja um substituto*. Este credo quase religioso nas possibilidades da tecnologia, a chamada *lei da substitucionalidade*, não admite soluções sustentáveis para o aproveitamento racional dos recursos naturais.

Por outro lado, chegaremos a conclusões *racionais* totalmente diferentes se **valorizarmos o uso futuro tanto quanto o uso presente** (sem descontar nada de um futuro mais do que incerto) e se forem aceitas as leis da física, da química e da biologia, que impõem limites objetivos a substitucionalidade. Este referencial é necessário para entender o sentido mais profundo do conceito de sustentabilidade (HOWARD; NORGAARD, 1990, 1992, 1993).

O problema é que o modo de pensar antropocêntrico e utilitário não apenas desconta os interesses das gerações futuras de acordo com sua *distância no tempo*, mas também aplica um *desconto* semelhante no que diz respeito à *distância social*. O que importa e define nosso comportamento são os interesses pessoais e dos nossos mais próximos, enquanto os interesses de cidadãos de outra classe social contam

muito pouco e os interesses de pessoas muito distantes ou uma exótica espécie de pássaro contam praticamente nada.

Nesta lógica, é claro que a proteção ambiental e prevenção da poluição fazem sentido apenas se seus benefícios futuros forem maiores do que os custos atuais. Do contrário, estaríamos irracionalmente desistindo dos nossos *direitos de consumo* hoje.

Usando o exemplo da árvore de mogno: se um desastre ambiental custa 1 milhão de dólares em prejuízos *que nos afetam de imediato*, pagaríamos esta quantia para evitar que ele aconteça. Entretanto, de acordo com a lógica econômico vigente, se ao contrário, os efeitos do desastre causam este mesmo prejuízo de 1 milhão de dólares somente daqui a cem anos, nós provavelmente nem pagaríamos os US\$ 912 (presumindo, novamente, a utilização da taxa de juros de 7 por cento) que serão necessários a partir de agora para evitar que ele ocorra no futuro.

Foi exatamente este tipo de raciocínio que fez o governo norte-americano cortar as despesas de manutenção dos diques em *New Orleans* antes do ciclone Katarina e explica sua resistência em assinar os acordos de Kyoto (NORDHAUS, 1990, 1993).

O grande problema do desenvolvimento sustentável é que ele **não admite descontos futuros**. Um determinado ecossistema vale hoje tanto para o funcionamento **do sistema como um todo**, quanto valerá em 50, 100 ou 1000 anos. Se quisermos que o sistema econômico como um todo seja sustentável e útil para as gerações futuras, não podemos permitir que economistas ou governos de plantão determinem os valores monetários para os **serviços dos ecossistemas** (cujos funcionamentos ainda são em grande parte desconhecidas) de acordo com interesses imediatistas.

A idéia do desenvolvimento sustentável é baseada na percepção de que a biosfera e a antroposfera se complementem num sistema só e ambos evoluem juntos. Não há qualquer possibilidade de desconto

temporal do futuro da biosfera em benefício imediato da antroposfera. Ou os dois lados evoluem juntos ou ambos desaparecerão juntos.

Isto não significa de modo algum que a antroposfera não deve usar os recursos naturais disponíveis para seu desenvolvimento. Pelo contrário, a sociedade humana precisa tirar sua energia e matéria necessária da bio e geosfera para sobreviver. Entretanto, **a forma como a sociedade global se apropria e consome estes recursos deve ser repensada e transformada.**

Assim, a interdependência entre biosfera e antroposfera, assim como a interdependência entre culturas, nações, raças e classes sociais, não admite nenhum desconto espacial ou temporal de um em detrimento do outro. E como a história das guerras, das crises econômicas e financeiras, do câmbio climático, dos desastres ecológicos e muitas outras calamidades nos deveriam ensinar, qualquer tentativa neste sentido será paga cruelmente por nós e, sobretudo por nossos filhos e netos.

Concluindo, podemos concordar com BOSSEL (1996) que resume o problema da seguinte maneira:

1. Com relação ao ambiente natural, significa reconhecer espécies e ecossistemas como sistemas que têm sua própria identidade, seu valor e direito de existência, no presente e no futuro. O ambiente natural não pode ser visto como uma fonte, supostamente infinita, de recursos, mas sim como um *espaço de vida* do qual depende nossa existência e cujo futuro é nossa responsabilidade;

2. Com relação aos sistemas humanos, significa respeitar os princípios dos direitos humanos, sem diferenciações por região, religião, raça, convicção política, renda, riqueza, ou educação;

3. Com relação ao futuro significa respeitar o direito à existência e desenvolvimento de futuras gerações, espécies e ecossistemas, entendendo que na realidade **pedimos a terra emprestada aos nossos filhos.**

Dito isso, é fundamental reconhecermos o fato que a natureza **presta um serviço vital** para as sociedades humanas que nunca foi devidamente reconhecido e sempre considerado como um presente gratuito. Desenvolvimento sustentável, portanto exige uma profunda e criativa reestruturação do nosso **modo de produção**, e conseqüentemente das **relações de produção** e das **forças produtivas** correspondentes. Assim, chegamos finalmente ao cerne de toda a problemática e percebemos porque a discussão em torno do desenvolvimento sustentável sempre parece escapar das questões operacionais e da prática: quanto mais aprofundamos o debate sobre a insustentabilidade do desenvolvimento atual, o paradigma do capitalismo liberal e da liberdade do mercado está sendo seriamente e crescentemente questionado.

Breve histórico do debate

A literatura sobre o tema do desenvolvimento sustentável cresceu exponencialmente nas últimas três décadas, mas em grande parte trata-se de uma crítica ao sistema econômico vigente com poucas orientações práticas ou operacionais *como* a insustentabilidade do processo de desenvolvimento global poderá ser modificado. É consenso que esta **insustentabilidade é conseqüência do modelo econômico neoliberal**, entretanto, após a queda do chamado “socialismo real” há uma lacuna significativa em relação a modelos sociais e econômicos que sejam capazes de enfrentar a devastadora onda neoliberal da globalização.

As críticas ao modelo de desenvolvimento focalizando os seus impactos ambientais começaram a tomar corpo a partir dos anos 70, mas é somente a partir da década de 80 que o conceito de desenvolvimento sustentável começou a ocupar seu espaço na literatura popular e científica e os impactos sociais do modelo econômico chegaram a ser incluídos no debate.

Inicialmente tratava-se de uma crítica (justa) do modelo econômico que questionava o próprio conceito de *desenvolvimento*. Por exemplo, Celso Furtado dizia “*temos assim a prova definitiva de que o desenvolvimento econômico - a idéia de que os povos pobres podem algum dia desfrutar das formas de vida dos atuais povos ricos - é simplesmente irrealizável*” (FURTADO, 2001).

Esta crítica ao modelo de desenvolvimento cresceu tanto em quantidade como em qualidade na medida em que as evidências da insustentabilidade do sistema econômico se tornaram mais claras e fundamentadas em dados científicos irrefutáveis, por exemplo, a questão energética, mudanças climáticas, crise alimentar etc.

O que chegou a ser consenso de um número importante de autores é o fato que um desenvolvimento baseado exclusivamente no aumento e consumo da produção material junto com o crescimento demográfico é impossível de ser sustentado nas próximas décadas (GEORGESCU-ROEGEN, 1997; MEADOWS et al., 1972; FURTADO, 2001; DALY, 2003; ALIER, M. J. & JUSMET, J. R., 2000)

Um dos pioneiros deste debate sobre a insustentabilidade do modelo econômico foi Nicolas Georgescu-Roegen que publicou, em 1971, um trabalho intitulado *The Entropy Law and the Economic Process*. Embora hoje considerado revolucionário, o trabalho foi boicotado pelos economistas da época. Utilizando uma abordagem termodinâmica, ele analisa a crescente entropia e irreversibilidade do sistema econômico e sem ainda utilizar o termo *desenvolvimento sustentável*, ele chega à conclusão que o atual modelo econômico estará condenado ao fracasso justamente devido à segunda lei da termodinâmica. A obra de Georgescu-Roegen, reeditada em 1997, serviu não somente de inspiração para novas abordagens tais como a *economia ecológica* e a chamada *deep ecology* (ecologia profunda) – uma versão fundamentalista - do desenvolvimento sustentável, mas também para a discussão sobre o problema energético da economia global vigente. (GEORGESCU-ROEGEN, 1997)

O Clube de Roma. Os Limites e Além dos Limites do Crescimento

Dois trabalhos marcaram historicamente o debate sobre um desenvolvimento sustentável: *Os Limites do Crescimento* (1972) e *Além dos Limites do Crescimento* (1997)

O primeiro foi uma pesquisa conduzida pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) publicado em 1972 por Dennis Meadows, chamada *Os limites para o crescimento*, também conhecida como *Relatório do Clube de Roma*. O estudo afirma que:

(i) os limites para o crescimento econômico do planeta (mantidos os níveis de industrialização, de poluição, de produção de alimentos e de extração dos recursos naturais) serão atingidos em 100 anos;

(ii) uma inversão destas tendências de crescimento e formar uma condição de estabilidade ecológica e econômica, que se possa manter até um futuro remoto, são possíveis;

(iii) as possibilidades de êxito da inversão dessa tendência dependerão da rapidez em que a humanidade reage aos desafios colocados (MEADOWS et al., 1972).

Para alcançar a *estabilidade econômica e ecológica*, Meadows et al. (1972) propõem o crescimento zero da população global e do capital industrial e mostram a realidade dos recursos limitados em base da velha tese de Malthus sobre o perigo do crescimento demográfico da população mundial.

O segundo trabalho (realizado por Donella & Dennis Meadows e Jorgen Randers), publicado em 1997, foi uma atualização dos *Limites do Crescimento* de 1972, denominada "*Beyond the limits: confronting global collapse*". Desta vez os autores afirmam que um mundo onde os 20% mais ricos da população consumem 86% dos recursos naturais e serviços, mais da metade da energia e quase metade da carne e do peixe, está mais próxima do colapso e longe de alcançar a sustentabilidade. Finalmente, o relatório pode ser considerado mais contundente e pessimista na sua crítica ao sistema econômico mundial, afirmando que *o sistema de mercado enriquece os ricos, empobrece os pobres e coloca em risco o planeta* (MEADOWS et al., 1997).

O Relatório Brundtland

É importante mencionar também o trabalho da Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) que elaborou o chamado relatório Brundtland, em boa parte baseado nos estudos mencionados acima. Embora ligada às Nações Unidas, a CMMAD foi criada em 1983 como organismo independente, fora do controle dos governos membros da ONU. Apesar das debilidades do relatório (criticadas por diversos autores), ele apresenta um avanço significativo: ele estabelece (i) uma relação direta entre o modelo de desenvolvimento econômico vigente e a pobreza, a ineficiência na satisfação das necessidades básicas de alimentação, saúde, habitação e (ii) mostra a necessidade de estabelecer uma matriz energética que privilegie as fontes renováveis e do processo de inovação tecnológica e a degradação ambiental.

Os objetivos de desenvolvimento do Milênio das Nações Unidas

Por mais que os avanços concretos nas mudanças econômicas em direção a uma maior sustentabilidade pareçam insignificantes, há um progresso importante na **percepção** dos problemas que precisam ser levados em consideração. Os **objetivos de desenvolvimento do Milênio das Nações Unidas** são um exemplo disso e refletem claramente a insustentabilidade do atual modelo econômico global e a urgência das mudanças necessárias.

Os objetivos do milênio pretendem:

- Reduzir pela metade, até 2015, a proporção da população com renda inferior a um dólar PPC por dia e a proporção da população que sofre de fome;

- Reduzir em dois terços, até 2015, a mortalidade de crianças menores de 5 anos e reduzir em três quartos a taxa de mortalidade materna são metas extremamente importantes;

- Reduzir pela metade, até 2015, a proporção da população sem acesso permanente a água potável segura.

Para atingir estas e outras metas da mesma importância, a ONU sugere que se integrem os princípios do desenvolvimento sustentável nas políticas e programas nacionais e reverter a perda de recursos ambientais; que se desenvolva um sistema comercial e financeiro aberto, baseado em regras, previsível e não discriminatório e que se torne a dívida externa dos países em desenvolvimento sustentável a longo prazo.

Estas metas podem parecer utópicas frente ao desenvolvimento econômico e social atual do mundo que corre exatamente na contramão dos sonhos da humanidade. Mesmo assim, elas são consequência de uma tomada de consciência dos governos do mundo que devemos tomar em consideração como fator positivo.

Hoje a dinâmica da economia global é determinada pela impressionante **especulação financeira**, a **expansão dos gastos militares**, cuja lógica exige necessariamente a criação de conflitos armados e guerras e **o tráfico de drogas ilegais**. Estas são as *driving forces* da acumulação de capital neste início do Milênio e todas altamente nocivos para o desenvolvimento da humanidade.

A expansão da especulação financeira que desde o fim dos acordos de *Bretton Woods*, na década de 70, causou um fantástico enxugamento do capital produtivo e levou centenas de milhões de pessoas ao desemprego e economias nacionais a beira do colapso.

Somente a título de ilustração, no Brasil o setor bancário cresceu durante a década do plano real de aproximadamente 1.200%, enquanto o PIB nacional somente teve um crescimento de cerca de 30% no mesmo período.

Enquanto isto, o único setor “produtivo” que de fato teve um crescimento espantoso foi a indústria bélica. Por exemplo, os gastos militares dos EUA para 2004-2005 são calculados para cerca de 500.000 milhões de dólares: 1.360 milhões por dia, 56,6 milhões por hora, mais de 940.000 dólares por minuto e quase 16.000 U\$ por segundo.

Na guerra do Afeganistão e do Iraque foram gastos até final de 2006 em torno de 700.000 milhões de dólares, excluindo-se os custos da infra-estrutura e das vidas destruídas durante os conflitos.

Natalie J. Goldring, diretora executiva do Projeto de Segurança Global e Desarmamento da Universidade de Maryland, demonstra que no auge da guerra fria dos anos de 1970 os gastos militares do mundo giravam em torno de 900.000 milhões de dólares. Depois da queda do muro de Berlin, os gastos caíram para 780.000 milhões em 1999 (GELMAN, 2004). Entretanto, no final de 2004 tem-se novamente um gasto global de 950.000 milhões de dólares, 50.000 milhões de dólares a mais do que no auge da guerra fria. Isto se deve basicamente a impressionante expansão militar dos EUA, que teve que substituir o seu antigo adversário, o “comunismo mundial” pelo “terrorismo mundial” para poder garantir a manutenção do lucrativo setor bélico. Hoje os EUA são responsáveis por cerca da metade dos gastos militares do mundo. (GELMAN, 2004)

Em resumo, as cinco maiores potências econômicas que produzem atualmente 62% da produção mundial de armas, são os EUA (500.000 milhões de dólares), Japão (44.000 milhões anuais), França (40.000 milhões), Reino Unido (35.000 milhões) e China (26.000 milhões). Com a exceção do Japão, esses países são membros permanentes do Conselho de Segurança das Nações Unidas. Ao mesmo tempo, a Assembléia geral da ONU vota a cada ano uma resolução pedindo o fim da carreira armamentista e o desarmamento nuclear em respeito às convenções internacionais em vigor, (GELMAN, 2004).

Por outro lado, segundo o Banco Mundial, tem-se hoje no mundo 2.800 milhões de seres humanos vivendo com uma renda inferior a 2 (dois) dólares diários José Luis Machinea, na época secretário executivo da CEPAL (um organismo da ONU), declarou que nos finais de 2003 havia na América Latina e no Caribe 20 milhões de pobres a mais que em 1997. Resumindo, a pobreza cresceu numa

taxa de 9.100 latino-americanos por dia, 380 por hora e mais de 6 por minuto. (GELMAN, 2004).

Gore Vidal acaba de dizer que „fomos constantemente envolvidos na guerra porque, segundo nosso governo, esta é a forma de fazer dinheiro”. Ao mesmo tempo uma estatística oficial dos EUA indicou que o número de norte-americanos que vivem de baixo da linha de pobreza alcança hoje 35,8 milhões de estadunidenses, o que representa 12,5 % da população total dos EUA. (GELMAN, 2004)

Um grupo de 16 especialistas da ONU elaborou um documento para a 59ª AG dizendo:

numa época em que a erradicação da pobreza e o desenvolvimento do mundo são metas prioritárias não atingidas por falta de fundos e financiamentos, o aumento dos gastos militares se torna inquietante [...] a pesar de décadas de debates e propostas, a comunidade internacional não era capaz de chegar a um acordo que limite os gastos militares e libere recursos para o desenvolvimento nacional (<http://www.un.org/ga/59/>).

Finalmente uma pesquisa realizada por Javier Iguíñiz (economista, diretor da revista *Sur de Medicus Mundi*) analisou as rendas per capita desde 1780 e constatou que a desigualdade entre os países mais ricos e os mais pobres aumentou aproximadamente em 25 vezes até os dias de hoje! (GELMAN, 2004)

Na busca por alternativas, várias abordagens foram desenvolvidas, por exemplo, a Economia Ecológica, a Ecologia Profunda e o Eco-desenvolvimento, somente para mencionar os mais conhecidos.

A Economia Ecológica

Na medida em que o debate sobre desenvolvimento sustentável avançou, ficou cada vez mais claro que a *teoria de sistemas complexos* penetrou na discussão, sem que ela fosse explicitamente mencionada ou desenvolvida como base teórica do desenvolvimento sustentável.

Isto é o caso da chamada **economia ecológica** criada por ecólogos e economistas que consideram a *economia global como um sistema aberto* onde a natureza não pode ser valorizada simplesmente em termos monetários, mas, deve, sobretudo, incluir considerações consistentes sobre a intensidade material das economias nacionais e uma valoração dos serviços prestados pelos ecossistemas que não podem ser considerados como bens gratuitos.

A Ecologia Profunda (Deep Ecology)

O conceito de ecologia profunda se baseia na percepção que o paradigma econômico vigente insiste em confundir “crescimento do PIB” com “crescimento econômico”, sem admitir que os custos marginais derivados dos impactos ambientais e sociais podem ser maiores que o valor monetário dos benefícios da produção. Assim, alguns autores falam de *crescimento não-econômico* (DALY, 2003).

O Eco-desenvolvimento e desenvolvimento includente

O termo eco-desenvolvimento foi proposto no início dos anos 1970 por Maurice Strong e desenvolvido mais tarde por Ignacy Sachs que fala de **desenvolvimento includente** e considera que desenvolvimento sustentável é incompatível com o livre jogo sem restrições das forças do mercado e que a revolução ambiental coincidiu com a contra-revolução neoliberal. De certa maneira o eco-desenvolvimento critica tanto a maneira unilateral da interpretação da realidade dos economistas como dos desenvolvimentistas. Sobretudo seus autores criticam as políticas que separam o crescimento econômico dos problemas sociais e ambientais e consideram que o Estado e a sociedade civil são fundamentais para fiscalizar e corrigir as deficiências e excessos do mercado (MONTIBELLER, 2004; SACHS, 2004).

Os Quadros 1 e 2 elaboradas por Enríquez (2008) resumem: (i) as cinco dimensões do desenvolvimento sustentável com base dos

trabalhos de Sachs (1986, 1992, 2002, 2004), Montibeller (2004), e (ii) Os principais eventos ocorridos entre as décadas de 1970 e 1990 que contribuíram para a criação e difusão do conceito de desenvolvimento sustentável com base em (MARQUES, 2003) e (BRUSEKE, 1994).

Dimensão	Componentes	Objetivos
SUSTENTABILIDADE SOCIAL	Criação de postos de trabalho que permitam a obtenção de renda individual adequada (melhor condição de vida e maior qualificação profissional). Produção de bens dirigidos prioritariamente às necessidades básicas sociais.	Redução das desigualdades sociais
SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA	Fluxo permanente de investimentos públicos e privados; estes últimos com especial destaque para o cooperativismo. Manejo eficiente dos recursos naturais. Absorção, pelas empresas, dos custos ambientais. Endogeneização: contar com suas próprias forças.	Aumento da produção e da riqueza social, sem dependência externa
SUSTENTABILIDADE ECOLÓGICA	Produzir respeitando os ciclos ecológicos dos ecossistemas. Prudência no uso de recursos naturais renováveis. Prioridade à produção de biomassa e à industrialização de insumos naturais não-renováveis. Redução da intensidade energética e aumento da conservação de energia.	Melhoria da qualidade do meio ambiente e preservação das fontes de recursos energéticos e naturais para as próximas gerações
SUSTENTABILIDADE ESPACIAL/ GEOGRÁFICA	Desconcentração espacial (de atividades; de população). Desconcentração/democratização do poder local e regional. Relação cidade/campo equilibrada (benefícios centrípetos).	Evitar excesso de aglomerações
SUSTENTABILIDADE CULTURAL	Soluções adaptadas a cada ecossistema. Respeito à formação cultural comunitária.	Evitar conflitos culturais com potencial regressivo

Quadro 1- As cinco dimensões do desenvolvimento sustentável.
Fonte: Enríquez (2008).

Ano	Evento	Contribuição
1971	Conferência de Founex (Suíça).	Ressaltou a importância de as estratégias de desenvolvimento integrar com o meio ambiente, discutindo os efeitos colaterais da atividade agrícola sobre o meio ambiente.
1972	Clube de Roma e a publicação "Os limites do crescimento"	Levou a uma intensa discussão dentro e fora do meio acadêmico, mostrando resultados já alarmantes para finais da década de 1970.
1973	Uma nova proposta: Ecodesenvolvimento	As idéias do ecodesenvolvimento não podem negar a sua relação com a teoria do <i>self-reliance</i> , defendida nas décadas anteriores por Mahatma Gandhi ou Julius Nyerere. Ul Haq (1973) e Dieter Senghaas (1977) radicalizaram a argumentação, defendendo a necessidade de dissociação entre os países centrais e os países periféricos, para garantir o desenvolvimento dos últimos.
1974	Declaração de Cocoyok, das Nações Unidas UNCTAD (Conferências das Nações Unidas sobre Comércio-Desenvolvimento) e do UNEP (Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas)	Ela contribui para a discussão sobre desenvolvimento e meio ambiente, destacando as seguintes hipóteses: a) a explosão populacional tem como uma das suas causas a falta de recursos de qualquer tipo; pobreza gera o desequilíbrio demográfico; b) a destruição ambiental na África, Ásia e América Latina é também o resultado da pobreza que leva a população carente à superutilização do solo e dos recursos vegetais; c) os países industrializados contribuem para os problemas do subdesenvolvimento por causa do seu nível exagerado de consumo.
1975	Relatório Dag - Hammarskjöld - da ONU	As potências coloniais concentraram as melhores terras das colônias nas mãos de uma minoria, forçando a população pobre a usar outros solos, promovendo a devastação ambiental. O Relatório Dag Hammarskjöld compartilhou, com a Declaração de Cocoyok, o otimismo e a confiança em um desenvolvimento, a partir da mobilização das próprias forças (<i>self-reliance</i>). O radicalismo dos dois documentos expressa-se na exigência de mudanças nas estruturas de propriedade no campo, esboçando o controle dos produtores sobre os meios de produção.
1980	Estratégia de Conservação Mundial da UICN	Neste documento já consta uma seção intitulada "Em direção ao Desenvolvimento Sustentável", talvez a primeira vez em que o termo sustentabilidade tenha sido usado como um objetivo a ser alcançado.

1987	Comissão Mundial da ONU sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMMD): Sustentabilidade como Estratégia de Desenvolvimento	Relatório Brundtland: “DS é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações satisfazerem suas próprias necessidades”. Partiu de uma visão complexa das causas dos problemas socioeconômicos e ecológicos da sociedade global. Sublinhou a interligação entre economia, tecnologia, sociedade e política e chama também atenção para uma nova postura ética, caracterizada pela responsabilidade tanto entre as gerações quanto entre os membros contemporâneos da sociedade atual.
1992	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – Rio 92	Mostrou um crescimento do interesse mundial pelo futuro do planeta, muitos países deixaram de ignorar as relações entre desenvolvimento socioeconômico e modificações no meio ambiente.

Quadro 2 - Os principais eventos ocorridos entre as décadas de 1970 e 1990 que contribuíram para a criação e difusão do conceito de desenvolvimento sustentável
Fonte: Enríquez (2008).

Os serviços ambientais

De acordo com o estudo **Avaliação Ecosistêmica do Milênio, da ONU**, entenda-se como *serviços ambientais*, todos os serviços prestados pela natureza, tais como a regulação atmosférica, produção de oxigênio e seqüestro de carbono, reprodução da biodiversidade, os benefícios dos sistemas hídricos, e até as belezas cênicas que prestam serviços para o lazer e todas as riquezas produzidas através do aproveitamento do turismo etc.

Como a humanidade abusou e continua abusando dos recursos naturais disponíveis do planeta, estamos entrando numa fase de escassez eminente de serviços ambientais vitais. Estima-se, por exemplo, que até 2050 faltará água potável para metade da população mundial, se a poluição continuar no ritmo igual ao do século XX.

De acordo com J. Sachs (2009), todos os serviços prestados pela natureza globalmente (contabilizados monetariamente) equivalem cerca de US\$ 60 trilhões.

Entretanto, os cálculos econômicos tradicionais somente levam em consideração os produtos que poderiam ser *extraídos diretamente* de um determinado ecossistema. Por exemplo, a floresta “vale” o preço da madeira que pode ser extraída etc.

Assim, os serviços ambientais, embora essenciais, nunca foram incluídos nos cálculos e a valoração econômica dos serviços ambientais pretende corrigir esta omissão e viabilizar a conservação dos ecossistemas como *opção econômica*.

Conseqüentemente, a idéia é *remunerar direta ou indiretamente a preservação de um ecossistema*. No caso de uma floresta isto significaria pagar uma determinada quantia de dinheiro a quem mantém árvores em pé, e o proprietário de uma fazenda com produção agropecuária poderia substituir sua atividade econômica pela prestação de serviços ambientais, recuperando e conservando o ecossistema original da propriedade.

Uma das soluções mais difundidas atualmente surgiu do **mercado de Carbono (MC)** que negocia emissões através de créditos que pagam ou compensam as reduções de dióxido de carbono (CO₂). Uma comissão (p.ex. do Banco Mundial) fixa um limite sobre as emissões permitidas e emite licenças de emissões. Empresas que não tem licenças suficientes para cobrir suas emissões podem reduzir as emissões ou comprar créditos excedentes de outras corporações. Membros com licenças sobrando podem vendê-las ou guardá-las para uso futuro.²

No Brasil há uma série de iniciativas que tem os mesmos objetivos e que em certos aspectos parecem ter maior impacto e são mais aceitos pela sociedade.³

² O MC foi implementado através do Protocolo de Kyoto, como medida para enfrentar o aquecimento climático global. Detalhes podem ser obtidos na página do Banco Mundial www.carbonfinance.org. O Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) calcula que cerca de 70% do desmatamento da Amazônia poderá ser evitado com o custo de 10 U\$ por tonelada de Carbono.

³ **Proambiente:** criado em 2003, o Programa de Desenvolvimento Sócio-ambiental da Produção Familiar (Proambiente) do Ministério do Meio Ambiente premia com um terço de salário mínimo agricultores e pecuaristas que incorporam práticas de conservação ambiental;

Entretanto há críticas em relação ao MC que precisam ser consideradas e debatidas.

Numa entrevista publicada na revista *ComCiência* da SBPC, Lohmann (2007) afirma:

... uma dificuldade é que todas as tentativas atuais para transformar o carbono em negócio acabam ajudando os piores poluidores a continuar poluindo. Hoje, os setores industriais mais responsáveis pela crise climática estão ganhando enormes pacotes grátis de recém-criados direitos de poluir que eles podem transformar em enormes lucros. Na Europa, por exemplo, as usinas de geração de energia estão colecionando centenas de milhões de libras por ano, de lucros que caem do céu, simplesmente por fazerem o que sempre fizeram, enquanto o cidadão comum sofre com o aumento do preço da eletricidade, os que poluem menos não ganham nada e os que desenvolvem energias renováveis estão à míngua. É exatamente o contrário do princípio “poluidor - pagador”, é o princípio “quem polui ganha”. O que aconteceu é que, assim que a capacidade da Terra de limpar sua própria atmosfera do dióxido de carbono se tornou um valor, essa qualidade já foi convertida em propriedade particular e apropriada pelos ricos.

As grandes questões que se colocam são: Qual é este custo? Quem vai pagar pelos serviços ecológicos? Quem vai usufruir deste pagamento? Os defensores mais militantes desta proposta opinam que este custo deve ser assumido por toda a sociedade através de políticas públicas e ações do Estado.

Por mais interessante que esta proposta possa ser aqui se dividem as opiniões e as razões são relativamente simples de se entender. Vivemos numa economia capitalista cuja força motriz principal é a acumulação de *lucro privado* e não o *bem estar social* e muito menos o “bem estar da natureza”. Em outras palavras vivemos numa economia onde

ICMS ecológico: 25% da arrecadação do Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços ICMS podem ser alocados em projetos de preservação ambiental; **Compensação ambiental** financeira paga aos Estados onde há impactos ambientais inevitáveis causados por atividades econômicas que deve ser investida em projetos de preservação; **Reposição florestal** para empreendimentos madeireiros para projetos de reflorestamento; **Isenção do pagamento do Imposto Territorial Rural (ITR)** para proprietários Reservas Particulares de Patrimônio Natural (RPPN)

tradicionalmente os lucros são privados e os prejuízos são socializados. Há, portanto dois problemas que precisam ser resolvidos em relação a esta proposta: (i) os lucros da preservação devem ser superiores ao uso destrutivo do ecossistema considerado, (ii) os lucros devem ser redistribuídos socialmente, se é que a sociedade paga a conta.

Na declaração de Larry Lohmann (2009) se percebe esta enorme contradição inerente ao mercado capitalista que por dinâmica própria é absolutamente incapaz de tornar-se *mais sustentável*, enquanto não houver regras impostas pela sociedade civil através dos poderes públicos que definem os rumos do desenvolvimento da economia com uma clara definição das prioridades da acumulação e do desenvolvimento.

Os desafios para as ciências

Apesar de inúmeras iniciativas e uma vasta literatura sobre o assunto, não há uma ciência específica que tenha como objeto o desenvolvimento sustentável da sociedade. Por esta razão, é preciso criar as bases teóricas e metodológicas capazes de construir instrumentos científicos para reconstruir nossas sociedades e torná-las mais sustentáveis.

Entretanto, esta discussão enfrenta um problema de fundo que reside na própria estrutura de organização do conhecimento científico. Cada área de conhecimento e cada disciplina acadêmica têm sua própria linguagem e sua maneira de ver o mundo. Isto se torna problemático quando a Ciência é chamada a resolver de forma interdisciplinar para resolver problemas cada vez mais complexos.

Atualmente assistimos a uma mudança profunda dos velhos paradigmas em todas as áreas do conhecimento humano. O *novo*, ainda aparentemente frágil, já começa a demonstrar sua vitalidade. Pela primeira vez surgem formas de pensar o complexo, onde a *ordem*, o *absoluto*, o *determinado*, o *equilíbrio* e *processos reversíveis* se tornam casos

particulares de um universo em evolução onde predominam processos complexos, irreversíveis e longes do equilíbrio.

Nesse contexto surgem novas formas de refletir a realidade sócio-econômica de um mundo globalizado, o modo de produção⁴, o mercado e a relação da sociedade com a natureza não humana. As tentativas de integrar os conhecimentos das ciências tradicionais numa teoria mais ampla capaz de criar parâmetros e indicadores e produzir uma imagem mais holística do processo socioeconômico que estamos vivendo. Essas propostas buscam novos conceitos mais abrangentes e mais transparentes, onde o mercado deixa de ser uma nebulosa força da natureza, que justifica o massacre social de milhões de seres humanos e a voracidade crescente com que as bases energéticas e materiais da reprodução humana estão sendo consumidos e esgotados.

Em resposta as estas problemáticas surgiram, nos últimos anos, tentativas promissoras em relação à necessidade de quantificar e qualificar processos de desenvolvimento. Um número crescente de instituições de pesquisa no mundo todo participa nas tentativas de criar métodos operacionais capazes de medir o grau de sustentabilidade de processos sociais, econômicos e produtivos de uma sociedade. O surgimento de **sistemas de indicadores**; os diversos **métodos para medir os fluxos energético-materiais** através dos sistemas sócio-econômicos; a elaboração anual de mapas e estatísticas sobre as **pegadas ecológicas** da humanidade; a criação de indicadores econômicos que tentam superar as deficiências do famoso PIB, e muitos outros.

O objetivo fundamental de todas estas tentativas é de encontrar um acesso empírico mais preciso aos processos socioeconômicos, algo que a visão exclusivamente *monetarista* da economia é incapaz de fornecer. Si nosso interesse é construir um mundo mais sustentável, sabendo que a sociedade é um sistema de alta complexidade, precisamos responder às seguintes questões:

⁴ **Mode de produção** é entendido no sentido da definição clássica de Karl Marx.

a) Quais são as *diversas abordagens do Desenvolvimento Sustentável* e quais os problemas para criar uma linguagem comum?

b) O que é *desenvolvimento sustentável de um sistema complexo*?

c) Com quais *parâmetros* a sustentabilidade de um sistema pode ser *medida e quantificada*? Como podemos *operacionalizar* intervenções políticas na sociedade baseada nas concepções do desenvolvimento sustentável?

d) Qual é a importância social e política de tais parâmetros e, até onde estes podem contribuir para melhorar a intervenção política na sociedade e a qualidade de vida da humanidade?

O problema do desenvolvimento sustentável tem desafiado a comunidade científica de diversas maneiras. Primeiramente, o conceito não nasceu no campo acadêmico mas sim nas interfaces entre a política, a esfera social, pública (ONG's, mídia etc.), a economia e a ciência. Desse modo, a sustentabilidade é – de certo modo – um conceito difuso quando comparado a outros conceitos utilizados na linguagem científica.

Em segundo lugar, é necessário desenvolver a capacidade da **pesquisa interdisciplinar** que requer o desenvolvimento de um novo paradigma, no sentido T.S. Kuhn (1970)

A diversidade do conceito

O debate sobre os problemas de sustentabilidade na relação da sociedade⁵ com a natureza⁶ parece ter perdido intensidade após sua fase inicial de denúncias e diagnósticos. Atualmente há uma busca de

⁵ Ao longo deste trabalho o conceito de **sociedade** será utilizado com o sentido empregado por Giddens (1991, p. 21-23) como um sistema específico de relações sociais, com unidade analítica centrada nos Estados - Nações (as sociedades), mas com conexões que ultrapassam o sistema sócio-político do Estado e a ordem cultural da nação e configuram um particular sistema de relações de natureza global (a sociedade).

⁶ A idéia de natureza tem sido utilizada para designar o âmbito do mundo real que não é criação artificial do homem. Como a relação do homem se dá apenas com uma parte desse espaço, este trabalho utilizará o conceito de **ambiente** para referir-se à porção da natureza com a qual as sociedades interagem.

fundamentos para operacionalizar o encaminhamento de soluções que, entretanto, encontra obstáculos em, pelo menos, três grandes questões:

- Diferentes abordagens na definição do que seja um desenvolvimento sustentável;
- Diferentes entendimentos sobre medidas para superá-lo;
- Diferentes tentativas operacionais de aferição da sustentabilidade do desenvolvimento.

Desde a famosa definição dada no Relatório Brundtland (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE, 1991) de que desenvolvimento sustentável era aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades, esse conceito não parou de sofrer ajustes para refletir as múltiplas visões daqueles que o utilizam.

Primeiramente foi utilizado como simples palavra de ordem das militâncias ecológicas. Em uma fase seguinte o conceito se tornou um pouco mais consistente e passou a expressar certo ideário de lideranças políticas e científicas. Nos anos recentes, pela necessidade de torná-lo operacional, pode-se observar que o conceito começou a receber um trato mais formal. Algumas revisões em relação à trajetória e diversidade de conteúdo desse conceito podem ser vistas em Souza (1996) e Brüseke (1996).

Na atualidade é possível constatar duas grandes vertentes para tratar o conceito:

A primeira, de caráter político - cultural, trata-o como um agregado de valores associados as dinâmicas econômicas especialmente às questões ambientais. A melhor maneira de expressá-la é colocando o conceito em contraste com as características do desenvolvimento tradicional, conforme Spangenberg (1996b):

Desenvolvimento convencional	Desenvolvimento sustentável
- Planejamento ou administração centralizada	- Planejamento descentralizado
- Decisões do governo e do setor empresarial	- Decisões da sociedade civil
- Metas precisas	- Direções e Cenários
- Regras e normas rígidas e burocráticas	- Diversidade e flexibilidade
- Planos feitos de cima para baixo	- Planos feitos de baixo para cima
- Domínio das elites políticas, militares, econômicas.	- Participação, democracia, sociedade civil.
- Crescimento de privilégios e disparidades	- Inclusão social, divisão de benefícios e justiça.
- Decisões sigilosas	- Decisões transparentes
- Gerência ou manejo mecanicista	- Uso de processos de auto-organização
- Somente valores monetários	- Valores humanos, éticos, ambientais, sociais e monetários

Quadro 3 - Desenvolvimento convencional versus Desenvolvimento sustentável
 Fonte: Spangenberg (1996b).

A segunda, de caráter técnico - normativo, trata-o como um *estado de equilíbrio* em relação às demandas da sociedade e à capacidade de suporte do ambiente. Os principais elementos desta abordagem são aqueles princípios básicos do desenvolvimento sustentável, mencionados inicialmente, ou seja: a *taxa de consumo de recursos renováveis* não deve ultrapassar a capacidade de renovação dos mesmos; a quantidade de *rejeitos produzidos* não deve ultrapassar a *capacidade de absorção* dos ecossistemas e os *recursos não renováveis* só devem ser utilizados se há disponibilidade de reservas de longo prazo.

O ideário difundido a respeito do conceito remete para a esperança de se poder aliar o crescimento econômico com justiça social e controle dos problemas ambientais. Entretanto, embora as duas vertentes tragam avanços consideráveis, cada uma centra sua preocupação em um viés ordenador: a primeira no fator sociocultural e a segunda no fator econômico-ambiental. Ademais, essas perspectivas

surgem mais como fruto de anseios e perspectivas esperançosas do que como decorrência de formulação teórico-metodológica passível de operacionalização.

Assim, é necessário que se produza um conceito que integre as diversas dimensões do problema, que seja fruto de uma visão sistematizada e que enseje perspectivas de torná-lo instrumento de ação sobre a realidade.

As diferentes concepções da insustentabilidade

Com base em trabalhos do Institute of Interdisciplinary Research (IFF), de Viena-Áustria (FISCHER-KOWALSKI; HABERL; PAYER, 1992, p. 3-6), Machado (1999, p.13-18) sistematizou os aspectos principais das diferentes concepções de insustentabilidade: *toxicológica, equilíbrio sistêmico, termodinâmica, ético-moral e econômica*. Seguem as definições de cada abordagem e o Quadro 3A com os principais aspectos de cada uma.

A abordagem toxicológica considera que a sociedade produz substâncias químicas que se transformam em distúrbios ambientais nocivas para a sociedade, em especial para a saúde humana. Exemplos são o mercúrio utilizado nos garimpos; os pesticidas utilizados na agricultura intensiva; os resíduos tóxicos de fábricas ao longo dos rios etc. A grande contribuição dessa linha de abordagem é o estudo dos processos geradores de substâncias tóxicas visando o estabelecimento de regulação e controle.

A abordagem do equilíbrio sistêmico entende o planeta como um mega-sistema que possui funções com ciclos auto-regulados mantidos em equilíbrio. A sociedade interfere no funcionamento desses sistemas ao construir hidrelétricas, alterar cursos de rios, realizar experimentos atômicos, destruir florestas, transferir organismos vivos entre regiões e generalizar o uso de máquinas geradoras de gases. Os efeitos dessas atividades podem comprometer a auto-regulação dos

sistemas naturais levando-os a funcionar de maneira imprevisível. A grande contribuição dessa abordagem é a proteção das áreas mais sensíveis do ambiente contra a intervenção humana.

A abordagem termodinâmica interpreta os fenômenos de produção - circulação - consumo das sociedades humanas sob a ótica das leis da termodinâmica de sistemas abertos. Sob essa ótica, os processos metabólicos usam energia, transformando-a em energia de qualidade inferior, mais dispersa e menos concentrada⁷, processo esse que produz entropia. Em sistemas fechados, se a quantidade de energia concentrada recebida do ambiente não for suficiente para compensar a quantidade e qualidade da energia exigida pelo metabolismo do sistema, a entropia aumenta até a chamada morte termodinâmica do sistema (PRIGOGINE; STENGERS, 1984).

A sociedade industrial tem seu metabolismo sustentado basicamente por duas fontes de energia: uma provinda de recursos renováveis, os quais são reconstituídos em grande parte pela apropriação da energia do sol através da fotossíntese dos vegetais; e a outra provinda de recursos não renováveis (carvão, minério, petróleo etc.), normalmente encontrados de forma concentrada em depósitos subterrâneos. Considera-se que a entropia do sistema socioeconômico global tende a aumentar porque:

– *O uso de recursos renováveis*, ocorrendo em taxa superior à capacidade de reconstituição natural, induz o sistema socioeconômico a dilapidar o *capital natural*, criando déficits geradores de entropia;

– *Os recursos não renováveis*, extraídos de depósitos concentrados, com baixo nível de entropia, são transformados em produtos e, ao final da vida útil, em lixo de difícil reintegração aos ciclos naturais do ambiente, causando aumento irreversível de entropia, mesmo utilizando-se as alternativas da reciclagem. Reconcentrar esses recursos dispersos para serem reaproveitados pelos processos sócio-econômicos teria alcance parcial sobre o que foi originalmente disperso. Além

⁷ As leis da termodinâmica serão descritas com detalhes nos próximos capítulos.

disso, a possibilidade de reaproveitamento é minimizada pelo baixo nível de qualidade dos recursos disponíveis para reciclagem.

A grande contribuição dessa abordagem é o fato que ela focaliza a utilização excessiva de capital natural em vez da utilização racional dos excedentes e o excesso de subprodutos das atividades socioeconômicas não absorvíveis pelo ambiente.

A abordagem ético-moral considera que a natureza não é propriedade exclusiva da sociedade, e sim um todo inter-relacionado, onde as vidas das demais espécies são interdependentes. A sociedade, transformando o ambiente natural para suas próprias necessidades, sem respeito pela vida das demais espécies, causa diminuição da biodiversidade e comprometimento das cadeias alimentares que sustentam o funcionamento dos ecossistemas. A grande contribuição desta linha de abordagem é a luta para controlar a interferência do homem na vida de outras espécies.

A abordagem econômica considera que o capital natural consumido pelas atividades socioeconômicas da sociedade, não é levado em conta pelo seu real valor ambiental e muitos recursos chamados *livres* (ar, água e diversos serviços prestados pelos ecossistemas etc.) nem são valorizados economicamente. Essa imperfeição do mercado, enquanto instância única de regulação do valor desses recursos ofusca o custo verdadeiro dos bens produzidos pelo sistema socioeconômico e induz o super-consumo, o desperdício e a sobre-exploração do ambiente. A consequência é a escassez e o encarecimento dos recursos comprometidos, criando amarras para o desenvolvimento econômico das regiões afetadas. As grandes questões para essa abordagem são a valorização dos serviços ambientais fornecidos pelos ecossistemas e a incorporação, ao custo dos recursos naturais, do peso de sua importância em relação ao ambiente.

A B O R D A G E N S					
FATORES DISTIN- TIVOS	TOXICO- LÓGICA	EQUILÍBRIO SISTÊMICO	TERMIDI- NÂMICA	ÉTICO-MORAL	ECONÔMICA
O PROBLEMA	Substâncias químicas produzidas pela sociedade	Intervenções no funcionamento natural dos ecossistemas em detrimento de suas capacidades de auto-regulação	1- Uso de energia baseada em recurso não presente no ciclo corrente da biosfera (petróleo, minério). 2- Velocidade de uso de recursos renováveis acima da velocidade de reconstrução dos mesmos	Transformação do ambiente natural para suas próprias necessidades sem respeito pelas demais espécies.	1- Esgotamento das reservas de recursos não renováveis 2- Sobre-exploração de ecossistemas fontes de recursos renováveis e des serviços ambientais
DANOS CAUSADOS	Distúrbios ambientais localizados, perigosos para a vida humana, animal e vegetal.	Funcionamento dos sistemas naturais de maneira diferente e imprevisível.	Produção excessiva de entropia tendente ao colapso dos sistemas naturais.	Diminuição da biodiversidade e comprometimento de ecossistemas.	Escassez e encarecimento dos recursos comprometidos e inviabilização desenvolvimento áreas afetadas
QUEM LEGITIMA	Médicos, químicos e grande parte do público.	Climatologistas, cientistas agrícolas, biólogos e agências de proteção ambiental.	Físicos e economistas ambientais.	Filósofos, naturalistas, moralistas, religiosos.	Economistas clássicos e ecológicos, políticos e empresários

<p>ELEMENTOS DE POLÍTICA AMBIENTAL</p>	<p>1- Onde e quais processos emitem substâncias tóxicas. 2- Limites de concentração e montante de emissões. 3- Controle de adesão a padrões</p>	<p>1- Onde e quais processos influenciam o equilíbrio natural. 2- Proteção aos sistemas naturais, proibição de uso e recuperação. 3- Controle de efetividade no retorno ao equilíbrio.</p>	<p>1- Onde e quais processos fomentam o uso de energia produtor de entropia excessiva e uso de recurso acima da velocidade de reconstituição 2- Redução uso energia e recursos não renováveis 3- Controle se sociedade está utilizando "excedentes" ou "capital natural" de energia e recursos.</p>	<p>1- Onde e quais processos ameaçam ou destroem outras espécies 2- Redução na dependência da vida humana em relação a vida de outras espécies. 3- Controle sobre grau de interferência humana na vida de outras espécies.</p>	<p>1- Onde e quais recursos e ecossistemas estão sendo comprometidos 2- Inclusão no custo dos recursos dos fatores ambientais 3- Controle da depredação através do mercado e da educação ambiental</p>
<p>OBJETIVOS POLÍTICOS</p>	<p>Limitação de emissões</p>	<p>Identificação de sistemas naturais necessitando de proteção.</p>	<p>Valorização do trabalho humano em relação ao uso do recurso natural.</p>	<p>Demonstração do quão perigoso para outras espécies é o bem-estar humano.</p>	<p>Conscientização e valorização correta dos recursos naturais e serviços ambientais fornecidos pelos ecossistemas</p>

Quadro 3A - Concepções sobre causas de danos ao Ambiente
Fonte: Modificado e expandido por Machado (1999) a partir de Fischer-Kowalski, Haberl e Payer (1992, p.4).

Todas as abordagens aqui apresentadas não se excluem. Pelo contrário, se complementam em muitos aspectos e todas abordam importantes aspectos da relação problemática entre a sociedade e a natureza, mas, possuindo concepções específicas, portam também estratégias diferenciadas para solucionar as questões tidas como básicas. Assim, é imprescindível unificar e integrar os distintos aspectos de todas as abordagens para construir uma matriz teórica que seja capaz de levar a discussão sobre desenvolvimento sustentável a um patamar de operacionalização prática.

As diferentes tentativas de aferição da sustentabilidade

A necessidade de se sair do plano apenas discursivo no debate sobre sustentabilidade tem suscitado a produção de **indicadores**, os quais, naturalmente, são construídos mediante os mais variados enfoques e fundamentos conceituais. O III capítulo trata especificamente da importância e da construção de sistemas de indicadores. Considera-se, entretanto, importante mencionar inicialmente três enfoques usados na construção de indicadores os quais utilizam pressupostos e fundamentos distintos entre si:

a) O enfoque Causalístico – baseia-se na idéia de que ações humanas exercem pressões ambientais responsáveis por um particular estado do ambiente e que este induz respostas adaptativas da sociedade. Com essa referência foram desenvolvidos diversos sistemas de indicadores:

(i) o esquema *Pressure-State-Response (PSR)* (OECD, 1993) focaliza o estado do ambiente em relação a questões como destruição das florestas, perda de biodiversidade, mudanças climáticas e outras, todas, entretanto, consideradas importantes por estarem na agenda das discussões políticas correntes. Para Spangenberg e Bonniot (1997, p. 4), essa iniciativa tem problemas porque trata somente o estado do ambiente a partir do presente, sem considerar os impactos

e transformações já ocorridos, e não releva as forças causadoras das pressões. Assim, este enfoque induz ações políticas de efeito apenas curativo em vez de preventivo;

(ii) o esquema *Driving force-State-Response* (DSR) intenta operacionalizar indicadores de sustentabilidade em termos de *causas, sintomas e soluções*. Desenvolvido pelo DPCSD-*Department of Policy Coordination and Sustainable Development* da ONU, ele amplia o esquema PSR, adicionando-lhe as dimensões econômica, social e institucional. Entretanto, frente a sintomas que pareçam frutos de causas interdependentes, esse esquema não prevê respostas para redirecionar as causas indutoras e, em outras situações, aponta para medidas que atuam apenas sobre os efeitos imediatos. Enquanto o esquema PSR é mais apropriado para economias desenvolvidas, a abordagem DSR acabou por ser mais adequada para países em desenvolvimento. Isso ensejou o surgimento de uma extensão do programa original chamado de *Changing, Consumption and Production Patterns* (CCPP). As duas propostas do DPCSD tiveram aplicação piloto em cerca de 20 países de diferentes regiões do mundo. Ambos conservam uma fraqueza fundamental de não proverem base para medidas políticas preventivas, já que somente dão conta de fatos já acontecidos (SPANGENBERG; BONNIOT, 1997, p.8);

(iii) baseado no esquema *PSR*, o Banco Mundial, desenvolveu seu próprio sistema de indicadores ambientais (WORLD BANK, 1995). A proposta, embora destinada a monitorar a aplicabilidade de políticas de desenvolvimento, também inclui critérios relacionados com as dimensões econômica, social e institucional. Porém, vai mais além. Inclui a definição de alvos ou objetivos para possibilitar a mensuração do quanto se está próximo ou distante do fixado. O avanço mais significativo, entretanto, é a ampliação do conceito de *riqueza das nações* para além do sentido meramente econômico, ou seja, incluindo também, a valorização do capital natural e dos recursos humanos;

(iv) o *Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy* propôs um sistema de indicadores que intenta suprir as deficiências das iniciativas anteriores (SPANGENBERG 1996a, p.8; SPANGENBERG; BONNIOT, 1997, p. 9). Para esse instituto, indicadores pró-ativos não devem focalizar sintomas e danos, porque estes só permitem análises *a posteriori*. A relevância deve ser dada para as tendências subjacentes que permitem medidas preventivas antes que os problemas surjam. O instituto considera o constante aumento da carga de processamentos físicos (*physical throughput*) da economia como a força motora básica da insustentabilidade, portanto necessitando ajustes em relação aos limites impostos pela natureza. Assim, considera necessário definir objetivos para redução de demanda por recursos naturais, o que acarretaria também diminuição nas emissões de rejeitos. As estimativas para essa redução deveriam basear-se na permissão de uso daquilo que eles chamam de *espaço ambiental* (SPANGENBERG; SCHMIDT-BLEEK, 1997, p. 38), uma métrica que refletiria a pressão da sociedade sobre o ambiente, fixada com base em um limite máximo não danoso ao ambiente e um limite mínimo capaz de ensejar vida digna para cada pessoa. A proposta pressupõe que o uso do *espaço ambiental* se caracteriza por um âmbito físico onde ocorre, pela matéria utilizada por seus agentes e pela energia usada. A relação entre as toneladas de matéria, os quilo-joules de energia e os hectares de terra usados para produzir algo variaria de produto para produto e de serviço para serviço, sendo assim possível estabelecer uma métrica unificada para expressar o peso da demanda de cada produto, serviço ou processo econômico sobre o ambiente.

As iniciativas anteriores buscam, direta – ou indiretamente, quantificar as pressões humanas sobre o ambiente tanto em termos de demandas por energia, matéria e uso da terra, quanto em termos de

emissões e rejeitos gerados pelos processos produtivos⁸. Embora os avanços mais recentes baseados nesse enfoque, questões importantes perduram: a ausência de uma visão unificada integrando todas as concepções sobre causas da insustentabilidade e a forte vontade normativa permeando os sistemas de indicadores.

b) O enfoque Funcionalista - que se baseia nas funções desenvolvidas pelos ecossistemas, que Groot (1994, p. 152) classifica como de *regulação, suporte, produção e informação*. Essas funções, desempenhadas com base no capital natural do planeta, geram serviços e bens responsáveis pelo bem-estar humano e que são parte do valor econômico total do planeta⁹. Tais serviços consistem de fluxos de matéria, energia e informação do estoque de capital natural que, combinados com os serviços produzidos pelo capital humano e manufaturado, atendem as necessidades da humanidade.

A questão desse enfoque é saber como as mudanças na quantidade e qualidade do capital natural e serviços dos ecossistemas podem alterar os custos e/ou benefícios de manutenção do bem-estar humano. Os indicadores indicariam o impacto decorrente das perdas de capital natural e de serviços ambientais prestados pelos ecossistemas.

Diversos métodos de cálculos presentes na literatura foram integrados em uma proposta síntese feita por CONSTANZA et al. (1997) que determinou o valor, por hectare, de cada serviço em relação a cada ecossistema. O valor total anual dos serviços prestados pelos ecossistemas do planeta foi situado entre U\$ 16 a 54 trilhões com média provável estimada em torno de U\$ 33 trilhões.

Esse enfoque é interessante e muito rico para fundamentar correções na forma de apurar o produto nacional das economias, e também possui grande utilidade para estimar impactos ambientais

⁸ Substâncias geradas de forma não intencional, como efeito secundário inevitável das atividades econômicas.

⁹ Regulação do clima, regulação de gases, regulação de distúrbios, regulação hidrológica, suprimento de água, controle da erosão e sedimentação de solos, formação de solos, reciclagem de nutrientes, tratamento de rejeitos, polinização, controle biológico, refúgio, produção de alimento, e de matéria-prima, recreação etc.

na implementação e avaliação de projetos. Entretanto, além dos diversos problemas apontados pelos próprios autores, destacamos os seguintes:

– a maior parte do valor total estimado decorre de serviços que são difíceis, em alguns casos impossíveis, de serem valorizados porque não são negociáveis no mercado;

– a proposta desconsidera o fato de que se um desses serviços – digamos o clima mundial – se degrada a ponto de comprometer a economia global e a própria existência humana, pouco importa se o valor desse serviço aumenta;

– os valores passíveis de serem estimados relacionam-se com um determinado estado do ambiente que já foi agredido e, portanto, somente são úteis para medidas corretivas a serem empregadas muito após as agressões, situação na qual os valores desses serviços já podem se encontrar completamente modificados;

c) O enfoque *Condição humana* – é utilizado pelo Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas em seu sistema de indicadores (UNITED NATION'S DEVELOPMENT PROGRAM, 1996) e fixa sua atenção na condição humana, como sendo o alvo mais importante de qualquer política de desenvolvimento. Trata-se do **Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)**, formado com base nas seguintes variáveis:

– **saúde** - medida pela expectativa de vida ao nascer com um mínimo estabelecido em 25 anos e o máximo em 95;

– **educação** - medida pela combinação do percentual de adultos alfabetizados (entre 0% e 100%) e anos de escolaridade (entre 0 e 15);

– **renda** - expressada pelo PNB *per capita*, ajustado a custos locais, com o mínimo fixado em US\$ 200 e o máximo em US\$ 40.000.

A situação de cada país ou região, para cada uma das variáveis, é enquadrada entre 0 (mínimo) e 1 (máximo). A média das três variáveis determina o IDH de um país ou de uma região. O IDH é uma métrica simples, de fácil cálculo e de profundo significado. Entretanto, ao fixar

os alvos a serem alcançados, o índice não considera que as expectativas em relação a cada uma das variáveis são fortemente influenciadas por questões culturais. Além disso, ao estabelecer objetivos a serem alcançados em termos de desenvolvimento humano, as propostas não permitem que sejam relevados os custos ambientais decorrentes do caminho escolhido.

Como visto, existem muitas tentativas de operacionalizar a discussão sobre a sustentabilidade, entretanto, há necessidade de medir, com unidades operacionais, as diversas pressões que as atividades econômicas exercem sobre o ambiente e a sociedade. Para construir um sistema operacional de instrumentos capazes de intervir e modificar o atual modelo econômico é preciso uma **base teórica** da qual tais instrumentos possam ser derivados de maneira coerente.

Referências

- ALIER, M. J. & JUSMET, J. R. (2000): *Economía, Ecología y Política Ambiental*. Fondo de Cultura Económica, 2ª Edición. México, p. 490.
- BERTALANFFY, L. (1976): *Teoria geral de sistemas: aplicação à psicologia*. p. 1 - 20 in: *Teoria dos Sistemas*. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas. [Trad. de Maria da Graça Lustosa Becskehá].
- BOSSEL, H. (1996) *20/20 Vision – Explorations of Sustainable Futures*. Kassel: Center for Environmental Systems Research. [Draft version 2.0]
- BROWN, L. R. (1998): *Overview – New Records, New Stresses*. p. 15 -24 in: BROWN, L. R. et al. (orgs.): *Vital Signs 1998 - The environmental trends that are shaping our future*. New York: Worldwatch Institute
- BRÜSEKE, F. J. (1996) *A lógica da decadência: desestruturação sócio-econômica, o problema do desenvolvimento sustentável*. Belém: Cejup.

CONSTANZA, R. et al. (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, v. 387, p. 253-260.

DALY, H. (2003) Crescimento Sustentável? Não, Obrigado. In Pontos de Vista/Point of View. *Ambiente & Sociedade*, v. 7, n. 2, jul./dez.

ENRÍQUEZ, G. (2008) *Desafios da sustentabilidade da Amazônia: Biodiversidade, cadeias produtivas e comunidades extrativistas integradas*. Tese (Doutorado) - Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, p. 460

FANELLI, J.M., MACHINEA, J.L. (1997) "Os Movimentos de Capitais na Argentina", em: French-Davis, R. e Griffith-Jones, S. (Orgs.) *Os Fluxos Financeiros na América Latina: um desafio ao progresso*, Rio de Janeiro, Ed. Paz e Terra.

FENZL, N. (1995a): *Metabolismo social e econômico*. [Notas de aulas proferidas no curso de Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, NAEA/UFPA. Belém.]

FENZL, N. (1995b): *Conceitos gerais em Teoria de Sistemas*. [Notas de aulas proferidas no curso de Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, NAEA/UFPA. Belém.]

FENZL, N. (1997a): *Considerations about interaction and exchange of information between open and self-organized systems*. *World Futures*, 1997, Vol. 49, p.401-408.

FENZL, N. (1997b): *Estudo de parâmetros capazes de dimensionar a sustentabilidade de um processo de desenvolvimento*. p. 1-31 in: XIMENES, T. (Org.): *Perspectiva do Desenvolvimento Sustentável (uma contribuição para a Amazônia 21)*. Belém: UFPA/ NAEA/ UNAMAZ.

FENZL, N. (1998): *O conceito de desenvolvimento sustentável em sistemas abertos*. [Textos de aulas proferidas no IV Curso de Especialização em Educação Ambiental. Belém: NUMA/UFPA.]

FISCHER-KOWALSKI, M. (1997): *Metabolismo and Communication: towards a common epistemological framework for social and natural processes*. Conference on "Science for sustainable society - integrating natural and social sciences" at Roskilde University, Oct. 26-29. Vienna: IFF - Social Ecology

FISCHER-KOWALSKI, M., HABERL, H (1993): *Metabolism e colonization: modes of production e the physical exchange between societies e nature*. Research Report IFF - Soziale Ökologie n° 32, Wien.

FISCHER-KOWALSKI, M., HABERL, H (1994): *On the cultural evolution of social metabolism with nature: sustainability problems quantified*. Research Report IFF - Soziale Ökologie n° 40, Wien.

FISCHER-KOWALSKI, M., HABERL, H. (1992): *Purposive interventions into life process: a neglected environmental dimension of the society-nature-relationship*. Research Report IFF - Soziale Ökologie n° 24, Wien.

FISCHER-KOWALSKI, M. et. al. (1991): *Causer related environmental indicators: a contribution to the environmental satellite-system of the Austrian SNA*. Research Report IFF - Soziale Ökologie n° 17, Wien.

FURTADO, C. (2001) *O mito do desenvolvimento*. Paz e Terra. p. 89. Trabalho publicado originalmente em 1974.

GELMAN J. (2004) *Las cifras del escándalo*, Revista eletrónica El Guevarista, Agosto 2004

<http://www.webliblioteca.com.ar/textos/editoriales/30-08-2004.htm>

GEORGESCU-ROEGEN, N. (1997) *The Entropy Law and Economic Process*. Ecological Economics, v. 22, n. 3.

GOODLAND, R. (1995): *The concept of environmental sustainability*. Annual Reviews in Ecol. Syst., 26, 1-24. Washington.

GROOT, DE, R. S. (1994) Environmental functions and the economic value of natural ecosystems. In: JANSSON, A. et al. (Org.). *Investing in natural capital: the ecological economics approach to sustainability*. Washington DC: Island Press. p. 151 – 168.

HARRIS, M. (1991): *Cultural Anthropology*. New York: Harper and Collins. [3rd edition.]

HOWARD, E.; NORGAARD R.B. (1990) Intergenerational resource rights, efficiency, and social optimality. *Land Economics*, n. 66, p.1-11.

HOWARD, E.; NORGAARD R.B. (1992) Environmental valuation under sustainable development. *American Economic Review, Papers and Proceedings*, n. 80, p.473-477;

HOWARD, E., NORGAARD R.B. (1993) Intergenerational transfers and the social discount rate. *Environmental and Resource Economics*, n. 3, p.337-358.

KUHN, Thomas, S. (1970): *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva.

LASZLO, E. (1996): *The systems view of the world: a holistic vision for our time*. New Jersey: Hampton Press. 103 p

LOHMANN, L. (2007) Entrevista por Rafael Evangelista. Revista eletrônica *Com Ciencia* da SBPC (marzo 2007)

<http://www.comciencia.br/comciencia/handler.php?section=8&edio=22&tipo=entrevista>

MACHADO, J. A. C. (1999) *A sustentabilidade do desenvolvimento e a demanda material do sistema econômico*. Tese (Doutorado) - Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, UFPA/NAEA, Belém.

MACHADO, J. A. da C. (1998b): *Metabolismo sócio-econômico e colonização: uma metodologia operacional para medição da sustentabilidade*. Belém: UFPA/NAEA [Paper do NAEA 80].

MARQUES R., A. (2003) *Proposta de um Sistema Integrado de Gestão do Ambiente Urbano (SIGAU) para o desenvolvimento sustentável de cidades*. 334f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina.

MATHIS, A. (1997): *O fim da supremacia da política: possibilidades e limites da intervenção do Estado na interpretação da teoria de sistemas*. Belém: UFPA/NAEA [Paper do NAEA 102].

MEADOWS, D. L. et al. (1972) *The Limits to Growth, A Global Challenge*; a Report of The Club of Rome Project on the Predicament of Mankind. New York: University Books, p. 122-128.

MEADOWS, D. L. et al. (1997) *Beyond the limits: confronting global collapse*, Vermont: Chelsea Green Publishing.

MONTIBELLER, F. G. (2004) *O mito do Desenvolvimento Sustentável: meio ambiente e custos sociais no moderno sistema produtor de mercadorias*. 2. ed. rev. Ed. UFSC,.

MYER, H. (1966): *La tecnificación del mundo. Origen, esencia y peligros*. Madrid: Editorial Gredos. [Version española de Rafael de la Vega]

NORDHAUS, W.D. (1990). Count before you leap: Economics of climate change. *The Economist*, July.

_____. (1993) *Managing the Global Commons*. Cambridge, MA: MIT Press.

NORGAARD, R. B. (1992): *Towards economics that sustain nature and human dignity: one perspective from the United States*. p. 19 - 39 in: *The new economic paradigm - a sustainable economy*. Vienna: Technische Universität.

NUNES, B. (1997): *Um conceito de cultura*. p. 531-551 in: XIMENES, T. (Org.): *Perspectiva do Desenvolvimento Sustentável (uma contribuição para a Amazônia 21)*. Belém: UFPA/ NAEA/ UNAMAZ.

OECD (1993). *Core set of indicators for environmental performance reviews: a synthesis report by the group on the State of the Environment*. Paris. (Monographs, n. 83).

PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. (1984) *A nova aliança: a metamorfose da ciência*. [Trad. Miguel Faria e Maria Joaquina Machado Trincheira]. Brasília: Editora Universidade de Brasília.

RAPOPORT, A. (1976): *Aspectos matemáticos da análise geral dos sistemas*. p. 21-46 in: *Teoria dos Sistemas*. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas. [Trad. de Maria da Graça Lustosa Becskeházy].

SACHS, I. (1986) *Espaços, Tempos e Estratégias do Desenvolvimento*. Tradução de Luiz Leite de Vasconcelos e Eneida Araújo. São Paulo: Vértice.

SACHS, I. (1992) *Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente*. Tradução Magda Lopes. São Paulo: Studio Nobel, Fundação do Desenvolvimento Administrativo.

SACHS, I. (2002) *Caminhos para o desenvolvimento sustentável*. 2. ed. Rio de Janeiro: Garamond.

SACHS, I. (2004) *Desenvolvimento? Incluyente, sustentável, sustentado*. Rio de Janeiro: Garamond.

SACHS, J. (2009) *Recession Watch: Boost the developing world*. *Nature* 457, 958 (19 February 2009) Published online 18 February

SECTMA (SECRETARIA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE DO ACRE) (1997): *Critérios de sustentabilidade da produção florestal. Documento final*. Rio Branco, Acre.

SOUZA, A. L. (1996) *Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável: uma reflexão crítica*. Belém: FCAP.

SPANGENBERG, J. H. (1996a) Integración de criterios en el concepto de sostenibilidad. *Espacios*, n. 7, Costa Rica.

SPANGENBERG, J. H. (1996b) *Towards an integrated concept of sustainability*. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL: AMAZÔNIA: ESTRATÉGIAS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL EM DEBATE, 1996, Belém. UFPA/NAEA.

SPANGENBERG, J. H., SCHMIDT-BLEEK, F. (1997) *How to probe the physical boundaries for sustainable society?* In: Foundations of sustainable development. Ethic, law, culture and the physical limits. Uppsala: Uppsala University.

SPANGENBERG, J. H., BONNIOT, O. (1997): *Sustainability Indicators - a compass on the Road Towards Sustainability*. Technical Report. Wuppertal: Wuppertal Institute for Climate, Environment, Energy.

Capítulo II

A TEORIA DE SISTEMAS COMPLEXOS

Que é um sistema complexo?, 57

Características principais dos Sistemas Complexos, 62

A interdependência das partes, 63

A abrangência das escalas de espaço e tempo, 63

As relações não lineares entre as partes, 64

A capacidade de comportamentos emergentes, 64

A relação dialética entre Caos e Ordem, 64

A relação dialética entre Cooperação e Competição, 65

A relação entre as partes e o todo, 65

Sistemas complexos possuem um metabolismo energético, 66

Sistemas complexos têm uma história, 66

Elementos da Teoria de Sistemas Complexos (TSC), 66

Sistemas isolados, fechados e abertos, 67

As dimensões do sistema complexo, 67

O campo de emergência, 69

Elemento, coerência, coesão e estado estacionário, 70

Estrutura, inércia estrutural e substância, 72

Fronteira estrutural, 73

O Metabolismo Energético Material, 74

O Campo de interação e fronteira do sistema, 76

A auto-organização, 77

A Emergência de sistemas complexos, 78

O papel da Termodinâmica, 78

Breve historia da Termodinâmica, 78

Calor e Temperatura, 82

Temperaturas baixas, 83
Temperaturas elevadas, 84
As Leis da Termodinâmica e suas implicações, 85
Emergência e Entropia, 86
Energia e Trabalho, 88
Movimento, Caos e Ordem, 89

A Evolução de sistemas complexos, 91

A irreversibilidade, 92
A probabilidade, 92
A Nova Qualidade, 93
Laboratório e Natureza, 94

Atualidade, Realidade e Liberdade, 97

Introdução, 97
Objeto e Sujeito em sistemas complexos, 98
Conclusão, 100

Allopoiésis e Autopoiésis, 101

As bases teóricas da Autopoiésis, 102
As bases empíricas do conceito, 103
Autopoiésis e a teoria de sistemas, 105

A evolução da matéria, 107

Os primeiros três minutos do Universo, 110
O primeiro milhão de anos do Universo, 111

Referências, 113

Que é um sistema complexo?

Para a teoria de sistemas o universo é interligado através de *relações energéticas* entre *estruturas materiais* que seguem certo número de *regras, leis e princípios*.¹

Tradicionalmente a análise científica escolhe seu *objeto de investigação* e aplica um número definido de passos metodológicos para tentar desvendar o seu funcionamento. De esta maneira o observador *corta* um segmento definido de um *universo de relações* e o analisa *individualmente*. As ciências clássicas isolam assim os seus *objetos* de pesquisa do seu *ambiente*, o dividem em suas *partes*, descrevem e analisam as partes com a esperança de poder compreender o funcionamento do objeto como um todo.

Entretanto, quando queremos compreender o funcionamento de sistemas biológicos, ecossistemas, sócio-sistemas ou problemas relacionados ao desenvolvimento sustentável, não estudamos *objetos mecânicos* senão *sistemas complexos* que apresentam características e qualidades que não podem ser deduzidas e entendidas *somente* á partir da análise (por mais precisa que seja) das partes.

Assim, para entender e desenvolver instrumentos de intervenção operacionais em sistemas complexos é preciso unir numa matriz metodológica coerente:

- (i) a análise das *partes* e de suas *relações* e
- (ii) a análise das *relações* entre o *conjunto das partes* – a estrutura do sistema – com o *ambiente*.

Em última instância podemos resumir: para a teoria de sistemas a questão principal é:

– *Como* descobrir e investigar estas *qualidades novas* que resultam da interação de suas partes e das partes com o ambiente?

¹ Relação energética é usada aqui nos termos mais amplos: assim, por exemplo, relações entre pessoas são incluídas nesta terminologia.

- E, sobretudo, quais são os *instrumentos operacionais* que poderão ser desenvolvidas a partir desta compreensão que possam ser úteis para *intervir e modificar o desenvolvimento* de tais sistemas complexos?

Este enfoque sistêmico tem conseqüências metodológicas importantes, que serão discutidas neste capítulo.

O termo *sistema complexo* (SC) refere-se, geralmente, a um conjunto de partes, em diferentes escalas e níveis de organização, integrados e ligados entre si de uma forma *não linear*. Em outras palavras, é um conjunto de múltiplas interações entre diferentes componentes e por serem não lineares, os sistemas complexos apresentam características que são *mais* do que a simples *soma de suas partes*. Na prática isto significa que sistemas complexos apresentam *qualidades novas – emergentes* - que não podem ser deduzidas das qualidades individuais dos seus componentes.²

Complexidade não pode ser confundida com *complicação* ou com “quanto mais complexo mais complicado”. Pelo contrario, o grau de complexidade de um sistema aumenta com o número de *níveis* de regras que operam as suas partes. Na evolução assistimos a *saltos de qualidade* na organização dos sistemas quando surgem hierarquias de organizações com regras próprias que constituem um importante passo de *simplificação* na organização do sistema como um todo. Na medida em que passamos aos níveis superiores da hierarquia o número de regras que definem a organização geral do sistema tende a diminuir. Por exemplo, o comando dado por um cérebro “levantar e andar” não precisa tomar em consideração os milhões de interações e regras existentes entre as diferentes partes do corpo que são necessárias para executar esta ação. Ou, no caso de movimentos sociais: por mais complexas que sejam as interações entre os indivíduos, o movimento social se mobiliza através de bandeiras relativamente simples que expressam situações altamente

² Maiores informações sobre não linearidade: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Não-linear>

complexas, como se pode constatar no movimento das chamadas “diretas já”, que ocorreu no Brasil, na década de 1980. Finalmente, um exemplo bastante ilustrativo é a constituição de um país: trata-se de um conjunto de leis hierarquicamente superior ao conjunto de todas as leis e regras que regem a convivência dos indivíduos de uma nação. O Esquema 1 mostra a relação entre quantidade e hierarquia de regras e o grau de complexidade dos sistemas 1,2 e 3.

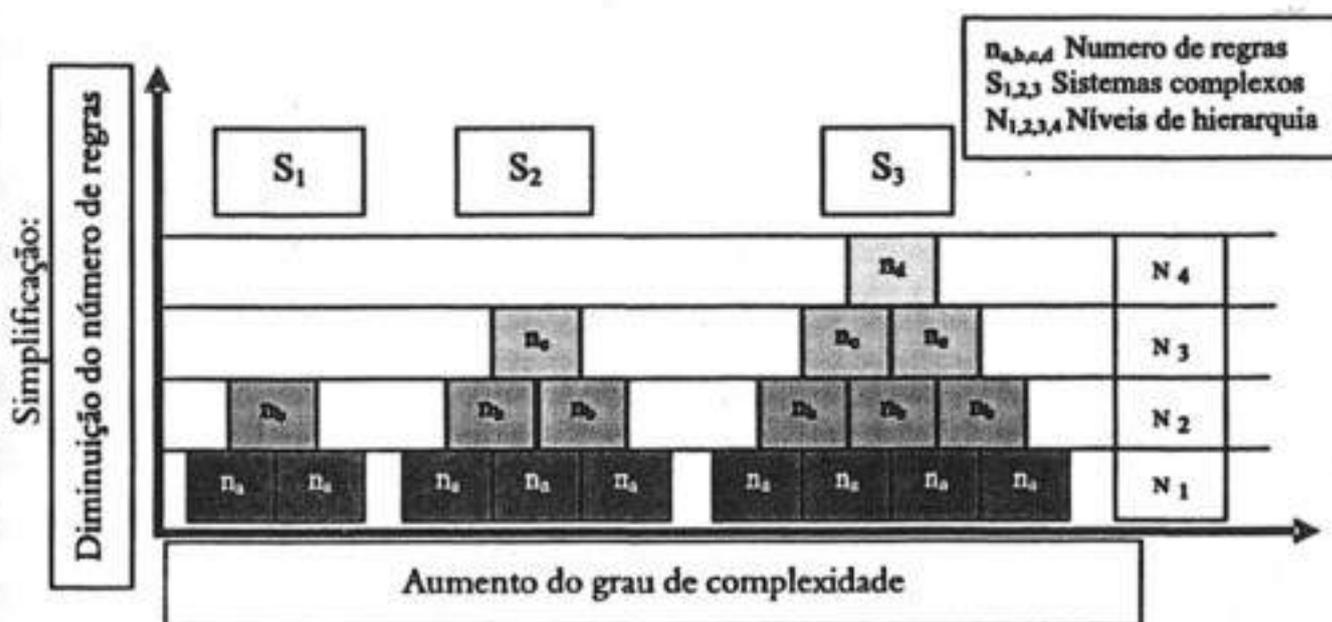


Figura 1 - Complexidade e hierarquia de regras

Uma das primeiras definições da palavra *sistema* surgiu em 1874, no dicionário “*Meyers Konversationslexikon*”, na Alemanha, que diz “[...] *sistema é um conjunto de partes organizadas em um todo* [...]”. Subentendiam-se ainda as *partes* como *objetos mecânicos* obedecendo às leis da mecânica clássica.

Durante os séculos de dominação da visão newtoniana e cartesiana do universo, as ciências consideravam seus diversos objetos de investigação como *objetos de fato*, unidimensionais, sujeitos exclusivamente as leis da *mecânica clássica*. Somente no final do século XIX, o espaço interno – *espaço microscópico* – dos objetos começou a ser entendido através de experiências empíricas que descobriam a existência da molécula e do átomo. Desta maneira os *objetos* se tornaram *sistemas* bi-dimensionais, compostas de duas dimensões de espaço-tempo: a dimensão macroscópica e a dimensão microscópica.

Um passo importante neste sentido foi dado com o surgimento da *termodinâmica estatística*. Ludwig Boltzmann, físico e matemático austríaco, estabeleceu uma relação logarítmica entre *entropia* e *probabilidade* expressa através da famosa equação:³

$$S = k \cdot \log \cdot W$$

Sendo (S) a entropia de um sistema,

$k = 1.3806503 \times 10^{-23}$, a constante de Boltzmann e

W expressa o número de *prováveis estados microscópicos* – que correspondem a um *estado macroscópico estável* de um dado sistema (no caso um balão de gaz). Isto significa que a dimensão macroscópica de um sistema pode ser *determinada* através de parâmetros empiricamente acessíveis, tais como temperatura, volume, pressão etc., enquanto estados microscópicos somente podem ser descritos como probabilidade.

Com isto, Boltzmann descobriu que os estados macroscópicos e microscópicos são dimensões de espaço-tempo com qualidades diferentes de um mesmo sistema que se relacionam de forma probabilística. Assim, o estado microscópico e a probabilidade deram entrada formal nas ciências exatas.

O próximo passo foi dado com as novas maneiras de compreender o nosso ambiente natural. Na década de 30, basicamente com os trabalhos do botânico inglês Sir Arthur Tansley⁴, surgem os conceitos de *ecologia* e *ecossistema*. A partir desta época, o *ambiente* tornou-se outro centro das atenções e o conceito de sistema foi de certa maneira “aberto para fora”, ganhando mais uma dimensão: o ambiente. ODUM (2007), ATKINS (1986), MOCEK (1986), PRIGOGINE & STENGERS (1993).

³ Ludwig Eduard Boltzmann (1844 - 1906), apesar de ser um físico famoso, não agüentou a enorme rejeição que sua descoberta causou no mundo dos físicos da época, devido ao fato de ter introduzido uma probabilidade numa ciência considerada exata *par excellence!* Ele entrou em depressão e se suicidou no dia 5 de setembro de 1906 e a fórmula $S=k \cdot \log \cdot W$ se encontra gravado no seu túmulo.

⁴ Sir Arthur George Tansley (1871-1955), botânico inglês, pioneiro da ecologia, criou o termo *ecossistema* em 1935 e *ecotópio* em 1939. Fundador da Sociedade britânica de Ecologia e editor do *Jornal Ecological Society*.

Desta maneira, os objetos unidimensionais começaram a tronar-se sistemas com diferentes dimensões: um *espaço interno* (microscópico) e um *espaço externo* (macroscópico), cujas relações precisavam ser estudadas e entendidas. De certa maneira podemos dizer que a idéia do sistema complexo nasceu com a percepção que a realidade do mundo que observamos é composta por sistemas cujas características são definidas pelas relações entre os seus espaços internos e externos.

Finalmente, nas décadas de 40 e 50, o biólogo austríaco Ludwig von Bertalanffy⁵, desenvolveu a Teoria Geral de Sistemas (TGS) como aproximação sistemática e científica á realidade que nos cerca e uma orientação prática para a trans – e interdisciplinaridade (BERTALANFFY, 1976).

A TGS surge como uma resposta à exaustão e inaplicabilidade das abordagens analítico-reducionistas e seus princípios mecanicistas. Bertalanffy (1976) enquanto biólogo buscava um novo paradigma fundamentado na noção de *conjunto orgânico*, enquanto que o paradigma cartesiano foi fundada sobre uma imagem do *mundo inorgânico*.

Os objetivos de Bertalanffy eram:

- desenvolver uma terminologia geral para descrever as características, funções e comportamentos de sistemas complexos;
- desenvolver um conjunto de leis aplicáveis aos comportamentos de um sistema complexo;
- a promoção de uma formalização científica destas leis.

Para Bertalanffy a TGS era um mecanismo de *integração entre as ciências naturais e sociais* e uma ferramenta básica para a formação e preparação dos cientistas. Neste sentido, a Sociedade Geral de Sistemas de investigação, criada em 1954, teve como objetivos:

⁵ Karl Ludwig von Bertalanffy (1901-1972) o criador da Teoria Geral de Sistemas foi filósofo e biólogo. Ele discordava com a visão cartesiana do universo e criou a idéia que um sistema é um todo maior que a soma das suas partes. Criticou a divisão das ciências em diferentes áreas com dificuldades de comunicar e sugeria que devemos estudar sistemas holisticamente e buscar compreender as qualidades que não se encontram em seus componentes isolados.

⁶ <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/101/10100306.pdf>

- Investigar o isomorfismo de conceitos, leis e modelos em vários campos das ciências e facilitar as transferências entre os mesmos;
- Promover e desenvolver modelos teóricos em áreas em que há falta deles;
- Reduzir a duplicação de esforços teóricos;
- Promover a unidade das ciências através da criação de princípios que unifiquem conceitos e metodologias científicas.

No decorrer da segunda metade do século passado a *cibernética* (N. Wiener), a *teoria da informação* (C.Shannon e W.Weaver) e a *dinâmica de sistemas* (J.Forrester) enriqueceram a TGS criando os fundamentos de uma *Teoria de Sistemas Complexos (TSC)*, que hoje está surgindo como base teórica das abordagens que giram em torno do conceito de desenvolvimento sustentável. Mesmo não sendo mencionada explicitamente como *teoria do desenvolvimento sustentável*, ela aparece claramente como matriz teórica, por exemplo, nos trabalhos de Daly e Sachs, mencionados nos capítulo anterior e, sobretudo nas abordagens práticas do desenvolvimento sustentável, como a Análise de Fluxos Materiais (AFM), Sistemas de Indicadores (SI), Análise de Ciclos de Vida (ACV), Ecological Footprints, e outros que serão tratados nos próximos capítulos.

Finalmente, a TGS também demonstrou seu enorme potencial explicativo nas ciências sociais (Nicolas Luhmann), estudos ecológicos e culturais (e.g. M.Sahlins, R.Rappaport), ciências políticas (e.g. K.Deutsch, D.Easton), organização e empresas (e.g. D.Katz y R.Kahn) e estudos antropológicos y sociológicos de um modo geral.

Características principais dos Sistemas Complexos

As dificuldades de entender e trabalhar com sistemas complexos provêm do fato que eles apresentam comportamentos inesperados e aparentemente desordenados. Diferentemente dos sistemas lineares,

sistema complexos são muito mais *flexíveis* em relação à mudanças ambientais ou perturbações de diferentes ordens e são capazes de *regenerar por esforço próprio*.

Os sistemas complexos apresentam características muito particulares dos quais os mais importantes são enumeradas em seguida e serão tratados com detalhes nos capítulos seguintes.

A interdependência das partes

Uma das características interessantes dos SC é o fato de que apesar da independência e da flexibilidade das relações entre as partes, elas são bastante *interdependentes* em relação à *manutenção da coerência do sistema* como um todo. Vejamos por exemplo uma sociedade de abelhas: basta eliminar a rainha e o sistema entra em colapso. Ou, por exemplo, numa cidade bastaria a eliminação da polícia ou do sistema de coleta de lixo para entrar em profunda crise.

A abrangência das escalas de espaço e tempo

Sistemas complexos abrangem basicamente *três dimensões* de espaço-tempo: o *espaço interno* (microscópico), o *espaço intermediário* (mesoscópico, constituído pela fronteira estrutural), e *espaço externo* (o ambiente e a fonte dos recursos energéticos). Estas dimensões constituem uma *unidade dialética*.⁶

Por exemplo: processos que ocorrem no espaço interno do corpo de uma pessoa em segundos (p.ex. á nível dos neurônios ou células) podem ter efeitos de longo prazo para o indivíduo e inclusive para muitos indivíduos do seu ambiente. Se considerarmos como sistema a humanidade, podemos ver como decisões tomadas por indivíduos num curto espaço de tempo, podem ter efeitos em escala histórica para muitas gerações.

⁶ Estas tres dimensões serão tratadas com maiores detalhes nos proximos capitulos.

As relações não lineares entre as partes

Enquanto em sistemas lineares, os efeitos são *sempre* diretamente proporcionais às causas, isto não é o caso em sistemas complexos. Nesses últimos, pequenas perturbações no nível microscópico podem causar: (i) um *grande efeito* no sistema todo (efeito borboleta), (ii) um *efeito proporcional* à perturbação, ou (iii) *efeito algum*. Por exemplo, no corpo humano um pequeno acidente cardiovascular de tamanho milimétrico pode causar a morte do indivíduo ou passar completamente despercebido. Uma única decisão política pode causar guerras e revoluções de resultados completamente inesperados ou não produzir efeito nenhum.

A capacidade de comportamentos emergentes

Devido à abrangência e interdependência de dimensões de espaço-tempo de um sistema, uma mudança de comportamento do sistema é chamada de *emergente* quando esta não pode ser observada nas partes que compõem o sistema. Esta é uma consequência direta do princípio que “o sistema é mais do que a soma das partes”.

Por exemplo, caminhar, trabalhar, dançar etc. são comportamentos emergentes que nunca poderão ser compreendidas através dos estudos isolados do cérebro ou das pernas.

A relação dialética entre Caos e Ordem

O movimento das partes (elementos) de um sistema (movimento microscópico) é *caótico* em relação à *ordem* e a estabilidade macroscópica do sistema como um todo. Por exemplo, imaginamos uma micro-câmera instalada nas costas de uma formiga e observamos os movimentos das formigas a partir desta perspectiva. O resultado será um movimento totalmente caótico que não permitiria entender a estabilidade e a ordem (a lógica da organização) do formigueiro inteiro.

A relação dialética entre Cooperação e Competição

Em sistemas complexos a competição entre as partes para a própria *manutenção energética individual* e a cooperação entre as partes para a *manutenção da coerência geral do sistema*, coexistem e constituem uma unidade dialética inseparável e imprescindível para a existência do sistema.

Por exemplo, cada indivíduo precisa garantir sua sobrevivência muitas vezes em concorrência (as vezes até feroz) com seus concidadãos mais próximos. Entretanto, a mesma pessoa é capaz de cooperar se o grupo, a família, a cidade ou o povo em geral for ameaçado.

Outro exemplo são as burguesias dominantes do mundo que sempre precisavam da cooperação dos seus respectivos povos e da cooperação organizada dos seus exércitos para garantir seus espaços de dominação econômica e política. O exemplo mais dramático é tal vez a história da Alemanha nazista, quando as classes dominantes eram capazes de engendrar uma ampla cooperação do povo alemão, apesar das profundas e violentas contradições entre a burguesia emergente e a classe trabalhadora alemã.

A relação entre as partes e o todo

O efeito causado por ações de certos componentes (elementos, partes) de um sistema (individualmente ou em grupos) podem causar as seguintes respostas sistêmicas:

- como *feedback negativo*, quando o efeito é amortizado pelo sistema;
- como *feedback positivo* quando o efeito é ampliado dentro do sistema;
- como *feedback nulo*, quando não há efeito nenhum dentro do sistema.

Sistemas complexos possuem um metabolismo energético

Todos os sistemas complexos da natureza precisam manter sua coerência estrutural através de entradas, aproveitamento interno e saídas de energia. Este processo é chamado de metabolismo energético (ou gradiente termodinâmico) e será tratado com detalhe nos próximos capítulos.

Sistemas complexos têm uma história

Por serem dinâmicos, os sistemas complexos se modificam de maneira irreversível ao longo do tempo. Assim, estados do passado têm influência nos estados presentes e os sistemas complexos têm, portanto, uma história, e evoluem no tempo, apesar da freqüente exibição de um comportamento de *histerese*⁷.

Elementos da Teoria de Sistemas Complexos (TSC)

Para entender a utilidade da Teoria de Sistemas Complexos (TSC) é necessário definir com precisão os conceitos que definem as características principais dos sistemas complexos.

A TSC é, de um lado, uma *metalinguagem* científica que permite descrever e definir o “objeto de investigação” em qualquer área do conhecimento e conseqüentemente tornou-se a *linguagem da interdisciplinaridade*.

Por outro lado a TSC é um *método*: a descrição sistêmica do alvo da investigação científica é um trabalho metodológico capaz de mostrar as *relações entre as diferentes dimensões de espaço-tempo do sistema*, o que permite uma ampliação radical do horizonte de percepção do observador em relação ao seu objetivo de investigação.

⁷ *histerese* é a tendência de um material ou sistema conservar suas propriedades mesmo na ausência do estímulo que as gerou.

Por esta razão, a utilidade da TSC é estreitamente ligada à precisão dos conceitos que constituem esta teoria.

Sistemas isolados, fechados e abertos

De maneira geral, a TSC distingue entre sistemas *isolados*, *fechados* e *abertos*.

Os sistemas isolados fogem do nosso acesso empírico, porque não trocam nem energia, nem matéria com seus ambientes.

Nosso interesse se concentra nas categorias dos sistemas *fechados* que trocam *somente energia* com seu ambiente e, sobretudo, nos sistemas *abertos* que trocam *energia e matéria* com seus ambientes. A importância destes dois tipos de sistemas reside no fato que o nosso planeta sendo um sistema fechado (recebe somente energia do universo, basicamente solar) é composto basicamente de sistemas abertos encadeados entre si.

Estes dois tipos de sistemas dominam os processos de evolução e apresentam características que desafiam a visão mecanicista do universo: eles não estão em *equilíbrio*, apresentam a capacidade de *auto-organização*, se desenvolvem de maneira *irreversível* e seu futuro somente pode ser deduzido do presente como *probabilidade*.

As dimensões do sistema complexo

As definições mais recentes de sistema complexo cobrem um conjunto de características pouco comuns à lógica da mecânica clássica. Por exemplo, sistemas abertos e auto-organizados se sustentam longe do equilíbrio termodinâmico, o que significa que princípios de não-equilíbrio e de auto-organização são necessários para descrever os comportamentos de tais sistemas. Na realidade, equilíbrio significa a morte do sistema complexo.

Por outro lado, a definição relaciona o *espaço interno* e o *espaço externo* do sistema, através da inclusão de uma dimensão intermediária *mesoscópica* (do grego *meso* - entre). Assim, em sistemas complexos

distinguímos três dimensões básicas de espaço-tempo que interagem em sinergia:

- Uma **dimensão microscópica** que descreve o espaço interno no nível das partes individuais (os *elementos* do sistema) que se relacionam de forma não linear;

- Uma **dimensão mesoscópica**, a *fronteira estrutural do sistema* que separa o espaço interno (o espaço das interações entre os elementos) e o espaço externo (o *ambiente relevante*) da estrutura do sistema;

- Uma **dimensão macroscópica**, constituída pelo espaço além da fronteira estrutural, também chamado de *ambiente relevante* ou *campo de interação*. Esta parte externa à fronteira estrutural é a fonte de energia e matéria necessária para a manutenção do seu metabolismo, da *coerência estrutural* e da *reprodução energético-material do sistema* como um todo. (Fig. 2).

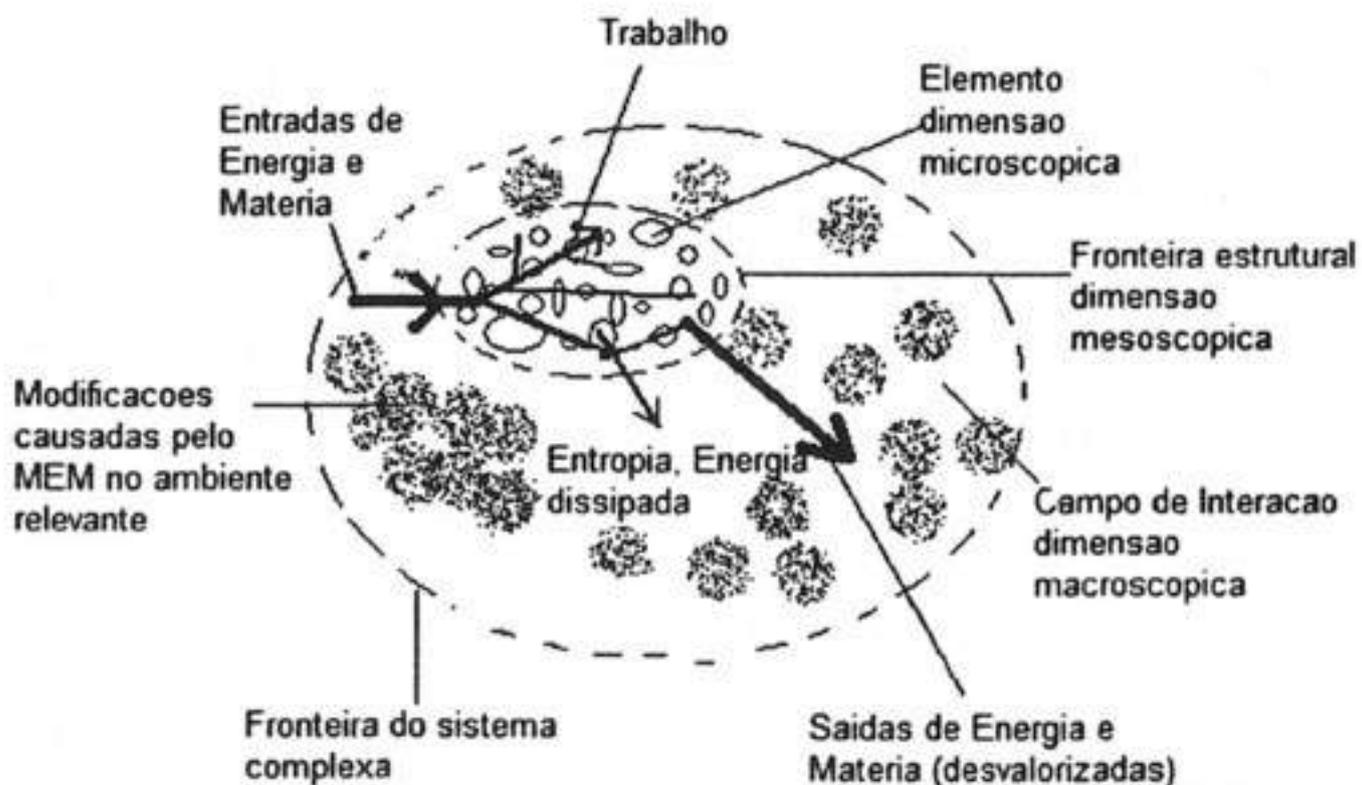


Figura 2 - O Sistema Complexo

As relações entre estas três dimensões são de natureza probabilística e conseqüentemente o futuro de tais sistemas não

pode ser previstos com precisão. A característica mais importante da relação entre estas três dimensões é sua profunda interpenetração. As três dimensões do sistema são compostas em princípio da mesma energia e matéria, entretanto em estados de organização e modos de relação diferentes (Fig.3)

Interpenetração entre ambiente relevante, estrutura e elementos

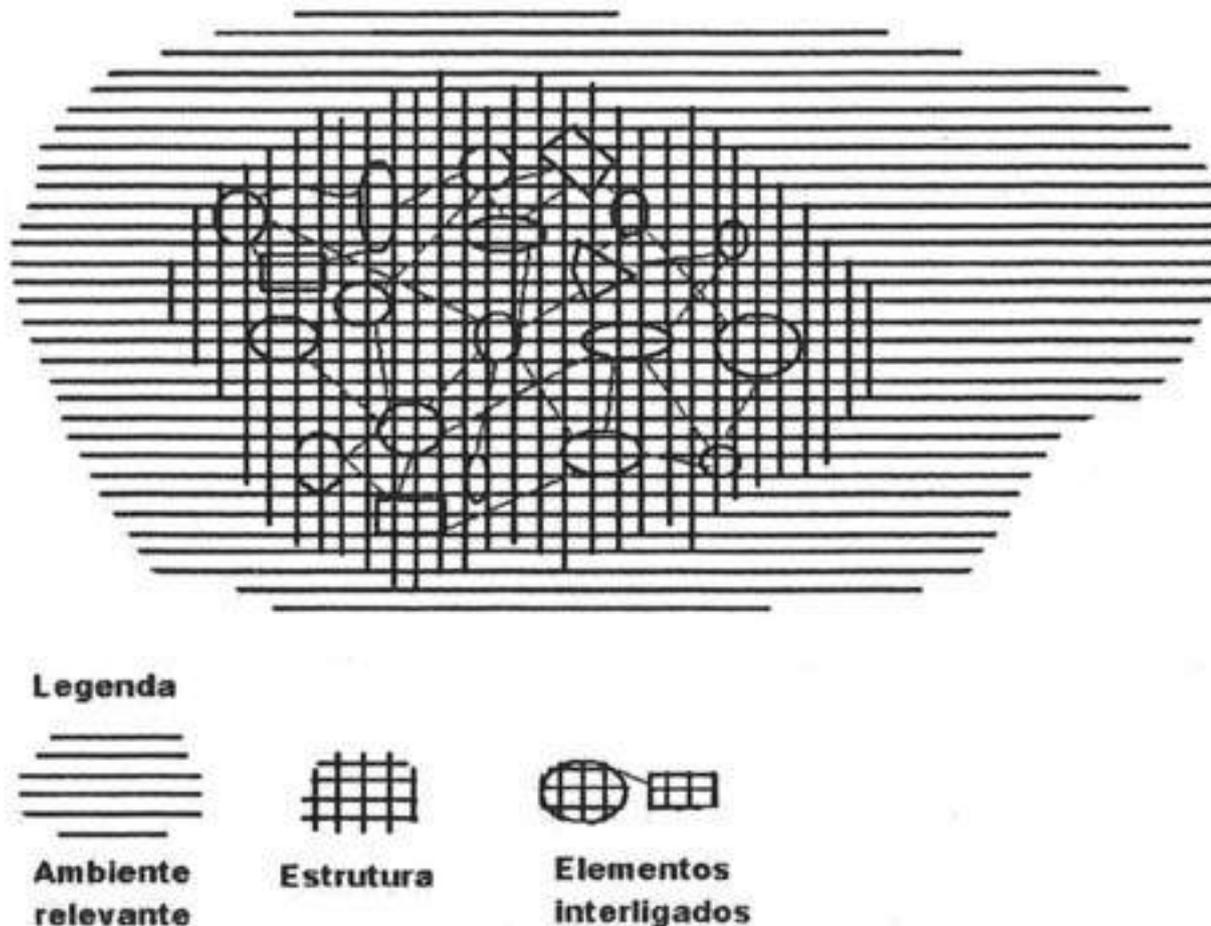


Figura 3 - Interpenetração das dimensões de um sistema complexo

Todo o espaço-tempo, além do campo de interação (portanto além das fronteiras do sistema) é chamado *ambiente externo do sistema*.

O campo de emergência

A evolução mostra que todos os sistemas complexos surgem (emergem), se desenvolvem e desaparecem.

O *campo de emergência* designa uma determinada região do universo que reúne um conjunto de condições necessárias para

o surgimento de uma nova forma de interação entre diferentes partes presentes (sistemas, objetos, estruturas) que posteriormente constituem os elementos do sistema emergente.

Campos de emergência ocorrem no Universo em todas as escalas e níveis de evolução. Por exemplo, nosso sistema solar surgiu numa determinada região da galáxia devido a uma constelação material e energética adequada. Mas, campos de emergência se abrem também permanentemente na sociedade. Por exemplo, uma criança nasce dentro de um determinado contexto (campo de emergência) sócio-cultural e econômico. Um acidente de carro ocorre em via pública e uma multidão é atraída pelo evento. A área do acidente é um campo de emergência para a formação de uma multidão que constitui uma nova forma de coerência entre um número finito de pessoas (elementos). A multidão forma uma estrutura que possui certa extensão local e, conseqüentemente, uma fronteira estrutural definida.

Entretanto, o evento exerce também uma influência direta ou indireta num espaço muito maior que aquele ocupado pela multidão propriamente dita. A mídia divulga a notícia e pessoas se sentem direta - ou indiretamente afetadas pelo acidente sem estar presentes. Esta *área de influência* além da própria multidão no local do acidente define o *campo de interação* do sistema que surge através da ocorrência do acidente.

Assim devemos distinguir entre o campo de emergência que é preestabelecido, *determinado*, e o campo de interação que é um *produto* da interação entre a estrutura emergente e seu entorno relevante. Conceitos relacionados ao processo de emergência são:

Elemento, coerência, coesão e estado estacionário

A unidade básica de um sistema é o *elemento*. O elemento de um sistema complexo é a terminologia usada para designar a menor parte de um sistema que ainda faz sentido para a descrição do sistema como um todo. Trata-se, portanto, de um conceito que deve ser

subjetivamente definido pelo observador, sendo que os elementos, individualmente, geralmente são sistemas complexos por sua parte.

Num sistema complexo um número finito de elementos interage através de forças e ligações diversas. Na medida em que os elementos começam a interagir eles criam uma coerência de comportamento entre si.

A *coerência* designa o *tipo* de interação entre os elementos, e corresponde a aquilo que todos os elementos, apesar de todas as diferenças, *possuem ou fazem em comum*. Coerência é, portanto comparável a um princípio de organização ou *padrão médio de comportamento* dos elementos de um sistema complexo.

A *coesão* por outro lado, é a expressão energética das *forças das ligações* estabelecidas entre as partes e é diretamente responsável pela *inércia estrutural*, uma importante propriedade do sistema, que será tratada mais adiante.

A coesão e a coerência entre os elementos podem ser mantidas durante um tempo definido ocupando certo espaço definido no Universo. Durante esse tempo o sistema encontra-se num *estado estacionário (steady state)* o que não designa um estado de imobilidade, pelo contrário, é um estado dinâmico de transformação permanente que ao mesmo tempo conserva a coerência estrutural do sistema.⁸

Como exemplo observamos um formigueiro. Os elementos deste sistema são as formigas e a *coerência* do comportamento e a *coesão* entre elas definem o grau de flexibilidade e consistência da organização estrutural deste sistema. A coerência é dinâmica, os elementos estão em movimento permanente e o sistema transforma-se continuamente em tamanho, densidade, e na sua distribuição espaço-temporal. Mesmo assim o formigueiro pode sustentar um estado estacionário durante muitos anos.

⁸ Não confundir com a *Teoria cosmológica do estado estacionário*, elaborada em 1948 por Hoyle, Gold e Boni, como alternativa ao modelo do Big Bang. No contexto da TSC, estado estacionário é a *manutenção da coerência de uma relação dinâmica entre partes*.

As formigas não vivem somente no formigueiro propriamente dito, senão elas ocupam também seu ambiente relevante, configurando o seu campo de interação, de onde retiram a energia e a matéria necessária para garantir a reprodução da sociedade como um todo. Este ambiente sofre a influência da atividade das formigas, mas ao mesmo tempo impõe ao sistema determinados limites e condições de sobrevivência.

É importante mencionar que todos os conceitos usados na TSC, tais como, elemento, estrutura, fronteira estrutural, etc., somente tem sentido se num primeiro passo a dimensão mesoscópica, a fronteira estrutural do sistema, for claramente definida. Assim, por exemplo, os olhos de uma formiga, não podem ser considerados como *elemento* do sistema formigueiro. Por outro lado, se quisermos investigar uma formiga individual como sistema, os conceitos de elemento, estrutura e campo de interação mudam de conteúdo e devem ser redefinidos. Neste caso os olhos da formiga poderão muito bem constituir um elemento do sistema considerado.

Estrutura, inércia estrutural e substância

O conceito de *estrutura* (lat. *structura* e do verbo *struere*, construir, juntar, criar ordem) é utilizado na TSC no sentido de sua origem latina, ou seja, como plano arquitetônico, como ordenamento dos órgãos de um corpo, ou como relação coerente entre palavras e idéias de um discurso etc. No caso de um SC, estrutura descreve a maneira *como* os elementos se ligam e relacionam entre si para manter a coerência. Uma vez as relações entre as diferentes partes (elementos) de um sistema estabelecidas, surge a chamada *inércia estrutural* que representa o conjunto das forças de ligação entre as partes do sistema. A inércia estrutural assume um papel fundamental na entropia do sistema e pode ser considerada também como o potencial energético que é preciso para decompor a estrutura do sistema (ver capítulo sobre termodinâmica). Trata-se em outras palavras de uma característica conservadora do sistema.

Por outro lado, *substância* apresenta uma raiz história mais complexa e é entendido como *natureza de uma coisa*. A TSC utiliza estes conceitos no sentido de que a estrutura indica a *organização* e a substância o *caráter* do sistema considerado. Assim, a estrutura da água designa a forma de organização das moléculas e a substância descreve as características físico-químicas gerais deste líquido.

Fronteira estrutural

A estrutura do sistema ocupa um espaço-tempo definido que é limitado pela chamada *fronteira estrutural*, o principal *plano de referência* de um sistema complexo. É neste plano de referência que os sistemas complexos geralmente interagem⁹.

A fronteira estrutural possui características e funções específicas: Por um lado, trata-se de uma *interface* que processa a troca de energia entre as dimensões micro - e macroscópicas do sistema e, por outro lado ela assume em certos casos (sistemas biológicos) as funções de uma camada protetora ou de uma superfície sensorial para garantir a manutenção da coerência das partes. Um exemplo interessante é a pele do próprio corpo humano: a acupuntura demonstra que praticamente todos nossos órgãos estão representados por pontos específicos localizados na nossa pele.

A fronteira estrutural – a dimensão mesoscópica – joga também um papel importante na pesquisa empírica. Quando o pesquisador (observador) escolhe seu “objeto” de investigação, ele define na realidade a dimensão mesoscópica do sistema e é a partir desta que ele “constrói” o sistema completo com suas dimensões e relações entre as mesmas.

Os parâmetros usados na pesquisa empírica são assim relacionados á uma dimensão espaço-temporal definida pelo pesquisador, o que

⁹ É bom lembrar que isto ocorre também durante a pesquisa empírica: o “alvo” da pesquisa é sempre ligado á uma dimensão de referência, situada *no meio* – num plano mesoscópico - entre as dimensões macroscópicas e microscópicas do sistema investigado.

implica que as dimensões complementares se tornam difusas. Por exemplo, os parâmetros que definem grandezas mesoscópicas (como temperatura, volume, pressão, etc.) somente têm utilidade limitada quando penetramos em dimensões microscópicas ou quando queremos medir grandezas macroscópicas. O famoso princípio da incerteza de Heisenberg se baseia em parte neste fenômeno.¹⁰

O Metabolismo Energético Material

Trata-se aqui de uma das características mais importantes da TSC com amplas conseqüências, sobretudo para a operacionalização de um desenvolvimento mais sustentável. Cada estrutura possui a capacidade de transformar seu ambiente relevante de acordo com sua necessidade energético-material, e de acordo com sua própria organização estrutural. Na interação entre estrutura e ambiente, o conjunto dos elementos tem tendência á *formatar* (configurar) seu ambiente de acordo com seu próprio padrão de organização. Assim a estrutura transforma e é ao mesmo tempo transformado pelas influências ambientais. Esta interação se mantém através de um permanente *fluxo de energia e matéria*, no qual a quantidade de energia e matéria de *entrada* [de qualidade (Q_1)] é internamente processada e aproveitada pela estrutura do sistema. Desta maneira, a energia de entrada é *consumida*, perdendo sua qualidade original e é eliminada na forma de energia (e matéria) desvalorizada e de qualidade inferior (Q_2).

O ciclo completo deste processo é chamado *Metabolismo Energético-Material (MEM)* do sistema (Fischer-Kowalski, M & Haberl, H., 1993).

¹⁰ Werner Karl Heisenberg (1901-1976). Na física clássica, acreditava-se que se soubermos a posição inicial e o momento (massa e velocidade) de uma partícula de um sistema, seríamos capazes de calcular suas interações e prever como ele se comportará no futuro. O princípio de incerteza de Heisenberg postula que isso é impossível quando se trata de uma partícula quântica, porque nossa observação interfere no seu movimento de tal maneira que se torna impossível determinar o comportamento de um elétron como se fosse um objeto da mecânica clássica.

Assim, sistemas complexos abertos *extraem* energia e matéria do seu ambiente relevante e devolvem energia e matéria desvalorizada ao mesmo. Este processo depende da forma específica do MEM de cada sistema e do seu modo específico de organização estrutural. Através da atividade metabólica o sistema formata, configura, ou *informa* constantemente seu ambiente, criando assim o seu próprio *campo de interação* de acordo com seu padrão específico de organização estrutural.

O campo de interação forma, junto com a estrutura do sistema, uma unidade dialética em permanente interação e transformação. As dimensões macroscópicas e microscópicas interagem desta maneira através das fronteiras estruturais (a dimensão mesoscópica) e possibilitam ao sistema de reagir internamente a mudanças que ocorrem ao exterior de sua fronteira estrutural.

Um excelente exemplo da eminente importância do MEM é nosso *modo de produção*, que é o padrão de organização da economia capitalista. A forma de apropriação dos recursos naturais, a maneira como esses recursos são transformados em produto, distribuídos e transformados em rejeitos e finalmente depositados, são consequência direta do modo de produção. Todas estas atividades econômicas configuraram permanentemente o ambiente natural de acordo com esse tipo de modo de produção. Por isso todos os grandes problemas que enfrentamos hoje em relação às mudanças climáticas, poluição, destruição dos ecossistemas, miséria e fome etc., são consequência direta do nosso padrão de organização econômica. Por consequência, a problemática do desenvolvimento econômico sustentável não poderá ser resolvida satisfatoriamente sem necessariamente uma reforma profunda do nosso modo de produção. O estudo do MEM de uma economia nos conduz a pistas novas e permite a construção de indicadores de sustentabilidade econômica consistentes, porque é capaz de dimensionar corretamente a voracidade de uma economia em relação á apropriação e uso dos recursos naturais renováveis e não renováveis.

O Campo de interação e fronteira do sistema

O Campo de interação é parte integral de todos os sistemas abertos e fechados e é a fonte dos recursos materiais e energéticos primários necessários para a manutenção do Metabolismo Energético-Material, sendo que a estrutura do sistema e o campo de interação se modificam mutuamente durante a manutenção do MEM.

Em sistemas abertos a distinção entre fronteira estrutural e fronteira de sistema é fundamental para dar ênfase ao fato que sistemas complexos tem, semelhante às partículas da física, um duplo caráter de *corpo* e de *campo*.

Por exemplo, a membrana de uma célula (a fronteira estrutural) pode ser definida com precisão do ponto de vista espacial. Ao contrário, o campo de interação desta célula encerra todo o espaço externo que de alguma maneira é influenciado, utilizado e transformado pela célula durante sua vida. Assim, os limites do campo de interação não representam um espaço geométrico preciso, apesar de seu caráter espacial. Da mesma forma, o corpo de uma pessoa física pode ser facilmente delimitado pela forma do seu corpo. Entretanto, o conjunto das relações que esta pessoa estabelece com seu ambiente, e todas as influências que ele exerce sobre as pessoas do seu mundo durante e após sua vida, é um campo de interação difícil de definir do ponto de vista de sua extensão espacial.

Resumindo: Sistemas isolados não possuem campos de interação.

Sistemas fechados que somente trocam energia com seu ambiente possuem um campo de interação de *Primeira Ordem*.

Sistemas abertos que trocam energia e matéria com seu ambiente possuem campos de interação de *Segunda Ordem*.

Os campos de interação de Primeira Ordem são constituídos pelas 4 forças básicas que conhecemos no universo: gravitação, forças nucleares fortes e fracas, e forças eletromagnéticas. No caso de sistemas fechados não há *feedback* direto entre estrutura e campo de interação, a relação entre ambos é passiva.

Os campos de interação de Segunda Ordem são caracterizados tanto pela ação da radiação e dos campos de forças básicas, como pela troca de material com a estrutura do sistema. Desta maneira estabelecem-se interações diretas entre o campo de interação e a estrutura gerada pela troca de matéria, que implica numa transformação mútua e permanente de ambos.

Exemplo: Nosso planeta Terra pode ser considerado um sistema fechado (desconsiderando as entradas materiais devido à queda de meteoritos), composto por um grande número de sistemas abertos, que trocam entre si uma quantidade praticamente constante de energia e matéria, modificando desta maneira continuamente o planeta. Seu campo de interação de 1ª Ordem, o sistema solar, é caracterizado pela entrada da radiação solar (fótons), por uma radiação térmica de saída e pelo campo de gravitação terrestre.

A relação entre ambiente externo e campo de interação pode também ser exemplificada no caso das ligações químicas. Cada núcleo atômico é ligado aos parceiros, através da superposição dos campos de elétrons (os campos de interação dos átomos) na medida em que os átomos dividem entre eles um certo número de elétrons, criando assim um *espaço em comum* através do qual os núcleos dos átomos sustentam sua interação.

Quando há redes de grandes números de grupos de átomos, os sistemas de superposição de campos se tornam muito complexos. Desta maneira se configuram sistemas de diferentes canais que caracterizam uma associação de átomos. Todos os átomos ligados a este sistema perdem por um lado partes de sua liberdade individual, ao mesmo tempo ganham acesso a um campo energético muito mais amplo.

A auto-organização

Chamamos *auto-organização*, todas as modificações do estado microscópico de um sistema que não podem ser deduzidas ou medidas

a partir de parâmetros ou estímulos externos macroscópicos.¹¹ A força motriz dos fenômenos de auto-organização decorrem do metabolismo energético material, através do qual as estruturas “importam” perturbações, modificações e impactos que não podem ser medidos por parâmetros macroscópicos. Entretanto, num processo acumulativo estas modificações podem produzir mudanças estruturais que acabam refletindo-se no nível do sistema como um todo. Assim, assistimos á emergência de novos comportamentos chamados auto-organizados. Trabalhos relacionados a este tema são EBELING (1989), HAKEN (1992), BECKENBACH & DIEFENBACHER (1994).

A Emergência de sistemas complexos

O papel da Termodinâmica

A termodinâmica de não-equilíbrio é um instrumento de análise fundamentada nas ciências exatas e possui por esta razão um importante poder de persuasão. Por outro lado, para resolver problemas de desenvolvimento dos sistemas dinâmicos e complexos é necessário entender a *dimensão e as causas* da entropia em cada sistema, o que nos leva á analisar mais detalhadamente os conceitos básicos de entropia, energia, trabalho e calor.

Breve história da Termodinâmica

A máquina á vapor foi uma das mais importantes inovações tecnológicas do início da revolução industrial. A invenção de uma máquina capaz de transformar calor em trabalho físico, ampliando assim exponencialmente a potencialidade do trabalho físico humano, foi o estopim de uma nova era histórica para a humanidade, equivalente

¹¹ O termo auto-organização: “foi cunhado na década de 1940, para rotular os processos pelos quais os sistemas se tornam mais altamente organizados no tempo, sem serem ordenados por agentes ou programas externos. Ele se tornou um dos conceitos dominante das ciências não-lineares, sem mesmo ter sido propriamente definido.” (SHALIZI; SHALIZI; HASLINGER, 2004).

á invenção do computador. O que a máquina a vapor foi para o trabalho físico, o computador é para o trabalho mental.

O grande problema que as ciências enfrentaram com esta invenção era o curioso fenômeno da transformação do calor em trabalho. Desde Galileu já se tinha uma idéia relativamente clara sobre o significativo de uma *força mecânica* e conseqüentemente sobre o *trabalho mecânico*, mas o fenômeno do calor tem sido um mistério por muito tempo. Assim, a descoberta da lei de entropia, como conseqüência de uma experiência empírica, sempre teve certo aspecto metafísico para as ciências da época. A razão é simples: A transformação de calor para trabalho implica numa perda irrecuperável de energia e, portanto um processo de transformação irreversível, o que na visão da mecânica clássica era absolutamente inconcebível.

A primeira publicação que efetivamente aborda a termodinâmica foi escrita por *Sadi Carnot* (1796-1832), um jovem engenheiro militar francês. Durante a guerra entre a França e a Inglaterra, ele percebeu a supremacia da Inglaterra devido ao domínio da máquina a vapor e da importância do que ele chamou a *força do fogo* para a industrialização da França. Em 1824 ele publicou a obra *réflexions sur la puissance du feu* onde ele acredita que o calor seja uma substância, semelhante a água.

Mais tarde na Inglaterra, *James Prescott Joule* (1818-1889) descobre que o calor se dissipa e que há uma relação quantitativa entre calor e trabalho. Joule criou a concepção da *equivalência mecânica do calor*. A vida científica de Joule foi profundamente marcada pela discussão se o calor é ou não uma substância, uma dúvida que ele não conseguiu resolver até sua morte.

Aproximadamente na mesma época *William Thompson* (1824-1907), conhecido como Lord Kelvin, publicou em 1851 a obra "*On the dynamical theory of heat*". Ele percebeu que todos os processos naturais ocorrem num campo térmico estabelecido entre o calor e o frio. William Thompson, foi uma das personalidades mais ilustres da história das ciências da Inglaterra: considerado um gênio, entrou

na Universidade de Cambridge com 10 anos de idade e tornou-se Professor titular de filosofia da natureza, aos 22 anos.

Enquanto isto, na Alemanha, *Rudolf Gottlieb*, alias Clausius (1822-1888), demonstra pela primeira vez que o calor é ligado ao movimento das partículas que constituem os corpos, abrindo assim espaço para a compreensão do verdadeiro caráter do calor.

Poucos anos mais tarde, o matemático e físico *Ludwig Boltzmann* (1844-1906) relaciona matematicamente as características macroscópicas das estruturas materiais com o comportamento microscópico dos átomos. Ele se tornou o pai da chamada Termodinâmica estatística.

Atualmente há quatro leis da termodinâmica, que curiosamente começa com a “Lei zero”, que foi a última a ser definida:

- *A lei zero da termodinâmica* parte do princípio que a observação de uma diferença térmica entre dois corpos não é possível pelo contacto direto. Por esta razão a lei zero define um *corpo de referência* e foi postulada da seguinte forma: *se dois corpos A e B estão em equilíbrio térmico com um terceiro corpo C, então A e B tem a mesma temperatura.*

- *A primeira lei da termodinâmica* é a lei de conservação de energia aplicada aos processos térmicos. Ela define a *equivalência entre trabalho e calor* e o conceito de *energia interna*, ou seja, a energia associada aos átomos e moléculas em seus movimentos e interações internas ao sistema;

- *A segunda lei da termodinâmica* afirma que a quantidade de trabalho útil que podemos obter a partir da energia total recebida por um sistema é sempre inferior á quantidade total desta energia recebida. É, portanto impossível transformar toda a energia de entrada de um sistema em trabalho mecânico e a energia irreversivelmente dissipada (perdida) é chamada *entropia*;

- *A terceira lei da termodinâmica* estabelece que é impossível, por meio de um número finito de etapas (ou estados) atingir a temperatura do zero absoluto (zero Kelvin).

Destas quatro (4) leis da termodinâmica, a segunda, a *lei da entropia*, é a mais importante e ela assume um papel destacado na transformação e evolução dos sistemas complexos. Curiosamente, a segunda lei foi a primeira e mais importante a ser descoberta e ela demonstra que a distribuição de energia se modifica de forma irreversível no universo, criando uma assimetria fundamental no processo de evolução e trata, portanto, da *direção* das transformações do universo e conseqüentemente da *direção do tempo*.

A importância da termodinâmica para os processos de transformação e evolução dos sistemas complexos decorre do fato que estes sustentam sua coerência estrutural através do metabolismo energético e são obrigados a reagir constantemente a mudanças externas. Disso decorrem duas características importantes: o sistema se encontra num *estado estacionário afastado do equilíbrio* e seu *desenvolvimento não-linear* somente pode ser descrito pela termodinâmica de não-equilíbrio.

Uma das conseqüências da *termodinâmica de não - equilíbrio* é o fato que mesmo conhecendo exatamente (e mantendo constantes) as condições iniciais de um processo de desenvolvimento de um sistema complexo, seu futuro não pode ser previsto de maneira determinante. É esta faixa de incerteza que determina o *grau de liberdade de um sistema* e abre as possibilidades de um universo em evolução.

Isto explica por exemplo a razão da falência de muitos dos grandes projetos implantados na Amazônia e no mundo. Por mais que se planejam de maneira mecânica as condições iniciais do projeto, ele nunca poderá dar o resultado desejado. Um projeto conduz a uma intervenção em sistemas dinâmicos em permanente transformação. Portanto precisamos de métodos de planejamento flexíveis que deixam abertos possibilidades para as inevitáveis modificações de rumo que surgem durante a execução do projeto.

Calor e Temperatura

O problema do calor preocupou tanto filósofos como cientistas naturais por muitos séculos e foi historicamente abordado de três maneiras diferentes:

a) A abordagem *fenomenológica*, não pretendia responder à pergunta *o que é o calor*, senão se preocupava fundamentalmente com as mudanças quantitativa que o calor causa em sistemas materiais;

b) A abordagem *energética* relaciona as mudanças de temperatura com os processos de entradas e saídas de energia ao sistema. Assim, foi introduzido o conceito de *energia do calor* por J. Black em 1760. Sem conhecer ainda o verdadeiro caráter do calor, ele já considerava o calor como uma forma de energia e desta maneira contribuiu para a criação das bases da termodinâmica clássica e da máquina a vapor;

c) Do ponto de vista *estatístico* as manifestações de calor são relacionadas ao movimento mecânico dos elementos do sistema e o calor é considerado resultado do valor médio da energia cinética dos elementos. Este ponto de vista, apesar de ser também basicamente energético, já se baseia numa visão moderna da estrutura atômica da matéria. Contribuições importantes neste campo foram dadas por Clausius meados do século 19 e, sobretudo por Boltzmann entre 1900 e 1906, BLACKMORE, J.T (1995).

De um modo geral, a temperatura de um corpo mede o *grau de agitação* do seu micro-estado (dos átomos ou moléculas) em relação ao padrão do mercúrio. Portanto, a temperatura é uma medida relacionada à estrutura material (massa específica) de um corpo. Enquanto calor é um conceito que descreve o movimento caótico e incoerente dos átomos de um modo geral, a temperatura mede este grau de agitação usando como padrão o mercurio aproveitando-se de sua inércia estrutural específica. Na prática isto é muito fácil de verificar: todas as estruturas materiais apresentam uma condutividade térmica específica. A mesma quantidade de calor não causa o mesmo aumento de temperatura em todos os corpos.

Há dois limites para as temperaturas do Universo. A temperatura mais elevada é aquela do *Big Bang*, estimada em $3 \cdot 10^{12} \text{K}$ e a temperatura mais baixa é 0K que corresponde a -273C . Além desses dois limites térmicos nossas leis da física e química perdem sua aplicabilidade.

Temperaturas baixas

Descendo-se a escala térmica, encontramos algumas fases importantes, com diferenças qualitativas importantes:

- A 20K o Hidrogênio torna-se fluido. Todas as reações químicas e biológicas são paralisadas. Os átomos ainda se movimentam ligeiramente através do chamado movimento residual que enche os sistemas com o ruído de fundo térmico;

- Em torno dos 3K (o ponto de ebulição do He está em torno de $4,2 \text{K}$), chega-se ao estado do silêncio térmico. Cessa o movimento residual dos átomos e o He líquido começa a assumir qualidades supercondutoras;

- Em torno de $2,2 \text{K}$, abaixo do nível da super-condução aparece, no caso do He, a qualidade da superfluidez, causada pelo surgimento de um fluxo estável de elétrons. Neste ponto desaparece todo tipo de viscosidade.

Nesta faixa de temperatura encontramos um fenômeno de maior importância para a astrofísica: a chamada *radiação fria de fundo* do cosmos que apresenta uma temperatura estável de $2,7 \text{K}$. Este fenômeno foi descoberto por A. Penzias e R. Wilson em 1965, (TREFIL, J.S, 1983). Trata-se de uma radiação de micro-ondas na faixa dos centímetros e com uma energia de $4,08 \text{ Ghz}$ que corresponde, ao mesmo tempo, à chamada *radiação térmica de um corpo negro*. Supõe-se que esta radiação seja um resíduo do *Big-Bang*. Entretanto, a constância desta radiação em todas as direções do universo parece contradizer esta teoria, visto a completa falta de homogeneidade na distribuição da massa do universo.

Ultimamente, novos métodos de congelamento magnético conseguiram baixar a temperatura até valores em torno de $0,3 \text{K}$. O

recorde das temperaturas mais baixas foi realizado em 1984 com 2.10^{-8} °K e finalmente, na faixa de 0°K, as leis da física e química perdem seu potencial explicativo e, portanto tornam-se sem sentido (ATKINS, 1984)

Temperaturas elevadas

Percorremos agora o caminho inverso e observamos o que acontece em dimensões térmicas cada vez mais elevadas até chegarmos a temperatura do *Big-Bang*. A primeira etapa de relevância universal para as estruturas materiais encontra-se na faixa dos 3000°K.

– Em torno de 3000°K nós deixamos a dimensão da química. Os elétrons se separam dos núcleos e surge um gás formado por elétrons e núcleos, o *plasma*. Nesta dimensão térmica as partículas carregadas e a radiação eletromagnética interagem e emitem ou absorvem luz e o universo entra em *equilíbrio térmico*;

- Em torno de 3.10^{11} °K (2000 vezes a temperatura do sol) os núcleos rompem;

- Com um aumento de temperatura de mais uma potência de dez (3.10^{12} °K), os prótons são destruídos e nós encontramos aproximadamente as condições térmicas do início do universo.

Analisando estas duas faixas limites de temperatura, podemos afirmar que a evolução do Universo ocorre num campo térmico entre 0°K e 3.10^{12} °K.

Tanto abaixo como acima destas fronteiras térmicas todas as formas de atividades físicas e químicas que conhecemos desaparecem e abre-se uma dimensão completamente diferente onde todas as leis que descrevem o nosso Universo perdem seu sentido.

De acordo com os conhecimentos atuais, toda evolução que somos capazes de observar e interpretar desenvolve-se dentro desta faixa térmica universal entre o zero absoluto de Kelvin e a temperatura inicial do Universo. Além destas fronteiras térmicas todo tipo de formas de Universo foge da nossa capacidade de imaginação.

As Leis da Termodinâmica e suas implicações

Originalmente a termodinâmica era considerada uma disciplina da física e química, que trata exclusivamente da transformação do calor em trabalho mecânico em sistemas fechados. Com as obras de Georgescu-Roegen e sobretudo com Ilya Prigogine, as implicações científicas e filosóficas da termodinâmica foram estendidas para todos os sistemas complexos, não lineares e longes do equilíbrio. A obra *A nova aliança, as metamorfoses da ciência*, de Prigogine, publicado em 1979, tornou-se um *best seller* que reflete a mudança de paradigmas no pensamento científico mundial.

Tornou-se evidente que a termodinâmica tem implicações que vão muito além de um simples problema da física. A extração de energia e matéria da natureza para realizar trabalho e para garantir a sobrevivência ou a manutenção do sistema econômico é baseada num determinado modo de produção. De acordo com a 2ª Lei da termodinâmica, de toda a energia e matéria extraída da natureza, somente uma parte pode ser transformada em trabalho, utilizada em atividades reprodutivas (tais como manutenção da coerência estrutural do sistema) que podem ser tanto materiais, como virtuais, enquanto contribuem para a consolidação do sistema. A outra parte desta energia, empregada em atividades não produtivas no sentido do desenvolvimento econômico, é irrecuperavelmente dissipada na forma de entropia. Esta energia é perdida, geralmente na forma de calor, conflitos, atividades inúteis ou prejudiciais para a reprodução, ou na forma de dejetos para o ambiente. Em sistemas sociais a exacerbada burocracia é um exemplo típico de atividade entrópica, ou guerras como forma de *exportar* entropia social ou econômica para outros países.

Pode parecer então que a entropia precisa ser eliminada e que prejudica o desenvolvimento, mas na realidade, por mais que isso possa parecer contraditório, a entropia é absolutamente necessária para compensar a *inércia estrutural da organização interna* do sistema. Somente assim, o sistema é capaz de utilizar o restante para o trabalho.

Assim, por mais que a entropia seja inevitável e necessária, ela deve ser *mantida no menor nível possível em relação à quantidade de energia aproveitada para a atividade reprodutiva* do sistema.

Percebe-se que tudo aquilo que tiramos da natureza para garantir nossa sobrevivência não é grátis, uma parte dos recursos energéticos e/ou materiais precisam ser usadas para a superação de resistências estruturais, que podem ser materiais, econômicas, políticas, culturais etc. O que importa é a *relação* entre a quantidade do trabalho realizado para a reprodução e a energia dissipada. Sistemas inflexíveis requerem mais energia para vencer sua inércia estrutural e tem dificuldades de adaptar-se à mudanças do ambiente, e geralmente são condenadas ao desaparecimento no decorrer da evolução.

Emergência e Entropia

Um problema preocupava os cientistas por muito tempo: se a lei da entropia prevê que o Universo tende para a morte termodinâmica, como é possível que a evolução do Universo produz estruturas cada vez mais complexas? Será que a lei da Entropia estaria em contradição com a evolução?

A termodinâmica clássica do século XIX já descreve a irreversibilidade como condição necessária, mas não suficiente, para que haja evolução, porque ela somente concebe uma evolução linear em direção a um ponto de equilíbrio. A termodinâmica de não equilíbrio, baseado principalmente nos trabalhos de I. Prigogine solucionou este problema fazendo distinção entre a produção interna de entropia de um sistema e o fluxo externo de entropia trocado entre sistemas abertos (FENZL, N. 1987)

A termodinâmica clássica ensina que a temperatura do Universo tende á um equilíbrio térmico. Uma experiência simples demonstra este processo: Um sistema de dois balões comunicantes (A-B), contendo gases de temperaturas diferentes $A(T_a) \neq B(T_b)$ é isolado termicamente. Após um determinado tempo (t) instala-se um

equilíbrio térmico entre os dois balões ($T_a = T_b$) e o sistema (A-B) estará num estado de *entropia máxima* que corresponde a um estado de desordem máximo. Isto significa que se o Universo for considerado um único e simples sistema isolado, será, portanto incapaz de produzir ordem e, portanto de evoluir.

No entanto, se este sistema (A-B) for aberto e desprovido do seu isolamento térmico, a instalação do equilíbrio térmico interno se torna improvável, já que as variações de temperatura externas tiram o sistema constantemente do seu caminho para um estado de equilíbrio.

Prigogine explica este fenômeno da seguinte maneira. O Universo, mesmo se for considerado um sistema isolado, os seus subsistemas são abertos e em comunicação universal.

Em sistemas isolados a entropia somente descreve um fenômeno *interno* do sistema e não diz nada sobre os fluxos de entropia que perpassam os sistemas abertos como resultado de suas relações com seu ambiente. Enquanto a entropia de um sistema isolado é sempre positiva com tendência a zero, os fluxos de entropia entre sistemas abertos podem assumir tanto valores positivos como negativos (PRIGOGINE, I., STENGERS, I., 1984).

Ebert (1974) diz em relação a este fenômeno: “o surgimento de novas formas e estruturas no universo acontece não *apesar*, mas sim, *em consequência* da segunda lei da termodinâmica”.

Dos trabalhos de Prigogine (1984) podemos concluir que enquanto houver intercâmbio energético entre os sistemas abertos, a 2ª Lei da termodinâmica não está em contradição com a permanente criação de ordem (emergência de novas estruturas) no Universo. Ordem e desordem são partes indivisíveis do mesmo processo do desenvolvimento de sistemas que só excepcionalmente podem assumir condições de equilíbrio.

Energia e Trabalho

Para entender o papel da termodinâmica nos processos de emergência e evolução de sistemas complexos é importante definir os conceitos de energia, calor e trabalho diretamente ligados ao problema da entropia.

Vejamos algumas definições de energia e trabalho usadas na física clássica, (KUCHLING,1981):

- *Trabalho* é definido como força aplicada a um corpo numa determinada distância (em $\text{kg.m}^2/\text{s}^2$, Joule);

- *Energia* é definida como *capacidade de um corpo de produzir trabalho* ou às vezes como *trabalho armazenado*.

Trabalho e energia são considerados equivalentes e expressos nas mesmas unidades.

Resumindo podemos dizer que a Energia é definida tanto (i) como uma *propriedade inerente* aos corpos físicos, tanto (ii) como *fenômeno que incide* (atua) sobre os mesmos. Esta aparente contradição torna-se evidente quando analisamos as definições das principais formas de energia da mecânica clássica:

- A *Energia potencial*, ou *energia de repouso* de um corpo:

$$W_p = mg.h$$

Sendo:

m=massa do corpo,

h=distância entre o corpo e a superfície terrestre, e

g=9,81 m/s^2 .

Aqui a contradição reside no fato de que W_p é definida como *qualidade* característica do corpo específico, mesmo sabendo que W_p é o resultado da atração (a força de gravitação) entre o corpo considerado e a Terra, ou seja, resultado de uma *força externa* aplicada ao corpo considerado.

- A *Energia cinética* (W_c), a *energia de movimento* de um corpo:

$$W_c = mv^2/2$$

Sendo:

m = massa do corpo e

v = a velocidade.

Tradicionalmente a física nos ensina que para movimentar um corpo com uma determinada energia potencial (W_p), deve-se aplicar um trabalho mecânico nele que é *armazenado* no corpo sob forma de energia cinética (W_c). Portanto, (W_c) também pode ser visto como uma energia que *vem de fora* do corpo considerado, que é armazenado nele durante o movimento (um certo tempo) e é liberado na hora em que cessa o movimento do corpo.

As noções de energia e trabalho manifestam, portanto um caráter nitidamente ambíguo:

a) Energia e Trabalho definem-se de um lado como *características inerentes* aos corpos, objetos e sistemas;

b) Por outro lado, Energia e Trabalho são sempre *assimilados, recebidos, armazenados ou liberados* etc.

Em outras palavras, os dois conceitos descrevem um fenômeno que não pode ser deduzido exclusivamente (e de maneira direta) da estrutura material dos objetos (ou corpos) considerados.

Movimento, Caos e Ordem

Esta contradição nas definições de energia e trabalho se resolve na medida em que se analisam estes conceitos na luz da termodinâmica moderna.

Os trabalhos do físico inglês Atkins (1986) oferecem as seguintes definições: tanto o Trabalho, como o Calor são formas (ou métodos) de *transporte de energia* de um sistema para outro. Em outras palavras:

- *Calor* é considerado uma *forma não-organizada de transporte de energia* na qual um movimento incoerente (caótico) é transmitido para um sistema e se propaga dentro dele;

- *Trabalho* é considerado como uma *forma organizada de transporte de energia* na qual um movimento coerente é transferido de um ambiente para um sistema, ou de um sistema para outro. Os elementos do sistema receptor assumem este movimento, podendo, entretanto transformá-lo novamente em movimento térmico (incoerente).

Assim, podemos resumir:

Trabalho = Coerência = Ordem.

Calor = Incoerência = Caos.

Visto por este ângulo, o fluxo do calor de um ponto mais quente para o ponto mais frio do Universo se torna uma condição básica para a realização de trabalho.

Da discussão precedente concluímos que energia é de certa maneira um “meta-conceito” que abrange dois aspectos assimétricos entre si, o calor que corresponde a um movimento caótico e o trabalho que produz coerência, ordem e estrutura.

Stonier (1990), por exemplo, enfatiza o antagonismo entre calor e trabalho da seguinte maneira: „... contrariamente ao calor, o trabalho é caracterizado pela organização e estrutura no espaço-tempo.

“Atkins (1986) afirma que “... na natureza, trabalho e calor são equivalentes enquanto formas de energia...”.

Assim, chegamos a seguinte conclusão: Energia é todo e qualquer tipo de movimento que modifica a relação entre os elementos de um sistema. Ou, em outras palavras: Energia é massa em movimento.

Energia é o fenômeno que modifica o movimento dos elementos de um sistema (microestado), independentemente se este movimento se manifesta de forma coerente ou incoerente em relação à estrutura (dimensão mesoscópica) do mesmo.

Vejamos as implicações de esta definição através de um exemplo:

A inércia estrutural de um sistema se opõe em princípio a todo tipo de transformação imposta por um ambiente em transformação permanente. Como a inércia estrutural é uma característica intrínseca

de todo sistema, a estrutura é, portanto, o fator que conserva a identidade do sistema.

Por outro lado, para manter sua identidade o sistema é obrigado a reorganizar e adaptar permanentemente seu espaço microscópico interno a todas as modificações externas.

Isto parece contraditório, porque em última instância significa que a estabilidade de um sistema somente pode ser garantida através de sua capacidade de desestabilização de sua organização estrutural. Mas é justamente o antagonismo entre conservação e mudança que é a base da capacidade evolutiva dos sistemas complexos.

Aborda-se aqui um aspecto fundamental para a evolução que podemos resumir da seguinte maneira:

O ambiente de um sistema (dimensão macroscópica) em permanente transformação exige da estrutura (dimensão mesoscópica) do sistema uma resposta que dependerá do modo de organização e da inércia estrutural do mesmo. Esta resposta somente pode ser dada na medida em que o sistema for capaz de reorganizar seus elementos (dimensão microscópica) sem perder a coerência que garante o estado estacionário de sua estrutura. Como o micro-espaco do sistema reage as modificações externas não pode ser previsto com precisão porque o numero de fatores que definem a reação é praticamente infinita, a relação entre os elementos e a estrutura geral do sistema é de natureza estatística. Isto significa que mesmo se as mudanças dos parâmetros macroscópicos no entorno do sistema sejam conhecidas, as reações microscópicas a estas mudanças não podem ser previstas com determinação. Esta incerteza define em última instância o grau de liberdade e a capacidade de auto-organização de um sistema complexo.

A Evolução de sistemas complexos

Um novo sistema pode surgir sem que isto necessariamente garanta a *evolução* do mesmo. Para que haja evolução de um sistema

emergente pelo menos três condições básicas precisam ser cumpridas: *irreversibilidade, probabilidade* e surgimento de uma *nova qualidade*.¹²

A irreversibilidade

O surgimento de novas estruturas pode ser entendido como uma *quebra da simetria* entre passado e futuro. Por exemplo, uma reação química, embora que seja irreversível termina num estado de equilíbrio que não representa uma evolução. Assim, em princípio, podemos afirmar que a evolução é em primeiro lugar o desenvolvimento de uma assimetria (WEHRT, 1974).

De fato, todas as experiências humanas são marcadas por processos irreversíveis. É notável que o formalismo cartesiano que descreve o universo como um imenso relógio, composto de peças e movimentos mecânicos reversíveis, consegue manter-se durante quatro séculos apesar deste fato. O motivo reside no poder da lógica formal da matemática. Embora Clausius já tenha introduzido a irreversibilidade nas ciências naturais através da entropia, as conseqüências teóricas do reconhecimento da segunda lei da termodinâmica foram deixadas de lado por muito tempo. EBELING (1994) dá um exemplo para uma definição matemática da irreversibilidade: imaginamos um processo que é filmado, registrando uma série temporal de eventos. Em seguida o filme é projetado ao inverso, do fim ao início, fazendo a mesma seqüência de medidas. Caso os resultados das duas seqüências de medidas são iguais, o processo filmado é reversível. Se medições são diferentes, o processo é irreversível.

A probabilidade

A probabilidade é uma primeira conseqüência da irreversibilidade. Quando o futuro de um processo não pode ser deduzido diretamente a partir das condições iniciais definidas, então o resultado esperado

¹² Trata-se aqui das condições básicas válidas para que um sistema complexo possa evoluir. Entretanto, em sistemas biológicos ou sociais outras características adicionais podem ser importantes.

não é *determinado*, senão é *provável*. Isto significa que, ao longo de um processo de evolução, sempre só aparecem condições *estatisticamente possíveis*. Em contraposição a isto, por exemplo, o lançamento mecânico de uma pedra pode ser calculado precisamente e o ponto e o momento da queda podem ser determinados com precisão. A probabilidade é o resultado da relação estatística entre as três dimensões (micro, meso e macro) que compõem um sistema complexo.

A probabilidade é uma outra condição para que uma transformação possa de fato vir a ser um processo evolutivo, visto que se o futuro pudesse ser deduzido inteiramente a partir dos parâmetros do presente, a existência da sociedade humana poderia ser deduzida logicamente a partir das primeiras moléculas orgânicas.

Assim, processos evolutivos nunca são *ou necessários ou casuais*. A evolução percorre o caminho do meio estatístico, onde a *realidade imposta* e a *atualidade auto-determinada* se complementam de tal maneira, que em última instância tanto o sistema como seu ambiente acabam transformando-se mutuamente e permanentemente.

No presente, o passado é superado como *necessidade* e forma os parâmetros para o futuro, que é contido no presente como *probabilidade*.

Para evitar a confusão entre probabilidade e acaso, uma citação de Rosenfeld (1953): “Probabilidade não é o acaso sem regras, senão exatamente o contrário: que há regras no acaso. Uma lei estatística é uma lei, uma expressão de uma regulamentação, ou seja, um instrumento de prognóstico; a diferença é que não é uma lei mecânica”.

A Nova Qualidade

O surgimento de uma nova qualidade é a condição mais importante para que haja um processo de evolução. Desde os trabalhos de Darwin, considera-se que a evolução somente ocorre, quando um evento torna-se *ponto de partida de uma nova qualidade*, ou como diz Prigogine, quando surge uma nova *coerência global*... (I.PRIGOGINE & I.STENGERS, 1993)

Portanto, não basta que um processo ocorra de maneira irreversível e que o seu futuro não seja pré-determinado. O *novo* emergente deve constituir uma *nova qualidade* de desenvolvimento.

Por exemplo, si o sistema considerado for uma nação, o nascimento de uma criança não constitui por si só uma nova qualidade. Entretanto, si o sistema em questão for a família, o recém-nascido pode ser considerado ponto de partida de uma nova qualidade para esta família.

Da mesma maneira, o surgimento de uma organização política, econômica ou religiosa pode configurar uma nova qualidade de organização na medida em que for capaz de impor novos rumos à evolução da sociedade em questão.

Outro exemplo bastante ilustrativo da biologia é do surgimento de um fungo, chamado *Dictyostelium discoideum*. Em certas condições (p.ex. stress nutritivo, etc.) seres unicelulares, sem ligação e conexão aparente, se juntam em grande número para formar um *único indivíduo*, o *Dictyostelium*, constituindo uma nova qualidade de organização. Desta maneira, os seres individuais acabam de garantir a sobrevivência de sua espécie através de um processo de cooperação.

Finalmente um exemplo da física é o surgimento do núcleo do Hidrogênio, porque ele deu início à evolução de todos os outros elementos químicos que conhecemos.

Este exemplo demonstra que a coerência emergente de células individuais se traduz em *nova qualidade* no momento em que ela engendra um *acontecimento coletivo*.

Laboratório e Natureza

Os critérios que definem um processo evolutivo nos levam a fazer as seguintes perguntas:

Há processos realmente reversíveis na natureza?

Em caso positivo, quais são as relações entre reversibilidade, irreversibilidade e o surgimento de novas qualidades nos processos que regem o nosso ambiente natural, social e econômico?

Observando os processos de transformação da natureza que nos rodeiam, poderíamos até concluir que a reversibilidade é simplesmente um produto da abstração dos nossos métodos empíricos. Entretanto, parece que a resposta não é tão simples.

Observamos um ecossistema aquático, por exemplo, um pequeno lago e estudamos as mudanças físico-químicas e bioquímicas que ocorrem quando a água congela durante o inverno e descongela durante a primavera.

Na primeira experiência, tomamos uma amostra do lago e congelamos a água no laboratório. Sabemos que teoricamente a transformação de água para gelo e do gelo para água, é um processo reversível. Entretanto, para garantir que o gelo volta a ser realmente a *mesma* água em *quantidade e qualidade*, é preciso *isolar a amostra* de tal maneira que não haja nenhum tipo de interferência externa que possa modificar a composição química da água e perturbar a reversibilidade do processo. Em outras palavras, o processo somente será reversível se sistema (a amostra de água) for fechado.

Observamos o mesmo processo em condições naturais.

Medimos os parâmetros iniciais da água do lago (condutividade, pH etc.) *antes* do primeiro congelamento na chegada do inverno. Meses mais tarde, na primavera, logo após o primeiro descongelamento do lago, *medimos os mesmos parâmetros* e constataremos que os valores não são mais exatamente idênticos aos resultados das medidas feitas no início do inverno.

Este resultado evidentemente não surpreende: a quantidade e a qualidade da água são diretamente ligadas à história do ecossistema *lago* como um todo, que nasceu num passado geológico e desaparecerá novamente no futuro. Assim ele muda de ano a ano em vários aspectos: o volume se altera devido às variações climáticas, a composição química se modifica devido às variações de temperatura do ambiente e as trocas químicas com a atmosfera, biosfera e geosfera e levam a alterações das forças iônicas, da solubilidade e outras. E, finalmente, quando

observamos o ambiente relevante do corpo de água do lago, registramos que o substrato geológico na área de influência do lençol freático do lago e os organismos que nele vivem também são influenciados de maneira irreversível, pelo congelamento e descongelamento do lago e pelas variações climáticas.

O que é diferente entre a observação no laboratório e em condições naturais?

No primeiro experimento, isolamos uma parte do ecossistema (a amostra de água) num sistema **fechado**, eliminando a troca de matéria e se permite ao sistema apenas a troca de energia em forma de calor. Assim se interrompe a relação direta e ativa entre a água do lago e seu ambiente relevante (atmosfera, e o entorno bio-geológico do lago). O caminho da água para gelo e a volta para água é assim determinado somente pelas *alterações das ligações entre as moléculas*, portanto por modificações no nível microscópico da água. Como uma molécula de H_2O não sofre modificações estruturais na passagem de água ou gelo, a reversibilidade do processo no descongelamento será garantida nestas condições de laboratório.

No segundo experimento, o sistema é **aberto** e o ambiente relevante (campo de interação) está participando ativamente no processo, garantindo uma *interação* permanente entre a atmosfera, o substrato biogeoquímico, etc. e as moléculas de água. Com isto os *processos microscópicos* e a *interferência macroscópica* se sobrepõem durante o processo de congelamento e descongelamento e o resultado desta sobreposição se torna *imprevisível*.

Também neste segundo caso, as moléculas de água permanecem inalteradas pelo processo, no entanto, não determinam sozinho o resultado. Através da abertura do sistema são acrescentados fatores que freiam o efeito de reversibilidade que ocorre ao nível microscópico, impedindo que o sistema retorne a seu estado de partida.

Esta interação entre as dimensões micro – e macroscópicas, explica a irreversibilidade dos processos de transformação em

sistemas abertos. Desta forma torna-se altamente improvável que o sistema encontre sua situação de origem e o seu futuro se torne uma probabilidade. Tudo indica que na evolução a reversibilidade e irreversibilidade sempre co-existem e se condicionam mutuamente. Quanto mais fechado um sistema, tanto mais dominante é sua capacidade de voltar ao seu ponto de origem.

Agora surge a pergunta: quando a nova qualidade do ecossistema lago se torna de fato visível ?

Uma experiência teórica pode dar uma resposta. Se filmássemos o lago durante décadas, poderíamos documentar sua transformação desde seu surgimento até seu desaparecimento. Observando o filme em câmera acelerada, poderíamos verificar, por exemplo, que depois de certo tempo aparecem os primeiros traços de um pântano. Mais tarde, aparecem as primeiras cenas onde podemos observar nitidamente um pântano. Isto é a nova qualidade do ecossistema observado. Assim, a nova qualidade surge quando, após um período normalmente longo, pequenas transformações irreversíveis das micro-condições, levam a mudanças macroscópicas do sistema.

Na geologia, tais transformações são geralmente descritas como *fases de transição* e são um elemento importante na divisão dos períodos geológicos. Típico para estas transições é a relativa rapidez com que elas ocorrem. Um lago pode viver por séculos, quando entra numa fase de assoreamento ele seca geralmente em poucos anos.

Atualidade, Realidade e Liberdade

Introdução

Todos os sistemas complexos são produto de um processo evolutivo universal e inevitavelmente inseridos no conjunto das leis e princípios que regem o Universo. Apesar de nós vivermos esta realidade de acordo com nossas especificidades e nosso tipo de auto-organização, há uma *coerência de princípio* entre aquilo que percebemos e podemos transformar e modificar. (a realidade subjetiva) e aquilo que acontece

na nossa sociedade, na Terra e no Universo sem nosso conhecimento e sem nossa contribuição (a chamada realidade objetiva). Se não fosse assim, não seríamos capazes de comunicar-nos com o mundo que nos rodeia e certamente não teríamos chegado até o estado atual de desenvolvimento. Isto, obviamente não exclui a possibilidade de que a humanidade se revela no futuro como *turbulência* na evolução geral do Universo e desapareça sem deixar traços. Entretanto, até o momento ainda estamos vivos.

Esta coerência de princípio não é uma qualidade exclusiva dos seres humanos. Todos os sistemas complexos são obrigados de manter esta coerência de princípio com seu ambiente relevante para poder manter-se num estado estacionário. Então, o que significa *realidade objetiva* para sistemas complexos? Como estes sistemas se relacionam com a *realidade* do seu entorno? E que significa *realidade subjetiva* para um sistema complexo? Quando e em que condições um sistema complexo é *objeto* e quando é *sujeito*? A questão portanto é: o que é a *realidade objetiva* e *subjetiva* para um sistema complexo? Um sistema complexo pode ser sujeito? E em caso afirmativo, quem é o objeto?

Objeto e Sujeito em sistemas complexos

Voltamos ao conceito de campo de interação. Um sistema aberto *existe enquanto reflete a si mesmo* através do seu campo de interação. Esta *refletividade* é de maior importância para a evolução da espécie humana e dos sistemas complexos em geral e pode ser considerado um aspecto de *subjetividade* na relação entre a estrutura e o ambiente relevante.¹³

Sabemos que, apesar do campo de interação ser parte do sistema, este é igualmente configurado, em diversos graus de intensidade, por outros co-sistemas, acontecimentos e eventos do seu entorno. Assim, um sistema aberto não somente impõe sua influência ao seu ambiente

¹³ É esta refletividade que é a base do desenvolvimento da espécie humana. O salto de qualidade na maneira como os primeiros humanoídes se enfrentavam com o ambiente natural e o processo de aprendizagem pode ser comparado a um espelho em que os humanos começaram a identificar sua própria imagem.

relevante, mas ao mesmo tempo, sempre sofre também a influencia de processos externos. Desta maneira, o sistema precisa sustentar um permanente *feedback* entre estrutura e campo de interação, para manter a capacidade de adaptação às modificações do ambiente.

Esta capacidade de adaptação depende do tipo de organização e coesão estrutural e tem, portanto, limitações objetivas impostas pela inércia estrutural, uma característica fundamental de todo sistema. Entretanto, dentro destas limitações, a organização estrutural é capaz de configurar seu campo de interação de acordo com as necessidades de manutenção da própria coerência interna e de seu metabolismo. Esta capacidade de adaptação interna define o grau de *liberdade* de um sistema. O conjunto das modificações causadas no campo de interação dentro desta faixa de possibilidades é chamado de **atualidade** (do verbo *atuar* e em inglês *act e actuality*) do sistema; que possui um **componente subjetivo**, na medida em que é relacionado ao grau de liberdade e ao tipo específico de **auto-organização** do sistema.

Além dos limites do seu campo de interação, no ambiente externo do sistema, o sistema perde sua capacidade de intervenção e, portanto sua *liberdade*.

Por outro lado, todos os fatores e parâmetros que o sistema não pode influenciar, são chamados **realidade** do sistema. A realidade é um conceito ligado à idéia do *absoluto*, oriundo da palavra *real*, descrevendo tudo aquilo que é *determinado pelo rei, a lei e o inevitável*. Neste caso trata-se de um conceito com um **componente objetivo**, no sentido que a realidade tem características que são impostas a cada sistema e descrevem o mundo da necessidade.

Como exemplo podemos mencionar nossa própria vida. Apesar das liberdades que cada indivíduo tem para organizar sua vida, nos não podemos escolher a época, o lugar do nosso nascimento, nem nossos pais ou nossa cultura. Isto são fatores *determinados* e constituem nossa *realidade*. Dentro dela seremos capazes de construir nossa *atualidade* de acordo com nossos graus de *liberdade*.

A teoria do conhecimento distingue geralmente entre a atualidade que descreve *manifestações e fenômenos* e a realidade que descreve *o objeto em si*. Na literatura anglo-saxônica a distinção é feita entre *actuality* e *reality* (EBELING, 1994).

Conclusão

Todo sistema complexo possui uma dimensão auto-determinada e auto-organizada, *subjetiva*, e uma dimensão pré-determinada *objetiva*, que não pode influenciar e modificar.

Exemplos:

a) O sistema solar é composto por matéria cósmica e formou-se dentro de um conjunto de leis que determinam sua evolução. Entretanto, por menor que seja nosso sistema solar em relação ao Universo, o seu surgimento deu início a uma cadeia de processos que não são consequência direta das regras que configuraram seu surgimento. Assim, nosso sistema solar acabou modificando irreversivelmente a galáxia a partir da qual ele se formou;

b) A Terra, um sistema fechado que somente troca *energia* com nosso sistema solar, é composta por inúmeros sistemas complexos abertos (ecossistemas, e a sociedade humana) que trocam *energia e matéria* entre si. Tomamos o exemplo da relação entre a litosfera e a biosfera. O *campo de emergência* das primeiras estruturas orgânicas era a litosfera inorgânica, que determinava os parâmetros para as novas estruturas orgânicas emergentes. Estas estruturas orgânicas se desenvolveram criando um *campo de interação* que hoje engloba os solos, partes da hidrosfera, atmosfera e mesmo a litosfera que é constituída em parte por rochas de origem orgânica.

Podemos então comparar os sistemas complexos com *ilhas de autodeterminação* num *mar de determinação*.

Em vistas a estas considerações, o problema objeto - sujeito pode ser resumido da seguinte maneira:

a) O sistema complexo é *sujeito* na medida em que possui a liberdade de controlar certos parâmetros do seu ambiente relevante e onde ele transforma e reorganiza seu campo de interação de acordo com suas necessidades de manutenção e reprodução de sua coerência estrutural;

b) O sistema é *objeto* na dimensão na qual ele é *determinado e controlado* por parâmetros impostos que não pode influenciar;

c) Numa rede de sistemas com diferentes graus de complexidade, aqueles que possuem campos de interação mais potentes têm maior espaço para autodeterminação e liberdades dentro da rede.

Allopoiésis e Autopoiésis

De um modo geral distinguimos entre sistemas ou processos *allopoiéticos* e *autopoiéticos*.

Um processo *allopoiético* produz *outra coisa que os componentes de sua organização*. Uma máquina destinada a realizar um determinado trabalho é *allopoiética* porque não realiza trabalho para reconstituir seus próprios componentes. Uma linha de montagem de carros é um sistema *allopoiético* na medida em que ela produz carros e não as próprias máquinas que compõem a linha de montagem.

Por outro lado, um processo é *autopoiético* quando ele *produz os componentes de sua própria organização*. Assim, geralmente os sistemas biológicos podem ser considerados *autopoiéticos*. Um sistema *autopoiético* possui, portanto uma organização autônoma, capaz de manter-se a si mesmo. Ao contrário, a *reprodução* de um organismo biológico é considerada um processo *allopoiético* na medida em que os filhos são diferentes dos órgãos dos pais. Assim, é preciso distinguir entre reprodução e Autopoiésis (KRIPPENDORFF, 2009).

As bases teóricas da Autopoiésis

O conceito *autopoiésis* foi criado por Humberto Maturana em 1972 e teve uma grande influência nas discussões em torno da questão da auto-organização dos sistemas complexos. A palavra é composta de *auto* que significa (por si) próprio e *poiein* (grego) que significa fazer. Maturana e Varela sugerem que os sistemas biológicos devem ser interpretados á partir de uma perspectiva autopoiética. Com este conceito o autor pretende descrever a autonomia da organização interna dos sistemas vivos (MATURANA e VARELA, 1980)

A parte central desta teoria é constituída pela idéia da *auto-reflexividade* que foi interpretada como uma variação biológica da chamada teoria de *bootstrap* formulada por Chew (1968) e Fischer (1993).¹⁴ Maturana e Varela (1980) deixam claro, que suas reflexões teóricas são influenciadas pelo idealismo de G.Berkley, assim como pelos trabalhos de Schopenhauer e de Nietsche. Maturana e Varela (1980) enfrentam a problemática relação entre o observador (sujeito), o observado (objeto) e o processo da observação, na medida em que eles tentam integrar o observador no processo de análise. Desta forma eles querem resolver o problema que decorre do fato que a perspectiva do observador, por ser orientada para um determinado objetivo, sempre encobre as verdadeiras premissas funcionais do sistema observado.

Os autores consideram, com razão, que a observação é sempre condicionada por uma formação de conceitos de caráter teleonômico.

Por exemplo, a afirmação *o pássaro tem asas para voar* pode ser analisada de um ponto de vista *teleológico* se consideramos que a finalidade de voar é a causa da existência das asas. Por outro lado, a interpretação é *teleonômica* se podemos explicar a existência das asas através da razão *porque* o pássaro quer voar.

Para evitar este dilema, Maturana e Varela (1980) concentraram suas atenções sobre o mecanismo do processo de cognição.

¹⁴ *Bootstrap* significa cadarço e Chew utilizou a metáfora para descrever a relação entre estrutura e função em partículas subatômicas, reforçando a idéia que estruturas *produzem* suas próprias funções e vice-versa.

As bases empíricas do conceito

As idéias que levaram os autores ao conceito de Autopoiésis datam da década dos anos 60 no decorrer de pesquisas realizadas sobre a visão e a retina de primatas. Eles descobriram que o estímulo causado pela luz incidente sobre as células nervosas do olho não provoca nenhuma reação nas células do sistema nervoso central. Assim, eles deduziram que não há correlação claramente definida entre *estímulo externo* (a luz incidente) e a *codificação interna* (formação da imagem na mente). Entretanto, eles descobriram que há uma correlação direta entre a *atividade interna* da retina e a *codificação verbal* (a interpretação) que também é uma atividade interna dos neurônios. Estas pesquisas levaram os autores á formulação da teoria de que os sistemas vivos são autopoiéticamente fechados (FISCHER, 1993).

O conceito de Autopoiésis contém cinco pontos básicos:

1. Conhecimento e observação. O aspecto central da teoria é a tentativa de explicar o processo de cognição. Os autores incluem o observador como elemento ativo neste processo e negam radicalmente o papel passivo e objetivo do observador. A Autopoiésis entende que a cognição é um processo interativo no qual o observador influi sobre o observado. A separação tradicional entre objeto e sujeito ou entre realidade e consciência se tornam nesta teoria uma construção do observador. A cognição é considerada assim um processo interativo entre o sujeito observador e o objeto observado;

Maturana e Varela (1987) sustentam o *caráter construtivista* de sua teoria na medida em que afirmam: *Todo fazer é conhecer e todo conhecer é fazer*. Como o idioma é considerado uma atividade biológica e, portanto, um *fazer*, se torna claro porque a comunicação verbal assume um papel central nesta teoria.

Partindo do fato que somente *diferenças* podem ser percebidas, os autores chegam à conclusão de que a cognição é o resultado de diferenças e a última referência de toda descrição somente pode ser o próprio observador que registra estas diferenças;

2. A vida como processo autopoietico. Organismos são sistemas capazes de produzir suas próprias partes. O exemplo citado é a célula com seu metabolismo, que produz partes essenciais de sua estrutura, tais como o núcleo e a membrana celular, cuja função é delimitar o espaço externo e interno do sistema. Em outras palavras, a membrana produz a unidade espacial da célula e a célula produz a membrana. Assim, a organização autopoietica de um sistema se sustenta, reproduzindo de maneira recursiva sua própria organização.¹⁵ Desta maneira percebe-se a razão porque os trabalhos de Maturana e Varela (1980, 1982, 1987) tiveram tanta influência na teoria de sistemas e do princípio de auto-organização.

Esta forma de auto-reprodução não deve ser confundida com o processo da replicação genética, que é considerado allopoiético;

3. A auto-organização. Em princípio as posições de Maturana e Varela (1980, 1987) são amplamente conhecidas: a organização (de *organon*, grego, ferramenta) de um sistema é o conjunto das relações entre os elementos necessários para a sustentação do mesmo. Maturana (1987) afirma a respeito: *a identidade de um sistema é determinada por sua organização e esta se mantém inalterada enquanto a organização não se modifica*. Assim, o caráter de um sistema é determinado por sua organização. Desta maneira a organização e a função das partes são diretamente relacionadas e mantêm a unidade do sistema.

Para Maturana (1980) a estrutura de um sistema designa os aspectos materiais da coesão dos seus elementos. Em outras palavras, a organização define as fronteiras e a identidade de um sistema. Isto é possível também quando há modificações estruturais. Fischer explica isto da seguinte maneira: *a organização de um sistema autopoietico configura o espaço das possibilidades dentro da qual a estrutura pode mudar sem que haja perda de identidade* (FISCHER, 1993);

4. Operacionalmente fechado e metabolicamente aberto. Esta é a característica básica de um sistema autopoietico. É a organização

¹⁵ Recursivo: Propriedade daquilo que se pode repetir indefinidamente

que se organiza a si mesma. Esta característica Maturana (1987) chama de *auto-referência básica* descrevendo com este conceito uma forma de organização circular, que permanentemente reage a si mesmo. Este fechamento operacional também é chamado de autonomia. Então, um sistema autopoietico tem necessariamente um comportamento autônomo, o que não significa que todo sistema autônomo seja obrigatoriamente autopoietico.

Na realidade, esta concepção teórica se aplica a todos os sistemas ditos vivos que são considerados *abertos do ponto de vista do fluxo energético* (metabolismo) e *fechados do ponto de vista de sua organização*. A troca de energia é assim a única relação deste sistema com seu ambiente;

5. A cognição. Para Maturana, o fato de um sistema autopoietico ser operacionalmente fechado é uma condição básica para o fenômeno da cognição. Assim, estes sistemas não recebem informações do ambiente, ou seja, são fechados cognitivamente, o que significa que sistemas autopoietico recebem todo estímulo externo como perturbação que é *digerida* de acordo suas próprias leis internas que decorrem da sua forma de organização.

A consequência radical desta teoria é que os sistemas vivos não reproduzem internamente uma imagem do mundo externo, senão produzem sua própria realidade de acordo com os determinantes de sua estrutura.

Autopoiésis e a teoria de sistemas

Há muitos aspectos novos e interessantes nesta teoria. Entretanto, levada às últimas consequências, ela precisa ser usada com cautela. Por exemplo, Maturana (1987) chega a afirmar que *o que a gente não pode ver, não existe* e até parece que os autores abandonaram qualquer possibilidade de poder conhecer a realidade sobre o universo que nos rodeia.

Em primeiro lugar é importante ver esta teoria como uma resposta radical ao realismo ingênuo que por muito tempo dominou

as ciências chamadas progressistas. Uma interpretação positivista da dialética levou muitos autores á achar que nossos conhecimentos e nossa consciência são simplesmente resultados de um *reflexo interno*, um espelho, da chamada *realidade externa*.

Parece que as interpretações teóricas do mundo sempre avançam pulando de uma posição extrema para outra. Isto pode ser uma necessidade para romper com a inércia da tradição. Entretanto, a história caminha aparentemente no trilho da média estatística, ou seja, muitas vezes é aconselhado de basear nossa razão científica no chamado *bom senso*. A evolução do universo existia antes do nosso tempo e nos mesmos somos produtos deste processo. Toda nossa busca permanente de conhecimento é em última instância a tentativa incessante de entender a evolução, e para isso temos que reconhecer a existência de um mundo material que se transforma independentemente da nossa consciência e percepção. Entretanto, este mundo material, do qual fazemos parte, é permanentemente transformado, na medida em que tentamos desvendar seus segredos e intervir nele. Assim, nossa consciência tem de fato um lado autopoietico, na medida em que temos certa liberdade de produzir nosso próprio ambiente e criar nossa atualidade. Por outro lado, esta liberdade é limitada concretamente por uma série de parâmetros impostos pelo mundo material e é justamente nesta fronteira que é gerado nosso conhecimento.

Em outras palavras, os seres humanos se comunicam porque tem experiências semelhantes e compatíveis entre si, e porque são produtos do mesmo processo de evolução. Assim, se bem que cada indivíduo produz sua forma individual de ver o mundo, *sua verdade*, a matriz de todas as “verdades” individuais é a mesma.

Visto desta maneira, parece que nem o realismo ingênuo e nem o construtivismo biológico radical, são capazes de dar uma resposta satisfatória ao problema central da teoria de conhecimento: a relação entre *ser e pensar*.

A Autopoiésis fornece aspectos importantes para a compreensão dos sistemas complexo quando depurada do seu radicalismo construtivista. Neste sentido podemos afirmar que sistemas biológicos, mesmo *fechados do ponto de vista de sua organização* estrutural, seu metabolismo energético é aberto e permite a troca de informações com o seu ambiente. O metabolismo energético é um processo de maior importância para a sustentação da auto-organização de *todos os sistemas complexos*, não somente dos sistemas vivos, porque ele representa a base da troca de informações entre sistema e ambiente, ou entre sistemas de um modo geral. É a maneira *como* este metabolismo funciona que determina como sistemas decodificam os sinais do seu entorno e os organizam em informações relevantes para sua organização interna. Assim, apesar do *fechamento organizacional a realidade é uma construção coletiva* baseada na troca de informação entre os sistemas abertos e certamente não somente um produto da percepção *individual* de cada sistema (FENZL, 1997) .

A evolução da matéria

Para a teoria de sistemas a evolução é um processo universal e não começou simplesmente a partir do surgimento de sistemas orgânicos na Terra. Mesmo se há diferenças qualitativas entre sistemas complexos orgânicos e inorgânicos, os princípios básicos que definem um processo evolutivo são válidos para todos os sistemas complexos.

Por esta razão vale a pena mencionar neste contexto o conhecimento atual sobre as primeiras etapas da evolução do Universo, o que nos permite entender a evolução das estruturas materiais complexos de um modo geral.

A evolução do Universo é estudada á partir da distribuição da radiação e das diversas formas e estruturas materiais que podemos observar. Assim, a radiação é para o astrofísico o que são os fósseis para o geólogo: vestígios do passado que permitem reconstituir a história do Universo ou do planeta. Em termos físicos a evolução da matéria

pode ser considerada um processo de mudanças de fases, comparável à condensação de vapor para líquido e sólido.

Partimos das leis básicas da física que são fundamentadas nos princípios de *simetria* e nos princípios de *conservação*.

De ambos os princípios decorre uma série de leis amplamente conhecidas, por exemplo, a lei da conservação de energia, a lei da simetria das cargas elétricas (conservação da carga), simetria entre matéria e anti-matéria (conservação do número de bárions), simetria ótica (conservação da paridade), etc.

Por outro lado sabemos que a evolução é fundamentalmente um processo *quebra de simetria* na medida em que a irreversibilidade é um dos princípios básicos da evolução. Assim, a pergunta é: como pode, a partir das leis básicas de conservação e de simetria, surgir toda a evolução do universo baseada na assimetria e a não-conservação?

Tudo indica que a quebra de simetria e não-conservação podem ser vistos *dentro* de uma matriz de fenômenos simétricos. A assimetria é assim comparável a um *espaço de liberdade* dos sistemas em evolução dentro de um universo determinado pela simetria e a conservação. De uma maneira geral podemos afirmar que a *evolução é desenvolvimento da assimetria e da irreversibilidade num contexto global de simetria e conservação*.

Atualmente a resposta da física é que o surgimento da assimetria se deve á *flutuações quânticas espontâneas* dentro da matriz do Universo, o *vácuo*.

Como analogia podemos dar o exemplo da água, que em estado líquido é homogênea e isotrópica. Se a temperatura desce debaixo de 0°C, observamos o surgimento de estruturas cristalinas direcionadas que rompem com o estado homogêneo e isotrópico anterior. O surgimento do gelo depende de uma flutuação em nível microscópico que rompe com as leis da simetria e conservação que regem o estado líquido e que serão substituídas pelas leis que governam o estado sólido.

Em nível cosmológico conhecemos os seguintes exemplos de assimetria:

- A Entropia que somente pode *crescer com o tempo*; num universo considerado isolado;
- O Tempo somente pode ir *em frente*;
- O Universo está em processo de *expansão*;
- Matéria e anti-matéria cuja distribuição é *desigual*.

Um fator decisivo neste processo parece ser a expansão do Universo, descoberta por Edwin Hubble em 1929. Numa primeira aproximação ele calculou a idade do universo e encontrou um valor de 2 bilhões de anos. Após várias modificações chegamos hoje á uma idade de aproximadamente 16 bilhões de anos, com tendência crescente.

A idéia do *Big-Bang*, postulada em 1922 pelo matemático russo Alexander Friedman, apesar de amplamente aceita, apresenta hoje pelo menos dois problemas que levantam dúvidas á respeito desta teoria:

- A primeira dúvida decorre da incompatibilidade entre as inhomogeneidades cosmológicas que observamos na distribuição das massas universais e a homogeneidade da radiação de fundo (TULLY & FISHER 1977).¹⁶

- A segunda dúvida decorre da incompatibilidade entre a intensidade da gravitação e a massa observada no universo. Em outras palavras constatou-se a *falta* de muita massa no Universo, a chamada *matéria negra*. Uma das teorias mais conhecidas decorrentes indiretamente desta diferença é a conhecida teoria dos buracos negros (TREFIL, 1988).

Independentemente destes problemas decorrentes da idéia da *singularidade* do *Big-Bang*, se aceita amplamente que o Universo se encontra em expansão. Matematicamente dispomos hoje de dois tipos de equações com as quais podemos descrever a expansão da massa do universo em função do tempo:

- as *equações da relatividade geral*, relacionando gravitação á massa – energia;

¹⁶ A radiação cosmológica de fundo, considerado o primeiro vestígio do *Big Bang*, é uma radiação eletromagnética com uma temperatura extremamente constante de 2,7°K em todas as direções do universo. Esta homogeneidade térmica é contraditória com a completa inhomogeneidade da distribuição da massa no universo.

- as equações da mecânica quântica, que regem a conservação de energia desde sua forma primordial (fótons super-quentes) até as formas mais recentes como neutrinos, elétrons, nêutrons e prótons.

Os primeiros três minutos do Universo

De um modo geral há hoje bastante consenso em torno das seguintes características da evolução do Universo:

- O Universo é um campo térmico com uma diferença de potencial térmico entre o 0°K (o chamado zero absoluto) e $3 \cdot 10^{12}$ °K (a estimada temperatura no momento exato do nascimento do Universo);

- As diversas etapas da evolução do Universo podem ser descritas como transições de fases, ou seja, saltos de qualidade;

- A evolução do Universo é um fenômeno que resulta de uma quebra de simetria e o posterior desenvolvimento da mesma. Desta maneira imagina-se que todas as estruturas materiais que conhecemos são produtos da *diferenciação* contínua desta quebra de simetria.

A evolução das estruturas materiais do cosmos é razoavelmente bem entendida a partir dos 10 primeiros pico-segundos após o *Big-Bang*. O grande problema consiste na compreensão do que ocorreu antes, porque não há como gerar energias suficientemente elevadas para reproduzir este momento experimentalmente.¹⁷

Entretanto, se assume que neste espaço de tempo o Universo recém nascido foi pequeno, muito quente e em equilíbrio térmico. Matéria, anti-matéria e fótons estavam presentes em quantidades iguais, da mesma forma todas as forças que atuavam neste universo eram iguais, com exceção da gravitação, ainda inexistente devido à ausência de massa. Não havia assimetrias neste momento.¹⁸

¹⁷ Os grandes aceleradores de partículas tais como CERN e Fermilab são capazes de produzir energias de aprox. 100 GeV, o que corresponde presumidamente à temperatura do Universo após 10 picos-segundos do *Big Bang*.

¹⁸ Estes primeiros momentos são descritos pela chamada Grande teoria de Unificação, GUT (Grand Unified Theory) que tenta unificar as 4 forças principais que regem o universo físico: a gravitação, as forças eletromagnéticas e as forças nucleares fortes e fracas.

A *primeira transição de fase*, etapa conhecida como *congelamento do vácuo*, criou o campo de Higgs, o primeiro campo de forças responsável para a quebra da simetria original, ou seja, o campo de emergência para o surgimento dos quarks e as forças atômicas fracas.

A *segunda fase de transição* é conhecida como a etapa da *condensação dos bárions*.

À partir desta etapa a velocidade das transições diminuiu rapidamente. Assim, após 10^{-2} segundos do *Big-Bang*, o Universo já é composto por elétrons, pósitrons, neutrinos, anti-neutrinos e fótons. O número de nêutrons e prótons (os componentes dos futuros núcleos atômicos) ainda é pequeno.

Três minutos após o *Big Bang*, a temperatura já havia caído de cerca de 100 bilhões a um bilhão de graus Kelvin. Grande parte dos elétrons e todos os pósitrons haviam desaparecidos. Sobraram basicamente neutrinos, anti-neutrinos e fótons (WEINBERG, 1978). Alguns prótons e nêutrons, entretanto interagem intensamente, gerando no final dos primeiros três minutos um balanço de 14% nêutrons e 86% prótons.

O primeiro milhão de anos do Universo

A *terceira grande fase de transição* começa após os primeiros três minutos e corresponde à condensação dos primeiros núcleos atômicos: nascem os *núcleos de hidrogênio*. Este processo durou aproximadamente 70.000 anos, nos quais a temperatura caiu para aproximadamente 3000°K . No final desta época a **matéria**, propriamente dito, havia nascido. Esta época cosmológica tem outro aspecto de maior importância: é a transição de um universo regido pela energia na forma de **radiação** para um universo regido crescentemente pela energia na forma de **massa material** e em consequência pela força da gravitação. O principal vestígio dos tempos da radiação é a mencionada radiação de fundo.

No final dos primeiros milhões de anos a matéria do cosmos estava condensada em duas formas estáveis e eletricamente neutras: os átomos de Hidrogênio e de Hélio, mais alguns elementos leves e, sobretudo neutrinos e anti-neutrinos.

As principais etapas da evolução do universo podem ser resumidos da seguinte maneira:

Idade do universo (em segundos)	Eventos principais
<i>Primeira transição</i>	
$< 10^{-43}$	Efeito de gravitação quântica
$10^{-43} - 10^{-33(35)}$	Congelamento do vácuo , fase de transição, quebra de simetria.
$10^{-33} - 10^{-6}$	Surgimento do quark e das forças atômicas fracas
<i>Segunda transição</i>	
$10^{-6} - 10^{-3}$	Surgimento dos bárions (núcleons e mésons)
$10^{-3} - 10^{+2}$	Surgimento dos léptons (elétrons e neutrinos)
<i>Terceira transição</i>	
$10^{+2} - 10^3$	Surgimento dos núcleos atômicos
$10^3 - 3.10^{13}$	Surgimento dos átomos e moléculas
$10^6 - 2. 10^{10}$ (anos)	Surgimento galáxias e vida planetária

Quadro 4 - As etapas principais da evolução do Universo

Podemos ver então que na evolução do Universo há etapas qualitativas definidas, irreversibilidade e abertura para o futuro. O primeiro milhão de anos foi fundamental para este processo e foram o desequilíbrio e o rompimento da simetria que de fato impulsionaram a emergência de sistemas cada vez mais complexos numa dinâmica irreversível.

Referências

- ATKINS, P.W. (1986): *The Second Law*, Spektrum der Wissenschaft, ISBN 3-922508-78,
- AYRES, R.U. (1994): *Information, Entropy and Progress*, AIP Press,
- BECKENBACH, F., DIEFENBACHER, H.D. (Eds.) (1994): *Zwischen Entropie und Selbstorganisation*, Metropolis.
- BERTALANFFY, L. (1976): *General System Theory*. Foundations, Development, Applications, Publisher: George Braziller.
- BLACKMORE, J.T 1995 (Ed.) *Ludwig Boltzmann: His Later Life and Philosophy, 1900--1906* Book One: A Documentary History Series: Vol. 168 ISBN: 978-0-7923-3231-2
- BRILLOUIN, L. (1962): *Science and Information Theory*, New York,.
- BUNGE, M. (1979): *Treatise on Basic Philosophy*, p.4, Vol.4, Reidl Pub. Comp.
- CHEW, G. F. (1968): *Bootstrap: a scientific idea?* In: Science 161, p.762-765.
- EBELING, W. (1989): *Chaos-Ordnung-Information*, Vlg. H. Deutsch.
- EBELING, W. (1994): *Selbstorganisation und Entropie in ökologischen und ökonomischen Prozessen*, p.29-46, in: Beckenbach, F. & Diefenbacher, H. (Eds.): *Zwischen Entropie und Selbstorganisation*, Metropolis.
- EBERT, R. (1974): *Entropie und Struktur kosmischer Systeme*. In: Weizsäcker, E. (Hsg): *Offene Systeme I*, Klett.
- EIGEN, M. (1988): *Biologische Selbstorganisation*. Eine Abfolge von Phasensprüngen. p.114. In: Hierholzer, K. und Wittmann, H.G. (Eds.): *Phasensprünge und Stetigkeit in der natürlichen und kulturellen Welt*, WVG, Stuttgart.

ERTL, G. (1988): *Phasenumwandlung und Selbstorganisation in chemischen Systemen*. In: Hierholzer, K. und Wittmann, H.G.: Phasensprünge und Stetigkeit in der natürlichen und kulturellen Welt. Wiss. Konferenz in Berlin, 8-10 Okt, 1987. Wiss. Verlagsges.m.b.H., Stuttgart.

FENZL, N. (1994): *Autopoiesis, Eine Kritische Begriffserläuterung*, Projektdokument, I.G.W. Technische Universität Wien.

FENZL, N. (1987): *Introdução á Hidrogeoquímica*, Belém, Gráfica UFPA.

FENZL, N. (1997): *Some Considerations about Interaction and Exchange of Information between Open and Self-Organizing Systems*, World Futures, Vol.49, pp.401-408, Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam.

FISCHER-KOWALSKI, M., HABERL, H (1993): "Metabolism and colonization: modes of production and the physical exchange between societies and nature", Innovation in Social Sciences Research, Vol. 6 No.4, pp.415-42.

FISCHER, H. R. (1993): *Autopoiesis*, Vlg. Carl Auer, Heidelberg.

FRITSCH, H. (1984): *The Creation of Matter*, Basic Books, New York.

FUCHS-KITTOWSKI, K. (1994): Projektdokument, I.G.W. Technische Universität Wien

HAKEN, H. (1982): *Synergetik, Eine Einführung*, Springer.

HAWKING, S.W. (1988): *Eine kurze Geschichte der Zeit*, Hamburg.

JAHN, R. (1993): *Systemtheorie und Information*, Projektpaper,

KAUFFMAN, S. A. (1992): *Origin of Order, Selforganization and Selection in Evolution*, Oxford Univ. Press,

_____ (1991): *Leben am Rande des Chaos*, Spektrum der Wissenschaft, Oktober

KRIPPENDORFF, K. *A Dictionary of Cybernetics* , Disponível em: <<http://pespmc1.vub.ac.be/ASC/Kripp.html>>. Acesso em: 20 ago. 2009.

KROHN,W., KRUG,H.J., KÜPPERS,G. (1992): *Selbstorganisation*, Jb. Für Komplexität in den Natur-, Sozial- und Geisteswissenschaften, Bd.3. Duncker & Humboldt,.

KRUSE, P., ROTH, G., STADLER, M. (1987): *Ordnungsbilder und psychophysische Feldtheorie*. In: Gestalt Theory, 9.

KUCHLING, H. (1981): Taschenbuch der Physik, 3. Aufl., Harri Deutsch, Thum,

LASZLO, E. (1987): *Evolution, die neue Synthese*, Europaverlag.

LAZUTKIN, V. F. (1993): *KAM theory and semi-classical approximations to eigenfunctions*, Springer.

LEONTJEW, A.N. (1973): *Probleme der Entwicklung des Psychischen*. (Problems of the development of the psyche), Frankfurt am Main, Germany; Athenäum.

LOVELOCK, J. (1979): *Gaia, a New Look at Life on Earth*. New York: Oxford University Press.

MAHNKE, R.; SCHMELZER, J. RÖPKE, G. (1992): *Nichtlineare Phänomene und Selbstorganisation*, B.G.Teubner, Stuttgart.

MAINZER, K. (1994): *Thinking in Complexity*, Springer.

MATURANA, H.R. (1982): *Erkennen: die Organization und Verkörperung von Wirklichkeit*, Friedr. Vieweg & Sohn Braunschweig. Wiesbaden.

MATURANA, H.R., VARELA F.J.(1980): *Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living*. Boston Studies in the Philosophy of Sciences. Vol. 42, D. Riedel Publishing Co., Boston, Dordrecht.

MATURANA,H.R. & VARELA,F.J. (1987): *Der Baum der Erkenntnis*, Vlg. Scherz,.

MOCEKR. (1986): *Systemdenken zwischen Dialektik und Konstruktivismus*, Dialektik, Bd.12,.

SANDKÜHLER, H. J. (Hsg): (1990): *Europäische Enzyklopedie zu Philosophie und Wissenschaften*, Band 4, Felix Meiner Verlag,.

ODUM, E. P., BARRETT, G.W. (2007): *Fundamentos de Ecologia*, Editora: CENGAGE LEARNING ISBN : 8522105413 5 ° Edição - 750 pág.

PIERCE, J.R. (1972): *Communication*, Scientific American, Sept.,

PRIGOGINE I., STENGERS, I. (1993): *Time, Chaos and the Quantum. Towards the Resolution of the Time Paradox*, Piper.

PRIGOGINE, I., STENGERS, I. (1984): *Order out of chaos: Man's new dialogue with nature*. New York: Bantam Books.

RAPAPORT, A. (1988): *Allgemeine Systemtheorie*, Vlg. Darmstätter Blätter,.

REHM, W., WELSCH, H., FAIX, W.(Hsg.), (1993) : *Synergetik*, IBM Symposiumschrift, expert-Verlag,.

ROSENFELD, I. (1953): *Louis de Broglie, physicien et penseur*, Éditions Albin Michel, Paris.

RUBINSTEIN, S.L. (1959): *Sein und Bewußtsein*, Berlin.

SANDKÜHLER, H.J (1990) : *Europäische Enzyklopedie zu Philosophie und Wissenschaften*, Hsg. Band 4, Felix Meiner Verlag.

SHANNON, C. E., WEAVER, W. (1949): *The Mathematical Theory of Communication*, University of Illinois Press, Urbana.

SHALIZI, C.; SHALIZI, K. E HASLINGER, R. (2004): *Quantifying Self-Organization with Optimal Predictors*. Phys. Rev. Lett. 93, 118701

SHELDRAKE, R. (1988): *The Presence of the Past: Morphic Resonance and the Habits of Nature*. Londres: Collins.

STADLER, M. UND KRUSE, P. (1988): *Gestalttheorie und Theorie der Selbstorganization*, in: Gestalt Theory Nr.8.

STONIER, T. (1990): *Information and the Internal Structure of the Universe*, Springer,.

TREFIL, J.S. (1983): *The Moment of Creation: Big Bang Physics*, Charles Scribner's Sons/Macmillan Publishing Company, New York

TREFIL, J.S. (1988): *The Dark Side of the Universe*, Charles Scribner's Sons/Macmillan Publishing Company, New York.

WALDROP, M. M. (1993): *Die Erforschung komplexer Systeme*, Rohwolt.

WASSERMANN, H. (1995): *Betrachtungen von Informationsphänomenen im betrieblichen Umfeld*. Projektbeitrag, IGW, TU-Wien,.

WEHRT, H. (1974): *Über Irreversibilität, Naturprozesse und Zeitstruktur*, in: In: WEIZSÄCKER, E. (Hsg): *Offene Systeme I*, Klett,

WEINBERG, A.M. (1978): *Reflexions on the Energy Wars*. In: *American Scientist* 66(2), March, April, p.153-158.

WEIZSÄCKER, E. (Hsg), (1974): *Offene Systeme I*, Klett,

WEIZSÄCKER, C.F. (1971): *Die Einheit der Natur*, Hanser Vlg.,

WEIZSÄCKER, E. (1974): *Erstmaligkeit und Bestätigung als Komponenten der pragmatischen Information.*, in: *Offene Systeme I*, Klett,.

WIENER, N. (1961): *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine*. New York & London: MIT Press and John Wiley & Sons

Capítulo III

INDICADORES PARA UM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Breve Historia dos Indicadores, 121

O que é um indicador?, 124

CrITÉrios Gerais para a construção de Indicadores, 127

Resumo dos Indicadores mais usados, 130

Os Indicadores dos Objetivos do Milênio (IODM), 130

Sistema Integrado de Contabilidade Ambiental e Econômica (SCAE), 133

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do PNUD, 133

O Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA), 134

O Painel de Controle de Sustentabilidade (PCS) e Índice de Desempenho Político (IDP), 134

A Pegada Ecológica, 136

O Indicador do Produto Interno Bruto (PIB) – Problemas e Alternativas, 137

O Índice de Desenvolvimento Sustentável da União Européia (IDS), 138

Índice de Progresso Sustentável (Sustainable Progress Index, SPI), 141

O Índice de Desenvolvimento Humano Amazônico (IDHAM), 141

O Barômetro de Sustentabilidade (The Barometer of Sustainability), 143

A Bussola de Sustentabilidade - The Compass of Sustainability (Atkisson 2005), 143

O Índice de poupança genuína (Genuine Savings Indicator), 143

Indicadores baseados na demanda natural total de uma economia, 144

O Problema da Agregação dos Indicadores, 145

A construção de indicadores: A proposta de H. Bossel, 147

O Método, 147

Propriedades básicas do ambiente, 150

Os Orientadores da organização estrutural do sistema, 151

A importância da satisfação dos orientadores, 153

Os setores principais da organização estrutural, 153

A construção e aferição dos indicadores, 156

A dimensão ética, 156

Os primeiros passos, 156

Os Indicadores ambientais, estruturais e setoriais, 157

As categorias de Indicadores de Bossel, 159

Aferição dos orientadores básicos: a Matriz de Sustentabilidade, 174

Referências, 177

Breve História dos Indicadores

Durante muitos séculos as pessoas foram, com frequência, julgadas por um único indicador, a **riqueza**, que expressava muito mais do que a propriedade. Indicava também a habilidade de construir uma casa confortável, alimentar uma grande família, viver com luxo, educar as crianças, pagar pelo cuidado com a saúde e de se manter na velhice, o que implicava que, sob tais circunstâncias, as pessoas podiam ser razoavelmente felizes. Em outras palavras, a riqueza poderia ser utilizada como indicador para diferentes dimensões da vida, que contribuem para a felicidade em geral. Porém este indicador não poderia ser utilizado para contabilizar tragédias ou deficiências de uma pessoa.

Godin (2005), pesquisador da Universidade de Quebec que estuda a história dos indicadores em CT&I dizia:

As sociedades vêm manobrando uma série de medidas nos últimos 300 anos. Inicialmente, dimensões sociais como a idade da população e morte eram contabilizadas. Indicadores do panorama da população eram elementos importantes de definição das riquezas e poder do Estado.....as estatísticas econômicas começaram a ser coletadas, principalmente no começo do século XX. O mais conhecido desses indicadores é o produto interno bruto (PIB).

Os primeiros indicadores, tais como os censos populacionais, eram exclusivamente quantitativos e contabilizados, como podia ser diferente, com objetivos fiscais e militares.¹

Somente depois da Segunda Guerra Mundial, a estatística mudou de qualidade e passou a integrar as políticas públicas. Surgiram

¹ Segundo Godin (2005), antes do matemático belga Adolphe Quételet (1796-1874), provavelmente o criador das estatísticas públicas, modernas, a estatística era uma simples compilação de informações numéricas. Após Quételet, estatísticas mais sofisticadas, baseadas em medidas de variação, começaram a ser empregadas.

instituições como a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e o Instituto de Estatísticas da União Européia (Eurostat) que começaram a desenvolver normas e padrões internacionais para as estatísticas. O processo de incorporar as estatísticas no trabalho das grandes organizações internacionais foi fundamental para a expansão mundial e uso dos indicadores.

Um grande avanço foi dado na construção de **indicadores econômicos**. No Brasil, o Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Sócio-econômicos (Dieese), a Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (Fipe/USP), a Federação das Indústrias do Estado (Fiesp) começaram a produzir indicadores econômicos, sendo o custo de vida, levantado na cidade de São Paulo em 1939, um dos primeiros indicadores econômicos levantados no país. Em 1945 surgem estatísticas de preços e uma contabilidade nacional, mas é somente em 1979 que foram criados dois Indicadores pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), oficialmente reconhecidos pela contabilidade econômica nacional: o **ÍNDICE NACIONAL DE PREÇOS AO CONSUMIDOR AMPLO (IPCA)** e o **ÍNDICE NACIONAL DE PREÇOS AO CONSUMIDOR (INPC)**.

Um dos indicadores mais discutidos, o PIB, foi desenvolvido pelo russo Simon Kuznets na década de 1930, o que lhe rendeu o Prêmio Nobel de Economia em 1971. Indicadores econômicos, tais como o PIB, são inteiramente monetaristas e contabilizam os custos sociais e ambientais como *externalidades*, o que leva a enormes distorções quando se tenta usar o PIB como medida para o desenvolvimento social de uma economia nacional.²

² Hazel Henderson, afirma num artigo publicado no *Le Monde Diplomatique*: *Por exemplo, um país pode cortar toda a sua floresta e registrar o valor da venda da madeira como ganho no PIB sem que nenhuma perda seja computada. "O PIB verde da China é um caso emblemático: as taxas de crescimento chinesas, em torno de 10% ao ano há mais de duas décadas, caíram a pouco mais de zero, quando descontadas as perdas ambientais"*.

Na década de 1960 surge o termo **indicador social** quando o governo dos Estados Unidos produziu relatórios tais como *Towards a social report* e *Social indicators*. Estas pesquisas influenciaram o Brasil no começo dos anos 1970 com as chamadas Pesquisas Nacionais por Amostra de Domicílios (PNAD) que eram basicamente pesquisas sobre a situação do trabalho no país.

Mas foi na década de 1980, que de fato nasceram os indicadores sociais no Brasil. Desde então, com o surgimento da informática que permite o processamento de enormes quantidades de dados e informações, os indicadores econômicos e sociais estão cada dia mais sofisticados e precisos.³

Após a ECO-92, do Rio de Janeiro, surgiram pressões da sociedade civil para a criação de indicadores que sejam capazes de medir também o progresso e a qualidade de vida. A conferência *Beyond PIB*, promovida pelo parlamento europeu poucos anos depois da ECO-92, afirma que “não são necessárias alternativas ao PIB, e sim indicadores adicionais que o complementem”. Parece que a União Européia esteja apoiando crescentemente suas decisões econômicas em algum modelo que incorpore todas as estatísticas disponíveis sobre saúde, educação, desigualdade e direitos humanos, que não fazem parte do PIB.

Finalmente, hoje a nova tendência é a construção de *clusters* de indicadores, complexas associações de indicadores ambientais, sociais, econômicos e outros para compor os **Índices**. Por mais que a construção e o uso deste tipo de *clusters* estão crescendo rapidamente, ainda vai levar alguns anos para que haja uma normalização internacional e uma aplicação institucionalizada dos indicadores para a formulação das políticas públicas.

³ Por exemplo, em 2006 surge o chamado movimento “Nossa São Paulo - outra cidade” com a participação de cerca de 400 organizações da sociedade civil que criaram mais de 100 indicadores nas áreas: assistência social, cultura, educação, esporte, habitação, meio ambiente, orçamento, saúde, trabalho e renda, transporte, acidentes de trânsito, mobilidade urbana e violência.

O que é um indicador?

Vivemos num mundo cercado por indicadores. Por exemplo, um céu cinzento indica a possibilidade de chuva, a luz vermelha em um semáforo indica perigo, febre indica a reação do corpo à doença, o aumento no índice de desemprego indica problemas econômicos e sociais.

Os geólogos usam indicadores para determinar o lugar certo de uma perfuração de petróleo ou de águas subterrâneas. Os médicos têm um vasto conjunto de indicadores para determinar a saúde do paciente: temperatura do corpo, exame da língua, pulso, pressão sanguínea, testes de urina, ver onde dói, teste de reflexos. Os agentes florestais têm uma lista de indicadores para julgar a saúde da floresta. Os pilotos percorrem uma longa lista de indicadores no painel antes de decolar. Os economistas discutem a “saúde” da economia examinando as taxas de inflação, de desemprego, balança comercial, taxas de câmbio e outros indicadores.

Os indicadores são nossa ligação com o mundo que nos rodeia. Quanto mais complexo este mundo, maior o número de indicadores que precisamos para nossa orientação. Assim, os indicadores têm a função de traduzir processos complexos em informações mais simples, significativas e representativas que possam fundamentar as nossas decisões e ações. No caso do nosso ambiente a importância de aprendermos a observar os indicadores certos se torna cada vez mais óbvia, para poder entender e lidar com o grau de complexidade dos problemas decorrentes da interação entre a sociedade global e o planeta Terra. Se seguirmos os sinais errados, ficaremos confusos ou desorientados, dando respostas inadequadas contrárias a nossos próprios interesses e intenções.

No decorrer da vida aprendemos o sentido e significado dos indicadores que utilizamos diariamente e aprendemos a separar e seleccionar aqueles que têm um significado para nós. Assim aprendemos

na prática cotidiana a tomar decisões inteligentes e proteger e promover aquilo que é importante para nós. Os indicadores são, portanto, uma expressão de valores sobre tudo aquilo que nossa consciência é capaz de captar do nosso entorno, do nosso corpo e nossa mente.

Aprendemos então a lidar com sistemas complexos e a reconhecer um conjunto específico de indicadores e avaliar aquilo que aponta para a viabilidade do sistema. Frequentemente, o aprendizado desses indicadores é intuitivo, informal e subconsciente. O instinto materno, por exemplo, permite para a fêmea de reconhecer e responder aos sinais de seu filho recém-nascido. Da mesma forma os antigos agricultores aprenderam a reconhecer sinais importantes relacionados com sua sobrevivência a partir do comportamento dos animais, do clima, das plantas ou do solo aos seus cuidados.

Entretanto, na sociedade moderna a intuição é insuficiente para lidar com a complexidade dos sistemas que nos rodeiam e da complexidade da nossa própria sociedade. Sistemas de transporte, de produção, um sistema hospitalar ou a própria economia como um todo, não podem ser gerenciados por intuição. A intervenção e o gerenciamento de tais sistemas requerem instrumentos específicos, que fornecem os indicadores informativos necessários, tais como velocidades, escalas de pressão e temperatura, indicadores de custo de vida e de emprego, índices de inflação, de *Dow-Jones*, e muitos outros.

Assim, os indicadores sobre um determinado sistema devem atender três requisitos básicos:

- Eles devem fornecer informações vitais, sobre o estado atual (saúde, viabilidade) do sistema;
- Eles devem fornecer informações suficientes para possibilitar uma intervenção e corrigir com sucesso a evolução do sistema, de acordo com os objetivos estabelecidos;
- Eles devem permitir a avaliação do grau de sucesso da intervenção.

Em outras palavras, os indicadores são determinados tanto pelo próprio sistema, como pelos interesses, necessidades ou objetivos do gerente ou operador do sistema.

Um sistema de transporte coletivo moderno de uma grande cidade é um bom exemplo deste múltiplo papel dos indicadores. Há informações vitais e regras específicas para a gerência do sistema como um todo, por exemplo, àquelas que informam sobre a coerência do fluxo do conjunto dos veículos. Há informações vitais específicas para os motoristas de cada veículo e finalmente aquelas que interessam basicamente aos passageiros.

A sociedade humana com seus subsistemas e os recursos ambientais dos quais eles dependem, é um sistema altamente complexo e dinâmico. Os indivíduos e organizações humanas que fazem parte ou dirigem os diversos subsistemas necessitam de indicadores detalhados, que forneçam informações essenciais sobre o estado e viabilidade dos próprios sistemas e sobre sua compatibilidade com os objetivos gerais da sociedade. Este segundo ponto é de fundamental importância, porque significa que **os objetivos e valores humanos são proeminentes na definição de conjuntos de indicadores do desenvolvimento de uma sociedade.**

Na realidade, há uma *escolha ética* refletida na seleção dos indicadores (KREBS & BOSSEL, 1996).

A teoria dos sistemas complexos nos diz que os indicadores podem ser classificados em aqueles que informam sobre o estado atual do sistema, os **indicadores estáticos**, e aqueles que informam sobre a velocidade com que esses estados se modificam, ou seja, sobre o processo de evolução do mesmo. Estes últimos são chamados de **indicadores dinâmicos**. Como analogia, podemos dar o exemplo de uma série de fotos das cenas de um filme (indicadores estáticos) e cenas inteiras do filme (indicadores dinâmicos) que mostram a evolução toda da história. Normalmente, os indicadores dinâmicos são os mais importantes porque eles informam sobre possíveis mudanças de rumo

dos sistemas, antes que estes ocorrem de fato. Por exemplo, a taxa de colesterol no sangue indica a possibilidade de um infarto, mais não significa que a pessoa esteja doente.

A teoria nos diz também outra coisa importante: não todas as variáveis de um sistema são indicadores, senão somente que fornecem **informações essenciais** que não podem ser obtidas através da otimização de outras variáveis. Por exemplo, podemos calcular o consumo médio diário de energia por indivíduo através do número da população e do consumo nacional anual, sem precisar contar o consumo de energia em cada residência.

Os indicadores podem ser **quantitativos** (p.ex. número de habitantes de uma cidade) ou **qualitativos** (p. ex. o nível de vida). De qualquer maneira, em ultima instância, todos os indicadores quantitativos devem ser traduzidos em indicadores qualitativos, ou seja, em **juízos de valor**.

Resumindo: indicadores são variáveis que nos forneçam todas as *informações vitais* sobre a sustentabilidade (viabilidade) e a *taxa de transformação* de um sistema complexo, que são fundamentais para verificar até que ponto a evolução do sistema corresponde às necessidades materiais e valores éticos e morais da sociedade e quais são as opções de intervenção para modificar ou corrigir os rumos do desenvolvimento do sistema. A tarefa mais difícil, entretanto, é definir um sistema de indicadores *adequados* que possa engendrar *transformações políticas, econômicas e sociais concretas* (PRINTER; HARDI, 1995).

Crítérios Gerais para a construção de Indicadores

Normalmente, não é a falta de medições que impede a avaliação do desempenho de um processo, indivíduo ou uma instituição, mas é a grande quantidade de indicadores potencialmente úteis que

muitas vezes torna as escolhas difíceis. A qualidade da medição tende a variar com a nossa visão de mundo, incluindo fatores como nível de educação, base cultural, situação econômica, afiliação política, sexo e assim por diante.

Os critérios para a seleção de um determinado sistema de indicadores, os **princípios orientadores**, são aplicados para atender as necessidades e circunstâncias de uma região ou instituição específica. Em uma época de crescente globalização, os indicadores devem criar um nível mínimo de comparabilidade, coerência e consistência entre as medições e entre a maneira como essas medições são aplicadas nas situações da vida real.

A literatura menciona geralmente oito critérios que devem orientar a construção de indicadores que foram selecionados com base nas experiências práticas das medições realizadas nas últimas décadas em vários países membros da ONU.

Relevância política

O indicador deve ser associado com um ou vários assuntos relevantes e motivar decisões políticas que possam levar a ações concretas de implementação de processos sustentáveis;

Simplicidade

Os Indicadores devem ser apresentadas de forma a ser facilmente entendidas e interessantes para o público ao qual se destinam. Assuntos e cálculos complexos devem ser apresentados como informações claras, a fim de que o público possa entendê-las;

Validade

O indicador deve refletir fielmente os fatos e os dados devem ser coletados mediante técnicas de mensuração cientificamente comprovados. É necessário um rigor metodológico a fim de que os dados sejam aceitos tanto pelos profissionais da área quanto pelas pessoas leigas. O indicador deve ser verificável e reproduzível;

Dados em séries temporais

Indicadores precisam ser baseados em dados levantados periodicamente para poder construir séries temporais que reflitam a tendência do indicador ao longo do tempo.

Dados disponíveis e acessíveis

Os dados para a construção de um indicador devem ser de boa qualidade podendo ser encontrados a um custo compatível com os objetivos. Desde o início da construção de um sistema de indicadores, a possibilidade de monitoramento contínuo no futuro deve ser considerado e incluído nos custos do projeto;

Capacidade de agregar informações

A lista de indicadores potenciais é praticamente infinita. Por esta razão se sugere que se de preferência a indicadores que tenham a capacidade de agregar informações e ampliar a cobertura de assuntos que eles estão cobrindo, caso isto se torne necessário no futuro. Este problema pode ser resolvido na medida em que se adaptam unidades e métodos de levantamento que sejam suficientemente simples e fáceis de ser usados para medir outros parâmetros no futuro. Por exemplo, um peso (kg, t etc.) per capita ou per unidade de superfície (m² ou km² etc.) são unidades relativamente fáceis de ser usadas para os mais diversos parâmetros que se queira medir;

Sensibilidade

Um indicador é tanto mais sensível quanto maior sua capacidade de medir pequenas modificações do processo para qual ele foi desenhado. Assim, é importante definir com precisão a sensibilidade *adequada* que se requer do indicador. Por exemplo, Indicadores com grande sensibilidade no nível microscópico podem ser inúteis quando se quer medir somente macro-modificações e vice versa;

Confiabilidade

Indicadores são considerados confiáveis quando medições independentes e repetidas chegam aos mesmos resultados.

Estas orientações genéricas são úteis, mas é necessário que cada sistema de indicadores seja construído de acordo com as necessidades específicas do processo que se pretende medir e do tipo de intervenção que se pretende realizar para modificar os rumos do processo.

Em seguida apresentamos uma série de Indicadores e Índices desenvolvidos em diferentes partes do mundo.

Resumo dos Indicadores mais usados

Os Indicadores dos Objetivos do Milênio (IODM)

A Declaração do Milênio foi aprovada pelas Nações Unidas em 2000 e os 191 países-membros da ONU, incluindo o Brasil, assumiram um compromisso universal com a erradicação da pobreza e com a sustentabilidade do Planeta. Os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) são um conjunto de oito macro-objetivos, com metas e indicadores precisos, a serem atingidos pelos países até 2015, por meio de ações concretas dos governos e da sociedade na busca pela solução de alguns graves problemas da humanidade.

- Erradicar a extrema pobreza e a fome;
- Atingir o ensino básico universal;
- Promover a igualdade entre os sexos e a autonomia das mulheres;
- Reduzir a mortalidade infantil;
- Melhorar a saúde materna;
- Combater o HIV/Aids, a malária e outras doenças;
- Garantir a sustentabilidade ambiental;
- Estabelecer uma Parceria Mundial para o Desenvolvimento.

Esses objetivos deverão ser aferidos por cerca de 50 indicadores que serão desagregados por sexo e áreas (urbanas e agrícolas). A ONU publicou uma lista completa de indicadores que são adaptados a realidade de cada país ou região.

Os Indicadores dos Objetivos do Milênio na Amazônia

No caso da Amazônia, o IMAZON desenvolveu uma lista específica de indicadores para medir cada um dos Objetivos do Milênio na região.

Objetivo 1: Erradicar a pobreza extrema e a fome

- **Pobreza extrema.** População com renda domiciliar *per capita* mensal inferior a R\$ 37,75 (25% do salário mínimo no ano 2000), ou US\$ 0,69/dia. Fonte: Ipea;
- **Pobreza.** População com renda domiciliar *per capita* mensal inferior a R\$ 75,50 (50% do salário mínimo no ano 2000), ou US\$ 1,38/dia. O conjunto de pobreza extrema está contido no conjunto da pobreza. Fonte: Ipea;

Objetivo 2: Atingir o ensino básico universal

- **3. Analfabetismo.** Porcentagem da população com idade igual ou superior a 15 anos incapaz de ler ou escrever um bilhete simples. Fonte: Ipea;
- **4. Número médio de anos de estudo** para população com idade igual ou superior a 25 anos. Fonte: Ipea;
- **5. Frequência escolar.** Proporção de crianças (7 – 14 anos) e jovens (15 – 17 anos) que freqüentam o ensino fundamental e médio. Fonte: Ipea;

Objetivo 3: Promover a igualdade entre os gêneros e a autonomia das mulheres

- **6. Educação feminina.** Frequência escolar (%) e proporção analfabeta da população feminina (≥ 15 anos). Fonte: Ipea;

- **7. Mulheres na política.** Proporção de mulheres exercendo cargos de representação política no executivo e legislativo. Fonte: TSE;

- **8. População economicamente ativa.** Proporção da população (masculina e feminina) com idade de trabalhar que está economicamente ativa. Fonte: IBGE.

Objetivo 4: Reduzir a mortalidade infantil

- **9. Mortalidade até 1 ano de idade** por mil crianças nascidas vivas. Fonte: Pnud.

- **10. Mortalidade até 5 anos de idade** por mil crianças nascidas vivas. Fonte: Pnud.

Objetivo 5: Melhorar a saúde materna

- **11. Óbito materno** durante a gestação (independente da sua duração) ou até 42 dias após seu término, devido a qualquer causa relacionada ou agravada pela gravidez ou por medidas em relação a ela (OMS 1997). Fonte: MS.

Objetivo 6: Combater doenças como Aids, malária e tuberculose

- **12 HIV/Aids.** Taxa de incidência de Aids para cada 100 mil habitantes. Fonte: MS.

- **13 Malária.** Taxa de incidência de malária para cada 100 mil habitantes. Fonte: MS.

- **14 Tuberculose.** Taxa de incidência de tuberculose para cada 100 mil habitantes. Fonte: MS.

Objetivo 7: Garantir a sustentabilidade ambiental

- **15 Desmatamento.** Área de desflorestamento anual. Fonte: Inpe.

- **16 Áreas Protegidas.** Porcentagem de Áreas Protegidas por Terras indígenas e Unidades de Conservação. Fonte: ISA (atualizado por Imazon, Ibama e Oemas).

- **17 Água e Esgoto.** População (%) com abastecimento adequado de água (rede geral com canalização interna ou por meio

de poço ou nascente com canalização interna) e com instalações adequadas de esgoto (banheiro de uso exclusivo e com escoadouro conectado à rede coletora de esgoto ou pluvial ou a uma fossa séptica ligada ou não a uma rede coletora). Fonte: Ipea.

A lista completa dos indicadores do ODM da ONU se encontra na página: <http://mdgs.un.org/unsd/mdg/Host.aspx?Content=Indicators/OfficialList.htm>

Os Indicadores propostos pelo AMAZON:

<http://www.imazon.org.br/publicacoes/publicacao.asp?id=503>

Outros links relacionados:

<http://www.un.org/Docs/journal/asp/ws.asp?m=A/RES/60/1>

<http://mdgs.un.org/unsd/mdg/Default.aspx>

Sistema Integrado de Contabilidade Ambiental e Econômica (SCAE)

O Sistema Integrado de Contabilidade Ambiental e Econômica é um sistema de indicadores desenvolvido pela ONU, baseado em dados provenientes de satélite, o chamado sistema SNA (*System of National Accounts*) que contem 4 tipos de contabilidade.

1. Dados puramente físicos (fluxos de energia e material), emissões etc.;
2. Dados relativos à administração e gestão ambiental exemplar de empresas e governos;
3. Ativos ambientais contabilizados em termos físicos e monetárias;
4. Impactos da economia sobre o meio ambiente.

Link relacionado: <http://www.unb.br/face/eco/cpe/TD/233August2002CMueller.pdf>

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do PNUD

Trata-se de um Indicador bastante conhecido e utilizado, que junta dados sobre riqueza, alfabetização, educação, esperança média de vida, natalidade e outros fatores que contribuem para o desenvolvimento

humano. É uma maneira padronizada de avaliação e medida do bem-estar de uma população, especialmente o bem-estar infantil. O índice foi desenvolvido em 1990 pelo economista paquistanês *Mahbub ul Haq* e vem sendo usado desde 1993 pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento no seu relatório anual.

Link relacionado: www.pnud.org.br/idh/

O Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA)

O Índice foi apresentado pela primeira vez em 2002 no Fórum Econômico Mundial por pesquisadores das universidades de Yale e Columbia. A primeira versão continha 68 variáveis referentes a 20 indicadores, resultando num valor agregado. O ISA, inicialmente calculado para 142 países, foi calculado para 146 países na versão de 2005, com o acréscimo de mais um indicador, totalizando 21.

O Índice tem como objetivo comparar a habilidade de países na proteção do seu meio ambiente não apenas no presente, mas também com as ações necessárias para uma melhoria futura. O ISA é adaptado a cada ano á dinâmica das mudanças que ocorrem em cada país e globalmente. A escala do Índice varia de 0 á 100, sendo zero o pior e cem o melhor desempenho.

Links relacionados:

<http://www.yale.edu/esi/>

<http://www.bndes.gov.br/conhecimento/revista/rev2607.pdf>

O Painel de Controle de Sustentabilidade (PCS) e Índice de Desempenho Político (IDP)

Seguindo as orientações da Comissão de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas, o Painel de Controle de Sustentabilidade - *Dashboard of Sustainability* - utiliza quatro dimensões: ecológica, econômica, social e institucional.

O painel, uma analogia a um painel de piloto de uma carro ou de um avião, é baseado num *software* que utiliza um sistema de pontuação de 1 (pior caso) até 1.000 (melhor caso) e disponibiliza informações para aproximadamente duzentos países.

Vinculado ao PCS foi desenvolvido o Índice de Desempenho Político (IDP, também chamado IPP – Índice de Performance Política), com o objetivo de criar uma ferramenta de avaliação do desempenho das políticas públicas relacionando os índices sociais, econômicos e ambientais em um índice de desempenho político.

O IDP é composto de em quatro subÍndices:

- **Índice Econômico:** Dívida Externa; Lixo Municipal; Assistência Oficial para o Desenvolvimento (ODA); Lixo Tóxico; Lixo Nuclear; Reciclagem; Uso da Energia; Produto Nacional Bruto, Energia Renovável; Uso de Veículos; Eficiência Energética; Produto Interno Bruto (PIB/GDP); Crescimento; Inflação; Distribuição (Coeficiente de GINI); Investimento Fixo Interno Bruto (GDFI);

- **Índice Social:** Expectativa de Vida; Linha da Pobreza; Escolas Primárias; Escolas Secundárias; Urbanização; Saneamento Básico; Equidade (Igualdade e Inclusão); Água Potável; Analfabetismo; Saúde; Condições de Vida; Diferença de Renda entre Homens e Mulheres; Desnutrição Infantil; Mortalidade Infantil; Imunização Infantil; Criminalidade; Crescimento Populacional; Controle de Natalidade; Desemprego;

- **Índice Ambiental:** Densidade Populacional; Consumo de Fertilizantes; Concentração Urbana de Fósforo na água; Preservação do Ecossistema; Uso de Pesticidas; População Costeira; Área de Proteção Ambiental; Área Florestal; Espécies de Mamíferos e Aves; Piscicultura; Emissão de CO₂; Emissão de outros gases do Efeito Estufa; Consumo de Cloro-Flúor-Carbono; Desmatamento Florestal; Poluição do Ar; Terras Desérticas e Áridas; Emissão de Poluentes Orgânicos; Área Agricultável; Número de Favelas (Assentamentos Urbanos Informais); Uso da Água; Uso de Recursos; Pegada Ecológica.

• **Índice Institucional:** Infraestrutura de comunicação (telefone, Internet); Gasto com Pesquisa e Desenvolvimento; Custo humano em desastres Ambientais; Custo Econômico em desastres Ambientais; Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável.

Links relacionados: <http://www.iisd.org/cgsdi/dashboard.asp> e <http://esl.jrc.it/dc/csdriojo>

A Pegada Ecológica

A pegada ecológica (*Ecological Footprint*) foi criada com base no livro *Our ecological footprint* (WACKERNAGEL; REES, 1996). Esse método procura calcular a carga ambiental necessária para sustentar um determinado sistema econômico, contabilizando o fluxo de matéria e energia consumida pelo sistema. Esse fluxo é convertido em área de terra ou quantidade de água necessária para suportar tal fluxo energético-material (CHAZAN; GAUDET; VENETOULIS, 2004).

A unidade utilizada é a área (em ha) de ecossistema (p.ex. floresta) utilizado para compensar determinados impactos produzidos pelas atividades econômicas. Por exemplo, se uma tonelada do gás carbônico (CO₂) necessita de 1 ha de floresta nativa para absorvê-lo, quando uma economia gera uma tonelada de CO₂, sua pegada ecológica seria equivalente á 1 ha de floresta. As aproximações são todas baseadas nas emissões de gás carbônico, facilitando a estimativa de área equivalente de floresta a ser utilizada para compensar a emissão (BELLEN, 2005).

Nos últimos anos uma rede mundial de instituições foi constituída criando um site específico que fornece interessantes dados e informações sobre as pegadas ecológicas de todos os países do mundo.

Link relacionado:

<http://www.footprintnetwork.org/>

O Indicador do Produto Interno Bruto (PIB) – Problemas e Alternativas

Os economistas parecem fascinados pelo famoso PIB, indicador do Produto Interno Bruto, que representa o valor total em dinheiro do fluxo anual de bens e serviços produzidos em uma dada economia. Isto inclui todos os bens e serviços, independentemente de sua contribuição ao desenvolvimento nacional: os bens sociais (como educação, saúde, alimentação, moradia), bem como as mazelas sociais (custo de guerras, da criminalidade, poluição, deficiência). Uma vez que, com a atual tecnologia, cada um desses bens e serviços está associado ao consumo de recursos não renováveis e geração de poluição ambiental, **o PIB é uma medida da rapidez em que os recursos são utilizados e convertidos em fluxos monetários**, independentemente de seu reflexo na sociedade. Assim, é obvio que o PIB dificilmente poderia ser um indicador confiável de riqueza nacional e muito menos do bem-estar da população (PRINTER; HARDI, 1995).

Os próprios autores (John Maynard Keynes e Simon Küznets) já perceberam a debilidade do PIB quando se trata de definir o *bem estar social* de uma nação. Em 1962 Küznets lamentava que o bem estar social dificilmente pode ser deduzida de um PIB, porque a meta de um crescimento do PIB não especifica claramente “*qual crescimento para que e para quem*”.

Vários grupos têm se dedicado a procurar superar estas deficiências do PIB com a construção de indicadores agregados que apresentem um quadro mais acurado de bem-estar material. Em 1994, como resposta á estas limitações do PIB, Clifford Cobb, Ted Halstead e Jonathan Rowe criaram o **Índice do Progresso Genuíno** (*Genuine Progress Indicator – GPI*) - e causaram certo impacto nos economistas norte-americanos, porque demonstraram que a corrida cega para um crescimento econômico baseado no PIB, pode aprofundar a injustiça social e a insustentabilidade dos processos econômicos em curso.

O GPI corrige o PIB pela *subtração* de mazelas sociais (como acidentes de carro ou custos de limpeza de poluição, etc.) e pela *adição* (ao invés de ignorar) do valor de serviços não pagos (por exemplo, serviços domésticos e comunitários etc.) (HUETING; BOSH; DE BOER, 1992; HUETING; BOSH, 1990; BARANZINI; O'CONNOR, 1996; FAUCHEUX; O'CONNOR, 1998; BROUWER; O'CONNOR; RADERMACHER, 1996; RADERMACHER, 1994).

O GPI, calculado para economias nacionais ou para regiões, é uma tentativa de verificar até que ponto o crescimento da produção de bens e a expansão dos serviços efetivamente resultam em bem estar social da população. Desta maneira o GPI distingue entre *crescimento desejável* e *crescimento indesejável*. A diferença entre PIB e GPI é semelhante á diferença entre o lucro bruto e o lucro líquido de uma empresa. Assim, por exemplo, o GPI de uma economia poderia até ser nulo se os custos dos impactos ambientais e a degradação social (criminalidade, tráfico de drogas etc.) equivalem ao crescimento do PIB.

Link relacionado:

<http://www.pembina.org/pub/58>

O Índice de Desenvolvimento Sustentável da União Européia (IDS)

O IDS, desenvolvido na União Européia (através do Instituto Europeu de Estatísticas EUROSTAT) é um instrumento para a formulação de políticas públicas através de uma descrição compreensível e sistemática das atividades humanas que afetam o ambiente (JESINGHAUS, 1994, 1995). O índice foi desenvolvido baseado no princípio de Pressão Estado Resposta (PER), uma metodologia bastante usada na construção de um IDS. Por exemplo: as atividades humanas exercem uma *Pressão* sobre o ambiente (poluição do ar, emissão de CO₂ etc.). A consequência da pressão é um determinado *Estado* do ambiente e a sociedade *Responde* através de certas medidas.

O processo de construção da Index segue as seguintes etapas:

Levantamento dos **dados brutos** → **processamento** dos dados brutos → inclusão de **estatísticas ambientais regionais** → inclusão de **estatísticas ambientais nacionais** → desenvolvimento de 60 a 80 **Indicadores ambientais de pressão** → desenvolvimento de 10 **Índices ambientais de pressão** → desenvolvimento de 3 **Índices de bem estar econômico ambiental e social** → 1 **Índex geral de bem estar**.

Os dados levantados para construir os indicadores e o índice, são avaliados nos chamados *campos de ação política*, onde se desenvolvem os debates entre os diversos atores que atuam na área ambiental, tais como ONGs, indústria, associações de fazendeiros, ministérios de energia, agricultura, transporte e turismo. Destes campos emergem as políticas públicas em relação à: *Perdas da biodiversidade, Desaparecimento da camada de ozônio, câmbios climáticos, poluição e perda dos recursos hídricos, problemas ambientais urbanos, ambientes marinhos e zonas costeiras, dispersão de substâncias tóxicas e lixo*.

Há geralmente superposições, porque os indicadores de pressão podem aparecer em vários campos de ação política (Quadro 5).

Poluição do ar	Emissões de NOx	Emissões de NMVOC⁽¹⁾	Emissões de SO₂	Emissões de partículas	Consumo de gasolina e diesel por veículos	Consumo de energia primária
Câmbios climáticos	Emissões de CO₂	Emissões de CH₄	Emissões de N₂O	Emissões de CFC	Emissão de NOx	Emissão de SOx
Perda da biodiversidade	Perda e fragmentação de ecossistemas⁽²⁾	Perdas de ecossistemas aquáticos	Áreas usadas para agricultura intensiva	Fragmentação de florestas e paisagens	Desmatamento de florestas naturais e semi-naturais	Mudanças no uso tradicional da terra
Ambientes marinhos e costeiros	Eutrofização	Sobre-pesca	Ocupação de áreas costeiras	Descargas de metais pesados	Poliuição de óleos no mar e costas	Descarga de compostos orgânicos halogenados
Degradação da camada de ozônio	Emissão de gases de CFC⁽¹⁾	Emissões de BFC⁽³⁾	Emissões de HCFC⁽⁴⁾	Emissões de NOx	Emissão de carbono cloretado	Emissão de CH₃Br
Degradação dos recursos naturais	Consumo de água per capita	Consumo de energia per capita	Taxa de ocupação territorial permanente	Balço de nutrientes em solos	Produção de eletricidade com combustíveis fósseis	Balço reflorestamento-desmatamento
Dispersão de substâncias tóxicas	Consumo de pesticidas	Emissão de poluentes orgânicos persistentes	Consumo de produtos químicos tóxicos	Emissão de metais pesados para corpos hídricos	Taxa de metais pesados no ar	Emissão de materiais radioativos
Ambientes urbanos	Consumo de energia	Resíduos municipais não reciclados	Águas residuais não tratadas	Taxa de transporte individual	Pessoas molestas por barulho	Uso do território para construção civil
Resíduos	Depósitos de resíduos	Resíduos incinerados	Resíduos perigosos	Resíduos Municipais	Resíduo por produto.	Resíduo reciclado recuperado
Poluição e perda dos recursos hídricos	Uso de nutrientes (N&P)	Taxa de uso de águas subterrâneas	Pesticidas usadas por ha de terra agrícola	Uso de Nitrogênio por ha de área agrícola	Águas tratadas	Emissão de matéria orgânica (BOD)

Quadro 5 - O sistema de indicadores - IDS - da UE (EUROSTAT)

⁽¹⁾ CFC: cloro-fluor-carbono

⁽²⁾ NMVOC: Non-Methane Volatile Organic Compounds

⁽³⁾ BFC: bromo-fluor-carbono

⁽⁴⁾ HCFC: hidro-cloro-fluor-carbono

O Índice de Progresso Sustentável (Sustainable Progress Index, SPI)

Este indicador informa sobre a área total de terra que é necessária para garantir a comida, a água, a energia e a absorção dos dejetos por pessoa, por produto ou por cidade (KROTSCHHECK; NARODOSLAWSKY, 1996; WACKERNAGEL; REES, 1996). Mesmo, assim, apesar de ser um excelente indicador agregado do impacto ambiental, ele não captura, e nem foi designado para tal, as dimensões sociais do desenvolvimento sustentável.

Links relacionados:

<http://library.witpress.com/pages/PaperInfo.asp?PaperID=17271>

http://www.spionexcel.tugraz.at/index.php?option=com_content&task=view&id=14&Itemid=28

O Índice de Desenvolvimento Humano Amazônico (IDHAM)

Em 2002, no âmbito do programa de doutorado do Núcleo de Altos Estudos Amazônicos da Universidade Federal do Pará (NAEA) foi desenvolvido um Índice agregado que seja capaz de refletir a opinião da população do Estado do Pará sobre vários temas ligados à concepção de **qualidade de vida**. Baseado em parte nos indicadores do IDH das Nações Unidas, foi realizada uma ampla pesquisa de opinião em todos os municípios do Estado do Pará, dando coeficientes diferentes aos indicadores de base que foram utilizados para a construção do IDHAM (RIBEIRO; FENZL; CANTO, 2002, 2007).

Os resultados mostraram que a população do Estado do Pará associou de uma maneira geral a *qualidade de vida* ao atendimento de suas necessidades básicas e apontou **saúde e trabalho** como essenciais.

Quando se perguntou *o que era preciso para que uma pessoa tivesse qualidade de vida*, a grande maioria dos entrevistados respondeu

“ter boa qualificação profissional”, o que mostra uma diferença com o IDH levantado em sociedades industriais onde uma boa qualificação profissional é obtida amplamente através do ensino público e não figura como elemento essencial para a qualidade de vida.

A pesquisa também revelou que cerca de 60% da população afirmou conhecer um computador e a *Internet*, mas declarou nunca ter usado.

O IDHAM foi calculado com uma unidade variando entre 0.000 (pior qualidade de vida) e 1.000 (melhor qualidade de vida), FIGURA 4.

A pesquisa completa pode ser encontrada no site:

<http://www.gpa21.org/br/publicacoes.php?CodAreaTematica=1>

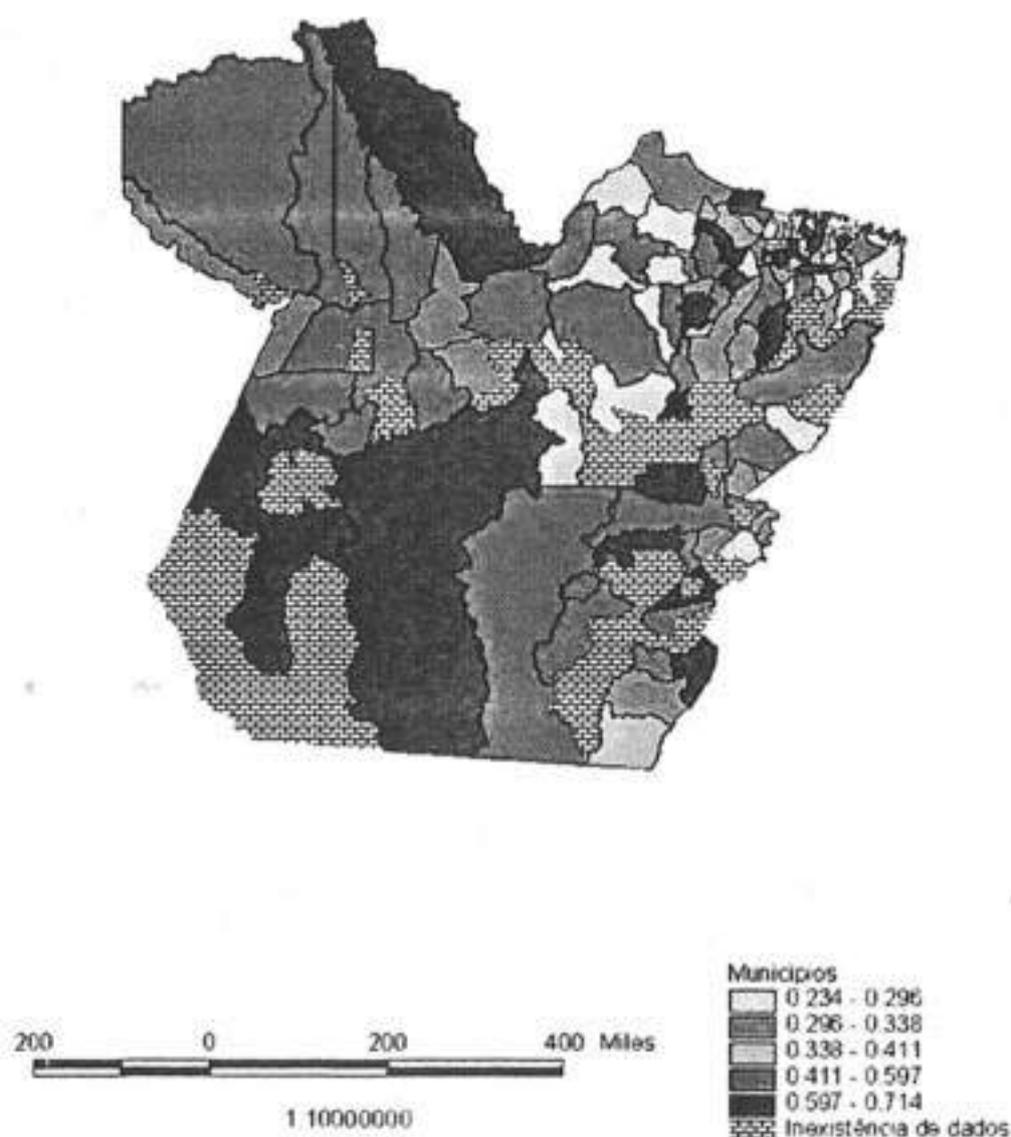


Figura 4 A distribuição geográfica do IDHAM para o Estado do Pará.

O Barômetro de Sustentabilidade (The Barometer of Sustainability)

O Barômetro é um Índice mensura a sustentabilidade nos níveis local, regional e nacional por meio de uma escala de desempenho de duas dimensões: bem estar humano e o bem estar ambiental (ou do ecossistema). Semelhante ao Painel de Controle de Sustentabilidade - (*Dashboard of Sustainability*) ele considera que o equilíbrio entre ambas as dimensões é fundamental para poder definir um sistema ou um processo como sustentável. Uma importante pesquisa da OECD, *The Well Being of Nations* foi desenvolvida em bases do Barômetro de Sustentabilidade. Este trabalho pode ser encontrado nos sites:

<http://www.oecd.org/dataoecd/36/40/33703702.pdf> e

http://www.idrc.ca/en/ev-5474-201-1-DO_TOPIC.html

A Bussola de Sustentabilidade - The Compass of Sustainability (Atkisson 2005);

Outro método, semelhante ao *dashboard*, é a chamada bussola de sustentabilidade que utiliza quatro parâmetros básicos: N (natureza), E (economia), S (sociedade) e B (bem estar). O completo guia para a construção de este Índice se encontra no site:

<http://www.sustainability.com/compass/>

O Índice de poupança genuína (Genuine Savings Indicator)

O Índice de poupança genuína (ou taxa de poupança líquida) de uma economia nacional se baseia na medição de parâmetros tais como: exaustão de recursos, degradação ambiental, câmbios tecnológicos, recursos humanos, exportação de recursos não renováveis, descobertas de recursos naturais, e capital natural (PEARCE; HAMILTON; ATKINSON, 1996). Cada parâmetro possui um valor padrão ótimo e os valores abaixo do padrão (negativos) são contabilizados como contribuição à insustentabilidade.

Detalhes sobre este Índice podem ser encontrados no site:

http://www.uea.ac.uk/env/cserge/pub/wp/gec/gec_1997_03.pdf

Indicadores baseados na demanda material total de uma economia

A contabilidade das demandas materiais de uma economia, ou *Material Flow Account* (MFA) é uma metodologia utilizada principalmente para fazer balanços macroeconômicos dos fluxos de energia e matéria-prima através da economia de um país. Os resultados de uma MFA permitem medir a **eficiência energético-material** de uma economia nacional, regional ou de processos econômicos específicos. Devido a isto, este método de analisar uma economia tornou-se um instrumento importante para “medir” o grau de sustentabilidade de uma economia.

As aplicações práticas destes resultados são muito amplas e começam a assumir um papel importante nas políticas públicas, privadas e na formulação de leis ambientais em vários países da Europa.

A contabilidade de fluxos de substâncias, ou *Substance Flow Analysis* (SFA) é uma metodologia semelhante utilizada por vários centros de pesquisa para determinar o **fluxo de substâncias tóxicas ou ambientalmente impactantes**, dentro de um determinado espaço-tempo de uma realidade sócio-econômica. Na prática se utiliza o procedimento para: a) relacionar poluição com sua origem econômica; b) estudar fluxos de substâncias individuais dentro do conjunto de emissões de substâncias poluidoras; c) relacionar tendências econômicas atuais com problemas ambientais futuros; d) avaliação da efetividade de medidas políticas e legais sobre o meio ambiente etc.

Trata-se de métodos poderosos para construir indicadores de sustentabilidade de uma economia. Baseado na compreensão que um sistema econômico, como todo sistema complexo, requer entradas de recursos naturais, que são transformados em produtos, distribuídos, consumidos e eliminados na forma de rejeitos e lixo, a contabilidade dos fluxos materiais é capaz de comparar a voracidade do consumo

de recursos naturais de uma economia com o bem estar social produzido por esta mesma economia. Quanto maior a discrepância entre consumo de recursos naturais e bem estar social, maior o grau de insustentabilidade de uma economia.⁴

Links importantes:

<http://www.wri.org/publication/material-flow-accounts-tool-making-environmental-policy>

http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-34-00-536/EN/KS-34-00-536-EN.PDF

O Problema da Agregação dos Indicadores

Após uma análise dos indicadores atualmente utilizados podemos concluir que nenhum deles é completamente satisfatório para proporcionar todas as informações realmente necessárias sobre a sustentabilidade de um sistema complexo e suas dinâmicas de transformação.

Por esta razão, os diversos Índices ainda são em parte insuficientes para atender ao objetivo principal: **orientar ações políticas, sociais e econômicas concretas para uma intervenção efetiva em processos atualmente insustentáveis.**

Além disso precisamos reconhecer que a aceitação e o uso político dos Indicadores e Índices é um fenômeno historicamente muito recente. Mesmo assim, avanços significativos já foram obtidos no desenvolvimento de sistemas de indicadores para criar formas de mensuração dos múltiplos processos que compõem o abrangente conceito de desenvolvimento sustentável.

Entretanto devemos reconhecer que apesar do grande esforço realizado, ainda estamos no início de uma grande caminhada. A situação econômica, social e ambiental que hoje estamos querendo mudar é fruto de um processo histórico que durou muitos séculos. Assim,

⁴ O ultimo capítulo do presente livro mostra a aplicabilidade deste metodo no caso concreto da economia brasileira.

não deve surpreender que os indicadores agregados ainda apresentem deficiências importantes e podem esconder sérias deficiências setoriais que ameaçam o sistema como um todo. Isto ocorre, sobretudo quando é necessário adicionar parâmetros que não podem ser medidos nas mesmas unidades, como é, por exemplo, o caso do IDH.

Em resposta às deficiências do indicador agregado, alguns pesquisadores preferem usar listas mais ou menos extensas de indicadores que cubram certas áreas de problemas (NAÇÕES UNIDAS, 1996; WORLD BANK, 1995).

Mesmo assim, a deficiência provavelmente mais significativa é a falta de um referencial teórico consolidado capaz de refletir a viabilidade, ou melhor, a **sustentabilidade de um sistema complexo como um todo**.

Uma tentativa interessante para sistematizar os indicadores, foi a introdução de um quadro de referência, chamado - Pressão, Estado, Impacto, Resposta (PEIR) - que é largamente aplicado em problemas de desenvolvimento sustentável (SWART; BAKKES, 1995; JESINGHAUS, 1995). Nesta abordagem, cadeias (isoladas) de causa e efeito são identificadas para um problema de sustentabilidade específico e os indicadores correspondentes são monitorados. Por exemplo: emissões de CO₂ (pressão) → CO₂ na atmosfera (estado) → elevação da temperatura global (impacto) → medidas para reduzir a emissão de CO₂ (resposta).

Mesmo sendo uma matriz bastante útil, ainda continua sendo linear na medida em que não é capaz de retratar a natureza sistêmica (e dinâmica) dos processos que se desenvolvem na base de permanentes de *feedbacks* recorrentes. Ou seja, pressões e impactos múltiplos não são levados em consideração. Normalmente, as relações não-lineares entre os diversos componentes de uma cadeia sistêmica não podem ser calculados por métodos lineares. Conseqüentemente, os estados e taxas de mudança (estoques e fluxos) calculados são em grande parte inconsistentes.

A construção de indicadores: A proposta de H. Bossel

O Método

Apresentamos aqui uma abordagem metodológica para a construção de Indicadores baseada nas publicações de H. Bossel, que utiliza a teoria de sistemas como fundamento teórico dos seus trabalhos (BOSSSEL, 1977, 1987, 1994).

O Indicadores desenvolvidos por Bossel são numerosos e certamente não poderão ser aplicados em todas as regiões e casos. Entretanto a metodologia apresentada tem grande utilidade, especialmente na construção de uma matriz de sustentabilidade para a atuação política e a elaboração de políticas públicas.

Como foi demonstrado no capítulo anterior, um sistema complexo é uma unidade dialética entre o ambiente externo (relevante) e o espaço interno da organização estrutural, sendo a fronteira estrutural a interface entre estas duas dimensões de espaço - tempo. Para que um sistema complexo seja sustentável, estas duas dimensões precisam ter um grau adequado de coerência que os indicadores de cada dimensão precisam ser capazes de medir. Ou seja, os indicadores devem monitorar a capacidade do sistema de sustentar seu metabolismo energético-material sem destruir de maneira irreversível, seu próprio ambiente relevante e sem desarticular a coesão interna dos seus elementos (ou subsistemas).

Assim, um sistema complexo é sustentável, se a interação entre a *organização estrutural* e o *ambiente relevante* do sistema esteja sustentável no tempo e no espaço (FENZL; HOFKIRCHNER; STOCKINGER, 1997).

Por outro lado, a organização estrutural é constituída por setores, cujo funcionamento é vital para a manutenção da coerência estrutural e da coesão dos elementos do sistema.

Para construir os indicadores adequados capazes de medir e monitorar a sustentabilidade do sistema é necessário - como primeiro passo - definir com precisão os **três componentes fundamentais** do mesmo:

- a) as propriedades básicas do **ambiente relevante**,
- b) os orientadores da **organização estrutural**
- c) as propriedades dos **setores vitais da organização estrutural**

Assim, cada componente do sistema será monitorado e caracterizado por indicadores específicos.

Características dos componentes do sistema	Indicadores específicos
Propriedades básicas do ambiente relevante	Indicadores ambientais
Orientadores da organização estrutural	Indicadores estruturais
Setores principais (vitais) da organização estrutural	Indicadores setoriais

De acordo com a teoria, em última instância a sustentabilidade do sistema como um todo se resume à sustentabilidade da organização estrutural. Assim, o conjunto dos indicadores que refletem tanto as condições *do ambiente relevante* como as *dos setores principais* da organização estrutural devem ser aferidas às necessidades dos orientadores da organização estrutural.

Os passos metodológicos aqui apresentados podem ser resumidos da seguinte forma:

1. **Definição das propriedades básicas do ambiente do sistema** e construção de um set de *indicadores ambientais* correspondentes;

2. **Caracterização dos orientadores da organização estrutural** do sistema e as necessidades de sua satisfação, que por seu lado são medidas pelos *indicadores estruturais*. A definição dos

orientadores decorre da definição das propriedades do ambiente. A satisfação dos orientadores é um aspecto central do método;

3. **Construção dos indicadores setoriais.** A organização estrutural é composta por setores principais que são vitais para a sustentabilidade do sistema como um todo. Os *indicadores setoriais* correspondentes medem a capacidade e contribuição de cada setor para a manutenção e sustentabilidade da organização estrutural;

4. **Aferição dos indicadores numa matriz de sustentabilidade** que define o grau de contribuição do conjunto de todos os indicadores para a satisfação dos orientadores estruturais.

Esta matriz pode ser comparada a um *painel de controle* que orienta as ações de intervenção e de controle do sistema em consideração.

Por exemplo: As propriedades básicas do **ambiente** de uma pessoa (família, trabalho, educação, cidade e país e cultura etc.) são monitoradas através de um conjunto de *indicadores ambientais*. Este ambiente também determina os **orientadores** que representam o conjunto da **organização estrutural** (o corpo física e mental) da pessoa que precisam ser satisfeitas para poder manter-se viva, prosperar, ou seja, *ser sustentável* enquanto individuo dentro do ambiente dado. Os *indicadores estruturais* fornecem as informações necessárias que precisam ser respeitadas para que os orientadores possam ser satisfeitos.

Por outro lado, a organização estrutural (física e mental) é composta de partes vitais (cérebro, coração, memória cultural, estado mental etc.) cujos funcionamentos são monitorados pelos *indicadores setoriais*, que precisam ser aferidas em relação á satisfação dos orientadores, formando assim um tipo de um painel de controle que guia a pessoa nas tomadas de decisões.

Propriedades básicas do ambiente

Um sistema complexo somente pode prosperar de maneira sustentável, se sua organização estrutural estiver compatível com as características do seu ambiente relevante.

Por exemplo, a composição granulométrica de um sedimento reflete as leis da dinâmica do ambiente aquático no qual o sedimento foi depositado. A vida nos oceanos reflete as condições físico-químicas do mar. O sistema jurídico de uma sociedade reflete o ambiente social no qual este foi desenvolvido. Por outro lado, da mesma maneira os organismos dos oceanos também influenciam as características específicas dos oceanos e os sistemas jurídicos influenciam a dinâmica de transformação da sociedade.

Esta interação permanente entre a organização estrutural e o ambiente relevante de um sistema é definida pelo Metabolismo Energético – Material (MEM) e determina os interesses vitais e a coerência e coesão dos elementos (subsistemas ou setores principais) do sistema todo.

Por exemplo, os interesses vitais dos indivíduos que compõem a estrutura de uma comunidade indígena são determinados pelo metabolismo que a comunidade mantém com seu ambiente relevante, no caso a floresta e o rio. Ao mesmo tempo esta comunidade configura seu ambiente de acordo com o modo de produção vigente e transforma uma parte da floresta em torna da aldeia de acordo com suas necessidades de sobrevivência.

Em última instância, as propriedades básicas do ambiente são fundamentais para a manutenção da coerência e coesão entre os elementos que garante a sustentabilidade estrutural do sistema no contexto de um ambiente em permanente transformação.

Assim, as propriedades básicas de um ambiente são caracterizadas por seis situações principais:

O **Estado ambiental normal** indica a faixa de estabilidade do suprimento básico em energia e (ou) matéria para garantir a manutenção da coerência estrutural, ou seja, a *existência* do sistema;

Recursos escassos no ambiente indicam perigo e a necessidade de adaptação à escassez. Isto exige do sistema maior *eficácia* na utilização dos recursos ou modificação do seu metabolismo;

Irregularidade. Se o estado ambiental normal apresenta irregularidades *qualitativas*, o sistema precisa responder com a flexibilidade estrutural necessária para compensar os efeitos negativos das irregularidades do ambiente. Em termos sistêmicos isto significa *liberdade de ação* dos subsistemas ou *elementos* do sistema;

Variabilidade. Se o estado ambiental normal flutua de forma abrupta e caótica, o sistema precisa se proteger contra eventos extremos capazes de colocar o sistema todo em perigo. Isto significa que a estrutura deve ser capaz de atenuar todas as flutuações caóticas através de uma margem de *segurança* dos estoques energéticos e materiais;

Mudança. Se o estado ambiental normal sofre uma *mudança irreversível* de forma gradual ou abrupta, o sistema precisa de uma estrutura com adequada *adaptabilidade* á mudanças irreversíveis;

Coexistência. Para ajustar-se a presença de outros sistemas que podem ser concorrentes ou não em relação aos recursos disponíveis no ambiente, o sistema precisa de um indicador que reflète sua capacidade de *coexistir* com outros sistemas do ambiente relevante.

Os **indicadores ambientais** que decorrem destas propriedades do ambiente permitem ao sistema monitorar e medir as possibilidades da manutenção de sua coerência e coesão estrutural. Em outras palavras, os indicadores ambientais estabelecem os parâmetros externos para a existência e o desenvolvimento da organização estrutural do sistema.

Os Orientadores da organização estrutural do sistema

A organização estrutural do sistema reage às mudanças do seu ambiente relevante através da satisfação (ou não) dos chamados orientadores (BOSSEL, 1977, 1994). A partir da descrição correta das propriedades ambientais, podemos construir os **orientadores estruturais** que precisam ser satisfeitos para garantir a sustentabilidade do sistema em longo prazo.

Existência: A satisfação deste orientador assegura a sobrevivência e subsistência básica do sistema nas condições *ambientais normais*;

Eficácia: A satisfação deste orientador mobiliza a energia necessária para sobreviver em condições de *recursos escassos* no ambiente e demonstra o grau de capacidade de exercer *influência sobre o mesmo*;

Liberdade de ação: A satisfação deste orientador mobiliza os esforços necessários para sobreviver processos imprevisíveis e qualitativamente diferentes no seu estado ambiental normal;

Segurança: A satisfação deste orientador assegura a capacidade do sistema em proteger-se dos efeitos nocivos da variabilidade ambiental, ou seja, condições flutuantes e imprevisíveis, fora do estado ambiental normal;

Adaptabilidade: A satisfação deste orientador assegura a capacidade em mudar seus padrões de organização estrutural a fim de gerar respostas mais apropriadas á mudanças ambientais irreversíveis;

Coexistência: A satisfação deste orientador assegura a capacidade do sistema de garantir o acesso aos recursos necessários na presença de *outros sistemas* (ou atores) concorrentes em seu ambiente;

Necessidades psicológicas: para seres sensíveis (humanos ou animais), a satisfação deste orientador atende *necessidades psicológicas*, tais como evitar sofrimentos físicos ou emocionais.

A capacidade de satisfazer os orientadores depende fundamentalmente da flexibilidade estrutural do sistema. Um sistema equipado para melhor assegurar a satisfação geral dos orientadores, estará mais apto para sobrevivência e sustentabilidade em longo prazo.

Portanto, a **quantificação** do grau de satisfação de um orientador proporciona uma medida para saber até que ponto cada orientador está sendo atendido num determinado espaço de tempo. Em outras palavras, os orientadores nos proporcionam um *checklist* para a formulação das perguntas certas que devem respondidas pelos indicadores.

A importância da satisfação dos orientadores

Os orientadores constituem o elemento chave na construção do sistema de Bossel porque a sustentabilidade do sistema depende fundamentalmente da manutenção da coerência e coesão dos elementos (setores) da organização estrutural. Cada orientador precisa atingir uma *satisfação mínima* e não é possível compensar os déficits de um orientador pela abundância de outros. Por exemplo, um déficit em *liberdade de ação* em uma sociedade não pode ser compensado por um excesso de *segurança*. Planejamento, decisões e ações em sistemas sociais devem sempre refletir pelo menos um punhado de orientadores básicos (ou critérios derivados) **simultaneamente**.

Decorrente disto, a satisfação mínima deve ser obtida separadamente para cada um dos orientadores. Uma deficiência em um dos orientadores pode ameaçar a sobrevivência do sistema como um todo. Somente quando a satisfação mínima necessária de *todos* os orientadores básicos esteja garantida, o aumento da satisfação dos orientadores *individuais* poderá ocorrer se as condições, objetivas assim o permitirem.

As diferenças características no comportamento de organismos, de seres humanos, organizações sociais, grupos políticos ou culturais, podem ser explicadas por diferenças na importância relativa agregada aos orientadores. Por exemplo, um sistema pode dar ênfase em *liberdade* enquanto para outro a *segurança* pode ter absoluta prioridade.⁵

Os setores principais da organização estrutural

A interação entre o ambiente e a organização estrutural do sistema se reflete nos setores vitais da organização estrutural. No caso do corpo humano podemos dizer que a maneira como a pessoa se relaciona com seu ambiente (como vive, se alimenta, atua etc.) se reflete diretamente no funcionamento dos seus órgãos principais (coração, estômago, fígado, estado mental etc.)

⁵ Conf. Krebs e Bossel (1996).

No caso de uma sociedade humana, os diferentes setores (subsistemas) relevantes para o sistema são:

I - Infraestrutura: Assentamentos e cidades, transporte, distribuição da mercadoria, sistema de serviços (energia, água, alimentos, bens, eliminação de dejetos, serviços de saúde, comunicação e mídia, educação e treinamento, ciência, pesquisa e desenvolvimento);

E - Economia: produção, consumo, comércio, trabalho, emprego, mercado e comércio inter-regional;

S - Organização social: desenvolvimento da população, composição étnica, distribuição de renda e estrutura de classe, previdência social;

H - Desenvolvimento Humano individual: liberdades civis e direitos humanos, equidade, autonomia individual e autodeterminação, direito ao trabalho, integração social e participação, papéis de acordo com o sexo e classe específica, padrão de vida material, qualificação, especialização, educação para adultos, horizonte de planejamento familiar e de vida, lazer e recreação;

G - Governo: governo e administração, finanças e impostos e taxas, participação política e democracia, resolução de conflito (nacional, internacional), política de direitos humanos, política de imigração e população, sistema legal, controle da criminalidade, política de assistência internacional, política tecnológica;

R - Recursos, ambiente, futuro: leis e políticas ambientais, política e prática de extração de recursos, proteção dos recursos renováveis, proteção das espécies, direitos das gerações futuras, proteção do legado ecológico e cultural.

Cada um desses setores é vital para o desenvolvimento do sistema geral e representa um determinado *capital*. O conjunto dos subsistemas constitui o *capital total* da sociedade que pode crescer ou depreciar-se e deve ser mantido acima de certo nível para poder garantir a existência e o desenvolvimento geral do sistema todo.

O capital de cada setor pode ser descrito da seguinte maneira:

- **A Infraestrutura material**, constituída pelo *estoque material do sistema*, tais como cidades, estradas, sistemas de abastecimento em geral, escolas e universidades, etc. É a espinha dorsal material de toda a atividade econômica e social;

- **O Capital produtivo**, constituído pelo conjunto dos *meios operacionais* para o exercício de toda a atividade econômica do sistema, tais como tecnologias de produção, distribuição, sistemas bancários, marketing etc.;

- **O Capital social**, é o potencial de *ação coletiva* competente, a habilidade de lidar construtivamente e coletivamente com os processos sociais e empregá-los para o benefício do sistema geral. Isto tem um forte componente cultural;

- **O Capital humano** é o potencial de *ação individual* competente e as possibilidades de desenvolvimento individual. É o resultado acumulado da tradição, cultura, condições sociais, políticas e econômicas ao nível do indivíduo;

- **O Capital organizacional** designa os padrões de *know-how* e desempenho da administração e do gerenciamento do governo, e dos diversos subsistemas de gerenciamento em geral. O Capital organizacional é vital para o uso eficaz dos recursos naturais e humanos para o benefício do sistema total;

- **O Capital natural** representa o *estoque de recursos renováveis e não-renováveis* de materiais, energia e serviços dos ecossistemas, incluindo a capacidade de absorção e regeneração de dejetos.

O funcionamento e o nível de participação de cada setor vital na manutenção e no desenvolvimento de toda a organização estrutural são medidos pelos indicadores setoriais.

É importante notar que a teoria de sistemas deixa muito claro que os três tipos de indicadores (ambientais, estruturais e setoriais) são *interdependentes* mesmo pertencendo a dimensões de espaço-tempo diferentes.

A construção e aferição dos indicadores

A dimensão ética

Num mundo de recursos limitados (energia, materiais, água, alimentos, tempo), os sistemas competem por recursos, vantagens e mesmo pela sobrevivência e muitos precisam destruir outros para sobreviver, como acontece, por exemplo, em cadeias alimentares do tipo predador - caça.

E, querendo ou não, o ser humano pertence exatamente a esta última categoria.

Entretanto, como seres conscientes devemos ter conhecimento das implicações das nossas ações para outros seres e para nosso ambiente em geral. Normalmente podemos escolher entre diferentes ações possíveis, e somos, portanto, responsáveis por essas ações, o que implica na necessidade de atribuir uma **dimensão ética** aos indicadores que queremos construir.

Tradicionalmente, a ética lidava exclusivamente com seres humanos e suas interações, mas recentemente todos os seres sensíveis, capazes de sentir dor, foram incluídos nas discussões sobre ética (WARWICK, 1996; BIRNBACHER, 1988; BORMAN; KELLERT, 1991; DEVALL; SESSIONS, 1985; FROMM, 1976; HARDIN, 1972; JONAS, 1979; KOHN, 1990).

Assim, a ética é chamada a opinar sobre assuntos como a extinção de espécies, destruição de ecossistemas e paisagens, esgotamento de recursos, mudanças irreversíveis no meio ambiente, introdução de tecnologias de alto risco e componentes tóxicos, desaparecimento de culturas indígenas, destruição de realizações culturais, redução de opções para gerações futuras etc.

Os primeiros passos

Para iniciar a construção de um sistema de indicadores capaz de avaliar a viabilidade de um sistema complexo (no caso a sociedade humana), devemos:

- Definir com clareza a razão de nossa preocupação. A sustentabilidade que estamos buscando deve expressar com muita precisão nossos objetivos maiores;

- Adotar um referencial ético que guie o relacionamento com os outros sistemas dos quais dependemos ou cujo destino influenciemos ou de algum modo controlamos;

- Ter dados suficientes sobre os setores vitais (elementos ou subsistemas) que compõem a organização estrutural, cujos limites devem ser definidos com precisão. Devemos conhecer os papéis e funções dos setores vitais para o desenvolvimento geral do sistema;

- Avaliar cada um dos setores vitais e verificar:

a) qual é a viabilidade e o desempenho do setor individualmente?

b) como cada setor contribui para a satisfação do orientador?

c) Definir cada indicador setorial com clareza e sem ambigüidades, com medidas qualitativas ('suficiência', 'insuficiência') ou quantitativas, classificados hierarquicamente.

Os Indicadores ambientais, estruturais e setoriais

Lembramos que o déficit de um orientador não pode ser compensado por uma super-satisfação de outro orientador. A deficiência de um orientador implica em uma ameaça à viabilidade do sistema todo, do qual este faz parte. Deficiências de orientador são, portanto, *luzes vermelhas* que requerem imediata atenção.

Uma vez definidos os componentes fundamentais do sistema, H. Bossel propõe uma lista de cerca de 220 possíveis indicadores, que foram ordenados nas seguintes categorias:

- indicadores normativos e éticos;

- indicadores psicológicos;

- indicadores de qualificação;

- indicadores organizacionais;

- indicadores de condições de vida;

- indicadores de bem-estar e condições sociais;

- indicadores de recursos materiais;
- indicadores financeiros e econômicos;
- indicadores de dependência;
- indicadores ambientais.

Ao combinar os indicadores de *todos os componentes* de uma sociedade, H. Bossel vai além dos métodos geralmente usados que se concentram principalmente em indicadores ambientais, sociais e econômicos sem estabelecer relações consistentes entre os mesmos. Para tal, ele combina os indicadores numa matriz de sustentabilidade que mostra como esses indicadores estão relacionados com o desempenho de cada setor vital e com o desempenho do sistema geral.

Há indicadores que são relevantes para a satisfação de diferentes orientadores em diferentes sistemas setoriais e aparecem, portanto, simultaneamente em diversos lugares da matriz. Porém podem ter diferentes implicações em diferentes contextos. Por exemplo: *alto crescimento de produção* pode contribuir positivamente para *liberdade de ação* do sistema econômico, porém negativamente para os orientadores *segurança* ou *existência*.

O número relativamente grande de indicadores aqui apresentados pode parecer exagerado, mas a lista proposta deve ser entendida como *sugestão* e é bom lembrar que H. Bossel desenvolveu estes indicadores para uma pequena cidade alemã. No caso da realidade brasileira ou amazônica, certamente haverá outros indicadores mais fáceis de obter, ou que melhor respondam à satisfação dos orientadores característicos da região.

Nesta parte do capítulo trata-se principalmente de expor o *método* desenvolvido por Bossel que nos parece importante não somente para a criação de indicadores que refletem o grau de sustentabilidade de uma sociedade ou de uma organização social, mas sobretudo para a elaboração de orientações para políticas públicas.

Por mais importante que seja a construção de Índices ou *clusters* de indicadores, não podemos esperar capturar todos os aspectos relevantes do desenvolvimento de um sistema complexo em um único Índice. Por isso H.Bossel propõe uma *matriz de aferição dos indicadores*, onde todos os orientadores são cruzados com os diferentes indicadores, podendo assim verificar diretamente quais as ações que precisam ser tomadas para garantir a satisfação de um determinado orientador. Uma eventual agregação de indicadores para formar índices deve levar em conta que não é possível construir um índice com indicadores de unidades totalmente incomparáveis, por exemplo, *expectativa de vida com poluição das águas subterrâneas*.

Lembramos que o conceito de sustentabilidade somente tem sentido se é referido a um sistema específico bem definido (uma economia nacional, um país, uma região etc.). Conseqüentemente, conjuntos de indicadores são sempre específicos para um sistema definido. Entretanto sistemas semelhantes - por exemplo, municípios da Amazônia brasileira - por mais diferentes que possam ser, certamente apresentam também aspectos sistêmicos semelhantes.

As categorias de Indicadores de Bossel

Em seguida apresentamos as 10 categorias de indicadores com seus respectivos números e os objetivos de seu levantamento. É imprescindível lembrar que cada indicador aqui enumerado é uma proposta que deve ser adaptado para cada caso específico. Em muitos casos certos indicadores podem não fazer sentido ou simplesmente não podem ser calculados devido a ausência de informações necessárias.

Indicadores Normativos e Éticos

N01 - Proteção da saúde e dos direitos do indivíduo, natureza, gerações futuras na lei básica (Constituição)

N02 - Frequência das violações dos direitos humanos

N03 - Desconto do futuro aplicado em decisões políticas

N04 - Grau de concordância das **decisões políticos e econômicos** com os **princípios éticos** da cultura regional

N05 - Grau de concordância do **sistema legal** com as necessidades de **sistemas naturais** e de **gerações futuras**.

N06 - Nível de **justiça** (percentual da população que vê o sistema como “extremamente injusto”)

N07 - Fração da população com **orientação** predominantemente **competitiva vs. Orientação cooperativa**

N08 - Percentual de **comercialização dos serviços sociais essenciais**

N09 - Fração de **atividades econômicas controversas** (ambiental, de recursos, problemas econômicos e sociais, direitos humanos, ética, protestos nacionais e internacionais)

N10 - **Número de juízes e advogados** por 100.000 habitantes.

N11 - **Inércia de normas sociais**: taxa de mudança de normas e comportamentos sociais: (inventário de bens de consumo)/ (taxa de reposição eficiente de bens) = tempo de adoção de inovação.

Indicadores Psicológicos

P01 - **Ansiedade** relacionada a problemas **econômicos** (pobreza, desemprego e % da população que vê isto como *problema sério*)

P02 - **Ansiedade** relacionada a **problemas infra-estruturais** (% da população que vê isto como *problema sério*)

P03 - **Ansiedade** relacionada a **problemas sociais** (% da população que vê isto como *problema sério*)

P04 - **Ansiedade** relacionada a **desenvolvimento individual** e autodeterminação (% da população que vê isto como *problema sério*)

P05 - **Ansiedade** relacionada a **governo e administração** (% da população que vê isto como *problema sério*)

P06 - **Ansiedade** relacionada a **recursos, ambiente, futuro** (% da população que vê isto como *problema sério*)

P07 - Índice de **felicidade** pessoal (bem-estar): percentual da população *feliz com sua vida*

P08 - Percentual de pessoas que considerem sua **vida determinada por forças externas**: burocracia, hábitos, normas sociais.

P09 - **Satisfação no trabalho**: número de dias de licença por empregado, por ano / dias de licença por média de adultos por ano)

P10 - Percentual da população que preferiria viver em outro lugar por razões de **desenvolvimento pessoal**

P11 - Percentual da população que preferiria viver em outro lugar por razões de **deficiência de infra-estrutura**

P12 - Percentual da população que preferiria viver em outro lugar pelo **futuro dos filhos**

P13 - **Alienação política**: percentual da população que não se identifica com nenhuma das filosofias políticas representadas pelos políticos eleitos ou pelo governo

P14 - Grau de **coerência** entre a forma política de governo e o sistema econômico e as normas sociais e culturais

P15 - Proximidade média de **locais de lazer e descanso** (por ex. florestas, parques, templos, Igrejas, etc.)

P16 - **Estética paisagística** regional (em uma escala de *agradável para feia*)

Indicadores de Qualificação

Q01 - Taxa de **investimento em educação**) / taxa de investimento em **produção de capital**

Q02 - **Custo anual** de educação / produto interno bruto

Q03 - **Custo de educação individual**.

Q04 - **Tempo de vida** media gasta em **educação e treinamento**

Q05 - Índice de **equidade educacional**: anos de educação dos 10% mais graduados / anos de educação dos 10% menos graduados

Q06 - **Nível de educação dos 20% menos graduados** da população

Q07 - Qualidade e nível médio da **educação e profissionalização**: equivalente em anos de educação europeia

Q08 - **Espectro de qualificações**, qualificações pessoais, experiência: nº de qualificações qualitativamente diferentes por 1000 hab (múltiplas qualificações por pessoa contam!)

Q09 - Relação entre empregados com pouca **especialização** e empregados **muito especializados**

Q10 - Exigências de **competência** de emprego em negócios e indústria, administração, política, ciência, educação)

Q11 - Percentual da população adulta com **capacitação de gerenciamento** e organização (remunerada ou não): porcentagem da população que poderia gerenciar um negócio de mais de 3 pessoas, com eficiência

Q12 - **Nível de qualificação** de empregados e gerentes em relação ao nível médio de qualificação da população

Q13 - Nº médio de **alternativas individuais** viáveis na atual situação (emprego, local de moradia)

Q14 - Média de **anos em um emprego** ou cargo

Q15 - Possibilidade de adesão a um **plano de vida**

Q16 - **Liberdade** pessoal de buscar novos rumos: anos de preparação antes que seja possível uma mudança maior

Q17 - Percentual da população atingida por **informação** de mídia qualificada (jornais, revistas, TV, rádio, livros)

Q18 - **Potencial criativo**: artistas, escritores, cientistas por 1000 habitantes.

Q19 - Percentual da população adulta que **continua sua educação** após o término da educação formal (> que 200 horas por ano)

Indicadores Organizacionais

O01 - Grau de **estabilidade** financeira, política e social: inflação; duração média do governo

O02 - Percentual de **projetos do governo modificados** ou abandonados

O03 - Disponibilidade **orçamentária** (% do total de gastos): (superávit ou déficit líquido) / (total da receita do governo)

O04 - Potencial disponível de **fundos não comprometidos** como fração do orçamento total

O05 - (**Custo do governo** ou administração per cap.) / (custo de vida médio)

O06 - **Redundância** de processos, serviços e instituições essenciais e centrais.

O07 - Índice de **opções** de sistema viáveis (nº de diferentes opções viáveis por decisão implementada)

O08 - (Nr. de problemas maiores não resolvidos) / (problemas resolvidos por ano) = **tempo de solução de problemas**

O09 - Porcentagem de **problemas resolvidos pelo governo** e administração (comparados aos 'resolvidos' por negligência, negócios e indústrias, organizações não-governamentais ou agentes internacionais)

O10 - **Taxa de sucesso** no alcance de objetivos em longo prazo: (objetivos pendentes / taxa de alcance de objetivos) = tempo de realização de objetivos

O11 - Percentual de **crimes solucionados e condenações**

O12 - Percentual do PIB que vai para suborno, **corrupção** e favores políticos.

O13 - **Capacidades administrativas** e organizacionais livres e fundações (como percentagem do total): percentagem de cientistas e planejadores de pesquisas e desenvolvimento orientados para o futuro

O14 - Média de **qualificações** profissionais múltiplas por escalão administrativo superior

O15 - Nível de **burocracia** institucional: burocratas e administradores no governo e na indústria por adultos economicamente ativos

O16 - Porcentagem de **infra-estrutura** essencial que não pode ser convertida a uma base diferente de recurso em menos de dez anos

O17 - Tempo médio de **mudança institucional** (leis, instituições, infra-estrutura)

O18 - **Tempo médio necessário para implementar** grandes decisões empresariais (por ex. trazer uma pequena instalação industrial a uma comunidade)

O19 - Espectro de **opinião política** (média): porcentagem da mídia alienada ao maior partido político

O20 - Telefone ou **telecomunicação** por 1000 hab. (incluindo PC's com ligação à Internet, etc.)

O21 - Grau de **responsabilidade descentralizada**: porcentagem de problemas resolvidos por terceirização

O22 - Percentual da **força de trabalho autônoma** ou em pequenos negócios (< que 10 empregados)

O23 - Eficácia da **participação** política e social

O24 - Percentual de população **politicamente ativa** em todos os níveis de auto-governo e organizações não-governamentais (ONG's)

O25 - Média de associação individual em **grupos sociais**, clubes, ONG's, per capita

O26 - Frequência de **eleições** democráticas e plebiscitos (nº por década)

O27 - Período médio de grandes **mudanças políticas** no país

O28 - Fração de organizações não-governamentais (ONG's) por atividade social

O29 - **Programas inovadores** introduzidos pelo governo e a administração: Porcentagem de atividade econômica originada de apoio inovativo do governo (pesquisa, subsídios, isenção de taxas...)

O30 - Percentual de (grandes) **mudanças de espectro de produtos** por ano: média percentual de produtos inovadores de origem regional por ano em todos os setores da indústria

O31 - Produtos criativos (patentes, livros, arte, música), etc.
por 100.000 habitantes

Indicadores de Condições de Vida

L01 - Densidade populacional (hab./km²)

L02 - Taxa líquida de crescimento da população

L03 - Taxa líquida de crescimento da população) / (taxa líquida de crescimento da infra-estrutura)

L04 - Proporção de mudança da taxa de natalidade

L05 - Taxa de mortalidade infantil

L06 - Taxa de longevidade

L07 - Proporção de mudança da taxa de longevidade

L08 - Suplemento de calorias per capita conforme porcentagem mínima de necessidade diária para adultos, para a parcela mais pobre da população.

L09 - Proporção de crianças subnutridas (ou hiper-nutridas)

L10 - Taxa per capita de material de consumo para o consumo suficiente

L11 - Percentual da população em nível de pobreza

L12 - Percentual da população dentro do alcance (uma hora a pé, bicicleta ou transporte público) de todos os **serviços essenciais** (suprimentos essenciais, médico, social, administrativo, cultural, educacional)

L13 - Percentagem da população com acesso a água tratada suficiente para o local onde habitam

L14 - Porcentagem da população vivendo em cidades > 50.000 hab.

L15 - Margem financeira = (Média de propriedade, poupança, seguro) / (taxa de renda anual do salário mínimo)

L16 - Proporção média de valor de moradia para a renda anual

L17 - Metros quadrados de vivenda por hab.

L18 - Distância percorrida a pé ou de bicicleta pelas pessoas por dia

L19 - Taxa de leitura por adulto

L20 - Taxa de capacidade de serviço (estradas, escolas, hospitais, etc.) / (taxa de expansão ou deterioração)

L21 - Grau de segurança interna e externa: n° de pessoas mortas por ano (por 100.000) em decorrência de terrorismo, crime, instabilidade social, guerra.

L22 - Grau de estabilidade social: pessoas desalojadas por ano (por 100.000 hab) em decorrência de guerra civil, condições econômicas ou ecológicas, enchentes, etc.

L23 - Porcentagem da população em hospitais, prisões, instituições mentais: (leitos x ocupação) / população.

L24 - Fração de tempo de vida individual necessário para o meio de vida suficiente: (horas / n° médio de horas)

L25 - Fração de tempo de vida necessário para ter acesso a serviços essenciais (transporte, espera, incl. viagem para o serviço)

L26 - Fração de tempo de vida alocado para o lazer: (horas / média de horas de vida)

L27 - Fração de tempo de vida despendida em atividades significativas e realizadoras: (horas / média de horas de vida)

L28 - Fração de tempo de vida perdida com doenças e incapacitação

L29 - Taxa de mudança de qualidade de tempo de vida (educação, saúde, transporte, comunicação) (ou taxa de mudança de tempo de vida necessário para assegurar as necessidades essenciais)

L30 - Mortalidade e incapacitação evitável como fração da mortalidade e incapacitação geral (fome, pobreza, epidemias, violência, falta de infra-estrutura)

Indicadores de Bem-estar

W01 - Grau de iniquidade social (percentual da população

sob condições discriminatórias por questões de sexo, raça, cultura, religião, pobreza, classe)

W02 - **Encargos para as futuras gerações** devido a demandas excessivas do presente: (uso de recursos não-renováveis / necessidade de estilo de vida suficiente); (débito/capita)

W03 - **Distribuição de renda:** (renda dos 10% do topo) / (renda dos 10% da base)

W04 - **Índice da taxa de mudança da desigualdade de renda** (renda dos 10% mais pobres / renda média)

W05 - **Problemas sociais** como percentagem dos assuntos políticos ativos: percentagem do tempo do parlamento, devotado aos problemas sociais.

W06 - Percentagem da **população com renda abaixo do nível de suficiência**

W07 - **Taxa de mudança dos problemas sociais:** taxa de mudança da fração da população com renda abaixo do nível de suficiência (pobreza)

W08 - Percentagem da população dependente do sistema de **serviço social** (seguro desemprego)

W09 - (**Poupança** ou débito médio) / renda anual

W10 - Fração da população capaz de **sustentar-se** a um nível de suficiência em uma emergência

W11 - Valor médio do acesso à **propriedade** (privada ou comunal: moradia, terras, veículos, bens, etc.) em termos de renda média anual.

W12 - Percentagem de grandes riscos pessoais cobertos pela rede de seguros ou **seguro social**

W13 - Percentagem das **necessidades sociais cobertas eficazmente** pelo sistema

W14 - **Taxa de mudança da capacidade de serviço social:** taxa líquida da mudança do capital de serviço social per capita (depreciação do investimento)

W15 - Percentual de segurança de fundos, ou dos **processos de seguro social** para os próximos cinco anos

W16 - Probabilidade de **financiamento adequado** para os processos de sustento social em vinte anos

W17 - Taxa de **desemprego**: percentual de trabalhadores adultos que querem, mas não conseguem achar trabalho.

W18 - Taxa de mudança do nível de **desemprego**

W19 - Índice de **distribuição de emprego**: (volume total de trabalho empregado por semana / população de trabalhadores adultos) / (semana normal de trabalho)

W20 - **Proporção de sustento social**: (crianças + velhos + doentes + desempregados) / (população de trabalhadores)

W21 - Taxa de mudança na **proporção de sustento social**

W22 - **Custo unitário do serviço social**: custo do serviço social anual per cap. por pessoa atendida vs. renda média anual

W23 - Fração da população de trabalhadores empregados (remunerados ou não) no **trabalho de serviço social**

W24 - Proporção de **serviço voluntário** (horas) em relação a serviços pagos (horas)

W25 - Fração de **tempo de vida de contribuição social** dos indivíduos vs. Trabalho para ganhos pessoais (remunerados ou não)

W26 - Tamanho médio da **unidade familiar** que habita num mesmo local

W27 - Taxa média de intenso **contato social**, do tipo familiar, por dia.

W28 - **Distância** média entre o local de moradia dos membros da **família abrangente**

Indicadores de Utilização de Recursos Materiais

M01 - **Consumo de recursos** energéticos e materiais per capita: (energia / capita x ano), (metais / capita x ano)

M02 - Média de **consumo e poluição** de recursos por produto e serviço, com relação à melhor solução técnica (**pegada ecológica / pegada mínima**)

M03 - **Custo de energia** como fração do custo operacional do sistema total

M04 - (Estoques de alimento e produtos essenciais) / (taxa de consumo) = constante de tempo de **reservas**

M05 - Percentual de **capacidade de carga** regional utilizada no presente padrão de vida (produção primária e capacidade de absorção de dejetos)

M06 - **Dependência de recursos esgotáveis**, fração de energia renovável.

M07 - (Taxa de uso de **recurso renovável**) / (taxa de regeneração de recurso renovável)

M08 - (Suprimentos de **recursos esgotáveis**) / (taxa de uso de recurso esgotável) = vida do recurso

M09 - Energia necessária para **obter** uma unidade de **recurso renovável** (unidade de energia / unidade de energia) (por ex. pesca, agricultura)

M10 - **Taxa de mudança de energia** necessária para **obter** uma unidade de **recurso renovável**

M11 - Energia necessária para **extrair** uma unidade de **energia não-renovável** (unidade de energia / unidade de energia)

M12 - **Taxa de mudança de energia** necessária para **extrair** uma unidade de **energia não-renovável**

M13 - (Taxa de desenvolvimento de **substitutos de energia renovável**) / (taxa de esgotamento de recursos de energia não renovável)

M14 - **Redundância de suprimento** (para energia, água, alimento): percentual que pode ser fornecido por outras fontes que não a presente.

M15 - Quilômetros percorridos por veículos de transporte per - capita por ano (transporte de pessoas em carros, ônibus, trens, aviões)

M16 - Distância média de transporte para as fontes essenciais (água, energia, alimentos materiais)

M17 - Necessidade sistêmica de sistemas de transporte: percentual da economia dependente de transporte externo (não local)

M18 - Fator de diversidade para alimento, transporte, educação, saúde: número médio de alternativas.

M19 - Fator de redundância de serviços essenciais de infraestrutura: porcentagem de serviços essenciais com pelo menos uma segunda instalação ou instalação independente

M20 - Espectro de futuras opções sociais fornecidas pelas soluções infra-estruturais (porcentagem. Conversível para opção qualitativamente diferente em menos de cinco anos)

Indicadores Financeiros e Econômicos

F01 - Indicador de Esforço econômico per capita: (PIB per capita) / (PIB per capita para suficiência)

F02 - Taxa de crescimento de produtividade

F03 - Despesas com manutenção de estoque de capital / valor do estoque de capital

F04 - Porcentagem de segurança de custo fixo e manutenção de financiamento para os próximos 20 anos

F05 - (Total de capital infra-estrutural) / (taxa de investimento infra-estrutural) = tempo renovável (tempo de vida médio do capital infra-estrutural)

F06 - (Valor do estoque de capital) / (valor da taxa de rendimento de uso final) = anos de reembolso

F07 - (Taxa de poupança) / (taxa de depreciação de capital)

F08 - (Custo anual do serviço da dívida) / (renda total)

F09 - (Débito per capita) / (custo de vida médio)

F10 - **Débito futuro da pegada:** (débito) / (taxa líquida de reembolso) = tempo de reembolso

F11 - **Taxa de mudança de débito futuro da pegada**

F12 - **Impacto social e ambiental:** taxa de custos externos em operações econômicas para valorar transações econômicas (PIB)

F13 - **Taxa de subsídios econômicos** do governo ou estrangeiros (taxa anual) em relação à taxa de rendimento econômico (PIB)

F14 - **Taxa de geração de superávit** material ou financeiro como fração do investimento total

F15 - **Profundidade comercial** da cadeia de transformação para produtos essenciais: taxa do preço do trigo para o preço do pão (\$/kg) / (\$/kg)

Indicadores de Dependência

D01 - Percentual de **dependência de suprimentos vitais** (alimento, água, energia, materiais essenciais, moeda estrangeira) de fontes fora do controle do sistema (município, região, estado, país, ecossistema, etc..)

D02 - Percentual da **produção essencial** gerado dentro do sistema

D03 - **Taxa doméstica de produção de potencial de alimentos** / demanda de alimento

D04 - Percentual de **produção, comércio e distribuição** por organizações domésticas.

D05 - Percentual de **carga de uso de recursos e meio ambiente** dependente de uso não compensado de bens comuns internacionais (atmosfera, biosfera, solo)

D06 - **Importação e exportação de poluição** de ar e de água: (quantidade que entra no país) / (quantidade que sai do país)

D07 - Percentagem de **parceiros internacionais** com visão e interesses semelhantes (língua, política, cultura, religião)

D08 - **Índice de disparidade de parceiros comerciais:** \sum_i (expectativa de vida nacional - expectativa de vida do parceiro i) / (i*expectativa de vida nacional)

D09 - **Trocas comerciais inter-fronteiras e comunicação vs. Trocas domésticas:** proporção do valor de (importação + exportação) comércio para o produto nacional bruto.

D10 - **Importação ou exportação de problemas sociais** (migração, assistência a estrangeiros): (taxa de migração / população) * (nível médio de ensino / nível médio de ensino dos migrantes)

D11 - **Percentual da população nascida fora do país** (compatibilidade de linguagem, diversidade)

D12 - **Média de contatos internacionais intensivos per cap e por ano** (equivalente a 1 hora de conversa, 2 páginas de carta, etc.)

Indicadores de Carga Ambiental

B01 - **Pegada ambiental vs. Pegada sustentável permitida:** área a partir do ecossistema necessária per capita para produzir ou absorver os serviços utilizados do ecossistema

B02 - **Taxa de mudança de pegada ambiental**

B03 - **Carga externa sobre o ambiente** devido a necessidades pessoais: (taxa atual de consumo) / (taxa suficiente de consumo)

B04 - **Emissões de gases do efeito estufa** por resultado econômico: (toneladas de CO2 equivalentes) / (\$ PIB)

B05 - **Taxa de mudança de indicadores ambientais principais** (poluição, desertificação, esgotamento) (porcentagem de mudança por ano)

B06 - **Porcentagem de ecossistemas intactos** (área relativa)

B07 - **Taxa de mudança de área de ecossistemas intactos** (selva)

B08 - **Erosão de ecossistema** pela infra-estrutura: estradas e densidade de tráfego (comprimento x km², km percorridos x veículos por Km²)

B09 - **Taxa de mudança de produção primária** requisitada para uso humano (florestas, agricultura)

B10 - **Taxa de mudança de índice de diversidade ecológica**

B11 - **Espécies em vias de extinção** como percentual de espécies nativas

B12 - **Taxa de mudança da lista de espécies em vias de extinção**

B13 - **Taxa de crescimento de espécies resistentes a biocidas**

B14 - **Taxa de mudança do número de químicos persistentes no ambiente**

B15 - (Taxa de produção ou importação de **químicos - chaves**) / (taxa de **absorção**): acúmulo líquido de poluição persistente

B16 - Percentual de **km de praias e rios não poluídos**

B17 - **Perda de fertilidade**: (solos contaminados + erodidos + acidificados + alcalinizados) / (solo fértil original)

B18 - **Taxa de esgotamento de recursos não - renováveis**: estatística de tempo de vida do recurso = (reservas de recurso) / (taxa de uso do recurso)

B19 - **Taxa líquida de desgaste de recurso renovável** = (taxa renovável - taxa de obtenção) (para florestas, aquíferos, pescado, solo)

B20 - **Capacidade de amortecimento (buffer) vs. reservas utilizadas** (reservas, ecossistemas intactos, águas subterrâneas, capacidade de amortecimento do solo)

B21 - Percentual de fornecimento de **recurso**, reciclagem, regeneração, **funções** de absorção de dejetos que devem ser fornecidas por meios **técnicos** (rede de esgoto, sistemas de água, gerenciamento de dejetos...)

B22 - **Área utilizada para agricultura sustentável compatível** / área agrícola total

B23 - Percentual de **adaptação local** de métodos de uso de recursos para as condições locais

B24 - **Diversidade** e capacidade de uso múltiplo da **base de recursos** e do ambiente: número de campos de plantações regionalmente adaptados, cada um capaz de suprir 10% da demanda regional.

B25 - **Capacidade de carga** atual vs. capacidade de carga utilizada

B26 - **Taxa de mudança da capacidade de carga** regional: taxa de mudança de produção primária e capacidade de absorção de dejetos

B27 - **Índice de sustentabilidade** da região: por cento do PIB baseado em atividades sustentáveis

B28 - **Proximidade de colapso** (Eutrofização, erosão, exaustão de recurso, super-exploração) (porcentagem de nível crítico)

B29 - Limite de **adaptabilidade** de ecossistemas chave: taxa atual de mudança vs. Taxa de mudança permitida

B30 - Taxa de **execução de hipoteca** de importantes **opções** (ambiente, recursos, desenvolvimento regional): taxa de conversão de terra agrícola fértil para infra-estrutura, etc. (por cento/ano); acúmulo de dejetos persistentes.

B31 - **Custo de saúde da poluição** ambiental: porcentagem de tempo de vida perdido para a poluição ambiental (doença, morte prematura: ver índice DALY).

B32 - Percentual de rendimento econômico (teoricamente) necessário para **contrabalançar efeitos prejudiciais** do sistema

B33 - Distribuição percentual de **degradação ambiental** (água, combustível vegetal e florestas, erosão) devido à pobreza.

Aferição dos orientadores básicos: a Matriz de Sustentabilidade

Uma vez os indicadores escolhidos, definidos e construídos, chega a fase da aferição dos mesmos com os orientadores básicos. Para isto, classificamos os indicadores de acordo com sua contribuição ao desempenho dos setores principais da organização estrutural do sistema: I - Infraestrutura, E - Sistema econômico, S - Sistema social,

H - Desenvolvimento humano individual, G - Sistema de governo, R - Recursos e meio ambiente.

Em seguida classificamos os indicadores que contribuem para a sustentabilidade do sistema total dentro da matriz de sustentabilidade.

O próximo Quadro 06 mostra o exemplo de uma matriz criada por H.Bossel para o caso específico de uma comunidade na Alemanha. O tamanho da matriz é diretamente proporcional a quantidade de dados disponíveis.

A matriz de sustentabilidade tem como função de classificar os indicadores de acordo com sua respectiva contribuição para (i) o desempenho dos setores principais e (ii) da contribuição dos setores principais para a sustentabilidade do sistema total sistema total.

Para cada sistema específico a matriz de sustentabilidade deverá ser construída individualmente.

Orientador	Desempenho dos setores principais						Contribuição dos setores principais para a sustentabilidade do sistema total					
	I	E	S	H	G	R	I	E	S	H	G	R
Existência	L20 F05	F13 D01	L02 W14 W15	L24 L30 L05	O03 F08 F09	B05 M08 M07 B11 B25	L13 L12 L30 D03 L08 B14	L11 B10	W07 L04 L07 W04 W08	W10 W04	O08 O09	M05 B21
Neces- sidades psicoló- gicas	L12 N08	N04	W26 W27 W28 P15	P07 W01 Q05 L26 L27	P13 P14	N07 P16	P02 P11	P01	P03 N06	P04 P10	P05 P13	P06 P12
Eficácia	F06 Q02 F15 M15 L18 F03 L22 M01 O20	W01 M02 F05	W23 W22 W24 B31 O12	O23 L27 L28	O15 O08	M06 B06 M11 M12 M09 M10 M01 B04	L25 M16 Q03 O31	L24 B32 B26 M06	W13 L23 W06	Q11 B27 B26	O08 O05 O11	M03 M16
Liberdade	F05 M18 O04 Q12 L14	O18 F07 O04 P09 F02	W17 W22 W13 W18	L06 N02 P08 O24 Q18 P13 L19	F08 O13	M07 M08 B20	M18 B08 M17 L06 L17 L16 L25	Q13 O04 B30 F01	O04 W23 W05	Q08 Q09 D02 F14	O26 O19 O07	M14 M07 L02

Segurança	M19 L05 L30	D01 M06 O06	W20 W21 W16	W09 L30 Q15 W12	O01 O10 O02	B01 B02 B15 B28	L30 B05	L15 L11 M04 B12 D04	W05 B23 W07	W11 Q10	L21 O11 B05 L22	D01 M14 M08 B19 B22 B13
Adapta- bilidade	O17 Q07 Q01 O15	O30 O13	O28 O15 Q07 Q17	Q08 Q04 Q16 Q19	O14 O21 O17	M13 B29 M10 B23	M20 L03 L29 B10	Q08 Q13 O22	O25 N11 Q06	Q08 N10 Q14	O27 O29	O16 B24 B14 B16
Coexis- tência	B05 B01 B02 B30	F12	W01 W02	W25 B03 W01	D07 O24 N05	B07 B10 N03	B06 B01 B02 B30 D09 L01	N09 B09 L10	D11 D10 W02 W19 L09 W03 W05 W01	D12 B01 B02 F10 F11	N01 O08 D08	D05 B15 B18 D06 B17

Quadro 6 A Matriz de Sustentabilidade segundo H.Bossel

Esta matriz permite ter uma visão bastante geral da sustentabilidade do sistema *como um todo* e deve servir de orientação para ações políticas concretas.

Por exemplo: Para a satisfação do orientador *Existência*, cada setor principal requer um determinado nível de desenvolvimento que é medido por alguns indicadores. Assim, no presente caso, os indicadores L20 (*Taxa de capacidade de serviço*: estradas, escolas, hospitais, etc. / taxa de expansão ou deterioração) e o indicador F05 (*Indicador de renovação da Infra-estrutura*: Total de capital infra-estrutural / taxa de investimento infra-estrutural) foram usados para medir o desempenho do setor infra-estrutura (I) na satisfação do orientador EXISTÊNCIA.

Da mesma forma esta matriz escolheu, por exemplo, a *taxa de mudança do índice de diversidade ecológica* (indicador B 10) e o *percentual da população em nível de pobreza* (indicador L 11) como indicadores importantes para medir o nível da contribuição do setor econômico (E) para a sustentabilidade do sistema como um todo.

A Figura 5 em anexo mostra a hierarquia das relações entre componentes do sistema e indicadores.

Referências

- BARANZINI, A., O'CONNOR M., (1996): *The green national product: the neoclassical capital theory and its application*. Geneva: International Academy of the Environment, 20 p. (Working paper / International Academy of the Environment W43)
- BELLEN, H. M. (2005): *Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa*. RJ: FGV.
- BIRNBACHER, D. (1988): *Verantwortung für Zukünftige Generationen*, Stuttgart, Enke;
- BORMAN, F.H., KELLERT, S.R. (Eds.) (1991): *Ecology, Economy, Ethics: The Broken Circle*, Yale University Press, New Haven, CT;
- BOSEL H. (1977): *Orientors of nonroutine behavior*, em H.Bossel (ed), *Concepts and Tools of Computer-assisted Policy Analysis*. Basel, Birkhäuser, p. 227-265;
- BOSEL, H. (1987): *Viability and sustainability: Matching development goals to resource constraints*. *Futures*, vol. 19, n° 2, páginas 114-128;
- BOSEL, H. (1994): *Modeling and Simulation*. Wellesley Mass., A K Peters, and Wiesbaden, Vieweg, Cap. 5.
- BROUWER R., O'CONNOR M., RADERMACHER W. (1996): *Defining Cost Effective Responses to Environmental Deterioration in a Periodic Accounting System*, in *Proceedings of the Third Meeting of the London Group on Natural Resource and Environmental Accounting* (May 1996), Statistics Sweden, Stockholm, pp. 397-422.
- COBB, C., HALSTEAD, T., ROWE, J. (1995): *If the GDP is up, why is America down?* *Atlantic Monthly*: October, 1995.
- DEVALL, B., SESSIONS, G. (1985): *Deep Ecology - Living as if nature mattered*, Peregrine Smith, Layton, UT;

FAUCHEUX, S. E O'CONNOR, M. (Eds.) (1998): *Valuation for Sustainable Development: Methods and Policy Indicators*, Edward Elgar, Cheltenham; R. Brouwer.

FENZL, N.; RIBEIRO, A. L.; CANTO, A.: *Diagnóstico da Qualidade de Vida nos Municípios da Amazônia - a construção de um índice agregado de desenvolvimento humano para a Amazônia*. In: CASTRO, E.; HURTIENNE, T.; SIMONIAN, L.; FENZL, N. (Org.). *Atores Sociais, Trabalho e Dinâmicas Territoriais*. Belém: NAEA/UFPA, 2007, p. 309-326.

FENZL, N., HOFKIRCHNER, W., STOCKINGER, G. (1997): *Information und Selbstorganisation*, Studien Verlag; ISBN-10: 3706511908

FROMM, E. (1976): *To Have or To Be?* Harper and Row, New York;

GODIN, B. (2005): *La Science sous observation, 1906-2006*, Presses de l'Université Laval

HARDIN, G. (1972): *Exploring New Ethics for Survival*, Viking Press, New York;

HUETING, R., BOSCH P. (1990): *Note on the correction of national income for environment losses*. 'Statistical Journal of the United Nations Economic Commission for Europe, vol. 7 n° 2, 75-83, IOS Press;

HUETING, R., BOSCH P., DE BOER, B. (1992): *Methodology for the Calculation of Sustainable National Income*, Statistical Essays, M44, CBS Statistics Netherlands, SDU/Publishers's-Gravenhage 64 p.

JESINGHAUS, J. (1994): *Eurostat Pressure Index Project*: Excerpt from the call for tender. Published in the Official Journal of the European Communities, No. S129 of 8th July 1994 and No. C186 of 8th July 1994.

JESINGHAUS J., (1995): *Green accounting and environmental indicators: The Pressure Indices Project*, SCOPE Workshop on Indicators of Sustainable Development, Wuppertal, EUROSTATE/Commission for the European Communities.

JONAS, H. (1979): *Das Prinzip Verantwortung*, Insel Verlag, Frankfurt;

KOHN, A. (1990): *The Brighter Side of Human Nature: Altruism and Empathy in Human Nature*, Basic Books, New York;

KREBS F., BOSSEL, H. (1996): *Emergent value orientation in self-organization of an animat*. Ecological Modeling 1762

KROTSCHECK CH., NARODOSLAWSKY M. (1996): *The Sustainable Process Index (SPI) - A new dimension in ecological evaluation*. Ecological Engineering 206;

KUZNETS, S. (1934): *National Income, 1929-1932*. Senate document, no. 124,73d Congress, 2d session, 1934.

NAÇÕES UNIDAS (1996): *Programa mundial sobre indicadores de desenvolvimento sustentável* da Comissão para o Desenvolvimento Sustentável, UNDPCSD, Fevereiro 1996

PEARCE, D.W., HAMILTON, K., ATKINSON, G. (1996): *Measuring Sustainable Development: Progress on Indicators*. Environment and Development Economics 1(1): 85-101

PRINTER, L., HARDI, P. (1995): *Performance measurement for sustainable development: A compendium of experts, initiatives and publications*. International Institute for Sustainable Development, Winnipeg, Manitoba (301p.)

RADEMACHER W. (1994): *Sustainable income: reflections on evaluation of nature in environmental-economic accounting*. Statistical Journal of the United Nations ECE 11, 35-51

RIBEIRO, A. FENZL, N., CANTO, A. (2002) *Construção de um Índice Agregado de Desenvolvimento Humano Amazônico (IDHAM) - Diagnóstico da Qualidade de Vida nos Municípios do Estado do Pará*, <http://www.gpa21.org/br/publicacoes.php?CodAreaTematica=1>

SWART R.J., BAKKES J. (Eds.) (1995): *Scanning the global environment - A framework and methodology for integrated environmental reporting and assessment*. RIVM Bilthoven, Países Baixos;

VENETOULIS, J., CHAZAN, D., GAUDET, C. (2004): *Ecological Footprint of Nations*. Oakland, CA: Redefining Progress. <http://www.redefiningprogress.org>

WACKERNAGEL, M.; REES, W. (1996): *Our Ecological Footprint*, New Society Publ., Philadelphia,

WARWICK F. 1996: A critical overview of environmental ethics. *World Futures* Vol. 46, 1-21.

WORLD BANK. (1995). *Monitoring Environmental Progress (MEP): A Report on Work in Progress*. March 1995. Draft for discussion purposes only. Environment Department. Washington D.C.

Anexo

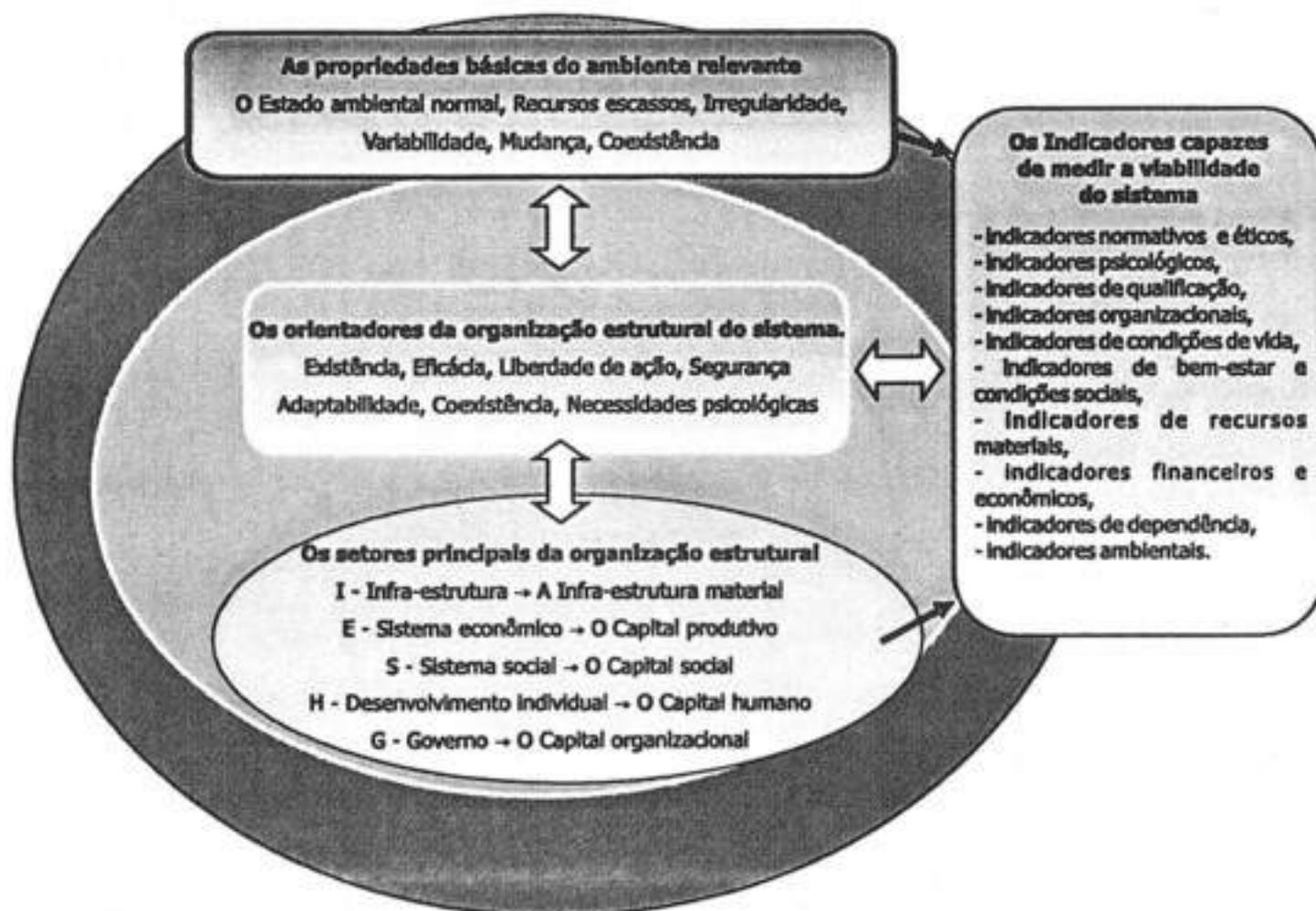


Figura 5 - Hierarquia das relações entre componentes do sistema e indicadores

Capítulo IV

O METABOLISMO ENERGÉTICO-MATERIAL E A CONTABILIDADE DE FLUXOS MATERIAIS

O Metabolismo dos Sistemas Complexos, 185

A relação material da sociedade com a natureza, 185

Sociedades de coletores e caçadores, 190

Sociedades agro-pastoris, 191

Sociedades industriais, 194

A sociedade global, 196

Metabolismo e Termodinâmica, 197

Aplicações Práticas, 201

Produção e Consumo, 201

A Análise de Fluxos Materiais (AFM), 203

Introdução, 203

Aspectos Metodológicos, 206

A relação sociedade-natureza, 207

Metabolismo Industrial (MI), 211

Introdução, 211

Metodologia, 211

Análise de ciclo de vida (ACV), 214

Introdução, 214

O que é Análise do Ciclo de Vida?, 215

A Metodologia, 217

Análise do Ciclo de Vida e Reciclagem, 219

Referências, 221

O Metabolismo dos Sistemas Complexos

O tema do metabolismo já foi desenvolvido parcialmente no Capítulo II. Entretanto, tratando-se de um conceito fundamental para à teoria de sistemas e para a construção de instrumentos operacionais do desenvolvimento sustentável decidimos aprofundar a discussão e dedicar um capítulo específico ao assunto.

A relação material da sociedade com a natureza

Como todos os seres vivos somos obrigados a sobreviver neste planeta e obrigados a enfrentar as adversidades da natureza, mas o sucesso de enfrentá-las depende de quanto sabemos a respeito dos problemas que nos ameaçam e da criatividade com que aplicamos o nosso conhecimento (MORAN et al., 1980).

No decorrer de sua evolução os humanos desenvolveram uma quantidade impressionante de técnicas, tecnologias e conhecimentos e transformaram a natureza nos moldes das necessidades do seu próprio modo de produção. Assim, chegamos a um nível de intervenção e transformação do planeta que nos coloca frente a problemas que põem em risco a própria sobrevivência da nossa espécie.

Muita criatividade e conhecimentos novos serão necessários para evitar que as previsões apocalípticas do Fundo da ONU para a População (UNFPA), não se tornem realidade.¹

O informe prevê para o ano 2015: “Um mundo super-povoado, com megalópoles gigantescas, atingidas por novas e velhas doenças mortais que se difundem como pestes, circundadas por periferias miseráveis afetadas pela fome e poluição” (UNFPA, 2007). Segundo o informe, no ano de 2015 os centros urbanos agruparão 4,1 bilhões de pessoas, 30 cidades terão se transformado em megalópoles, de mais de 10 milhões de habitantes dos quais sete (Tóquio, Bombaim, Lagos, São Paulo entre outras) terão mais de 20 milhões de habitantes. A maior parte da população nas cidades não contará com os meios

¹ <http://www.unfpa.org/public/cache/offonce/publications/pid/406>

essenciais para sobreviver, como água potável, um teto e assistência médica e será assolada por doenças que virão do campo: ebola, dengue e a reaparecida tuberculose.

Esta visão apocalíptica, certamente tem fundamentos, mas ela se baseia no pressuposto que a humanidade continuará reproduzindo seus erros do passado de maneira linear. Um deles é de achar que o desenvolvimento de uma sociedade e o bem estar dos seus cidadãos somente é possível através de um aumento cada vez maior do consumo de recursos naturais e da produção material. Assim, as previsões da UNFPA nos indicam a enorme importância de estudar e analisar a intensidade do consumo material das nossas economias para poder entender o grau de insustentabilidade *modo de produção*.

Cronon (1994) afirma que “todos os grupos humanos modificam conscientemente seu ambiente de algum modo. Isto, em combinação com a linguagem, é o principal fator que distingue o homem dos outros animais”. Esta afirmação é válida tanto para as sociedades de caçadores e coletores do paleolítico, como para as sociedades modernas. O que mudou de lá para cá foram os mecanismos destas modificações, sua extensão e suas conseqüências ecológicas.

Do ponto de vista da antropologia cultural materialista, as sociedades são formas de organização que servem a um propósito máximo: assegurar a sobrevivência da espécie humana. As formas de organização podem variar consideravelmente durante o tempo e o espaço. Porém, em todos os casos, devem prover as bases para a nutrição e para a reprodução biológica dos humanos, sob condições ambientais específicas. Nem sempre conseguem cumprir com esta finalidade: muitas sociedades falharam ou até desapareceram porque não atingiram estes objetivos.

Em escalas variadas, as sociedades humanas sempre têm produzido *problemas ambientais* para elas mesmas e o debate sobre esta problemática é caracterizado por discordâncias e pontos de vista (*paradigmas*) diferentes.

A percepção que há algo de errado na relação entre a sociedade humana e a natureza, e que nossa sociedade se comporta de uma maneira destrutiva em relação à sua base natural, necessita de um novo paradigma para tratar com sucesso desta relação sociedade - natureza (FISCHER-KOWALSKI; HABERL; PAYER, 1992).

A natureza sempre foi descrita em termos antropocêntricos, que destaca os humanos com atributos privilegiados em relação a todas as outras espécies do planeta Terra. Esta visão antropocêntrica leva a distorções e dificuldades em chegar a algum consenso sobre o que estaria realmente errado na relação entre a sociedade e a natureza.

Seja como for, para prover suficiente nutrição, abrigo e bem estar material, as sociedades evoluíram através da organização de um fluxo contínuo de energia e materiais, extraídos do ambiente – o *input* - que é transformado de várias maneiras úteis à vida humana - o *throughput* - e, após consumo e uso é vertido outra vez nos ambientes naturais (*output*).

Durante este processo, chamado **Metabolismo Energético Material (MEM)**, a sociedade *cria e transforma* permanentemente seu próprio *meio ambiente*, e é ao mesmo tempo influenciado e transformado pelo mesmo.

Na sociologia a tendência é ver a sociedade como um sistema de comunicação desconsiderando as suas propriedades materiais e físicos. E para a economia neoclássica, a economia é um sistema de estoques e fluxos de dinheiro, considerando somente o lado monetário da realidade. Conceitos físicos, na melhor das hipóteses, são admitidos como ferramentas da monetarização.

Assim, tanto a sociologia como a economia geralmente desconsideram *a base material* da sociedade. De acordo com as leis da física, as quantidades de entradas de energia e materiais (*input*) nos sistemas são iguais às quantidades de saídas (*output*). Somente a *qualidade* muda: segundo as leis da termodinâmica, *input* e *output* energético-material são *quantitativamente* iguais, mas *qualitativamente* diferentes.

A energia e matéria de entrada são desvalorizadas (usadas) durante a passagem no sistema e retornam ao ambiente como rejeitos.

A inclusão de processos físicos na contabilidade econômica de uma sociedade permite visualizar mais concretamente como os sistemas de estocagem e fluxos de materiais são regulados por processos biológicos, culturais, tecnológicos e econômicos.

Os diferentes sistemas sociais são sustentados em ambientes materiais específicos e quando estes mudam o sistema também precisa se modificar. Ao contrário dos ecossistemas, estas mudanças não ocorrem por evolução biológica, mas por um processo que pode ser chamado de *evolução cultural* (HARRIS apud FISCHER-KOWALSKI; HABERL, 1993). A evolução cultural não depende de mudanças das informações genéticas, mas da informação possível de ser obtida culturalmente e, a partir daí, ser incorporada à consciência humana e as organizações sociais.

Essencialmente, *metabolismo* é um conceito biológico concernente aos processos internos de um organismo vivo. Os organismos vivos mantêm um fluxo contínuo de intercâmbio material e energético com seu ambiente para prover o seu próprio funcionamento, crescimento e reprodução. De um modo análogo, os sistemas econômicos convertem matérias-primas em produtos manufaturados, serviços e finalmente em descartes. Processos estes, que os economistas descrevem como produção e consumo.

Lembramos aqui que de acordo com Prigogine e Stengers (1984) a natureza conhece basicamente dois tipos de sistemas:

- Os *sistemas fechados* trocam somente *energia* com seu ambiente, têm ciclos rápidos e exercem o controle sobre a maior parte das condições ambientais essenciais para a sua existência. Por exemplo, as florestas tropicais são capazes de reciclar continuamente seus próprios nutrientes, de criar e reproduzir o ambiente do qual necessitam, sua micro-atmosfera, sua circulação de água e seus ciclos de minerais;

- Os *sistemas abertos* trocam *energia e matéria* com seus ambientes e dependem de um suprimento externo de nutrientes. As várzeas, por exemplo, só podem existir enquanto persistir o suprimento de nutrientes provenientes de inundações periódicas. Logo, os sistemas abertos dependem do seu ambiente para permanecer relativamente constantes, embora contribuam para mudá-lo.

Visto através desta analogia, um sistema sócio-econômico apresenta problemas ambientais nas duas pontas do seu metabolismo:

- Com respeito às suas entradas (*inputs*), as sociedades incorporam minerais, combustíveis fósseis, biomassa, ar, água e outros. Quando as entradas se tornam escassos, as sociedades sempre tentavam administrar a situação através da migração para terras mais férteis, redução da procriação, mudança de hábitos nutricionais, incremento das trocas comerciais ou expulsão de outros povos através de guerras;

- No lado das saídas (*outputs*), problemas ambientais surgem, quando os materiais descartados pelas sociedades não podem ser absorvidos e integrados ao meio ambiente natural de maneira inócua. No início da revolução industrial estes problemas eram ainda locais e podiam ser resolvidos por medidas relativamente simples. Com o desenvolvimento das sociedades industriais, estes problemas evoluíram para desafios globais.

O metabolismo de toda uma sociedade é, no mínimo, igual à soma dos metabolismos dos seus membros. Assim, as sociedades podem ser classificadas basicamente em três tipos de acordo com a intensidade do uso dos recursos naturais (SIEFERLE apud FISCHER-KOWALSKI; HABERL, 1994):

- a) sociedades de caçadores e coletores;
- b) sociedades agro-pastoris;
- c) sociedades industriais.

Sociedades de coletores e caçadores

A maior parte de sua existência, a humanidade tem vivido em sociedades de caçadores e coletores. Organizadas em grupos geralmente inferiores a 100 indivíduos, as sociedades pré-históricas e paleolíticas apresentavam uma densidade populacional muito baixa e mesmo em ambientes favoráveis não chegaram ter um habitante por km². O metabolismo desta sociedade praticamente não ultrapassava a somatória do metabolismo individual de cada um dos seus membros. Como pode ser deduzido de achados arqueológicos, os indivíduos desta sociedade eram bem nutridos e provavelmente necessitavam somente de poucas horas de *trabalho* diário para terem assegurado a sua subsistência, deixando uma boa parte de tempo disponível para o lazer. O estilo de vida dos componentes desta sociedade era essencialmente migratório e a nutrição era provida pela coleta de frutas e outras partes comestíveis de plantas, por caça e pesca. As ferramentas eram elaboradas de pedra, madeira e ossos. O fogo era utilizado para cozimento, aquecimento, proteção contra predadores e ainda para dirigir animais selvagens para dentro de armadilhas.

A manutenção deste tipo de vida era possível graças a um crescimento populacional quase igual a zero. As taxas de crescimento da população mundial no período de 40.000 a 10.000 anos A.C. foram estimadas em 0.001% por ano (FISCHER-KOWALSKI; HABERL, 1994). Existem muitos indicadores de que esta estabilidade na densidade populacional não foi devido a *causas naturais*, mas sim, de que ela foi regulada culturalmente por estas sociedades, principalmente por infanticídio de meninas. As taxas de infanticídio são estimadas em 50% baseadas em dados atuais dos aborígenes australianos.

O modo de produção do tipo caçador - coletor chegou a seus limites quando falharam os mecanismos para manter o número da população suficientemente reduzido. No período de 40.000 a 10.000 anos A.C. a humanidade cresceu para aproximadamente 5 milhões de pessoas, espalhando-se desde a sua região de origem na África por sobre todo o planeta (FISCHER-KOWALSKI; HABERL, 1994).

O maior problema de sustentabilidade para estas sociedades de caçadores e coletores era a obtenção de quantidades suficientes de alimentos. Como isto era regulado pela natureza, cada ecossistema tinha uma capacidade definida para sustentar humanos. Quando o número de pessoas ultrapassava determinado nível crítico, restavam duas opções: a migração para novas terras com suficiente alimento ou então a fome e a morte.

A evolução cultural pode induzir a evolução biológica enquanto modifica as condições de seleção dentro do ambiente: O aumento em número e o aperfeiçoamento das técnicas de caça das antigas sociedades de caçadores e coletores provavelmente contribuíram para a extinção da mega-fauna do Pleistoceno. A figura 6 mostra o metabolismo da sociedade caçadora e coletora, cujos indivíduos consumiam aproximadamente 1 tonelada de biomassa por pessoa por ano.

Sociedades agro-pastoris

A invenção da agricultura, a chamada de *revolução neolítica*, aparentemente aconteceu, porque ficou impossível alimentar o crescente número de pessoas. Esta mudança no modo de produção coincidiu com uma mudança climática importante: o final do último período glacial. O aumento global da temperatura transformou matas em campos e favoreceu a domesticação de animais em vez da sua caça.

Sociedades do Oriente Médio foram provavelmente as primeiras a desenvolver um novo modo de produção baseado na domesticação de animais e na agricultura. Isto implicava em um novo modo de intervenção no ambiente: a *colonização*, que é definida como: atividades sociais que deliberadamente induzem ao desequilíbrio em sistemas naturais e os mantêm neste estado (FISCHER-KOWALSKI; HABERL, 1993).

O metabolismo das novas sociedades agro-pastoris ainda está baseado na biomassa para a nutrição. Comparado com as sociedades de caçadores e coletores, porém, a necessidade *per capita* chegou a 4 toneladas de biomassa por pessoa por ano devido a necessidade de

prover não somente a quantidade de alimento para os humanos, mas também para os animais domésticos; madeira para fogo, não apenas para cozinhar e aquecer, mas também para produzir ferramentas de metal. De modo sempre crescente, a biomassa necessária para a nutrição é extraída do ambiente colonizado. Grandes massas de pedras são movimentadas e processadas para a construção de prédios, fortalezas e estradas; milhões de metros cúbicos de solo são arados e expostos à erosão e as intervenções humanas no manejo regional da água aumentam consideravelmente (Fig.6).

O enorme aumento da apropriação de biomassa pelas sociedades humanas com a transição de um modo de produção para outro pode ser visto pelo seguinte exemplo: os caçadores de uma tribo de índios norte-americanos produziam em média duas calorias por cada caloria gasta na caça, enquanto os agricultores do povo Maia colhiam 33 calorias por cada caloria investida nas atividades agro-pastoris. Esta mudança do modo de produção foi acompanhada por uma mudança cultural. O modo sedentário de vida e o valor do trabalho infantil estimularam o crescimento da população. Todavia, quase todas as sociedades agro-pastoris ainda aplicavam algum tipo de controle de natalidade. A população durante os antigos impérios (Mesopotâmia, Egito, Incas etc.) crescia a taxas de aproximadamente 0,5% anualmente (um crescimento elevado se comparado com os 0,001% das sociedades de caçadores e coletores). Deste modo, a população humana apresentava a tendência de crescer mais do que a sua base nutricional (FISCHER-KOWALSKI; HABERL, 1993).

Uma maneira de responder a este desafio foi regular culturalmente o consumo. Sabemos que toda a forma de alimentação vegetariana requer cerca de 10 vezes menos biomassa do que a alimentação com produtos e carne animal, porque antes do consumo os animais devem ser alimentados com biomassa. Assim surgiu, entre outros, a vaca sagrada na Índia e a proibição de consumir carne suína no Oriente Médio.

Outra resposta á falta de alimentos foram a migração, a conquista de novos territórios, guerras e a importação de escravos. Por exemplo, através da escravidão foram externalizados os custos biológicos de criar crianças, para o território conquistado. E, finalmente, muitas vezes a própria natureza assumia o encargo de regular a si mesmo através de fomes, catástrofes e epidemias.

Embora tenham durado por alguns milênios e gradualmente tenham colonizado a maior parte da Terra, as sociedades agro-pastoris não conseguiram desenvolver um sistema de vida que fosse sustentável em longo prazo. Elas exauriram muitos dos recursos naturais dos quais dependiam, como florestas e solos aráveis. Muitas vezes, mesmo o trabalho duro resultou em condições de vida miseráveis, e em desnutrição para boa parte dos seus membros. Novas tecnologias, como o uso de arados de ferro ou de cavalos trouxe somente poucas melhorias, logo anuladas pelo crescimento populacional. Por muitos séculos o padrão de vida na China, Norte da Índia, Mesopotâmia ou Egito permaneceu próximo à miséria.

Fomes periódicas eram constantes nas sociedades agrárias, e um motivo forte para expansões na colonização. A expansão mais longa e mais sangrenta, mas também de maior sucesso foi a do Velho Mundo sobre o Novo Mundo no início do século 16. O sucesso desta expansão não se devia somente à superioridade tecnológica dos europeus no armamento, nas artes da navegação e da guerra, mas também devido à tecnologia de domesticação e criação de animais e de uso dos microorganismos para produzir alimentos mais duráveis.

A criação diversificada de animais domésticos (cabras, ovelhas, porcos, cavalos, galinhas) em combinação com a capacidade de transformar leite de animais domesticados em subprodutos mais duráveis (uma tecnologia específica dos conquistadores), permitia a realização de longas jornadas e a criação de novos assentamentos sem maiores preocupações com a alimentação.

Sociedades industriais

O surgimento de um novo modo de produção no século XIX possibilitou a evolução de um novo tipo de sociedade: a sociedade industrial. O grande salto de qualidade em relação às sociedades anteriores era a massiva utilização de recursos energéticos fósseis e a utilização em grande escala da máquina a vapor. Estes recursos não renováveis não afetavam diretamente a base alimentar humana e de outras espécies, entretanto, o novo modo de produção apresentava (e continua apresentando até os dias de hoje) sérios problemas, por exemplo: (i) a profunda dependência da economia de quantidades finitas de recursos não renováveis e (ii) a massiva liberação de subprodutos prejudiciais para ciclos naturais (p.ex. o ciclo do carbono e do enxofre), causando distúrbios graves nos processos de autorregulação dos sistemas naturais, dos quais as sociedades dependiam até então (FISCHER-KOWALSKI; HABERL, 1994).

Uma das conseqüências mais marcantes das sociedades industriais foi um brutal aumento do metabolismo e conseqüente pressão sobre o ambiente. Comparado à sociedade agro-pastoril, um cidadão da sociedade industrial consome hoje em média cerca de 15 a 20 vezes a quantidade de biomassa, 20 vezes a quantidade de água, 10 vezes a quantidade de ar a mais, do que o seu metabolismo individual necessitaria. Algo como 110 Kg (ou 80 m³) de ar por dia e por habitante, são consumidos através de processos de combustão, enquanto o ser humano necessita de 10 m³ (ou 13,7 kg) por dia para sua respiração (PAYER; TURETSCHKEK, 1991) (Fig.6).

O novo modo de produção também modificou as formas de colonização. De um lado houve um grande aumento na produtividade de biomassa por hectare devido à produção industrial de fertilizantes e o uso de produtos químicos para combater as pragas e insetos. Por outro lado, segundo dados da UNDP, a especulação do mercado capitalista dos alimentos levou á uma crise alimentar global que atinge severamente mais de 25% da população mundial.

Como sabemos, a cultura de cada sociedade é caracterizada por três necessidades fundamentais: reprodução, produção e recursos disponíveis. Todos os três elementos incorrem no problema da sustentabilidade do sistema social e a evolução cultural pode ser vista como uma luta constante das sociedades tentando resolver estes problemas. Se, por exemplo, as pessoas se reproduzem muito depressa, os recursos tradicionais podem não ser suficientes para produzir os alimentos necessários. Como consequência, novos recursos devem ser encontrados, ou novas técnicas de produção devem ser desenvolvidas.

Assim, os modos de produção das sociedades podem ser descritos através dos seus diferentes tipos de intervenções nos ecossistemas. No caso, o modo de produção típico dos coletores e caçadores não era muito diferente daquela de primatas mais evoluídos, com a exceção do uso do fogo e de ferramentas simples. Porém, durante a *revolução neolítica*, na sociedade agro-pastoril, isto se modificou radicalmente. Ecossistemas inteiros foram profundamente alterados, culminando com o modo de produção industrial que, utilizando fontes de energia e materiais subterrâneas, melhorou consideravelmente o lado do *input*, onerando por outro lado o *output* com seu aumento exagerado do metabolismo e seus consequentes descartes.



Figura 6 - Perfis metabólicos característicos das diferentes formações sociais

A sociedade global

Finalmente é importante analisar alguns aspectos importantes da chamada *sociedade global*. A globalização econômica se acelerou significativamente no final do século XX (sobretudo a partir da quebra do chamado bloco socialista) e início do século XXI, estabelecendo novas relações sociais e econômicas entre praticamente todos os povos e nações do planeta. O setor mais amplamente globalizado é sem dúvida o sistema financeiro, seguido pelas empresas transnacionais, que juntos produzem atualmente aproximadamente 80% do PIB mundial.

Entretanto, a globalização não atinge toda a população e os setores econômicos do mundo da mesma maneira. Por exemplo, mais da metade da população mundial vive em condições semelhantes às antigas sociedades agro-pastoris. Se o perfil metabólico das sociedades industriais é atualmente em torno de 20 t/cap./ano podemos admitir que o perfil metabólico da população mundial no seu conjunto deve estar entre 12 e 15 t/cap./ano. Isto por si só já é um valor muito superior á capacidade de recuperação do planeta e corresponde em termos gerais aos resultados obtidos pelo *footprint network*, que calcula as chamadas pegadas ecológicas da humanidade.²

O grande desafio para a humanidade é justamente o fato que os governos e os economistas de plantão insistem na idéia do desenvolvimento em bases do crescimento do PIB, pretendendo “desenvolver” o conjunto do mundo dentro dos padrões do modo de produção atual que justamente é a *causa principal* da insustentabilidade que estamos enfrentando.

Isto é o *nó górdio* da humanidade do século XXI e certamente não será possível desmanchá-lo sem sacudir severamente os próprios fundamentos do capitalismo. A atual crise e colapso do setor financeiro são os primeiros sinais. Os métodos até agora desenvolvidos para operacionalizar um desenvolvimento sustentável ainda não são suficiente para enfrentar este desafio, entretanto eles indicam

² <http://www.footprintnetwork.org/>

caminhos importantes que deverão ser tomados, junto com novas idéias e abordagens.

Metabolismo e Termodinâmica

Tal como os ecossistemas, as sociedades também são caracterizadas pela quantidade de energia incorporada e transformada pelo sistema. Esta *densidade* energética das sociedades é determinada pelo metabolismo energético-material do conjunto dos seus organismos membros (HABERL, 1994).

Uma das características mais importantes de uma sociedade no que diz respeito a seu relacionamento com o ambiente natural é o tamanho (caráter quantitativo) e o tipo (caráter qualitativo) do seu metabolismo energético.

O conceito tradicional de *consumo de energia* abrange somente as diversas formas de transformação de energia em máquinas e instalações para a produção de luz, calor, trabalho mecânico e energia para processos industriais e químicos. Na verdade energia não pode ser *consumida*, somente *transformada* e em ultima instancia a classificação das sociedades humanas em tipos coletores e caçadores, agro-pastoril, sociedade industrial é uma classificação baseada nas diferentes formas de utilização de energia. Esta questão foi amplamente tratada por Odum nas investigações sobre fluxos de energia na ecologia, (ODUM; ODUM, 1976).

O principal fluxo de energia percorre as seguintes etapas:

- As plantas verdes convertem a radiação solar em energia química durante o processo de fotossíntese, produzindo biomassa;
- A energia acumulada em biomassa, a produção primária líquida (*net primary production*, NPP), é disponível para todos os outros organismos (heterotróficos). Em conseqüência, a energia fixada via fotossínteses suporta a grande diversidade de espécies que habitam os ecossistemas da Terra (WRIGHT, 1990).

A NPP é a energia acumulada via fotossíntese por plantas verdes durante certo período de tempo (em geral um ano). Estudos empíricos mostram que o fluxo de energia pode ser relacionado ao número de espécies de um determinado ecossistema. Isto significa que, se a quantidade de energia remanescente num ecossistema é reduzida, o número de espécies que vivem no mesmo irá diminuir (WRIGHT, 1990).

Atualmente se estima que a apropriação humana do NPP gire em torno de 40% do NPP total global terrestre (HABERL, 1994). Apesar de não haver clareza sobre os limites desta apropriação, sabemos que a quantidade atual já não poderá ser aumentada sem que se acelere a extinção massiva de muitas outras espécies.

Por exemplo, um estudo realizado na Áustria, mostrou que a NPP no território nacional está ao redor de 1.370 PJ/a e a apropriação sócio-econômica dos produtos da fotossíntese (no mesmo território, contando com 7,8 milhões de habitantes) está em torno de 620 PJ/a, ou seja, 45% da produção total. Isto significa que o sistema sócio-econômico consome quase a metade de toda a energia fixada por fotossíntese, sobrando o resto para todas as outras espécies além dos seres humanos (HABERL, 1994).

Nosso planeta é um sistema materialmente fechado, e a única entrada de energia é a energia solar, o que significa que todos os ecossistemas, incluindo a humanidade, são obrigados em sobreviver desta única fonte de energia. Do ponto de vista termodinâmico estamos ocupando o planeta com um modo de produção que foi desenvolvido em tempos em que a humanidade atuava como se vivesse num planeta com recursos ilimitados.

A idéia do metabolismo energético-material se baseia em princípios da termodinâmica, a *lei da conservação da energia* (energia não pode ser criada, nem destruída) e na *lei da entropia*, que diz que nem toda a energia de entrada pode ser transformada em trabalho pelo sistema. Uma parte é necessariamente transformada em entropia e dissipada na forma de calor.

Como mencionado, um dos primeiros economistas a pesquisar o que acontece com a matéria e a energia durante o processo econômico foi Georgescu-Roegen (1971) que amplia a aplicação da segunda lei da termodinâmica para processos econômicos. Segundo ele, a energia usada no processo econômico não se perde, porém ela é *depreciada* quando for utilizada e transformada em descarte (SCHÜTZ, 1980). A matéria e a energia entram em qualquer processo econômico no estado de *entropia baixa* e o deixa no estado de *alta entropia*.

Somente energia e matéria de baixa entropia podem ser utilizadas pelo homem. Por exemplo, carvão mineral, petróleo, madeira ou um alimento, antes de serem usados é matéria de baixa entropia. Como mencionando anteriormente, a lei da entropia demonstra que energia e matéria permanecem iguais na sua somatória, mas são transformados qualitativamente durante os processos metabólicos. Embora esta seja a finalidade do próprio processo econômico, devemos levar em consideração que esta transformação necessariamente produz uma degradação energético-material do sistema em que ela ocorre. Como a terra é um sistema fechado, a degradação energética dos recursos planetários necessariamente leva a humanidade a uma encruzilhada energética que ela vai precisar resolver. Por exemplo, em 1970 foram necessárias 3,1 vezes mais energia para obter uma colheita de milho somente de 2,4 vezes maior que aquela obtida em 1945 (SCHÜTZ, 1980).

Sabemos que o processo produtivo agrega valor econômico a uma determinada matéria-prima, baixando ao máximo a entropia no produto final destinado ao consumo. Porém, no sistema econômico como um todo, a entropia aumenta desproporcionalmente porque, por mais que se agregue valor num determinado produto, este se torna descarte imediatamente após seu uso ou consumo e se transforma em matéria de alta entropia. A máquina a vapor e a criação de porcos são dois exemplos clássicos (SCHÜTZ, 1980):

- A máquina a vapor produz energia mecânica preciosa, porém nunca é possível transformar toda energia contida no carvão em energia mecânica: $2/3$ ou mais da energia original contido no carvão são perdidas por difusão na fricção e na inércia estrutural da máquina na forma de calor;

- Na Europa, a criação de porcos consome até 10 kilo-calorias de energia na forma de adubos na produção de milho para a ração, óleo diesel para o aquecimento dos chiqueiros e transportes e outros tipos de serviços para, no final obter uma kilo-caloria de carne de porco. Em outras palavras, 90 % da energia utilizada para produzir 1 kg de carne é entropia.

Do ponto de vista termodinâmico, podemos dizer que a produção industrial moderna é uma corrida cada vez mais acelerada da humanidade atrás de materiais de baixa entropia para transformá-los o mais rápido possível em materiais de alta entropia (lixo), sem valor.

Por esta razão Schütz (1980) faz algumas perguntas intrigantes:

“... sob este ponto de vista, o que vem a significar na verdade as definições atualmente utilizadas na economia? A quantidade de dinheiro existente não representaria um equivalente à quantidade de entropia gerada pelo homem? A inflação não seria no fundo nada mais do que o reflexo do aumento da entropia? O capital não seria uma espécie de lubrificante universal para acelerar os processos que desvalorizam o mundo?”

A conclusão de Schütz é de que a humanidade não enxerga os acontecimentos econômicos através da ótica da segunda lei da termodinâmica. Mesmo se tomasse consciência das conseqüências fatídicas do seu labor, o homem trabalharia sempre um pouco além do necessário para a sua simples sobrevivência. A razão disto, o verdadeiro *motor* de todo processo econômico, é a busca pelo *Lebensgenuss* (o gozo da vida). Este é o produto nobre em troca do qual transformamos matéria de baixa entropia em descarte e lixo de alta entropia.

Mesmo não concordando completamente com as conclusões de Schütz, as questões que ele levanta são cada vez mais pertinentes.

Sabemos que todos os sistemas naturais (não humanos) têm tendência de transformar o mínimo possível de sua energia disponível em entropia, para maximizar sua capacidade de sobrevivência. Porém, constatamos que os processos econômicos da sociedade industrial moderna com suas enormes transformações de energia livres, de matérias primas concentradas e com a sua produção em massa de entropia na forma de calor de difusão ou descarte, fazem exatamente o contrário.

Caso a humanidade continuar dependendo dos recursos energéticos finitos, fatalmente será condenada à pobreza ou à morte pela lei da entropia. Sua única saída será o abastecimento de todas as necessidades de energia através de fontes “inesgotáveis”, por exemplo, a radiação solar e a reciclagem dos seus materiais não renováveis.

Aplicações Práticas

Produção e Consumo

Na sociedade industrial moderna, a rapidez com que o homem consome e descarta um produto para o ambiente, torna fundamental uma reflexão sobre a relação produção/produto/consumo (CAMPOS, 1994; PASSERINI, 1994). A intensificação dos processos de produção requer uma quantidade crescente de recursos, aumentando drasticamente as escalas de consumo e conseqüentemente o descarte dos produtos usados. Enquanto isso, a capacidade de absorção natural do descarte, e a formação dos recursos naturais da natureza, realizam-se em escalas de tempo geológicas. Desta maneira a sociedade moderna torna-se o principal depredador da natureza.

A maior parte dos materiais utilizados atualmente é descartada após um único e breve uso. Isto é o caso de cerca de dois terços de todo o alumínio, três quartos de todo o aço e de todo o papel e do plástico Brown (1990).

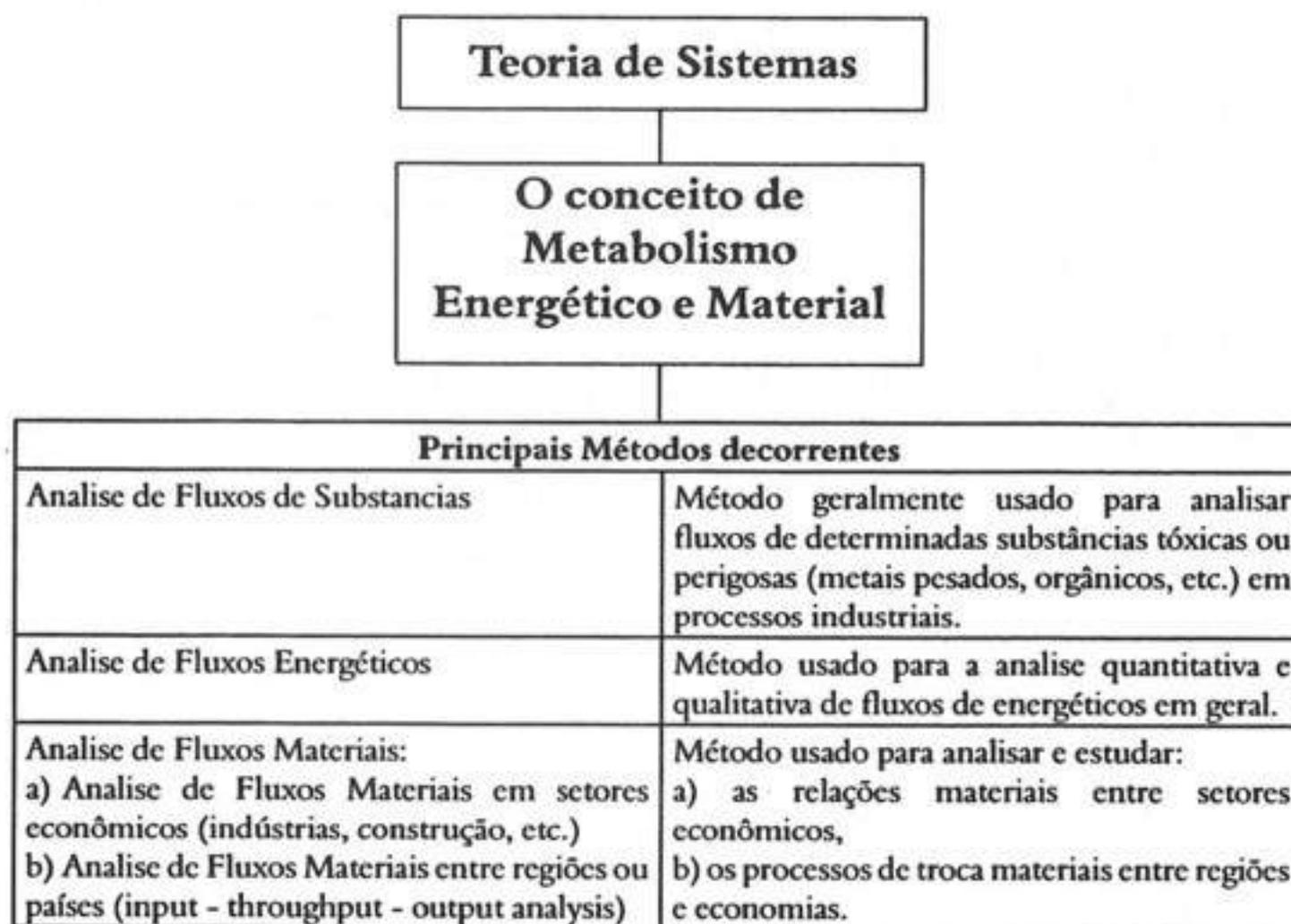
Na década de 70, a crise do petróleo e o aumento da consciência ambiental contribuíram para despertar um movimento global contra o desperdício e a reciclagem de materiais foi compreendida como uma alternativa à crise energética que afeta a sociedade industrial contemporânea. Tomando-se como exemplo, o processo de reciclagem do alumínio que requer apenas 5% da energia utilizada para produzi-lo a partir do minério da bauxita (BROWN, 1990).

Como pudemos ver, uma das conseqüências mais importantes da *Teoria de Sistemas Complexos* é o conceito de *Metabolismo Energético Material* que descreve o permanente *Fluxo de Energia e Matéria* que percorre os sistemas abertos e garante assim sua capacidade de reprodução.

Assim, vários métodos analíticos foram desenvolvidos a partir desde conceito, todas com enfoques diferentes, entretanto, baseadas na mesma idéia da contabilidade de Fluxos.

Dependendo do enfoque, os métodos são usados para desenvolver:

- (i) tecnologias e processos menos poluentes e mais eficientes em termos energéticos e materiais;
- (ii) propostas concretas para as políticas públicas e a legislação;
- (iii) propostas para diminuir desigualdades econômicas e sociais entre regiões ou países.



Quadro 6 – Métodos decorrentes da Teoria de Sistemas

Em seguida três exemplos de aplicações práticas que estão sendo usados e desenvolvidos com bastante êxito nos últimos anos e que se enquadram no contexto dos principais métodos mencionados: a *Análise de Fluxos Materiais*, *Metabolismo Industrial* e *Análise de Ciclo de Vida*.

A Análise de Fluxos Materiais (AFM)

Introdução

Na última década do século passado a contabilidade e análise dos fluxos materiais e energéticos encontrou importante aceitação na busca de indicadores e métodos capazes de avaliar e medir o grau de sustentabilidade de um processo econômico ou de uma economia nacional. Por exemplo, o instituto estatístico da União Europeia (EUROSTAT) incluiu o levantamento de dados estatísticos sobre fluxos materiais nas economias nacionais para estabelecer indicadores de sustentabilidade.

Os cálculos dos fluxos materiais apresentam ainda algumas dificuldades, especialmente devido à inconsistência e falta de dados, entretanto, o princípio é simples.³ Trata-se de calcular a quantidade (em unidades físicas) de recursos renováveis e não renováveis que uma economia retira do ambiente para sustentar o nível de vida de sua população. Desta maneira muitas externalidades que não são contabilizados monetariamente pela economia clássica se tornam visíveis e podem ser transformados em indicadores. Um exemplo simples é a produção de Alumínio: se o preço da tonelada de fato incluísse o custo social dos impactos ambientais e energéticos, ninguém poderia tomar uma cerveja numa lata de alumínio.

Tradicionalmente, a economia capitalista mede sua eficiência através do famoso PIB, considerando apenas a circulação monetária representativa dos processos de produção – circulação - consumo. Desta maneira, a economia esconde a verdadeira dimensão de sua base material real que repousa sobre fluxos concretos de matéria e energia. A Figura 7 mostra os principais componentes de uma análise de fluxos materiais e energéticos através de um sistema econômico. Atualmente estes balanços são feitos por vários países da União Européia com o objetivo de levantar os dados estatísticos adequados para calcular a intensidade de material das economias nacionais.

Desenvolver indicadores de sustentabilidade baseados em estudos dos fluxos materiais e energéticos tem importantes vantagens, porque evita que o papel de orientador principal das atividades econômicas seja relegado ao capital financeiro. Isto se torna claro quando observamos o papel dos Bancos Centrais na regulação das atividades econômicas. A hegemonia do capital financeiro nas decisões econômicas, drasticamente acelerado desde o rompimento dos acordos de *Bretton Woods* em 1972 e, sobretudo nas décadas posteriores a queda

³ Os governos e instituições nacionais de estatística na maioria dos países geralmente ainda não estão levantando os dados na quantidade, qualidade e freqüência necessárias para poder construir AFM precisos. Entretanto, instituições de pesquisa que tratam de problemas de desenvolvimento sustentável já dispõem de bases de dados bastante consolidados.

das economias regulamentadas do chamado *socialismo real*, submeteu a economia capitalista mundial aos ideólogos do *neoliberalismo radical*.⁴

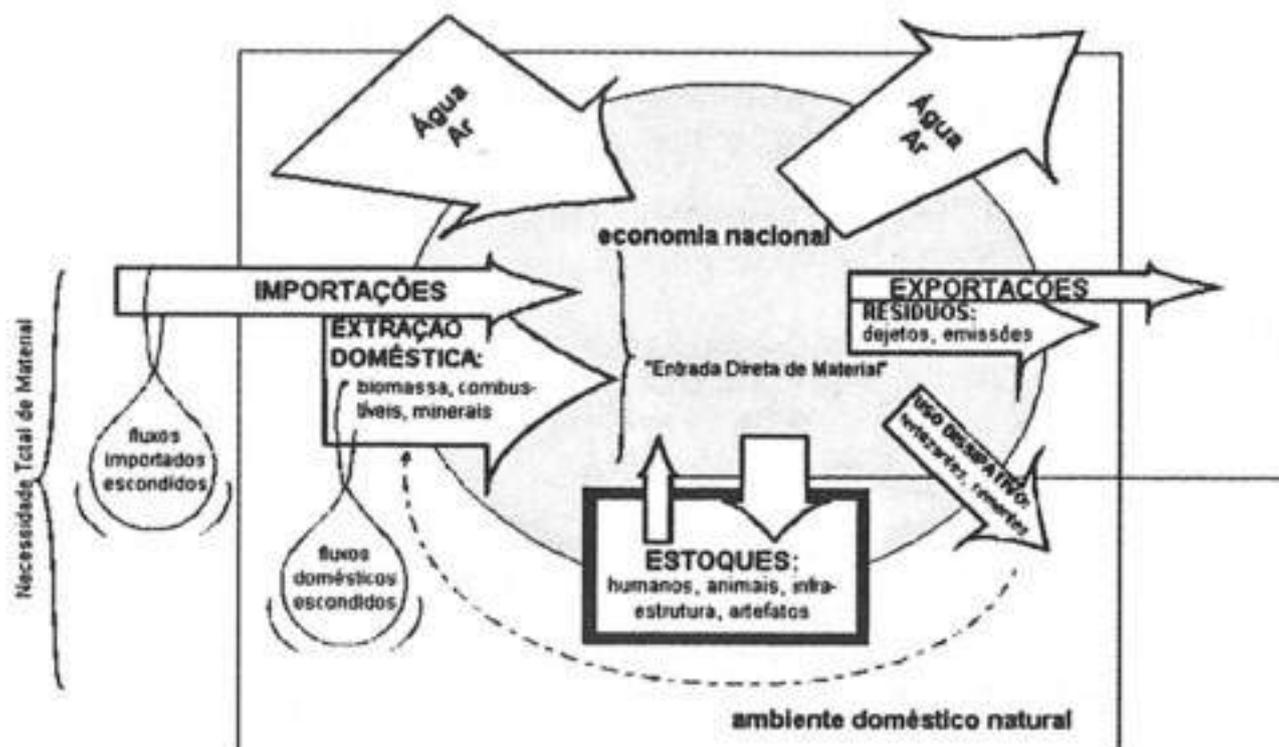


Figura 7 - Metabolismo das sociedades, fluxos de materiais e seus componentes
 Fonte: IFF Social Ecology

Este processo acentuou rapidamente a separação e a contradição entre os interesses do capital financeiro e os interesses e necessidades dos governos nacionais que em última instância são responsáveis pelas economias nacionais e do desenvolvimento dos *setores produtivos* do país.

O neoliberalismo desenfreado teve reflexos diretos e indiretos na apropriação dos recursos naturais pelo modo de produção capitalista. A destruição ambiental em escala global, a exploração e o uso irracional e agressivo dos recursos naturais e a submissão da produção material aos interesses do capital financeiro global (crescentemente especulativo) jogou a humanidade na maior crise econômica de sua história.

Esta situação nos obriga hoje mais que nunca, reavaliar a base material da economia mundial e criar instrumentos empíricos capazes

⁴ Em 1944 foram firmados os acordos de Bretton Woods entre os principais países capitalistas da época e estabeleceram entre outras coisas, uma paridade fixada entre as moedas nacionais. Com o rompimento dos acordos em 1972, o mercado financeiro foi "liberado" e começou a se configurar como setor dominante e crescentemente autônomo e especulativo da economia capitalista mundial.

de relacionar o lado virtual (monetário) da economia com seu lado material que se expressa através da análise e medição dos fluxos energéticos e materiais de um sistema econômico.

Assim, compreender a sustentabilidade de um processo econômico exige inicialmente como condição mínima e imprescindível a compreensão da relação dialética entre a *intensidade material* e a *contabilidade monetária* do nosso sistema econômico.

Diferentemente das Sociedades do passado, que eram *sistemas abertos em relação aos seus Ambientes*, as atividades humanas assumiram uma escala global e o ambiente natural como um todo passou a ser parte de um *mega-sistema planetário de ciclo fechado*. Hoje há evidências claras de que os efeitos das atividades do Sistema Econômico global estendem-se até os últimos confins deste planeta.

Esta é a mais importante qualidade nova na evolução da humanidade desde os pequenos grupos de hominídeos isolados, até chegar ao estado atual: uma sociedade interligada á nível planetário que se tornou um sistema fechado. A consequência direta é o fato que este tipo de sistema não tem mais condições de *exportar sua própria entropia*. O ambiente natural deixou de ser algo externo à sociedade e todos os impactos causados pelas atividades econômicas atingem a própria sociedade de forma direta e geralmente instantaneamente.

Assim, para a humanidade economicamente globalizada, há em princípio somente duas alternativas: *abrir o sistema* para o sistema solar e o Universo, tanto para exportar entropia como para importar novos recursos energéticos e materiais, *ou reformular seu modo de produção* para que seja adaptada a quantidade dos recursos naturais disponíveis, tornando-se um sistema *autopoiético* no sentido de Maturana e Varela (1980). Qualquer que seja a opção, ela requer uma reorientação e reorganização profunda do modo de produção capitalista.

Aspectos Metodológicos

A Análise do Fluxo Material é um método baseado no entendimento que:

(i) Para garantir a reprodução do seu *metabolismo energético-material* o sistema importa matéria e energia do seu ambiente relevante, o *campo de interação*;

(ii) Para que essa importação possa ocorrer, o sistema precisa atuar e *configurar seu ambiente relevante* de acordo com suas necessidades;

(iii) Ao configurar esse ambiente, o sistema *importa*, ao mesmo tempo, sinais de *mudanças que ocorrem no ambiente*, o que o obriga a reagir através de ajustes estruturais;

(iv) A energia necessária para esta permanente readaptação comportamental e estrutural é a entropia do sistema, que, se excessiva, inviabiliza sua existência.

Por isso, a sustentabilidade de um sistema depende em grande parte da natureza do seu metabolismo energético-material, isto é, da sustentabilidade de seu modo de (re)produção que é baseado na relação dialética entre a estrutura e o ambiente relevante do sistema. A qualidade desse metabolismo energético-material *se revela por efeitos observáveis, no ambiente relevante, na coerência estrutural e nos elementos internos do sistema*. Esses efeitos precisam ser assimilados (percebidos) pelo sistema, para que ele possa ajustar seu metabolismo. Isto se dá por meio dos chamados *orientadores* que sinalizam, permanentemente, seu grau de aderência ao ambiente. Para satisfazer ou adequar-se a esses orientadores o sistema tem que ajustar seu metabolismo energético-material às transformações do ambiente e, assim, garantir sua sustentabilidade.

A relação sociedade-natureza

A relação entre a Natureza (biosfera e base abiótica de recursos) e as Sociedades Humanas (incluindo suas culturas) se baseia na interação de quatro componentes fundamentais:

- O *Ambiente*, a parte da natureza relevante para reprodução da sociedade. Produz e armazena os recursos energéticos e materiais necessários para a sobrevivência do sistema e serve ao mesmo tempo de depósito dos rejeitos e de suporte à vida;

- A *Infra-estrutura*, o conjunto de estruturas materiais (estradas, hidrelétricas e outros) que possibilitam a apropriação dos recursos ambientais para atender necessidades sociais. Atua como braço físico da Cultura na *colonização* do Ambiente por meio de *trabalho* realizado através do Sistema Econômico e Governo.

- A *Cultura*, um sistema simbólico que desempenha o papel de memória dos valores e crenças acumuladas pelo processo civilizatório, através de registros, tradições e as mais diversas formas de comunicação; a infra-estrutura pode ser considerada como a parte “materializada” da memória cultural da sociedade.

- Os *Seres Humanos* atuam como partes da memória cultural, registram por *experiência* direta as mudanças no Ambiente e aplicam *trabalho coletivo* para adequá-lo aos interesses dos seus metabolismos.

A insustentabilidade do atual padrão de desenvolvimento pode, portanto, ser resumida assim:

(i) O Sistema sócio-econômico atua sobre o Ambiente para obtenção, uso e deposição de recursos energéticos-materiais;

(ii) O Ambiente reage modificando-se e sinalizando tais modificações através de escassez de recursos naturais, comprometimento de ecossistemas e mudanças globais;

(iii) O Sistema sócio-econômico, por seu lado, reage ajustando a infra-estrutura às novas necessidades e interferindo no Ambiente, através da intensificação da Colonização, baseado no princípio equivocado que “desenvolvimento é aumento do PIB”;

(iv) Enquanto esse círculo vicioso não é percebido como fatal pela sociedade, ela não reorganiza suas crenças e valores. Sem isso, o modo de produção não muda, mesmo que surjam patologias econômicas e sociais desastrosas como guerras, fome, epidemias e catástrofes causadas por ações antrópicas.

Assim, a análise dos Fluxos Materiais abre a possibilidade de medir empiricamente o grau de insustentabilidade de um processo econômico, e propor instrumentos operacionais capazes de modificar a relação sociedade ambiente.

A Figura 8 mostra a relação entre sociedade e natureza e seus diversos subsistemas.

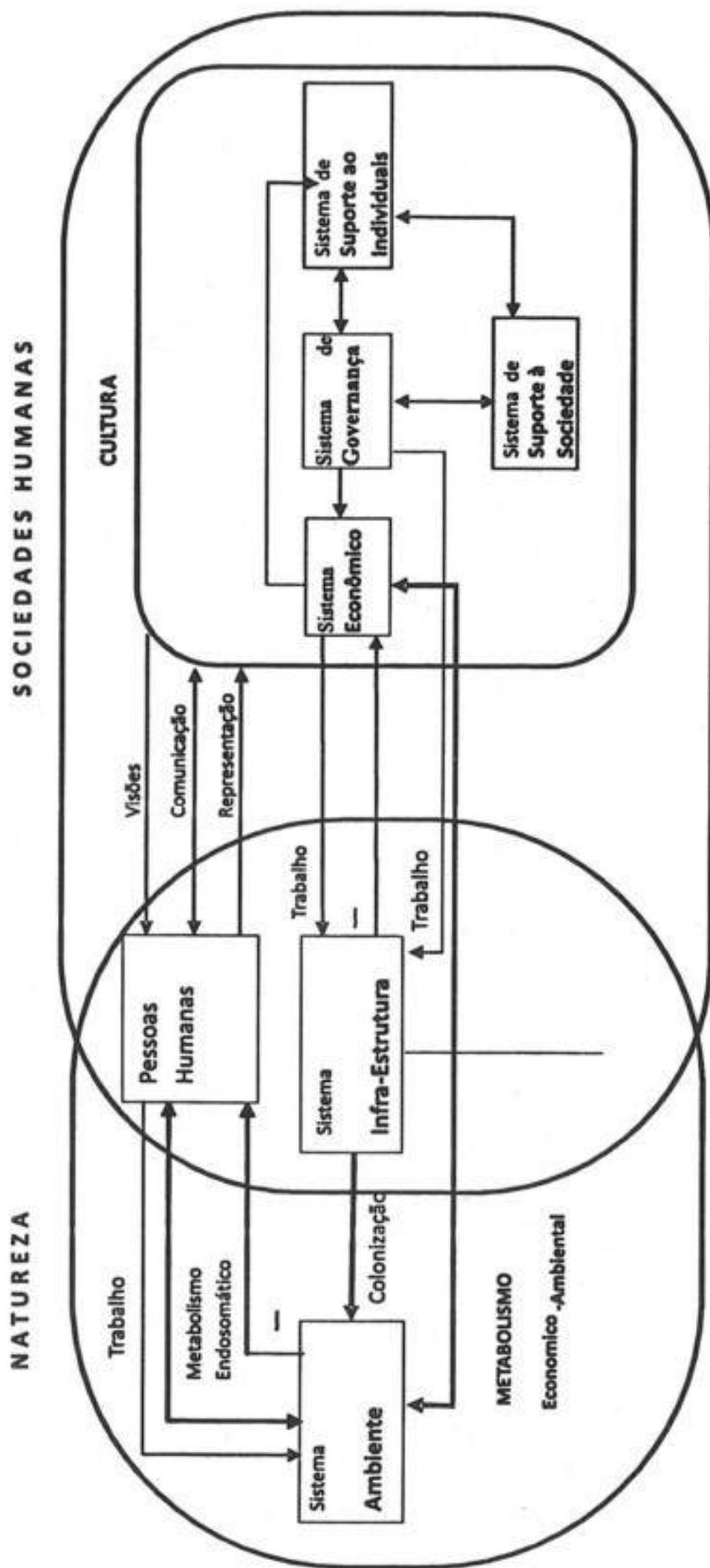


Figura 8: Modelo de interação Sociedade-Ambiente
 Fonte: Adaptado por Machado (1999) a partir de Fischer-Kowalski (1997, p. 8) e Bossel (1996, p. 4.14).

Concluindo podemos dizer que uma economia será sustentável se for capaz de:

- Manter a integridade estrutural do sistema frente às modificações quantitativas e qualitativas ambientais;
- Sustentar seu metabolismo face à escassez de recursos naturais; e manter a capacidade dos ecossistemas do seu Ambiente de absorver os rejeitos;
- Minimizar as desigualdades entre seus componentes que causam patologias sociais;
- Fomentar satisfação e minimizar frustrações dos indivíduos que a integram;
- Manter a diversidade dos modos de vida para possibilitar escolhas futuras, face à globalização de crenças e valores;
- Impor-se limites em relação ao uso dos recursos naturais.

Percebemos que o debate sobre o desenvolvimento sustentável se resume em última instância a questão da sustentabilidade do nosso modo de produção.

Assim, a contabilidade de fluxos materiais possibilita uma análise do sistema econômico não somente através dos fluxos monetários, mas permite medir a racionalidade da utilização dos recursos naturais e o tamanho das *mochilas ecológicas de uma economia*⁵.

A União Européia publica periodicamente guias metodológicas que representam os principais avanços na aplicação prática desta metodologia.⁶

Na última parte do livro demonstraremos a utilidade e as possibilidades da Análise de Fluxos Materiais no exemplo da economia brasileira.

⁵ **Mochila ecológica** ou *fluxos ignorados*: Trata-se da quantidade de matéria e energia que é mobilizada pela economia, mas que não é integrada aos valores monetários dos produtos gerados.

⁶ **Economy-wide material flow accounts and derived indicators**, A methodological guide, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2001, ISBN 92-894-0459-0, © European Communities, 2001

Metabolismo Industrial (MI)

Introdução

Em analogia, ao metabolismo biológico podemos considerar as atividades industriais como a totalidade de um processo físico que converte uma determinada matéria-prima (e energia) em produtos finais e resíduos. Isto ocorre sob condições onde o mercado e as instituições atuam como mecanismos auto-reguladores (GEORGESCU-ROEGEN, 1971; NICOLIS; PRIGOGINE, 1977; AYRES, 1988).

Tal como qualquer sistema vivo, um processo industrial consome insumos materiais e energéticos, transforma-os em bens que serão utilizados e eliminados sob forma de resíduos. O sistema econômico como um todo é composto de uma grande quantidade de processos industriais interligados que consomem e transformam os recursos naturais em produtos específicos.

Em bases desta idéia foram desenvolvidas diferentes metodologias e aplicações práticas que estão sendo testados e aplicados em vários países e escalas econômicas, entre elas o chamado *Metabolismo Industrial* que trata do fluxo de certos materiais específicos, geralmente tóxicos ou perigosos, através dos processos industriais (AYRES, 1997a, 1997b; AYRES, 1989; AYRES; SIMONIS, 1994).

Todos estes métodos se desdobram em diferentes abordagens com enfoques específicos, entretanto, estão baseados na ideia geral da necessidade de contabilizar, estudar e analisar o caráter dos fluxos energéticos e materiais que caracterizam um processo econômico.

Metodologia

A metodologia do metabolismo industrial consiste num trabalho de pesquisa que busca desvendar os caminhos de um determinado composto químicos ou um material específico através dos processos produtivos e de distribuição.

Por exemplo, o Cádmiio, um metal de alto potencial tóxico, faz parte de num grande numero de processos industriais e se encontra

em diversos produtos em diferentes concentrações. O estudo do Metabolismo Industrial do Cádmio é, portanto, extremamente importante para conhecer a *quantidade* e a *qualidade* (a forma química) do Cádmio nos diversos produtos que inundam o mercado e a maneira em que este metal é distribuído, consumido e descartado na sociedade. Assim torna-se possível de propor soluções, regras e políticas para mitigar os efeitos do Cádmio e diminuir sua utilização.

O método pode ser aplicado em diversos níveis: global, nacional, regional, setorial, empresarial, local e até residencial.

Enquanto em sistemas naturais os materiais movimentam-se em ciclos fechados, com uma reciclagem praticamente total, isto não ocorre em sistemas industriais, visto que a reciclagem dos produtos usados geralmente não faz parte da responsabilidade do processo de produção. Os processos industriais resultam em produtos com concentrações suficientemente elevadas de materiais potencialmente tóxicos ou perigosos para poder causar os mais diversos impactos ambientais (SOCOLOW et al., 1994; GREADEL; ALLENBY, 1995; AYRES, 1997b).

Segundo Ayres (1997a) em analogia com os ciclos materiais biogeoquímicos (o ciclo hidrológico, os ciclos do carbono, do nitrogênio, do fósforo etc.), o Metabolismo Industrial pode ser representado pelo modelo das 4 caixas (Figura 8). Neste modelo, os ciclos industriais são comparados com os elementos dos ciclos naturais. Devido à atividade humana, os ciclos naturais são perturbados em consequência da acumulação materiais alóctones que poluem certos estoques do ambiente natural e afetam a saúde dos seres humanos no curto e no longo prazo.

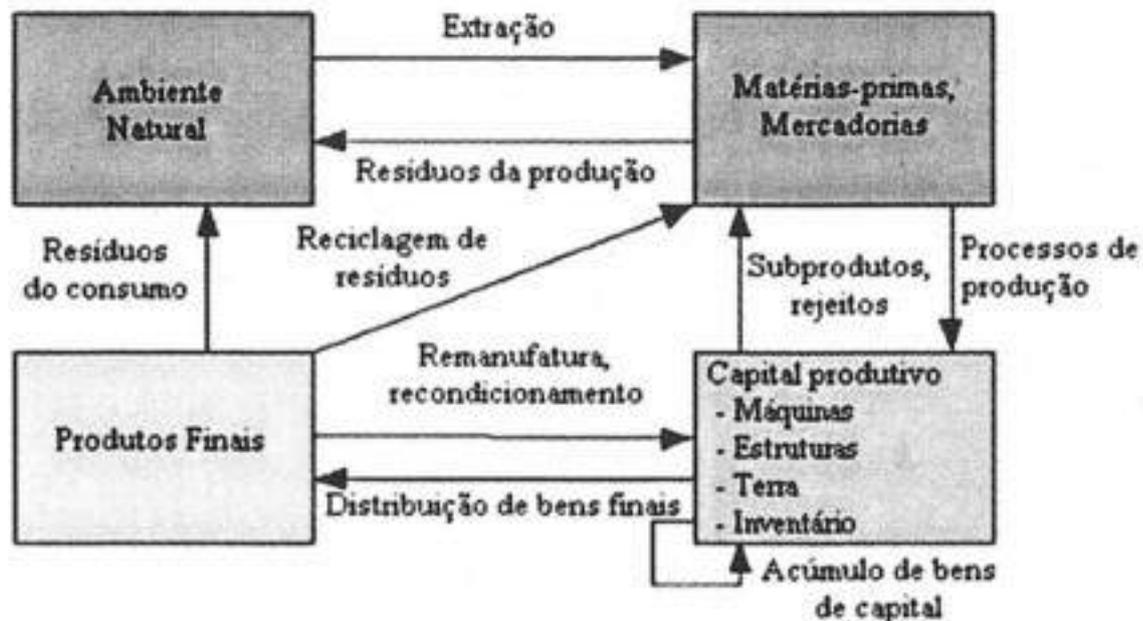


Figura 9 - Modelo das 4-caixas para os Ciclos de Material Industrial
 Fonte: Ayres (1997a).

O metabolismo industrial é uma abordagem integrada, que permite, entre outras, estudar as mudanças e os efeitos das políticas ambientais que afetam o sistema como um todo:

- Estudos do metabolismo industrial permitem documentar empiricamente os efeitos das políticas econômicas e podem elaborar propostas de políticas públicas e regulamentações legais em relação do emprego de substâncias potencialmente perigosos etc.;

- O método é útil para estudar as trocas de energia e de materiais específicos entre os diversos processos produtivos. Por exemplo, certos processos industriais produzem descartes e rejeitos que podem ser úteis para outros processos;

- O método é também bastante útil para estudar os vários tipos de interações econômicas entre regiões diferentes através do comércio de bens primários e secundários, bem como através do intercâmbio de *know-how* tecnológico, investimentos, poluição e mão-de-obra (Figura 9). Em consequência dessas interações, as regiões podem *exportar* e contornar problemas ambientais locais, através da importação de bens produzidos com grande intensidade de energia

e materiais (por exemplo, o Alumínio) e através da exportação de descartes. O metabolismo de um determinado processo industrial pode ser melhorado fechando os ciclos materiais e aproveitando mais racionalmente os benefícios econômicos das interações regionais. Por exemplo, os resíduos de uma região podem servir como insumos em outra. Da mesma maneira, certos bens podem ser produzidos com maior eficiência ambiental e econômica em uma região do que em outra. A dimensão espacial é, portanto, crucial para o estudo do metabolismo industrial.

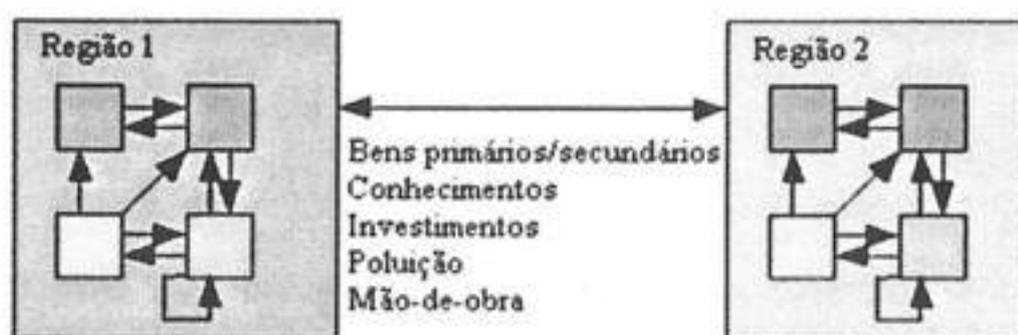


Figura 10 - Interações entre duas regiões, cada uma contendo o ciclo material mostrado na Figura 9.

Análise de ciclo de vida (ACV)

Introdução

Nos últimos anos a discussão sobre problemas ambientais foi paulatinamente modificando o enfoque: em vez de concentrar a atenção exclusivamente sobre os *efeitos finais* dos impactos ambientais, as pesquisas começaram a focalizar *os ciclos produtivos* que de fato *causam* a poluição no ponto final de um processo. Não basta conhecer o nível de poluição e tentar limpar a saída dos esgotos de uma cidade ou de uma fábrica, é preciso conhecer os processos e as diversas fontes que causam a poluição.

Os primeiros estudos que trataram do ciclo de vida de um produto foram iniciados nos anos 60, dando ênfase a questões tais como, eficiência energética do processo produtivo, o consumo de

materiais e, até certo ponto, disposição final dos resíduos. Por exemplo, em 1972, na Inglaterra foi desenvolvida uma pesquisa conhecida como ECOBALANCE.⁷

Calculou-se na época, a energia total usada na produção de vários tipos de recipientes de bebidas de alumínio, plástico, aço e vidro. Em 1979 o autor da pesquisa consolidou sua metodologia, publicando o *Manual de Análise de Energia Industrial*.

O verdadeiro interesse pela Análise do Ciclo de Vida de um Produto somente se deu de forma acentuada, na metade da década de 80 e início da década de 90, quando a discussão e o debate sobre o desenvolvimento sustentável começaram a ganhar espaço na mídia e na academia. Mas era, sobretudo a partir da Eco-92 no Rio de Janeiro, que esta metodologia foi reconhecida como uma das ferramentas promissoras para uma grande variedade de tarefas relacionadas a problemas do desenvolvimento sustentável e a gestão ambiental.

Em 1993 foi publicado o maior levantamento compreensivo internacional sobre Análise do Ciclo de Vida (LCA), chamado *The LCA Sourcebook*.⁸ No entanto, o interesse pelo método ainda é restrito a pesquisadores e cientistas de instituições, sobretudo européias.

Os maiores obstáculos para a aplicação do método têm sido até agora a relativa densidade de dados necessários, combinados com a resistência da política contra todo tipo de inovações e expectativas às vezes exageradas sobre o alcance do método (BOUSTEAD, 1996).

O que é Análise do Ciclo de Vida?

Todos os produtos que conhecemos e consumimos tem seu próprio ciclo de vida. Um carro, por exemplo, é composto de milhares de materiais que são transformados passo á passo e juntados para

⁷ Ian Boustead: LCA - Como Surgiu, O Começo no Reino Unido, in *International Journal of Life Cycle Assessment* 1 (3) 1996

⁸ SustainAbility (UK); Society for the Promotion of LCA Development (Belgium); Business in the Environment (UK): *The LCA sourcebook: a European business guide to life-cycle assessment*, London, SustainAbility, 1993, 112 p., illus. ISBN ISSN: 0-9521904-0-0

o produto final. Após a venda do carro ele entra na etapa do uso e finalmente se transformará em sucata que pode ser reciclada em parte e o restante é definitivamente depositado no ambiente. Cada etapa de produção do carro apresenta seus problemas específicos de impactos ambientais. A Análise do Ciclo de Vida (ACV) - *Life Cycle Analysis* (LCA) - estuda a interação entre os diferentes passos de produção, consumo e descarte de um produto e os diversos impactos que cada passo causa ao ambiente (CRAIGHILL; POWELL, 1996; BAKST et al., 1995).

Enquanto o Metabolismo Industria se concentra no fluxo de determinadas substancias, a ACV focaliza sobretudo as etapas tecnológicas de um processo industrial.

O Grupo de Pesquisa ACV da Universidade Federal de Santa Catarina (www.ciclodevida.ufsc.br) define o método da seguinte forma:

A avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica empregada na análise dos aspectos ambientais e avaliação dos impactos potenciais associados ao ciclo de vida de um produto, processo ou serviço.

Como instrumento de tomada de decisões, esta ferramenta compreende fundamentos para o desenvolvimento e a melhoria de produtos, o marketing ambiental e a comparação de diferentes opções de produtos e/ou materiais.

A ACV enfoca o ciclo de vida de produtos, processo ou serviço, desde a extração de matérias-primas, passando pelas etapas de transporte, produção, distribuição e utilização, até sua destinação final (do berço ao túmulo). Por meio da quantificação e caracterização dos fluxos elementares, de entrada e saída de matéria e energia, e agregação em categorias de impacto selecionadas, torna-se possível compreender o impacto ambiental do conjunto de todas as etapas de um processo produtivo e dos seus impactos ambientais específicos.

A Metodologia

Os principais passos metodológicos de uma ACV devem responder as seguintes questões:

- Quais são as matérias primas necessárias (quantidade e qualidade) para produzir um determinado produto (a intensidade material do produto)?
- Quais as emissões e impactos ambientais causados pelos processos de transformação da matéria-prima em produtos básicos?
- Quais as emissões e impactos ambientais causados pelos diferentes processos de produção do produto final?
- Quais são os impactos causados pelo consumo e o descarte do produto após uso?

A ACV é, portanto uma metodologia que permite:

- Quantificar e qualificar as emissões e os impactos ambientais processo produtivo até o descarte do produto;
- Propor modificações tanto nos processos tecnológicos de produção como no uso e descarte de um determinado produto com o objetivo de diminuir a intensidade material, o tamanho da mochila ecológica e mitigar os impactos ambientais dos processos produtivos;
- Criar indicadores e propor políticas públicas em relação a processos econômicos e produtivos insustentáveis.

Nas últimas décadas cresceram as pressões sobre os setores produtivos para cuidar dos problemas ambientais causados pela produção. A legislação e a conscientização do consumidor exigem o cumprimento de normas tais como o sistema ISO e outros.

A ACV é um método adequado para atender estas demandas e ajuda na identificação de possíveis melhorias ao longo do ciclo de vida de diferentes produtos e no fornecimento de dados e informações ambientais complementares úteis para as tomadas de decisão.⁹ Por

⁹ A União Europeia publica guias e informações detalhados sobre o desenvolvimento e a utilidade das AVC, veja o site: <http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/index.vm>

exemplo, através da realização de uma ACV pode-se conseguir a certificação de selo verde dos produtos tipo III pela norma ISO 14025.

A Análise do Ciclo de Vida é, portanto, uma ferramenta semelhante à Análise de Fluxos (MFA), baseada nos princípios do Metabolismo Energético Material, capaz de produzir indicadores e informações consistentes sobre a sustentabilidade de determinados processos produtivos ou sistemas em geral.

Dependendo dos autores, outros nomes podem ser atribuídos a esse método, tais como: Abordagem do Ciclo de Vida (*Life Cycle Approach*), Avaliação do Ciclo de Vida (*Life Cycle Assessment*), e Análise do berço ao túmulo (*Cradle to Grave Analysis*) ou *Eco-balance*. Segundo Jensen et al. (1997), alguns pesquisadores entendem a Análise do Ciclo de Vida como um sistema conceitual útil, já outros a consideram como um grupo de ferramentas práticas. Dependendo do contexto, ambas podem ser corretas e úteis. Tanto engenheiros quanto cientistas consideram a *reflexão sobre os ciclos de vida*, como um grande estímulo à criatividade e habilidade de ampliar a visão sobre as dimensões sistêmicas de um problema específico.

Semelhante aos estudos de fluxos materiais, a Análise de Ciclo de Vida de um produto envolve uma demanda substancial de dados e envolve fases diferentes de um processo, chamados de *estágios*. Por exemplo, o fluxo geral de energia através do ciclo completo de vida de um produto é determinado através do consumo de cada etapa de produção desde a extração da matéria-prima, do processamento, fabricação de material, fabricação do produto e do transporte até o consumidor final (BAKST et al., 1995).

Resumido, uma ACV requer quatro etapas básicas:

- Definição de Objetivos: Nesta primeira etapa da pesquisa são definidos os escopos, oportunidade, os limites do estudo, a unidade funcional (baseando-se na unidade fixa de produtos como estocado até seu uso final) e elaboração de hipóteses;

- **Inventário:** Esta etapa constitui-se de uma compilação detalhada de todas as entradas (*input*) e saídas (*output*) tanto de cada etapa como do ciclo todo, incluindo-se a aquisição da matéria-prima, a eficiência tecnológica do processamento, a eficiência energética de cada etapa de produção etc.;
- **Análise de Impactos:** Nesta etapa da análise se classifica qualitativa e quantitativamente os dados do inventário e realiza-se uma caracterização e avaliação dos impactos de cada fase do processo produtivo.
- **Interpretação:** Finalmente faz-se a identificação e interpretação de oportunidades para obter melhoria nos processos que resultam em impactos ambientais menores. Nesta fase se avalia a qualidade dos dados obtidos. Quanto mais baixa a qualidade dos dados utilizados na interpretação, maior será o risco de tomar a decisão errada (CRAIGHILL, 1996).

Análise do Ciclo de Vida e Reciclagem

Um excelente exemplo da aplicação da ACV é a reciclagem dos materiais plásticos, um dos materiais mais consumidos e mais problemáticos produzidos e vertidos ao ambiente. O plástico faz parte do cotidiano do homem moderno e por ser um material durável, novas aplicações deste material surgem a cada ano. Entretanto, o plástico não é biodegradável e não se decompõe sob ação de microorganismos, como ocorrem com outros materiais tais como, papéis, madeira, tecidos de algodão etc. Por um lado, o uso do plástico representa grandes vantagens, por outro, acarreta em enormes problemas para o meio ambiente.

A economia de energia que pode ser obtida pelo reprocessamento de plástico oriundo dos resíduos sólidos municipais ou industriais podia ser comprovada por detalhadas ACV. A energia poupada através da reciclagem do PET (*Poli-tereftalato de Etileno*) e HDPE (*polietileno de alta densidade*) pode chegar a 97% da energia necessária para processar resinas virgens (BISIO et al. 1994).

Segundo Bisio (1994), a Análise do Ciclo de Vida pode ser aplicada para recuperar e re-processar plásticos coletados do lixo e estabelecer uma hierarquia aproximada de economia de energia. A disposição final dos resíduos sólidos pode ocorrer a seguinte maneira:

- Aterrados;
- Incinerados em unidades de recuperação de energia;
- Reutilizados;
- Recuperados e re-processados em novos insumos;
- Modificados quimicamente;
- Convertidos por *pirólise* ou *hidrólise* em líquidos e/ou combustíveis gasosos ou químicos.

A próxima tabela mostra a energia incorporada de alguns produtos plásticos.

Tabela 7- A energia incorporada de alguns produtos plásticos

Produtos	Energia (BTUs/lb)
<i>PVC (Policloreto de Vinila)</i>	34,000
<i>PET (Politereftato de etileno)</i>	45,800
<i>PP (Polipropileno)</i>	41,000
<i>HDPE (Polietileno de alta densidade)</i>	42,200
<i>LDPE (Polietileno de baixa densidade)</i>	44,400

Fonte: Franklin Associates (1990).

Na medida em que foram observados os impactos ambientais do plástico sobre o meio ambiente, há um crescente interesse a cerca da temática da Análise do Ciclo de Vida (LCA), tanto por parte das agências governamentais, como por parte das indústrias.

Referências

- AYRES, R.U. (1988). Technology: the wealth of nation. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 33, n. 2, p.189-201.
- AYRES, R.U. et.al. (1989). *Industrial Metabolism, the Environment, & Application of Materials-Balance Principles for Selected Chemicals*, Research Report (RR-89-11), International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- AYRES, R.U.; SIMONIS, U.E. (1994). *Industrial metabolism: restructuring for sustainable development*. Tokyo: United Nations University.
- AYRES, R.U. (1997a). The Life Cycle of Chlorine: Part I; Chlorine Production & the Chlorine-Mercury Connection. *Journal of Industrial Ecology* , v. 1, n. 1, p. 81-94.
- AYRES, R.U. (1997b). Metals Recycling: Economic & Environmental Implications. *Resource, Conservation and Recycling*, n. 21, p. 145-173.
- BAKST, J.S. et al. (1995). *Guidelines for Assessing the Quality of Life. Life-Cycle Inventory Analysis*. Research Triangle Inst., Research Triangle Park, NC. Environmental Protection Agency. Washington, DC. Office of Solid Waste. 116p.
- BISIO A.L. et al. (1994): *How to Manage Plastics Waste: Technology and Market Opportunities*. Carl Hanser Verlag, Munich, New York.
- BOUSTEAD, I. (1996). *LCA - Origins*. *International Journal of Life Cycle Assessment* , v. 1, n. 3.
- BROWN, L. R. (1990). *Salve o Planeta! Qualidade de Vida: O Planejamento de uma Sociedade Sustentável*. Worldwatch Institute. São Paulo-SP: Globo.
- CAMPOS, M. D. (1994). Fazer o Tempo e o Fazer do Tempo. *Ciência e Meio Ambiente*, n. 8. Santa Maria.

CRAIGHILL, A. L.; POWELL, J. C. (1996). Lifecycle Assessment and Economic Evaluation of Recycling: A Case Study. *Resources, Conservation and Recycling*. v. 17, p. 75-96.

CRONON, H. (1994). *Nature's Metropolis*. New York: Grossman. p. 28-41.

FISCHER-KOWALSKI, M.; HABERL, H.; PAYER, H. (1992) - *A Paradise for Paradigms - Outlining an information System on Physical Exchanges between the Economy and Nature*; Schriftenreihe soziale Ökologie, Band 22, IFF-Interuniversitäres Institut für interdisziplinäre Forschung und Fortbildung, Wien, Austria, 27 p.

FISCHER-KOWALSKI, M.; HABERL, H. (1993) - *Metabolism and Colonization - Modes of production and the physical exchange between societies and nature*; Schriftenreihe soziale Ökologie, Band 32, IFF-Interuniversitäres Institut für interdisziplinäre Forschung und Fortbildung, Wien, Austria, 38 p.

FISCHER-KOWALSKI, M.; HABERL, H. (1994) - *On the cultural evolution of social metabolism with nature - sustainability problems quantified*; Schriftenreihe soziale Ökologie, Band 40, IFF-Interuniversitäres Institut für interdisziplinäre Forschung und Fortbildung, Wien, Austria, 32 p.

FRANKLIN ASSOCIATES, (1990). A comparison of Energy Consumption by the Plastics Industry to total Energy Consumption in the United States. In: BIDDLE M.B. CHRISTY M.R. *Here today, here tomorrow: challenges of recycling engineering thermoplastics*. The Dow Chemical Company, Walnut Creek, California. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=00302810>

GEORGESCU-ROEGEN, N. (1971). *The Entropy Law and the Economic Process*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

GREADEL, T.E.; ALLENBY, B.R. (Ed.) 1995. *Industrial ecology*. Prentice Hall.

HABERL, H. (1994) - *Der Gesamtenergieinput des sozioökonomischen Systems in Österreich 1960 – 1991 - Zur Erweiterung des Begriffes “Energieverbrauch”*; Schriftenreihe soziale Ökologie, Band 35, IFF-Interuniversitäres Institut für interdisziplinäre Forschung und Fortbildung, Wien, Austria, 50 p.

JENSEN, A. A. et al. (1997). *Final Report - Life Cycle Assessment (LCA) A Guide to Approaches, Experiences and Information Sources*. Report to the European Environment Agency, Copenhagen – Denmark. <http://www.epa.gov/nrmrl/lcaccess/resources.html>

MATURANA, H.R.; VARELA, F.J. (1980): *Autopoiesis and Cognition, The Realization of the Living*, Dodrecht: Reidel.

MORAN, J. M. et al. (1980) - *Introduction to environmental science*, W.H. Freeman and Co., San Francisco, USA. 658 p. il.

NICOLIS, G.; PRIGOGINE, I. (1977). *Self-Organization in Non-equilibrium Systems: From Dissipative Structures to Order through Fluctuations*. Wiley-Interscience.

ODUM, H. T. ; ODUM, E. C. (1976). *Energy Basis for Man and Nature*. NY: Mc Graw Hill.

OFFICE FOR OFFICIAL PUBLICATIONS OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (2001): *Economy-wide material flow accounts and derived indicators*. A methodological guide, Luxembourg:, ISBN 92-894-0459-0, © European Communities, 2001

PASSERINI, E. (1994). *The Curve of the Future: Food-Trees, Solar Cars, War-Math, the Fun Economy, and Other Knowledge Essential for Sustainable Global Future*. A One-Minute Hitch-Hickers Guide to the Planet Earth. 2. ed. BookMasters. 293p.

PAYER, H.; TURETSCHKE, K. (1991). *Indikatoren für die Materialintensität der österreichischen Wirtschaft*; Schriftenreihe soziale Ökologie, Band 14, IFF-Interuniversitäres Institut für interdisziplinäre Forschung und Fortbildung, Wien, Austria, 55p.

PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. (1984) - *A nova aliança: a metamorfose da ciência*. Brasília, D.F: Ed. Universidade de Brasília.

SCHÜTZ, Ch. (1980). Entropie, *in Natur*, aug., p.123 - 131.

SOCOLOW, R. C. et al. (1994): *Industrial Ecology and Global Change*. Cambridge: Cambridge University Press.

UNESCO, (1993). *The LCA sourcebook: a European business guide to life-cycle assessment*, London, 112 p., illus. ISBN ISSN: 0-9521904-0-0

VIEIRA, A. L., (2004). *Análise do Ciclo de Vida - Uma avaliação social e econômica da reciclagem das latas de alumínio na cidade de Belém*. (Tese de Doutorado/UFPA/NAEA).

WRIGHT, D.H. (1990). Human impacts on energy through ecosystems, and implications for species endangerment. *Ambio*, v.19, n. 4, p. 189 - 194.

Capítulo V

ESTUDO DE CASO

A ANÁLISE DOS FLUXOS MATERIAIS DA ECONOMIA BRASILEIRA

A Análise dos Fluxos Materiais da Economia Brasileira, 227

Princípios básicos e a obtenção dos dados, 227

Classificação dos Materiais, 231

A Classe dos Materiais Não Renováveis (MNR), 234

Fluxos Domésticos dos Materiais Não Renováveis (MNR), 235

Fluxos de Comércio Exterior dos MNRs, 237

A Classe dos Materiais Renováveis (MR), 238

Fluxos Domésticos dos MR, 238

Fluxos do Comércio Exterior dos MR, 241

A Classe dos Materiais oriundos da Erosão dos Solos (MOES), 241

Fluxos Domésticos dos MOES, 242

Fluxos do Comércio Exterior dos MOES, 243

A Classe Materiais Industrializados sem Enquadramento (MISE), 243

Cálculo dos Fluxos dos MISE, 244

Discussão dos Resultados, 244

Relação entre DMT, PIB e População, 246

A Origem da DMT, 247

A Natureza da DMT, 247

Os Materiais determinantes, 248

Avaliação das Economias com Indicadores de Intensidade Material, 249

A DMT por unidade do PIB, 250

A DMT per capita, 251

Demanda Material da Economia Brasileira em Padrões Internacionais, 253

Resultados da conversão, 254

A tendência geral da demanda material da economia brasileira (1975-1995), 254

Evolução dos agregados da Demanda Material do Brasil, 1975-95), 255

A demanda material per capita do Brasil 1975-1995, 256

Intensidade material por milhão de PIB do Brasil (1975-1995), 257

Relação do PIB (US\$ ppp e Real) com DMI e TMI do Brasil, 258

Relevância do MFA e Recomendações, 259

Principais Constatações, 259

Relevância Política, 262

Base para Políticas Públicas, 262

Políticas Tributárias, 262

Políticas para o Trabalho Humano, 262

Políticas em Relação ao Mercado, 263

Políticas de Investimentos, 263

Conclusões, 264

Referências, 266

Anexo, 271

A Análise dos Fluxos Materiais da Economia Brasileira

Princípios básicos e a obtenção dos dados

Os dados referentes ao Brasil seguem as diretrizes metodológicas descritas neste capítulo, e os dados comparativos (referentes à EUA, Alemanha, Japão e Holanda) foram coletados de fontes internacionais (ADRIAANSE et al., 1997). Os valores do PIB de 1985 dos países foram calculados na unidade Dolar-PPP¹ (MACHADO, FENZL, 2000).

Os materiais contabilizados nesta pesquisa foram aqueles que tiveram registros com quantidades acima de quinhentas toneladas anuais nas estatísticas adotadas como fontes;

A escala temporal da pesquisa (1975-95) levou em conta o tempo em que a discussão sobre desenvolvimento sustentável entrou nas agendas das sociedades;

Os fluxos anuais são calculados em milhares de toneladas, de cada material, extraída do Ambiente (biosfera e base abiótica de recursos) e apropriado pelo Metabolismo Econômico-Ambiental;

Os dados sobre população dos cinco países tratados no trabalho foram retirados de US-BC (1998) (Table 001. Total Midyear Population).

A lista seguinte mostra as principais fontes que serviram de base dos cálculos para o Brasil:

¹ Dolar-PPP (purchasing-power parity) representa uma espécie de dolar de referencia internacional. A conversão de valores em uma determinada moeda para essa unidade leva em conta a quantidade de unidades monetárias dessa moeda que é necessária para comprar os mesmos bens que US\$1 pode comprar nos EUA.

NÃO RENOVÁVEIS	
Minerais Energéticos	DNPM, 1976-96
Minerais Metálicos, Industriais e de Construções	DNPM, 1976-96
RENOVÁVEIS	
Biomassa Vegetal (Cultivo Agrícola)	IBGE, 1976-96/Seção Atividades Agropecuária e Extração Vegetal
Biomassa Vegetal (Extrativismo)	idem
Biomassa Animal (Criação Animal)	idem
Biomassa Animal (Pesca)	idem até 1989; IBAMA, 1995
MATERIAIS INDUSTRIALIZADOS SEM ENQUADRAMENTO	
Semi-Acabados	DNPM, 1976-96 e IBGE, 1976-96/Seção Comércio Exterior
Manufaturados	idem

A parte empírica deste trabalho segue o modelo simplificado da Figura 10:



Figura 10 - Fluxos Principais do Metabolismo Econômico Ambiental (MEA)

Este modelo é baseado em três elementos fundamentais:

- A **Demanda Material Total (DMT)** representa a totalidade de todos os recursos que o Sistema Econômico retira do Ambiente para sustentar seu MEA;
- O **Material em Movimentação Intermediária (MMI)** representa a totalidade dos recursos processados no interior da economia até ganhar uma destinação final;

• **A Produção Material Total (PMT)** representa a totalidade dos recursos transformados em produtos manufaturados (destinados ao consumo, investimento, exportação e estocagem), emissões e resíduos (lixo e sucata).

Seguindo os princípios dos Sistemas de Contabilidades Nacionais² $DMT = MMI + PMT$.

A DMT por seu lado é a soma dos seguintes agregados materiais:

• **Recursos Naturais Livres (RNL)** representam os recursos que não são passíveis de ter seus estoques controlados e nem de se tornarem propriedade privada, como a água e o ar. Por essa razão não possuem valor monetário definido na economia e não serão considerado neste trabalho³;

• **Demanda Doméstica Total (DDT):** trata-se da totalidade dos recursos materiais, de *origem nacional*, utilizados pelos processos econômicos para produção das *utilidades* demandadas pelo mercado⁴. Isso significa que os recursos apropriados pelas populações para subsistência, sem passar pelo mercado, não são contabilizados⁵;

• **Demanda Importada Total (DIT):** trata-se da totalidade de materiais, de *origem estrangeira*, contados quando cruzam a fronteira do país e que são utilizados pelos processos econômicos nacionais para produção das utilidades demandadas pelos mercados.⁶

² As contabilidades nacionais consideram que, em termos monetários, o valor bruto de toda a produção do Sistema Econômico é igual à soma do valor adicionado à economia (o Produto Interno Bruto) com o valor da produção absorvido pelos processos geradores de bens intermediários (o Consumo Intermediário). Isso significa que Valor Bruto da Produção = Produto Interno Bruto + Consumo Intermediário.

³ Entretanto, a água mineral que se transforma em utilidade será contada

⁴ O termo *utilidade* está sendo empregado no sentido de um bem econômico, com valor monetário (também *commodity*).

⁵ Trata-se de algo aproximado ao consumo endossomático definido em Alier (1996).

⁶ Em uma economia global, na qual os recursos naturais são extraídos em um país, transformado em mercadoria em outro e consumidos em um terceiro, esses fluxos revelam o quanto a opulência de certos países é função de custos ambientais em outros

Tanto a DDT quanto a DIT são formadas por duas partes:

- **O fluxo reconhecido** refere-se à matéria contida nos produtos e que são reconhecidos e cotado em unidades monetárias. Os desperdícios que ocorrem até que o recurso natural se transforme em mercadoria, não são tomadas em consideração;

- **O fluxo ignorado** refere-se à matéria usada ou movimentada para que determinado recurso natural se transforme em utilidade, mas que não é incorporada no preço do produto quando chega ao mercado⁷. Por exemplo, um minério é retirado da mina com impurezas e só uma parte se transforma em utilidade; uma árvore é cortada e somente parte dela é transformada em toras, a matéria prima para as serrarias⁸.

Assim, os componentes básicos da DMT do Sistema Econômico são: a **Demanda Doméstica Reconhecida (DDR)**, a **Demanda Doméstica Ignorada (DDI)**, a **Demanda Importada Reconhecida (DIR)** e a **Demanda Importada Ignorada (DII)**.

Com base nesses quatro tipos de fluxos dois outros podem ainda ser calculados:

- **A Demanda Reconhecida Total (DRT)**, a soma da DDR com a DIR e expressa a quantidade total de matéria reconhecida pelo Sistema Econômico;

- **A Demanda Ignorada Total (DIgT)**, a soma da DDI com a DII e expressa a quantidade de matéria que, embora movimentada para geração das utilidades negociadas no mercado, é ignorada pelo Sistema Econômico.

Parte da **Demanda Doméstica Total (DDT)** é utilizada para geração dos produtos exportados, dando origem a **Demanda Exportada Total (DET)** composta pela **Demanda Exportada**

⁷ Também chamados de *mochilas ecológicas* ou *fluxos ocultos*.

⁸ A parte ignorada da matéria demandada pelo Sistema Econômico não é contabilizada por que este não possui "sensores" capazes de internalizar os efeitos de sua existência. Ela ocorre, quase sempre, em atividades extrativas, agrosilviculturais e possui características próprias que serão especificadas quando forem apresentadas as diversas categorias de materiais.

Reconhecida (DER) - totalidade de matéria embutida nos produtos produzidos nacionalmente e exportados para outros países – e a **Demanda Exportada Ignorada (DEI)**, a totalidade de matéria que, embora movimentada para geração dos produtos exportados, foi ignorada pelo Sistema Econômico⁹.

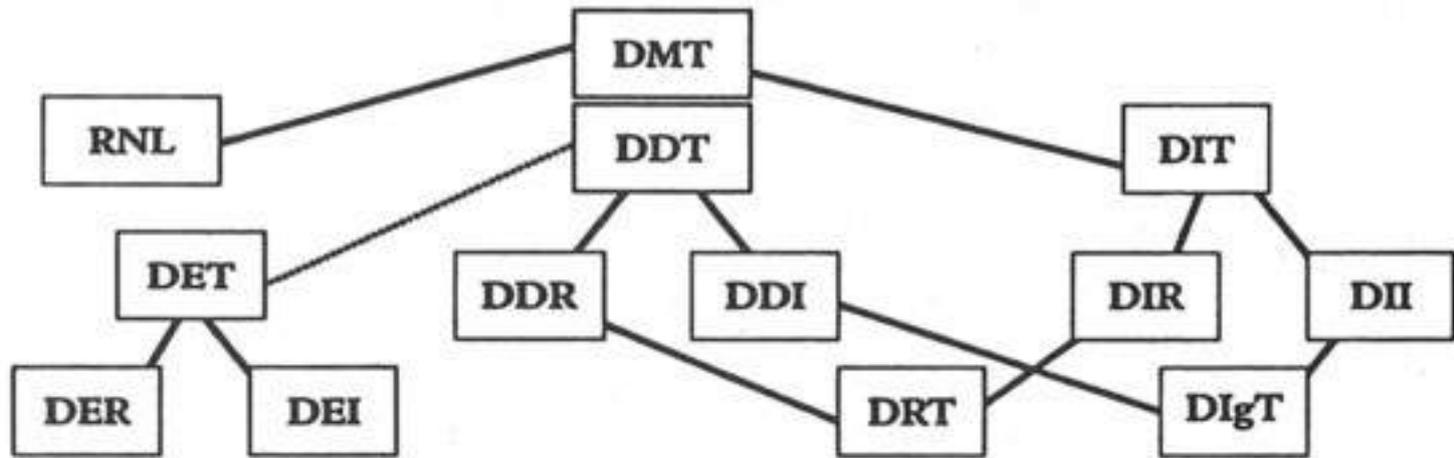


Figura 11: Componentes da Demanda Material Total (DMT)

Classificação dos Materiais

Os diferentes materiais componentes da DMT foram subdivididos em **CLASSES**, **CATEGORIAS**, **GRUPOS** e **MATERIAIS**, identificados pelos seguintes códigos:

O primeiro dígito representa a **CLASSE**; os dois dígitos seguintes representam a **CATEGORIA**; os próximos dois dígitos representam o **GRUPO**; e os dois dígitos finais representam o **MATERIAL** em si. Este modelo permite classificar o conjunto dos materiais da seguinte maneira:

⁹ A DET, não é considerada para apuração da DMT, porque os materiais embutidos nessas exportações já são contabilizados quando foram incorporados pela economia.

1 Materiais Não Renováveis	3 Erosão do Solo
1.01 Minerais Energéticos	3.01 Erosão do Solo
1.01.01 Combustíveis Sólidos	3.01.01 Na Agricultura
1.01.01.01 Carvão, 1.01.01.02... etc.	3.01.02 Na Silvicultura Madeireira
1.01.02 Combustíveis Líquidos	3.01.03 No Extrativismo Madeireiro
1.01.02.01 Petróleo, 1.01.02.02... etc.	3.01.04 Na Criação Animal
1.01.03 Combustíveis Gasosos	3.01.99 Na Produção e Biomassas Diversas
1.01.03.01 Gás Natural, 1.01.03.02... etc.	
1.02 Minerais Metálicos	4. Materiais Industrializados sem Enquadramento
1.02.01 Min. Metálicos-bens primários.	4.01 Produtos Semi-Acabados
1.02.01.01 Alumínio, 1.02.01.02 ... etc.	4.01.01 Semi-Acabados não renováveis
1.02.02 Min. Metálicos-bens concentrados.	4.01.01.01 Semi-Acabado Alumínio, 4.01.01.02 ... etc.
1.02.02.01 Alumínio Concentrado, 1.02.02.02 ... etc.	4.01.02 Semi-Acabados renováveis
1.02.03 Min. Metálicos-bens em ligas.	4.01.02.01.....
1.02.03.01 Alumínio em Ligas, 1.02.03.02 ... etc.	4.01.03 Outros Semi-Acabados
1.02.04 Min. Metálicos- em sucatas	4.01.03.01.....
1.02.04.01 Sucatas de Alumínio, 1.02.04.02 ... etc.	4.02 Produtos Manufaturados
1.03 Minerais Industriais	4.02.01 Manufaturados não renováveis
1.03.01 Grupo Único	4.02.01.01 Manufaturado Alumínio, 4.02.01.02.....
1.03.01.01 Água Mineral, 1.03.01.02 ... etc	4.02.02 Manufaturados renováveis
1.04 Materiais de Construção	4.02.02.01 Produção Ind. Alimentícios, 4.02.02.02... etc.
1.04.01 Grupo Único	4.02.03 Outros Manufaturados
1.04.01.01 Areia e Cascalho, 1.04.01.02 ... etc	4.02.03.01.....
1.05 Material de Escavação	
1.05.01 Grupo único	
1.05.01.01 Construções Imobiliárias, 1.05.01.02 ... etc	

2 Materiais Renováveis	
2.01 Renováveis de Biomassas	
2.01.01 Biomassa Vegetal	
2.01.01.01 Agricultura Permanente, 2.01.01.02 .. etc.	
2.01.02 Biomassa Animal	
2.01.02.01 Criação Animal – Abates, 2.01.02.02 ... etc	
2.01.03 Semi-Acabados – Biomassa Vegetal	
2.01.03.01 Produtos Diversos Vegetais, 2.01.03.02 ... etc	
2.01.04 Semi-Acabados - Biomassa Animal	
2.01.04.01 Produtos Diversos Animais, 2.01.04. 02... etc.	
2.01.05 Semi-Acabados - Biomassas Diversas	
2.01.05.01 Gorduras e Óleos, 2.01.05. 02... etc.	

Para determinação dos fluxos ignorados foram adotadas duas formas. Em relação à Demanda Importada Ignorada (DII) e à Demanda Exportada Ignorada (DEI) foi considerado o estado de transformação em que o material se encontrava ao entrar ou sair da economia nacional, pois nesse caso, a mochila ecológica do material necessita ser acrescida. Já em relação à Demanda Doméstica Ignorada (DDI) os materiais são considerados em dois estados: (i) no *estado bruto* em que o recurso se encontra na natureza; (ii) no *estado transformado* em que o recurso pode ser considerado um bem primário, expressado em um valor monetário, independente da forma em que esteja.

Neste trabalho foram considerados os seguintes estados:

- **Recurso Natural Bruto** – material *in natura*, tal como retirado da mina, por exemplo;
- **Bem Primário** – minério que já passou por processo de beneficiamento;
- **Concentrado** – bem primário submetido a processo de purificação (específico de minerais metálicos);
- **Liga** – Material composto de dois ou mais tipos de concentrados;
- **Sucata** – material que retorna ao Sistema Econômico para reaproveitamento (específico de minerais metálicos);
- **Semi-Acabado** – material que sofreu transformação, mas ainda não assumiu forma definitiva para consumo ou uso final;
- **Manufaturado** – material que passou por todos os processos de transformação e que assumiu forma definitiva para consumo ou uso final.

A Classe dos Materiais Não Renováveis (MNR)

Trata-se de materiais oriundos principalmente de reservatórios subterrâneos fósseis. São extraídos, transformados em utilidades e, ao final da vida útil convertidos em lixo com possibilidades limitadas para reciclagem. Esses materiais (*minério* ou *substância mineral*) se

subdividem em *ganga* (fração não útil do minério) e *mineral de minério*, a fração útil do minério.

Também são tidos como parte dessa classe, os materiais movimentados nas atividades de construção e em obras de infraestrutura¹⁰. Esse material, chamado de Material de Escavação tem sido incluído, por certos autores, na categoria da demanda do Sistema Econômico. Por razões, tanto teóricas (entende-se que se trata de um efeito associado à *colonização* e não ao *metabolismo econômico-ambiental*) como metodológicas (a dificuldade de medição) esse material não é considerado neste trabalho¹¹.

Fluxos Domésticos dos MNR

O fluxograma na Figura 12, construído a partir de dados do DNPM (1998), ilustra o caminho seguido pelos Minerais Energéticos, Metálicos, Industriais e de Construção desde o momento de sua extração até ser considerado um bem econômico primário.

A *produção bruta* de minério é representada pela soma do minério extraído da mina (A) com o minério bruto oriundo de outras minas (B). Essa produção bruta pode ser dividida em três partes que ganham destinos diferentes:

- a *parcela destinada ao tratamento* (C), para dar origem à *produção beneficiada* que pode ser transferida para industrialização (M) ou negociada em mercado com as indústrias independentes (G) e com os consumidores finais (F);
- a *parcela destinada à transformação* (D) diretamente em mercadoria e cujo processo de beneficiamento é integrado à industrialização;

¹⁰ Nessas atividades a superfície do solo é escavada e o material retirado vai servir como aterro em outras construções ou transforma-se em entulhos, representando uma movimentação antrópica de matéria que produz impactos sobre o Ambiente, conturbando a paisagem e expondo os entulhos novamente á erosão, como no caso do solo nas atividades agro-silvo-pastoris

¹¹ Para maiores detalhes ver Machado (1999).

- a parcela destinada ao mercado de utilidades brutas (E), vendida ou para ser tratado em outras minas (H), para ser negociado diretamente com as indústrias (I), para ser tratado por beneficiadores independentes (J), ou para ser consumida *in natura* (K). Os beneficiadores independentes, após os processos de tratamento, negociam esses materiais com as indústrias (L).

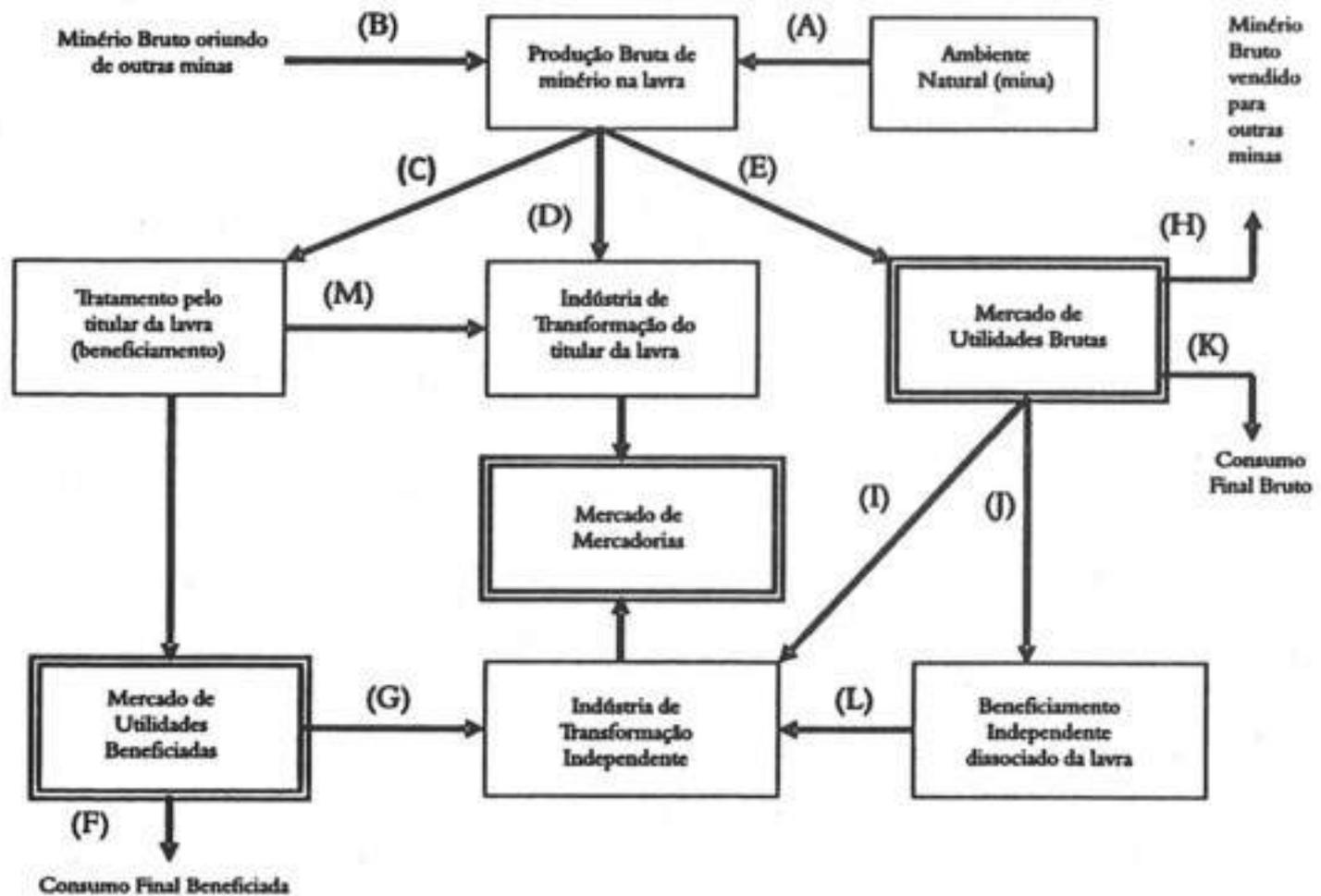


Figura 12 - Fluxo do Minério entre Ambiente e Sistema Econômico

Com base no fluxo descrito considerou-se a *total da produção beneficiada* como o quantitativo que melhor expressa a Demanda Doméstica Reconhecida (DDR) do Sistema Econômico e a diferença entre *produção bruta* e a *produção beneficiada* foi considerada como a Demanda Doméstica Ignorada (DDI), ou seja, as perdas que ocorrem antes que os recursos extraídos se transformem em bens reconhecidos pelo Sistema Econômico.

Entretanto, existem diversos minérios que, a partir do *mercado de utilidades brutas*, são destinados, reconhecidamente, para atendimento direto de demandas reais (K) do Sistema Econômico como é o caso dos materiais de construção, por exemplo, o granito, a areia, o mármore etc. Isso significa que esses materiais são partes da Demanda Doméstica Reconhecida (DDR) e contabilizados como tais.

Assim, a apuração da DDR e DDI de cada componente da Classe Não Renováveis, obedece as seguintes regras:

Regra Geral

DDR= Produção Beneficiada;

DDI= Produção Bruta – Produção Beneficiada;

Regra Específica (para materiais em forma bruta);

DDI= Produção Encaminhada para Tratamento – Produção Beneficiada;

DDR= Produção Bruta – DDI.

No uso da regra específica, está implícito, que a produção bruta não encaminhada para tratamento é absorvida, *in natura*, pelo Sistema Econômico. Por conseqüência, fica implícito também, que as perdas de matéria (DDI) só ocorrem em relação ao que é encaminhado para tratamento.

Fluxos de Comércio Exterior dos MNR

Trata-se dos materiais considerados como *importados* ou *exportados* que constam nas estatísticas de comércio exterior referente a cada material (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, 1976-96). Para o cálculo da Demanda Ignorada, tanto importada quanto exportada, é necessário conhecer o estado de transformação em que o material se encontra e os coeficientes aplicáveis para determinar as perdas materiais já ocorridas até aquele estágio. Esses coeficientes estão associados à origem do material, uma vez que as perdas com ele serão dependentes da tecnologia utilizada em sua extração, das condições naturais de suas reservas, do grau de pureza em que ocorrem etc.

A Classe dos Materiais Renováveis (MR)

A classe dos Materiais Renováveis representa ainda agregações, por exemplo:

- A agricultura permanente que é o agregado de todos os produtos agrícolas originados de cultura permanente, tais como: o abacate, a laranja, a maçã, a banana etc.;
- A Silvicultura – Madeira é o agregado de todos os produtos madeireiros oriundos de florestas cultivadas, tais como: madeira para carvão, para lenha, para papel e celulose etc.;
- O Extrativismo Vegetal – Alimentício é o agregado de todos os produtos alimentícios oriundos do extrativismo, tais como: açaí, castanha do Pará etc.;
- Os Semi-Acabados Renováveis (Vegetal, Animal e Outros) são os agregados de todos os produtos de biomassa que foram importados ou exportados e registrados nas estatísticas do comércio exterior do (IBGE, 1976-96).

Fluxos Domésticos dos MR¹²

O grupo *Biomassa Vegetal* é composto pela produção doméstica oriunda da agricultura, da silvicultura e do extrativismo vegetal. O fluxo reconhecido desses materiais é formado pela somatória dos pesos líquidos dos principais produtos que compõem essa produção¹³. Por peso líquido considera-se a biomassa vegetal transformada em utilidade. Já a parte que não é transformada em utilidade é contada como fluxo ignorado. Por exemplo, a madeira que entra na serraria é considerada fluxo reconhecido e as folhas, galhos e árvores destruídas durante a extração são contados como fluxos ignorados. A fonte

¹² Os fluxos da classe Materiais Renováveis são calculados somente para os grupos Biomassa Vegetais e Biomassa Animal.

¹³ São considerados produtos principais aqueles que constam nas estatísticas oficiais que serviram de fonte de coleta. Reconhece-se, entretanto, que muitos produtos oriundos da agricultura, possuidores de expressão significativa, não constam dessas estatísticas. Alguns exemplos dessa ausência são: abóbora, pimentão, repolho, pepino, cenoura, chuchu e beterraba.

de dados foi o Anuário Estatístico do Brasil na seção referente às Atividades Agropecuária e Extração Vegetal.

Na agricultura permanente e temporária os produtos registrados, na fonte de coleta, em unidades diferentes do peso, foram transformados, para essa métrica, por fatores específicos a cada produto.

Para os dados da Silvicultura-Madeira e Extrativismo Vegetal-Madeira foram usados os seguintes padrões:

- O metro cúbico foi transformado para tonelada com base na taxa média de 0,803, obtida de relatório de pesquisa recentemente publicado pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia em conjunto com o *Department for International Development* da Inglaterra (HIGUCHI et al., 1997a);

- A biomassa perdida no processo de extração foi calculada à taxa média de 1,9 (UHL et al., 1996)¹⁴. Essa taxa indica que, para cada metro cúbico de madeira que entra na serraria, quase dois metros cúbicos são desperdiçados pelo processo.

O grupo *Biomassa Animal* é composto pela produção interna oriunda da criação e do extrativismo animal. Os animais domésticos, peixes e outras fontes de biomassa animal só são contados quando alimentados com produtos não agrícolas. Os animais criados com base em rações ou em produtos adquiridos em mercado e os peixes criados por aquicultura, não são considerados, porque os produtos utilizados para alimentá-los já foram contabilizados quando seus componentes foram extraídos do Ambiente. A fonte de dados foi o Anuário Estatístico do Brasil na seção referente às Atividades Agropecuária e Extração Vegetal. Para o processo de coleta foram tomados como referência os seguintes padrões:

¹⁴ Higuchi et al. (1997b) apresenta uma taxa de 0,7. Entretanto, a pesquisa que embasa esse resultado foi feita para exploração planejada, o que não é o caso da maioria da exploração extrativa de madeira. Já o resultado de 1,9, usado como padrão para este trabalho, foi obtido de pesquisa que incluiu extração de baixo e alto impacto e também planejado.

Para Criação de Animais-Abate foram assumidas as seguintes regras:

- Bovinos, eqüídeos, ovinos e caprinos, por terem sido considerados como criados em pastagens, foram contabilizados na totalidade¹⁵. Já o abate dos demais (suínos, coelhos, aves etc.), porque criados com base em ração, não foram contabilizados. Essa ração já foi contabilizada quando seus componentes foram extraídos do Ambiente;

- Para o cálculo dos fluxos referentes aos bovinos, os quais representam a quase totalidade dos abates animais, foi tomado por base uma rês com peso vivo médio de 370 kg (CARNEIRO, 1981) com seguinte distribuição: carcaça 197,0kg, 53,2%; estrume 48,0 kg, 13,0%; víscera 46,0 kg, 12,5%; couro 30,0 kg, 8,1%; sangue 19,0 kg, 5,1%; sebo 17,0 kg, 4,6%; água 9,8 kg, 2,6%; cascos e chifres 3,0 kg, 0,8%; e crina 0,2 kg, 0,1%;

- Da composição acima se considerou como fluxo reconhecido a carcaça, as vísceras, o couro, o sebo, os cascos e chifres e a crina, porque são esses os produtos comercializáveis. Como fluxo ignorado foi considerado o estrume, o sangue e a água, porque são esses os componentes da rês que se perdem no processo de abate;

- Os quantitativos referentes aos bovinos foram calculados tomando por base o peso total das carcaças abatidas, que são publicadas na fonte dos dados. Com base no peso das carcaças e no conteúdo da composição acima foram calculados os demais componentes que compõem os fluxos oriundos de bovinos;

- Os quantitativos referentes aos eqüídeos, ovinos e caprinos foram calculados com base na quantidade de cabeças abatidas e tendo por base os seguintes pesos médios: eqüídeos 180 kg, ovinos 30 kg e caprinos 25 kg. Por serem inexpressivos os fluxos ignorados não foram calculados para esses animais.

¹⁵ Existem, certamente, criações desses animais em regime de confinamento. Entretanto, segundo pesquisadores da EMBRAPA, o percentual do rebanho criado nessas condições é mínimo e não chega a 5% (TEIXEIRA, 1998).

Para Criação de Animais-Produto foram assumidas as seguintes regras:

- Foram considerados somente aqueles produtos oriundos de animais que são sustentados diretamente pelo Ambiente. Por isso, ovos de galinha e de codorna não foram considerados;
- O leite foi contabilizado em litros e transformado para peso na taxa de 1litro = 1kg.

Em relação ao Extrativismo Animal não há registro de caça e os dados sobre pesca para os anos 1990 a 1995 foram obtidos de relatórios internos do IBAMA (1995).

Fluxos do Comércio Exterior dos MR¹⁶

Para apuração dos fluxos ignorados associados às importações de materiais renováveis foi utilizado o mesmo fator do Japão, ou seja, 5,5 t por cada tonelada importada de biomassa, tanto vegetal quanto animal. Essa mesma taxa foi aplicada ao total dos grupos Semi-Acabados de Biomassa Vegetal, Semi-Acabados de Biomassa Animal e Semi-Acabados de Biomassas Diversas, em todos os anos da série. Já para a apuração da Demanda Exportada Ignorada a base foi à própria Demanda Doméstica Ignorada do ano considerado.

A Classe dos Materiais oriundos da Erosão dos Solos (MOES)

O solo erodido pelas atividades agrícolas representa uma espécie de Demanda Ignorada dessas atividades, mas em razão da sua natureza e dimensão está sendo considerado como uma classe à parte. Há uma maneira para o cálculo da perda de solo, entretanto essa fórmula só é aplicável em condições específicas e localizadas e não pode ser usada quando se intenta calcular essas perdas para toda a economia de um país¹⁷. Assim, se assume que as taxas de perdas de solo no cultivo

¹⁶ Esses fluxos só ocorrem para os grupos Semi-Acabados de Biomassa Vegetal, Semi-Acabados de Biomassa Animal e Semi-Acabados de Biomassas Diversas.

¹⁷ A equação universal para o cálculo da perda de solo devido a erosão provocada por cultivos agrícolas é $A = R.K.SL.P.C$, onde A é a perda de solo por unidade de área; R representa a

dos principais produtos presentes nas fontes de dados, são similares para toda a produção daquele produto independente de sua origem geográfica¹⁸. Quando não foi possível encontrar dados específicos para determinados produtos utilizou-se as taxas propostas na literatura: 25 t/ha para agricultura temporária e 0,9 t/ha para agricultura permanente (MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI, 1999).

Fluxos Domésticos dos MOES

Na Agricultura o cálculo da perda de solo foi feito com base em duas variáveis: *área destinada à colheita* e *taxa de perda de solo* (toneladas anuais por hectare) na cultura dos principais produtos agrícolas, conforme literatura especializada, a saber:

- *Culturas Temporárias* - Algodão herbáceo, 24,8; Arroz, 25,1; Amendoim, 26,7; Batata doce, 6,6; Batata inglesa, 18,4; Cana de açúcar, 12,4; Feijão, 38,1; Mamona, 41,5; Mandioca, 33,9; Milho, 12,0; Soja, 20,1 (BERTOLONI; LOMBARDI NETO, 1990); Trigo, 10,0 (INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS, 1989); Fator geral para culturas temporárias (anuais), 25,0, (IAC, 1989 e MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI, 1999);

- *Culturas Permanentes*: Algodão arbóreo, 26,6 (VIEIRA et al., 1996); Café, 1,4 (NEVES, 1980); Banana, 0,9; Laranja, 0,9; Outras culturas permanentes, 0,9 (INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS, 1989).

Na Criação Animal o cálculo da perda de solo foi feito com base em três variáveis: o *rebanho*, a *taxa de lotação das pastagens* e a *taxa de perda de solo nas pastagens*. Sabendo-se o total do rebanho e a taxa de lotação

capacidade da chuva de causar erosão em determinado local; K é a erodibilidade local do solo; LS é o comprimento e o grau do declive do local; C é a relação entre perdas de solo de um terreno cultivado e as perdas correspondentes do meso terreno mantido descoberto; e P é a relação entre perdas de solo de um terreno cultivado com determinadas práticas e as perdas quando é feito o plantio morro abaixo (VIEIRA, 1996).

¹⁸ Os cálculos feitos para este trabalho, em relação à erosão de solo no cultivo agrícola, estão próximos daqueles publicados na literatura específica. Há estimativas (MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI, 1999) de que se perdem, anualmente, em torno de 1 bilhão de toneladas devido às atividades agrícolas.

pode-se deduzir a área ocupada com pastagens para manutenção anual do rebanho. Com essa área e a perda de solo por hectare de pastagens pode-se calcular a erosão total decorrente da Criação Animal. A taxa de perda de solo em pastagem foi de 0,4 ton/ha (VIEIRA, 1996).¹⁹

Fluxos do Comércio Exterior dos MOES

Com a importação de biomassas, importa-se também de erosão de solo. Devido à complexidade do cálculo desta quantidade, tomaram-se por referência os dados do Japão e calculou-se ano a ano, a relação existente entre a perda de solo importada e a quantidade de biomassa importada²⁰. Para a apuração da perda de solo exportada tomou-se como base, ano a ano, a perda de solo doméstica na produção de biomassa destinada às exportações.

A Classe Materiais Industrializados sem Enquadramento (MISE)²¹

De maneira geral, a maioria dos produtos negociados com o exterior pode ser classificada, dentro da Demanda Importada ou Demanda Exportada diretamente em uma classe específica. Mas, entre esses produtos, existem aqueles que já sofreram algum processo de transformação e que, em razão disso, necessitam de critérios adicionais para serem classificados, em função das seguintes situações:

- Materiais que, apesar das transformações, não diferem da natureza original da classe que os caracteriza e continuam enquadrados nessa classe (ex: Ligas Metálicas e Concentrados da classe dos Não Renováveis);
- Materiais que, após sofrerem as transformações, diferem da natureza original da classe que os caracterizava e não são mais

¹⁹ Neves (1980) estima que a erosão de solo em pastagens é de 1 ton/ha. No trabalho foi usada a taxa menor para manter os cálculos dentro do espírito mais conservador possível.

²⁰ O Japão foi tomado como base porque somente seus dados apresentaram desagregação em detalhes suficientes para calcular a relação acima.

²¹ Esta classe é tratada na literatura como Material Importado. Mas, essa designação expressa a origem do material e não sua natureza, produzindo confusão metodológica porque confunde duas categorias conceituais distintas: a *classe* – utilizada para agregar materiais de natureza similar e os *fluxos* – utilizados para agregar os materiais em função da origem e destino.

enquadrados em qualquer das demais classes de mesma natureza. Por exemplo, os produtos manufaturados que são uma composição de materiais de classes distintas e também de alguns Semi-Acabados de Não Renováveis e Renováveis.

Assim, a classe descrita nesta seção, destina-se a aglutinar o material importado ou exportado e que não pode ser enquadrado em uma das demais classes.

Cálculo dos Fluxos dos MISE

A classe em discussão não possui fluxo doméstico porque ela só envolve material oriundo ou destinado ao exterior. Os dados dos fluxos reconhecidos foram retirados do capítulo sobre comércio exterior do Anuário Estatístico do Brasil. Valem para esta classe as seguintes observações:

- A categoria Manufaturados é contabilizada pelo peso de seus materiais componentes, sem considerar os fluxos ignorados;
- Os fluxos ignorados da categoria Semi-Acabados foram contabilizados tomando por base a taxa utilizada pelo Japão de 4 t por tonelada importada ou exportada;
- Os dados de importação e exportação utilizados no trabalho, como todos os demais, foram coletados em nível de cada produto componente das classes. Ocorre que, quando a totalização desses dados (Demanda Reconhecida Importada e Demanda Reconhecida Exportada) foi comparada aos totais gerais relacionados com o comércio exterior, registraram-se diferenças que foram contabilizados nos grupos de *Outros*: um na categoria Semi-Acabados e outro na categoria Manufaturados.

Discussão dos Resultados

A Análise de Fluxos Materiais permite a criação de parâmetros capazes de desvendar os verdadeiros impactos do atual modelo econômico sobre os recursos naturais do planeta e atenuar a visão

reducionista do monetarismo que domina as economias do mundo globalizado hoje.

Os resultados de estudos semelhantes que foram realizados em diversos os países demonstraram, por exemplo, a inconsistência do discurso da chamada *desmaterialização da economia capitalista* e a teoria de que o modo de produção capitalista esta em processo de transformação para uma *economia de serviços* capaz de reduzir os impactos sobre os recursos naturais do planeta.

Ao contrário, os dados demonstraram claramente que no atual modelo de desenvolvimento (desenvolvimento = crescimento do PIB) a intensidade material e a insustentabilidade do desenvolvimento econômico global crescem em ritmo mais acelerado. Assim é porque o PIB não considera os enormes fluxos ignorados, as chamadas mochilas ecológicas que são pagas pela população de forma direta (via impostos) ou indireta através das conseqüências na saúde pública, destruição ambiental, mudanças climáticas, perdas de espaços vitais tradicionais etc.

Em seguida algumas considerações e conclusões que podem ser tiradas da análise de fluxos materiais de uma economia nacional, tanto em relação a si mesma quanto para comparação com outros países.

A síntese dos resultados quantitativos obtidos pelo processamento de todos os dados levantados está no ANEXO A: *Resumo das Características Relevantes das DMTs do Brasil, EUA, Alemanha, Japão e Holanda;*

Quando o foco da análise não for o período todo, o ano a ser utilizado como referência, para o Brasil, será o de 1995 e, para os demais países, 1994. O caso concreto pesquisado é o Brasil e os demais países apresentados servem apenas como fontes comparativas para as análises.

As seguintes questões foram analisadas:

- As relações entre DMT, PIB e população;
- A estrutura da DMT quanto à origem, natureza e classes dos materiais;

- O uso de indicadores de intensidade material para avaliação da economia.

Relação entre DMT, PIB e População

O PIB de todas as economias analisadas nesta pesquisa (Brasil, EUA, Alemanha, Japão e Holanda) cresce com a DMT, mas o **PIB das economias industrializadas cresce a taxas muito maiores do que as taxas de crescimento de suas DMT**. Isto se deve, principalmente, ao fato que os países industrializados **importam fluxos ignorados dos países chamados não industrializados** que não são contabilizados nos seus balanços materiais. Ademais, boa parte do PIB dos países ditos desenvolvidos vem do setor de serviços, sobretudo do sistema financeiro, portanto, não diretamente associados a fluxos físicos de matéria. Como consequência a riquezas medidas por um PIB descolado da economia dos setores materialmente produtivos – a economia real – cria uma ilusão sobre o crescimento econômico baseada na especulação financeira, criando riquezas falsas e ofuscando o custo ambiental das sociedades. A crise financeira global instalada em setembro de 2008, na qual a “riqueza” das nações, de uma hora para outra, diminuiu trilhões de dólares, bem demonstra a procedência dessas considerações.

No Japão o PIB e DMT crescem juntos, entretanto o PIB cresce em taxas muito superiores comparado aos países europeus e os EUA. Isso indica que, o Japão, um país muito pobre em recursos naturais, tem uma economia com eficiência energético-material muito superior aos demais países industrializados e importa elevadas taxas de fluxos ignorados.

O Brasil apresenta aspectos específicos. Enquanto nos países industrializados desenvolvidos o PIB cresce às taxas muito superiores à DMT, no Brasil a DMT e PIB crescem em proporções iguais. Isso indica que na economia brasileira as atividades materialmente produtivas, ligadas à exploração dos seus próprios recursos naturais, ainda determinam o crescimento do PIB.

Comparando-se as taxas de crescimento da população e da DMT nos diversos países observa-se que não há qualquer relação entre crescimento da população e os aumentos da DMT e do PIB.

A Origem da DMT

Uma questão importante é a *origem* da matéria utilizada pela economia dos países estudados, para entender de que maneira o crescimento de uma economia depende dos recursos naturais de outros países.

Analisando-se a participação da matéria de origem doméstica e importada na DMT dos países estudados observa-se, por exemplo, que a matéria consumida pelo Brasil e EUA é proveniente quase na totalidade, dos seus próprios Ambientes, enquanto a Alemanha já apresenta uma forte participação de importados e o Japão e a Holanda são, basicamente, dependentes de importação de matéria de outros países.

A Natureza da DMT

Qual é o volume de recursos naturais que o sistema econômico desperdiça sem contabilizá-lo? Qual é a importância dessa contabilidade para um desenvolvimento econômico sustentável? Existem indícios de mudança nos desperdícios ignorados?

Analisando a participação da matéria de natureza reconhecida e de natureza ignorada na DMT verifica-se que, com exceção da Holanda, os demais países têm sistemas econômicos que gastam, em desperdícios ignorados, mais de 50% de toda a matéria que retiram do Ambiente. Nos EUA e na Alemanha esses desperdícios, chegam a quase 70% de suas DMTs.

Verificando-se a evolução dessas relações durante o período estudado pode-se constatar que:

- Os EUA registraram uma taxa de desperdício material muito elevada ao longo de todo o período;

- A Alemanha e o Japão, cujas demandas ignoradas já eram altas no início do período, ainda registram uma tendência de crescimento nos últimos anos;
- Na Holanda, embora a taxa de desperdício seja a menor de todas, a demanda ignorada está nitidamente crescendo;
- O Brasil registrou uma dinâmica diferente dos demais países. A participação da demanda ignorada na DMT, embora ainda em patamares altos, está caindo, consistentemente, ano a ano.

Os Materiais determinantes

Perguntas importantes para verificar se de fato há mudanças em relação ao padrão de consumo de recursos renováveis e, sobretudo não renováveis são:

Quais são as classes de materiais mais importantes nas demandas dos sistemas econômicos?

Há indícios de mudanças no padrão de consumo de diferentes classes de materiais?

Respondendo a estas perguntas pode-se observar que:

Em relação ao consumo de materiais da Classe Não Renováveis:

- No Brasil a participação quase duplicou, mudando de 15,6% para 28,9%;
- Nos EUA o padrão é similar, porém alto (72,3%) e continuamente crescente;
- Na Alemanha, embora uma tendência decrescente até 1988 o período terminou com padrão similar aos outros países, mas em patamar bastante alto (76,7%);
- No Japão o padrão é similar aos outros países industrializados, porém altíssimo (88,1%) e com tendência crescente;
- A Holanda é o único país onde os padrões mudaram para patamares bem menores (70,0% para 52,0%).

Em relação ao consumo de materiais da Classe Renováveis:

- Os países industrializados mantiveram uma participação irrisória de matéria renovável em suas DMT (6 a 8%). A exceção é a Holanda, que tem um nível significativo e ainda aumentou de 20,99% para 29,75%;
- O Brasil tem um padrão alto (36,6%) e com tendência de crescimento.

Em relação à Classe Erosão de Solo:

- Embora ainda bastante alto registrou-se uma mudança de padrão para patamares menores e com tendência a decrescer para o Brasil (46,70% para 33,4%) e EUA (30,78% para 17,65%);
- Alemanha, Japão e Holanda mantiveram o padrão e em patamares baixos.

Em relação à Classe Material Industrializado sem Enquadramento: com exceção da Alemanha e Holanda, que registraram uma pequena tendência de crescimento, todos os demais mantiveram o mesmo padrão de demanda durante todo o período da pesquisa.

Resumindo, com exceção da Holanda que tende a inverter os padrões de participação das Classes Não Renováveis e Renováveis, todos os países industrializados do estudo possuem uma DMT composta hegemonicamente pela Classe Não Renováveis e tendem a ampliar, ainda mais, esta tendência. O Brasil, de forma consistente e a passos largos, tende a assumir padrões similares ao dos EUA, Alemanha e Japão.

O crescimento da participação dos recursos não renováveis nas demandas materiais das economias industrializadas é um dos fatores mais significativos da insustentabilidade do modelo econômico vigente.

Avaliação das Economias com Indicadores de Intensidade Material

Os países são diferentes em extensão territorial, em tamanho da população, em grau de industrialização, em nível de vida de sua

população e em outras tantas características. Comparar suas economias apenas pelo valor total de seus PIBs e de suas DMTs não revela todas as características e diferenças entre elas.²²

Assim, para que as demandas materiais dos países possam ser comparadas de forma mais consistentes, são necessários indicadores que não se distorçam em face de essas diferenças. Propomos dois indicadores com essa característica:

- **DMT por unidade de PIB** – Revela a quantidade de matéria embutida em cada unidade do PIB (tonelada de matéria por milhão de dólares);
- **DMT per capita** – Revela a quantidade de matéria que um sistema econômico consome por cada membro da sua população (tonelada de matéria por pessoa).

A DMT por unidade do PIB

Analisando-se quantas toneladas de matéria representa cada milhão de PIB nos países estudados pode-se concluir que, com exceção do Brasil, que teve variação zero, e a Holanda com variação mínima, o PIB dos outros países estudados perdeu intensidade material e tendem a continuar perdendo.

Aparentemente este resultado parece confirmar a tese da desmaterialização da economia capitalista, entretanto trata-se de uma falsa evidência por duas razões principais: o crescimento do PIB esconde que:

a) o aumento do desenvolvimento do setor de serviços nestas economias privilegiando os serviços financeiros ofusca a intensidade material da economia;

b) a crescente importação de produtos primários dos países menos ou não industrializados, cria a aparência de uma economia cada vez menos dependente de recursos materiais.

²² Por exemplo: a Alemanha tem um PIB 5,2 vezes maior que o da Holanda mas ambas possuem graus similares de industrialização e nível de vida. Já o Brasil possui um PIB mais de 3 vezes superior ao da Holanda porém, em termos de nível de vida de suas população, os dois países são absolutamente distintos.

Na verdade trata-se de economias que sustentam suas opulências em detrimento ao ambiente de outros países ao importarem quantidades enormes de materiais, boa parte com grandes mochilas ecológicas não contabilizadas. O resultado é que as economias desenvolvidas alardeiam que desmaterializam seus PIBs e, no entanto, em termos globais, a intensidade material da economia mundial aumenta continuamente.

A DMT per capita

O consumo de matéria em toneladas por cada membro da população é (em t/capita):

- no Brasil de 19,85 (t/cap), tendo crescido 11,7% no período da pesquisa;

- nos EUA é 74,07 (t/cap), tendo crescido 6,3% no mesmo período;

- na Alemanha é 66,31 (t/cap), tendo crescido 7,7% no período;

- no Japão é 32,16 (t/cap), com um crescimento de 20,2% no período;

- na Holanda é 66,69 (t/cap), tendo crescido 26,4% no período;

Examinando o período todo, observa-se que a tendência geral desse indicador, em todos os países, é crescente. Isso permite concluir que em todos os países a *DMT per capita* aumentou. Entretanto, é importante ver estes dados em relação ao crescimento geral da população. Em países com certa estagnação do crescimento populacional, por exemplo, na Alemanha o aumento da DMT/capita tem um significado diferente se comparado ao Brasil que apresenta um crescimento demográfico bem superior.

De todas as maneiras, em termos globais, considerando que durante o período registrado houve um crescimento populacional real, a intensidade material das economias aumentou consideravelmente.

A DMT Absoluta e DMT per capita

Para comparar a DMT absoluta e per capita desenvolvemos um Indicador combinado com os seguintes critérios:

- *Crescimento Super Intenso* (>60%);
- *Crescimento Intenso* (20 a 60%);
- *Crescimento Moderado* (5 a 20%);
- *Crescimento Estabilizado* (-5 a +5%);
- *Declínio Moderado* (-5 a -20%);
- *Declínio Intenso* (-20 a -60%);
- *Declínio Muito Intenso* (< -60%).

Os dados mostraram que em termos absolutos:

- A DMT de todos os países, com exceção dos EUA que registrou *crescimento moderado*, teve *crescimento intenso* ou *muito intenso*;
- Todos os fluxos componentes das DMT, segundo a origem ou segundo a natureza, de todos os países, também cresceram de forma *intensa* ou *muito intensa*.
- Em relação às classes, com exceção para Erosão de Solo nos EUA, importados de Não Renováveis da Alemanha, fluxos ignorados de Renováveis e fluxos domésticos do Japão, todas as classes e em todos os países apresentam crescimento em suas demandas. Em quase todos os casos o grau desse crescimento foi *intenso* ou *muito intenso*.

Em termos per capita:

- Em relação ao total da demanda, a tendência é de *crescimento moderado* nos últimos 10 anos da pesquisa;
- Considerando a origem, a natureza, e o crescimento populacional verifica-se um *declínio* pontual no caso dos fluxos ignorados do Brasil, fluxos domésticos e ignorados dos EUA e os fluxos importados da Alemanha;
- Em relação às classes, só houve *declínio* na demanda per capita de Erosão de Solo do Brasil e EUA e de Não Renováveis da Holanda.

Finalmente, em relação à magnitude da DMT per capita, constata-se que:

- No Brasil, cada habitante representa, para o Ambiente, uma demanda anual de 20 toneladas de matéria ou 284 vezes o peso de uma pessoa adulta;

- Nos EUA, cada habitante representa uma demanda material de 74.070 quilos ou 3,7 vezes mais do que um brasileiro;
- Na Alemanha, cada habitante representa uma demanda de 66.310 quilos ou 3,3 vezes mais do que um brasileiro;
- No Japão, cada habitante representa uma demanda de 32.160 quilos ou 1,62 vezes mais do que um brasileiro;
- Na Holanda, cada habitante representa uma demanda de 63.690 quilos ou 3,21 vezes mais do que um brasileiro.

Demanda Material da Economia Brasileira em Padrões Internacionais

Os dados da demanda material da economia brasileira, apresentados no capítulo anterior, foram posteriormente compatibilizados com as categorias utilizadas pela União Européia com o apoio de especialistas do IFF (AMANN, 2001)²³.

A conversão dos dados levou em conta as seguintes categorias, classes e tipos de materiais usados internacionalmente:²⁴

- **População do país;**
- **Produto Interno Bruto (GDP.)** baseado nas contas nacionais;
- **Extração Doméstica (DE):** o material extraído do ambiente do próprio país e incorporado na economia nacional;
- **Matéria Diretamente Utilizada (DMI):** o total de matéria utilizada pelo sistema econômico, obtido pela soma da extração doméstica (DE) com a matéria importada de outros países;
- **Matéria Domesticamente Consumida (DMC):** o total de matéria destinada à economia do próprio país. É obtida subtraindo-se a matéria exportada da DMI;
- **Extração Doméstica Desperdiçada (UDE - *Unused Domestic Extraction*):** o total de matéria extraída do ambiente do país

²³ Institut fuer Interdisziplinäre Forschung. Universidade de Viena, Áustria

²⁴ Detalhes sobre os dados e seu processo de obtenção podem ser encontrados em Machado (1999).

e não usada para integrar os produtos finais do processo econômico. Isso inclui a parte não usada das extrações minerais, das extrações e cultivos vegetais, das criações animais, do material escavado para as construções e outros;

- **Erosão de Solo (SE):** o total de solo perdido nas atividades agrícolas;

- **Matéria Total Utilizada (TMI):** o total de matéria de fato utilizada pelo sistema econômico em suas atividades. É obtida pela soma da DMI com a UDE;

- **Matéria Total Movimentada:** trata-se do total geral de toda a matéria mobilizada, pelas atividades econômicas para a realização dos seus processos produtivos. É a soma da TMI com a Erosão do Solo e representa o mais global e completo agregado material demandado pela economia.

Resultados da conversão

Para efeito de demonstrar a utilidade do MFA são apresentados alguns gráficos destinados a avaliar a evolução absoluta e relativa (per capita e por unidade de PIB), bem como as tendências que essa evolução apresenta.

A tendência geral da demanda material da economia brasileira (1975-1995)

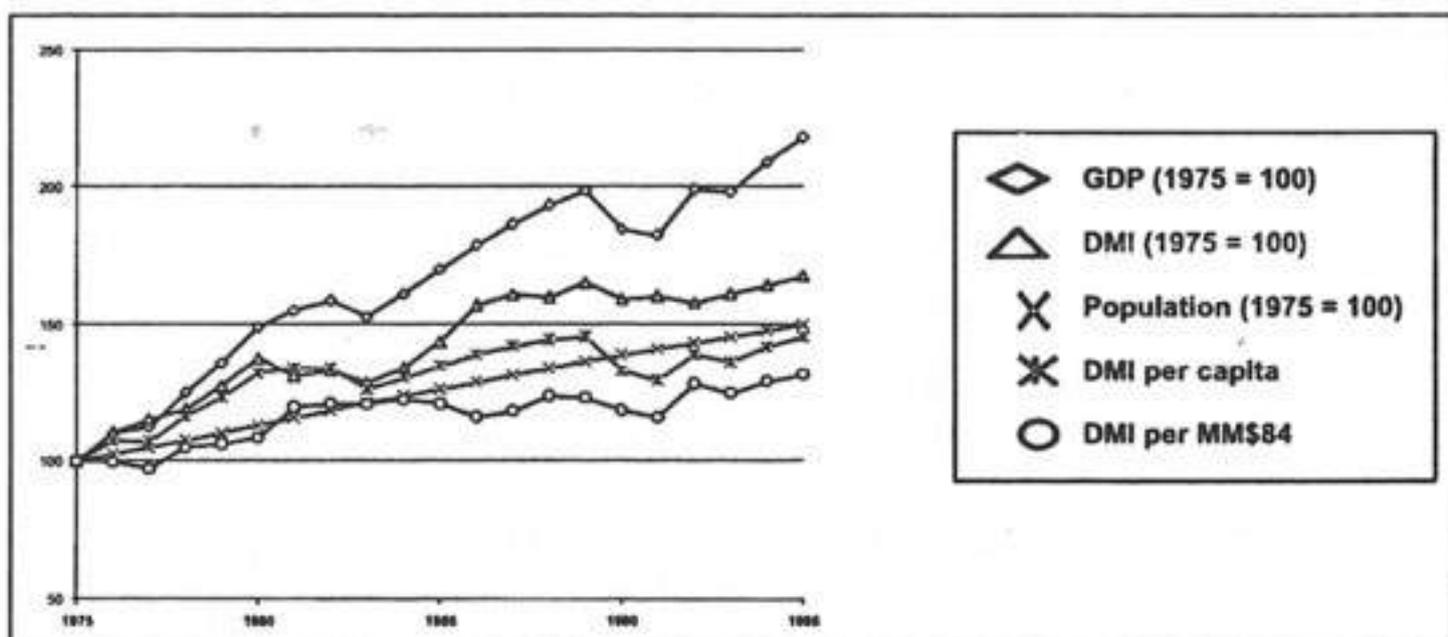


Gráfico 1 A tendência geral da demanda material da economia brasileira (1975-1995)

O Gráfico 1 demonstra que:

a) O consumo absoluto de matéria apresenta um crescimento muito superior ao crescimento da população e do PIB. Isso significa que uso de recursos naturais não é motivado, diretamente, com as necessidades da população ou de crescimento econômico;

b) O consumo relativo (*per capita* e por cada milhão de PIB) também apresenta tendências de crescimento. Isso significa que, apesar da constatação anterior, o brasileiro de 1995 ficou mais “pesado” para o ambiente e um milhão do PIB de 1995 foi gerado com muito mais uso de matéria-prima que em 1975.

Evolução dos agregados da DMT do Brasil (1975-1995)

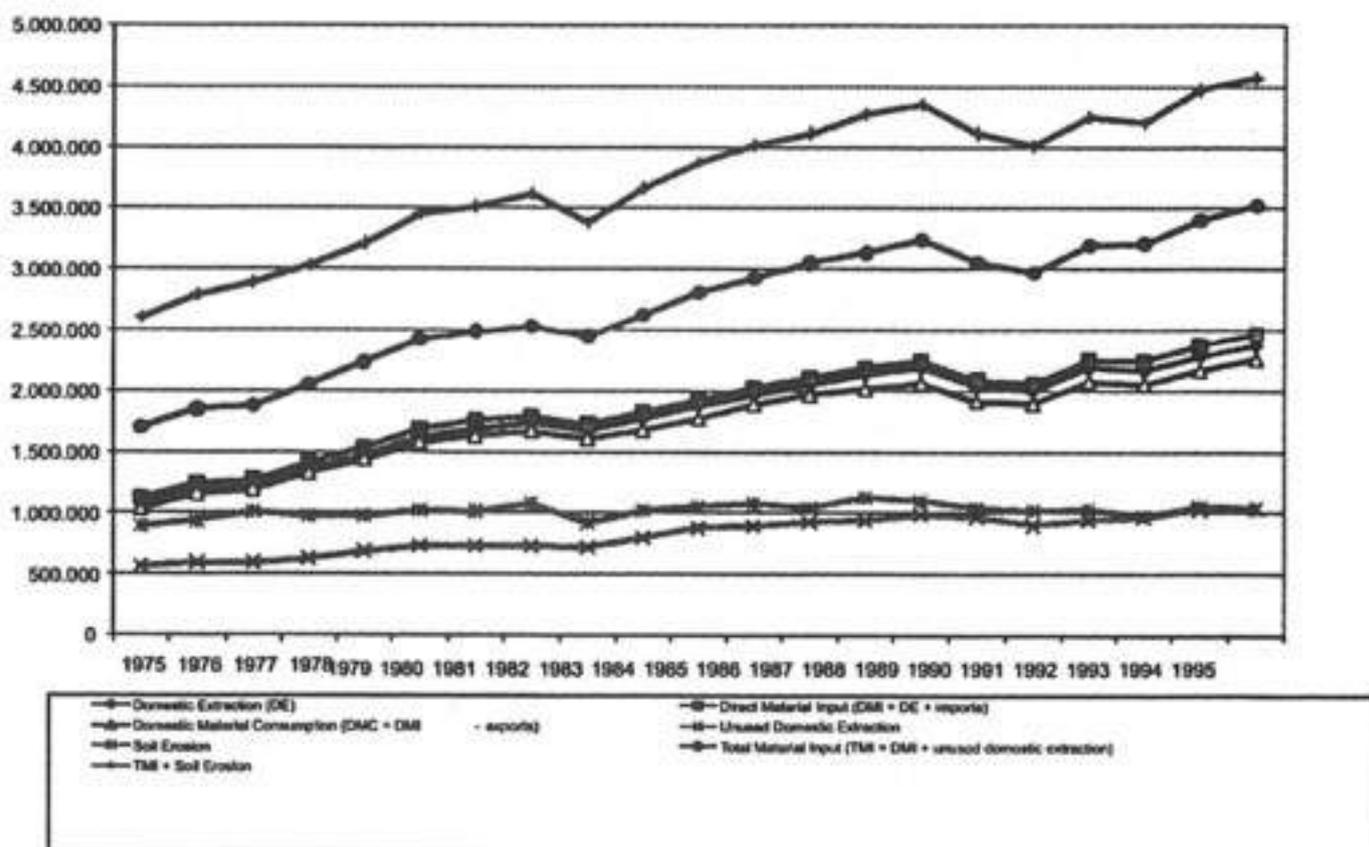


Gráfico 2 - Evolução dos agregados da Demanda Material do Brasil, 1975-95

O Gráfico mostra que:

- c) A Extração Doméstica (DE) aumentou de 120,37%;
- d) A Matéria Diretamente Utilizada (DMI) aumentou de 118,03%;
- e) A Matéria Domesticamente Consumida (DMC) aumentou de 118,00%;

- f) A Extração Doméstica Desperdiçada aumentou de 84,54%;
- g) A Erosão de Solo aumentou de 16,41%;
- h) A Matéria Total Utilizada (TMI) aumentou de 106,83%;
- i) A matéria total movimentada (TMI + Erosão do solo) aumentou de 131,73%.

Observa-se que a quase totalidade dos agregados materiais tiveram aumentos muito acima dos aumentos da população (47,72%) e do PIB (67,54%). Estes dados confirmam a afirmação anterior, que a economia do Brasil tem uma intensa e crescente demanda por matéria sem que isso seja decorrente de um aumento compatível com as atividades econômicas ou das melhorias dos indicadores sociais.

A demanda do material per capita do Brasil (1975-1995)

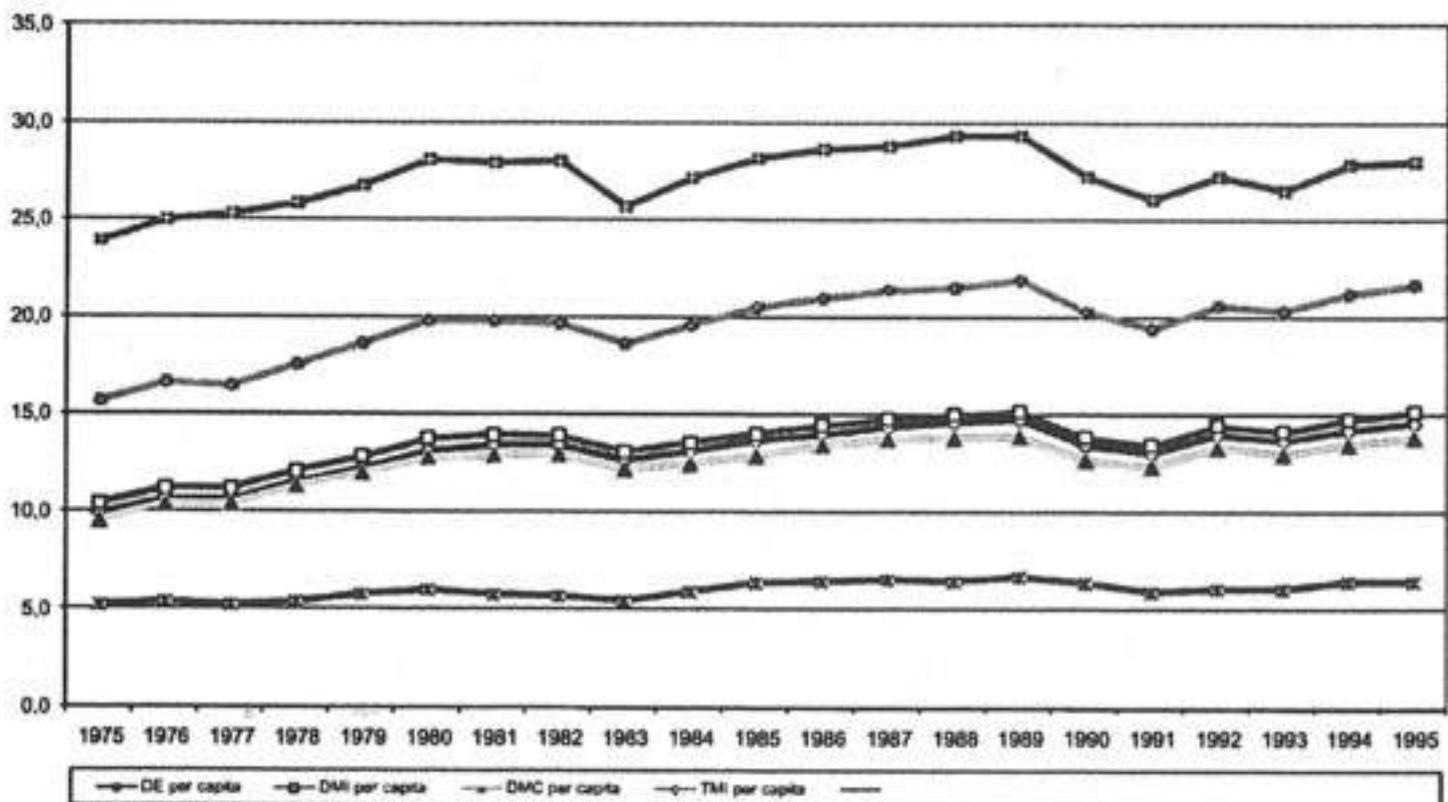


Gráfico 3 - A demanda material per capita do Brasil 1975-95

Pelo Gráfico 3 constata-se que:

- a) A DE *per capita* era 9,9 toneladas e passou para 14,6;
- b) A DMI *per capita* era 10,4 toneladas e passou para 15,2;
- c) A DMC *per capita* era 9,6 toneladas e passou para 13,9;
- d) A TMI *per capita* era 15,7 toneladas e passou para 21,6.

Observa-se que o crescimento absoluto da demanda por matéria foi em torno de 46% em relação à DE, DMI e DMC e de 37% em relação à TMI. Portanto, para todos os agregados considerados, o brasileiro médio de 1995 ficou muito mais pesado para o ambiente.

Intensidade do material por milhão de PIB do Brasil (1975-1995)

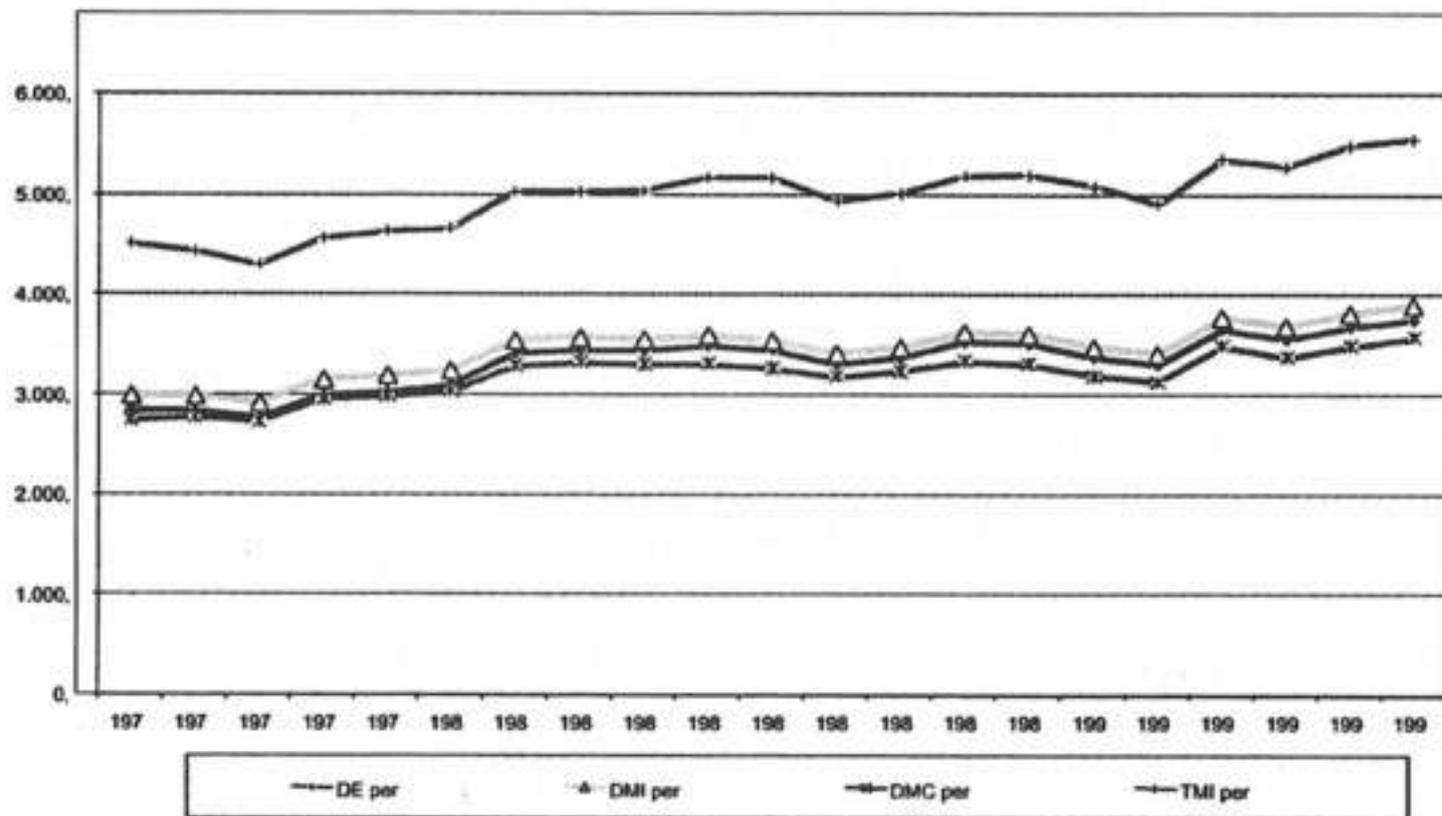


Gráfico 4- Intensidade material por milhão de PIB do Brasil (1975-95)

O gráfico mostra que:

- a) A DE por milhão de GDP era 2.856 toneladas e passou para 3.756;
- b) A DMI por milhão de GDP era 3.000 toneladas e passou para 3.904;
- c) A DMC por milhão de GDP era 2.749 toneladas e passou para 3.577;
- d) A TMI por milhão de GDP era 4.507 toneladas e passou para 5.564.

Os resultados mostram que, em 1995, a economia do Brasil precisava muito mais matéria para gerar o mesmo milhão de PIB que era necessário em 1975.

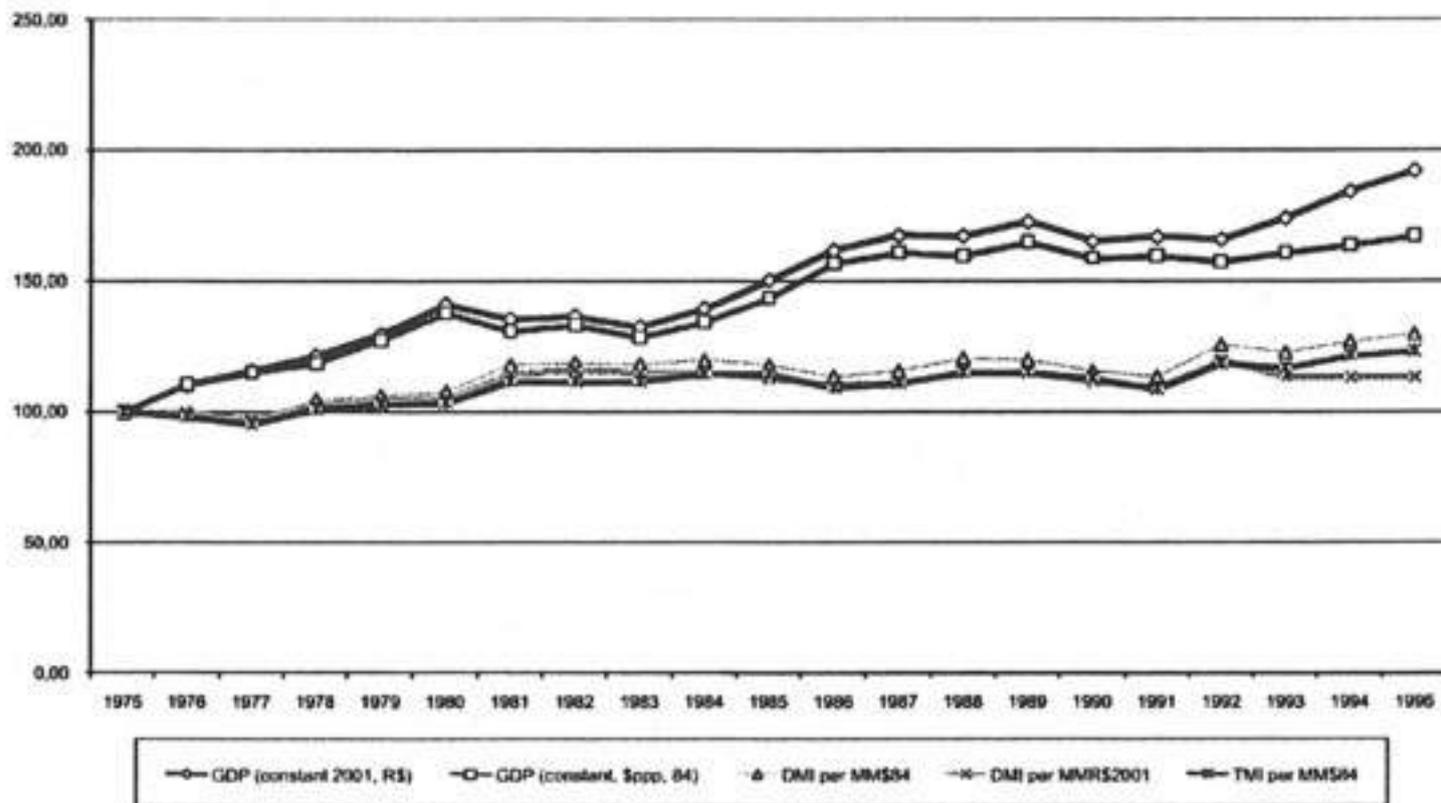
Relação entre o PIB, DMI e TMI no Brasil (1975-1995)

Gráfico 5 - Relações do PIB (US\$ ppp e Real) com DMI e TMI do Brasil

O Gráfico 5 mostra que o PIB tende a crescer em proporção muito maior do que a utilização de matéria pela economia. É a aparente confirmação da chamada tendência para desmaterialização da economia à medida que os países vão se tornando mais industrializados e, por isso, mais desenvolvidos. Entretanto, como foi mencionada no capítulo anterior, essa circunstância só ocorre porque a participação do setor financeiro no PIB cresce cada vez mais se descolando do crescimento da chamada economia real, baseada na produção material. Como consequência o crescimento econômico medido por um PIB pode iludir sobre a real riqueza do país. A crise financeira global instalada em setembro de 2008 trouxe à tona esse problema e, certamente, provocará mudanças na forma de analisar a riqueza das sociedades.

Relevância do MFA e Recomendações

Principais Constatações

1. As economias estudadas retiram do Ambiente, anualmente, 33 bilhões de toneladas de matéria. Se considerarmos a média *per capita* do estudo e a extrapolarmos para a população mundial chegaríamos à conclusão de que as sociedades humanas, em conjunto, retiram do planeta, anualmente, 306 bilhões de toneladas de matéria ²⁵. Se tomarmos por base o maior consumo *per capita* do estudo - o dos EUA - seriam 444 bilhões de toneladas; e se considerarmos o menor - o do Brasil - ainda teríamos a astronômica cifra de 119 bilhões de toneladas anuais. O mais grave desses resultados é que, do total da matéria demandada pelas economias estudadas, **23 bilhões de toneladas são da classe não renováveis**. Se for feita a mesma extrapolação anterior, concluiremos que as sociedades em conjunto retiram do planeta **216 bilhões de toneladas de matéria não renovável**. Se tomarmos por base a maior demanda per capita de matéria não renovável - a dos EUA (53,57 tons) - seriam **321 bilhões toneladas**; e se considerarmos a menor - a do Brasil (5,74 tons) - seriam **35 bilhões de toneladas** ²⁶.

Isso é grave porque, além de expressar a enorme taxa de esgotamento dos recursos não renováveis do planeta, indica que esse volume de matéria, após o uso se transforma em lixo e, por isso, em fonte de entropia.

A despeito de não haver informações seguras sobre perda de solo para alguns países do estudo, só os EUA e o Brasil juntos (onde os dados são conhecidos e aparentemente consistentes), perderam 4,5 bilhões

²⁵ A projeção foi feita considerando a população mundial de 6 bilhões de habitantes e a *média per capita* do estudo de 51 tons. Obviamente essa estimativa é apenas hipotética, já que esse consumo material foi obtido com base em países industrializados e a apenas o Brasil é do grupo de países em desenvolvimento. Entretanto a extrapolação está sendo feito porque esses países industrializados são os "modelos" de todos os demais e o padrão de consumo que se verifica neles é tido como a meta de todas as políticas de desenvolvimento dos países do mundo.

²⁶ Essa é uma estimativa muito baixa e irreal, porque somente em relação aos países estudados já são 23 bilhões.

de toneladas da parte superior de seus solos. Esse impressionante volume de matéria perdida com a erosão leva à reboque a fertilidade local e se converte em razão básica do assoreamento dos rios e perdas de espaços para agricultura;

2. Pode o planeta suportar tamanho impacto antrópico? É possível estender para todas as nações o modelo de desenvolvimento dos países industrializados?

A voracidade de matéria-prima das economias está implícita na lógica do seu modo de produção. Por isso é difícil supor que o próprio sistema se auto-corrija como alegam os defensores da capacidade do mercado em regular as questões ambientais. Ademais, outras questões se contrapõem a essa possibilidade:

- O Sistema Econômico só avalia a eficiência de suas dinâmicas em bases monetárias, o que o impede de perceber o seu custo ambiental, isto é, sua intensidade material;

- O aumento do PIB, principal meta de política econômica dos países, significa aumento de riqueza para o Sistema Econômico e empobrecimento para o ambiente;

- A maior parte da matéria movimentada pelo Sistema Econômico é de natureza ignorada (Brasil 56,9%, EUA 67,8%, Alemanha 64,3%, Japão 50,8% e Holanda 44,0%). Trata-se daquela matéria que é movimentada antes de o recurso natural entrar no circuito econômico. Isso significa que o Sistema Econômico não tem sensores para medir esse desperdício e, por isso, não atua para minimizá-lo. Por exemplo, o alumínio entra no mercado com o preço da tonelada, que não considera os preços dos impactos ambientais, os custos energéticos e sociais da região onde a bauxita está sendo extraída e transformada em Alumínio²⁷.

Ou seja, se o mercado é deixado ao sabor de suas dinâmicas próprias a tendência é a exacerbação dos parâmetros encontrados na pesquisa.

²⁷ Como demonstra o caso da produção de alumínio no estado do Pará, Brasil

Portanto, é necessário buscar outras formas de medir a sustentabilidade dos processos econômicos e internalizar no sistema econômico a *consciência dos fluxos físicos* movimentados pelos fluxos monetários. A metodologia utilizada revelou-se capaz para trazer à tona as particularidades e características das demandas materiais do Sistema Econômico. Seus resultados permitem a construção de indicadores simples, calculados para as diversas classes de materiais, para os diversos setores da economia e da sociedade e para as diversas naturezas de matéria movimentada, possibilitando assim a avaliação e o monitoramento geral do grau de sustentabilidade (ou insustentabilidade) das economias;

3. O trabalho também revelou que a economia do Brasil, caminha, a passos largos, para assumir o mesmo perfil dos países industrializados, isto é: *perdulário no uso, gigantesco no desperdício e intenso na utilização de matéria não renovável*. Com o agravante que o crescente consumo dos seus recursos naturais não conseguiu trazer benefícios palpáveis para sua população. Os resultados também mostraram que as crises econômicas sempre foram compensadas por um aumento considerável da voracidade e do desperdício dos seus recursos naturais.

No Brasil, as perdas de solos, mesmo calculadas de maneira conservadora, são extremamente elevadas (33,4%) e apontam para um grave problema que deverá ser considerado na sua agenda ambiental. Um fato em princípio positivo: um 1/3 da demanda material da economia brasileira é proveniente de recursos renováveis (o que é relativamente elevado comparado aos países industrializados). Entretanto, isto não garante que as formas de uso sejam sustentáveis, ao longo do tempo. Mas o país reúne algumas condições positivas para tornar a base do seu Metabolismo Econômico-Ambiental mais sustentável.

Relevância Política

Base para Políticas Públicas

As propostas para minimizar a nocividade das atividades sócio-econômicas em relação ao chamado “meio ambiente”, quase sempre se baseiam em justificativas éticas, em desejos políticos ou em convicções ideológicas, todas representando generosas intenções, mas sem poder de interferência nos rumos do desenvolvimento econômico. Além das concretas relações de poder, uma das razões importantes da incapacidade e inoperância em relação à insustentabilidade dos caminhos da economia globalizada é exatamente a falta de instrumentos empíricos capazes de *medir* concretamente o grau dos problemas e a dificuldade de transformar em linguagem acessível o verdadeiro caráter da economia mundial. Ao mesmo tempo essa falta de dados empíricos impossibilita a criação de uma opinião consistente e o desenvolvimento de instrumentos operacionais capazes de mudar o rumo da evolução econômica e da ação política.

Políticas Tributárias

As políticas tributárias não consideram o peso desses processos e produtos em relação ao Ambiente e, por isso, pouco efeito tem na demanda material da economia.

Políticas de tributação que tomam por base de cálculo a quantidade de matéria e energia embutidas e usadas nos produtos e processos econômicos, certamente tenderiam a expressar muito melhor, seus verdadeiros pesos em relação ao Ambiente. Ademais, por influenciarem diretamente os preços, as considerações sobre o consumo energético-material se tornariam permanentes na agenda da sociedade, ensejando, assim, uma visão mais clara da verdadeira dimensão da insustentabilidade do nosso modo de produção.

Políticas para o Trabalho Humano

A tendência do mercado capitalista é *desvalorizar o trabalho e os preços dos recursos naturais para gerar lucros crescentes*. Assim, os setores

produtivos, graças às aberturas dos mercados nacionais e a globalização da economia mundial, migram para regiões de trabalho semi-escravo, sociedades civis pouco desenvolvidas, regimes autoritários e países com uma legislação ambiental inexistente ou ineficiente.

Para reverter esta tendência:

- A globalização do mercado capitalista precisa ser acompanhada por uma globalização dos direitos humanos, dos direitos de migração da força de trabalho (na mesma medida da liberdade de migração do capital), e por uma igualdade do valor econômico da força de trabalho;

- Desonerar o trabalho do peso dos tributo e onerar apenas a parte material-energética embutida nos produtos.

As vantagens são significativas não somente por diminuir a pressão sobre o Ambiente, mas também porque geraria mais empregos e estimularia a demanda por tecnologias mais consumidoras de força humana e menos dependente de recursos naturais e energéticos não renováveis.

Políticas em Relação ao Mercado

Como o mercado fundamentado na acumulação de capital e atuando com grande autonomia política o poder de interferência dos governos está sempre a reboque das dinâmicas engendradas pelos mercados.

Para solucionar este problema precisamos de uma **unidade material** para expressar os processos econômicos, independente, entretanto, complementar das **unidades monetárias**, para oferecer aos governos um instrumento mais transparente na regulação dos processos econômicos.

Políticas de Investimentos

O monitoramento da intensidade material da economia permite encontrar maneiras de redimensionar investimentos e incentivos para

controlar as externalidades ambientais do ciclo *extração (dos recursos naturais) – transformação e produção – circulação e consumo – rejeito e descarte*, evitando assim o aprofundamento de processos insustentáveis em pontos específicos da cadeia produtiva e possibilitando a prevenção em vez da remediação que muitas vezes chega tarde demais.

Trata-se, portanto, de uma alternativa que não nega o *crescimento econômico*, senão sugere um desenvolvimento econômico com a intensificação do uso de força humana nos processos produtivos, criando mercado de trabalho e, por conseqüência, um mercado de consumo diferenciado.

Conclusões

A metodologia proposta e testada permite um olhar diferente para a relação Economia-Ambiente e revela uma agenda nova de pesquisas tanto para aperfeiçoamento da metodologia quanto para a aplicação dos seus enfoques para outros estudos tais como:

- Estudos sobre os fluxos materiais entre regiões geográficas do Brasil seriam particularmente úteis para conhecer, por exemplo, o verdadeiro papel da Amazônia como base material do metabolismo do Brasil e do mundo;

- Estudos sobre os fluxos materiais entre os países para revelar as variações no valor monetário das matérias comercializadas e para trazer à tona aspectos novos das assimetrias existentes. Demonstrar com dados empíricos quais nações constroem seu desenvolvimento à custa do ambiente de outras;

- Pesquisas sobre o papel da tecnologia, do setor de serviços e do papel da especulação financeira na desmaterialização fictícia da economia;

- Pesquisas sobre a demanda material dos diferentes setores da economia para revelar a relação de dependência de um setor em relação aos outros e gerar uma espécie de *Matriz Material de Insumo-Produto*;

- Pesquisas para experimentar a metodologia para cidades, comunidades e processos microeconômicos. Neste último caso, surgiria a possibilidade da medição do Metabolismo Econômico-Ambiental de empresas e de outras organizações menores;
- Estudos para aprimorar os padrões internacionais para a classificação dos materiais, dos tipos de fluxos, dos estágios em que os materiais podem ser contabilizados, dos agregados macro-econômicos, das fontes de dados, dos modelos de relatórios, dos indicadores a serem gerados etc.;
- Estudos para definir o perfil completo de cada material, definir as taxas para calcular a demanda ignorada, a origem das importações e o destino das exportações com suas respectivas taxas da demanda ignorada, os estágios nos quais os materiais transitam no Sistema Econômico etc.
- Estudos para agregar as informações sobre fluxos de matéria nas estatísticas nacionais, regularmente realizadas. Essa providência proveria bases para pesquisas mais sistemáticas e completas sobre a intensidade material da economia nacional.

Isto são alguns exemplos de uma possível agenda de pesquisas que decorrem dos princípios básicos da Análise dos Fluxos Materiais. Certamente o MFA não é por si só suficiente para determinar os diferentes e complexos níveis de insustentabilidade de um sistema econômico, mas demonstrou nos últimos anos uma crescente adesão de instituições de pesquisas do mundo que buscam soluções operacionais para o problema do desenvolvimento sustentável.

Finalmente, algumas observações de caráter geral.

O uso de dados quantitativos e de indicadores de fácil entendimento permitiu demonstrar que a economia do Brasil segue a mesma lógica dos países industrializados, e caminha para o aprofundamento de um modo de produção cada vez mais insustentável

(MACHADO; FENZL, 1999). Sem medidas políticas que impliquem em **reajustes profundos do modo de produção** e sem realizações de pesquisas que realcem a intensidade material das economias nacionais, a lógica sistêmica desse modelo econômico continuará aumentando a voracidade e o desperdício de recursos naturais sem melhorias significativas da qualidade de vida das populações.

Nessa perspectiva, os resultados deste trabalho se tornam importantes para o Brasil e, sobretudo, para a Amazônia que é a grande fonte de matéria-prima não somente para a economia nacional, mas inclusive para muitas economias do mundo. Aplicando a metodologia para Amazônia será possível conhecer a carga ambiental e as externalidades que ela suporta para beneficiar outras regiões do país e do mundo. Talvez assim seja possível comprovar que a Amazônia não tem sido um problema para o Brasil e para o mundo, e sim o mundo e o Brasil que têm sido problema para a Amazônia.

Referências

- ADRIAANSE, A. et al. (1997). *Resource flows: The material basis of Economies*. Washington: World Resources Institute. 66p.
- ALIER, J.M. (1996). *Curso de Economia Ecológica*. Barcelona: Universidad Autónoma.
- AMANN, Ch. (2001). *MFA Brazil – comments on data*. Relatório de avaliação preparado para o Projeto Amazônia 21, financiado pela União Européia. Viena: IFF – Social Ecology.
- BERTOLONI, J.; LOMBARDI NETO, F. (1990). *Conservação do Solo*. São Paulo: ICONE. 392p.
- CARNEIRO de Souza, A. (1981). *Evolução dos principais componentes da oferta de carne bovina e bufalina em Belém*. Belém: Comissão Estadual de Planejamento Agrícola do Pará (Série Planejamento, n.5).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (1976-96). *Anuário Mineral Brasileiro (AMB)*. Brasília.

MACHADO, J.A.C.; FENZL, N.(2000). A Sustentabilidade do Desenvolvimento e a Demanda Material da Economia: O Caso do Brasil Comparado ao de Países Industrializados. *Novos Cadernos do NAEA*, Belém, v. 3, n. 2, p. 79-143,.

MACHADO, J.A.C.; FENZL, N.; MATHIS, A. (2004). The Sustainability of Complex Economic Systems. An Application of National Material Flow Analysis (MFA) to the Brazilian Economy. *Triple C*, Vienna, Áustria, v. 2, n. 1, p. 1-5,.

EUROSTAT (2001). *Economy-wide Material Flow Accounts and Balances with derived Resouce Use Indicators*. A Methodological Guide. Bruxelas.

HIGUCHI, N. et al. (1997a). Biomassa na parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da amazônia brasileira. In: HIGUCHI, Niro (Org.). *Biomassa e Nutrientes Florestais - Projeto BIONTE* – Relatório Final. Manaus: MCT-Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia / UK-Department for International Development. 345p.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (1989). Informações agrícolas do Instituto Agronômico de Campinas. *Folha de São Paulo*, São Paulo, Abril.

IBAMA (1995). *ESTATPESCA.Relatório Interno*. Brasília.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (1976-96). *Anuário Estatístico do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE / Gerência de Documentação e Biblioteca.

MUSEUPARAENSEEMÍLIOGOELDI(1999). TextoparaWorkshop de Janeiro 99 – Area Temática: Agricultura Sustentable, www.atech.br/agenda21.as Consórcio Museu Emilio Goeldi/Fundação Aplicações Tecnológicas Críticas/Universidade de São Paulo – Programa de Pós-Graduação de Ciências Ambientais/23.01.99. 116p.

NEVES, A. R. (1980). *Tópicos de Educação Florestal*. Belo Horizonte: Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais. 162p.

TEIXEIRA, L. (1998). *Comunicação Pessoal*. Belém: EMBRAPA / Centro de Pesquisas Agroflorestais da Amazônia Oriental.

UHL, C. et alii (1996). Impactos da atividade madeireira e perspectivas para o manejo sustentável da floresta numa velha fronteira da Amazônia : o caso Paragominas. In: ALMEIDA, O. (Org.). *Evolução da fronteira amazônica : oportunidades para um desenvolvimento sustentável*. Porto Alegre: Caravela. 140p.

US-BC (U. S. Bureau of the Census) (1998). *International Data Base (IDB) (on line data)*. Washington: International Programs Center (IPC)/Bureaus of the Census. URL: <http://www.census.gov/ftp/pub/ipc/www/idbrank.html>

VIEIRA, M. et al. (1996). *Levantamento e conservação do solo*. Belém: FCAP. Serviço de Documentação e Informação. 320p.

Anexo

**Resumo das características relevantes das DMTs do Brasil, EUA,
Alemanha, Japão e Holanda (valores em toneladas)**

Características Relevantes	BRASIL (1995)	EUA (1994)	ALEMANHA (1994)	JAPÃO (1994)	HOLANDA (1994)
Demanda Material Total (DMT)	3.238.304.000	19.304.000.000	5.411.370.000	4.019.700.000	979.637.000
Varição da DMT no período	65,5%	13,1%	42,2%	34,7%	42,5%
Segundo Origen					
Doméstica	92,3%	92,3%	64,1%	32,7%	31,2%
Importada	7,7%	7,7%	35,9%	67,3%	68,8%
Segundo Naturaza					
Reconhecida	43,1%	32,2%	35,7%	49,2%	56,0%
Ignorada	56,9%	67,8%	64,3%	50,8%	44,0%
Segundo Classes					
Não Renováveis	28,9%	72,3%	76,7%	88,1%	52,0%
Renováveis	36,6%	8,2%	6,8%	6,4%	29,9%
Erosão de Solo	33,4%	17,6%	2,4%	4,0%	0,1%
Material Industr. sem Enquadrament	1,0%	1,9%	14,1%	1,5%	18,0%
Relação DMT-Brasil e demais países	1	0,16	0,59	0,80	3,30
PIB (<i>dólar-ppp</i> , preço constante, 1985)	634.420	4.824.231	1.110.078	1.916.630	213.026
Relação PIB-Brasil e demais países	1	0,13	0,57	0,33	2,98
Varição do PIB no período	67,5%	63,3%	87,0%	97,2%	52,0%
População	163.113.370	260.602.289	81.612.677	124.991.070	15.382.198
Rel. População-Brasil e demais países	1	0,63	2,00	1,31	10,60
Varição do População no período	49,9%	20,7%	32,0%	12,0%	12,7%
PIB per capita (<i>dólar-ppp/pessoa</i>)	3.889,44	18.511,85	13.601,78	15.334,14	13.848,87
Varição do PIB per capita no período	11,7%	35,3%	41,6%	76,0%	34,9%
DMT por unidade do PIB (milhão/ton)	5.104	4.001	4.875	2.097	4.599
Varição DMT/unidade PIB no período	0%	-30,7%	-23,9%	-31,7%	-6,2%
DMT per capita (ton/pessoa)	19,85	74,07	66,31	32,16	63,69
Varição da DMT per capita no período	11,7%	-6,3%	7,7%	20,2%	26,4%

Observação: Para o Brasil o período é 1975-1995. Para os demais países é 1975-1994

Literatura complementar

ACHARYA, Anjali (1995). Tropical forests vanishing. In: BROWN, Lester R. et alii.

Vital Signs 1995: *The trends that are shaping our future*. New York: Worldwatch Institute. p.116-117.

ADORNO, Theodor W., HORKHEIMER, Max (1985). Dialética do esclarecimento: *fragmentos filosóficos*. Rio de Janeiro: J. Zahar. 259p.

ARRUDA, Marcos (1997). Globalização e sociedade civil repensando o cooperativismo no contexto da cidadania ativa. Proposta, Rio de Janeiro: FASE, v.26, n.74, set./nov. 1997.

BAUDELAIRE, Charles (1993). Obras estéticas: *filosofia da imaginação criadora*. Tradução de Edison Darci Heldt. Petrópolis: Vozes. 252p.

BELL, Daniel (1976). The cultural contradictions of capitalism. London: Heinemann. 301p.

BENJAMIN, Walter. (1994). Charles Baudelaire: *um lírico no auge do capitalismo*. Tradução de José Carlos Martins Barbosa e Hemerson Alves Baptista. 3.ed. São Paulo: Brasiliense. (Obras Escolhidas, v.3).

BERTALANFFY, Ludwig von (1976). Teoria geral de sistemas: aplicação à psicologia. In: TEORIA dos Sistemas. Tradução de Maria da Graça Lustosa Becskeházy. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas. p.143. p.1-20.

BOSSEL, H. (1996). 20/20 Vision – Explorations of Sustainable Futures (Draft version 2.0). Kassel, Germany: Center for Environmental Systems Research.

BRITO, Daniel Chaves (1997). A paradoxal unidade do discurso do desenvolvimento. Belém: Universidade Federal do Pará / Núcleo de Altos Estudos Amazônicos. (Texto para discussão interna no Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido).

BRINGEZU, Stefan (2000). Material Flow Analysis – na Overview. In: Proceedings of SCOPE Workshop of the Project Material Flow Analysis for Sustainable Resource Management (MFAStoRM), 23-24 November, 2000. Wuppertal: Wuppertal Institute.

BRINGEZU, Stefan e SCHÜTZ, Helmut. Material use indicators for European Union, 1980-1997. Eurostat Working Papers 2/2001/B/2. Bruxelas: European Comission, 2001

BROWN, Lester R. (1995a). Overview: the acceleration of the history. In: BROWN, Lester R. et alii. *Vital Signs 1995 : The trends that are shaping our future*. New York : Worldwatch Institute. p.15-21.

BROWN, Lester R. (1998). Overview – New Records, New Stresses. In: BROWN, Lester R. et alii. *Vital Signs 1998: The environmental trends that are shaping our future*. 15-24. New York: Worldwatch Institute.

BRÜSEKE, Franz J. (1993). O Problema do Desenvolvimento Sustentável. Belém: Universidade Federal do Pará. Núcleo de Altos Estudos Amazônicos. (Paper do NAEA, n.13).

BRÜSEKE, Franz J. (1996). A lógica da decadência: *desestruturação sócio-econômica, o problema da anomia e o desenvolvimento sustentável*. Apresentação de Octavio Ianni. Belém: Cejup. 327p.

BRÜSEKE, Franz J. (1997a). Risco social, risco ambiental, risco individual. *Revista Ambiente & Sociedade*, São Paulo : Ed. Unicamp, n.1, p.3.

BRÜSEKE, Franz J. (1997b). Heidegger como crítico da técnica moderna. Belém: Universidade Federal do Pará. Núcleo de Altos Estudos Amazônicos. (Paper do NAEA, n.71).

BRÜSEKE, Franz J. (1997c). A crítica da técnica moderna. (Paper apresentado no XXI ENCONTRO ANUAL DA ANPOCS / Seminário Temático: Teoria Social, Caxambu, MG).

BRUYN, S and DRUNDEN, M (1999). Sustainability and Indicators in Amazonia: conceptual framework for use in Amazonia. Amsterdam: Institute for Environmental Studies. (Amazonia 21 Project.)

CAMPOS, Roberto (1997). A quarta globalização. Folha de São Paulo, São Paulo, 11 maio 1997. Cad. 1, p.4.

COELHO NETO, Ana L. (1995). Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. Teixeira, CUNHA, Sandra B. da (Orgs.). Geomorfologia: *uma atualização de bases e conceitos*. 2.ed. Rio de Janeiro : Bertrand Brasil. p.93-148.

COMARA–Comissão de Aeroportos da Amazônia (1999). Informação sobre pavimentação em construção de aeroportos. Belém: Ministério da Aeronáutica. 1o. COMAR.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (1991). Nosso futuro comum. 2.ed. Rio de Janeiro : Editora da Fundação Getúlio Vargas. 430p.

CONSTANZA, Robert et alii (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, v.387, p.253-260, 15 maio 1997.

COSTA, José Marcelino Monteiro da (1997). Desenvolvimento sustentável, globalização e desenvolvimento econômico. In: XIMENES, Tereza (Org.). *Perspectiva do desenvolvimento sustentável: uma contribuição para a Amazônia 21*. Belém: Universidade Federal do Pará / Núcleo de Altos Estudos Amazônicos / Associação de Universidades Amazônicas. 657p. p.71-114.

DAUMAS, Maurice (1996). Las grandes etapas del progreso técnico. Traducción de Marcos Lara. México: Fondo de Cultura Económica. 151p.

DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem) (1976-96a). AED – Anuário Estatístico DNER (AED). Rio de Janeiro: DNER / Ministério dos Transportes. DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem) (1976-96b). RAD-Relatório Anual do DNER (AED). Rio de Janeiro : DNER / Ministério dos Transportes. DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem) (1976-96c). PNV - Rede Rodoviária do PNV – Divisão em Trechos. Rio de Janeiro: DNER / Ministério dos Transportes.

DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral) (1998). Esclarecimentos conceituais sobre a metodologia de apuração de quantidade e valor da produção bruta e beneficiada de substâncias minerais. Brasília: DNPM / DIDEM / Divisão de Economia Mineral.

EBPT (Empresa Brasileira de Planejamento de Transporte) (1976-96). AET - Anuário Estatístico de Transporte. Rio de Janeiro: EBPT / Ministério dos Transportes.

ELIAS, Norbert (1994). O processo civilizador: *uma história dos costumes*. Tradução de Ruy Jungman. 2.ed. Rio de Janeiro : J. Zahar. 2v. v.1, 277p.

EMBRAPA - SNLCS (Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos) (1980). Práticas de conservação do solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 88p. (Miscelânea, 3).

FENZL, N. (1995a). Metabolismo social e econômico. Belém: Núcleo de Altos Estudos Amazônicos / Universidade Federal do Pará. (Notas de aulas proferidas no Curso de Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido).

FENZL, N. (1995b). Conceitos gerais em Teoria de Sistemas. Belém: Núcleo de Altos Estudos Amazônicos / Universidade Federal do Pará. (Notas de aulas proferidas no Curso de Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido).

FENZL, N. (1997a). Considerations about interaction and exchange of information between open and self-organized systems. *World Futures*, Amsterdam: Overseas Publishers Association, v.49, p.401-408, 1997.

FENZL, N. (1997b). Estudo de parâmetros capazes de dimensionar a sustentabilidade de um processo de desenvolvimento. In: XIMENES, Tereza (Org.). *Perspectiva do desenvolvimento sustentável: uma contribuição para a Amazônia* Belém: Universidade Federal do Pará / Núcleo de Altos Estudos Amazônicos / Associação de Universidades Amazônicas. 657p. p.1-31.

FENZL, N. (1998). O conceito de desenvolvimento sustentável em sistemas abertos. Belém : NUMA/UFPA. (Textos de aulas proferidas no IV Curso de Especialização em Educação Ambiental).

FERKISS, Victor C. (1976). O homem tecnológico. Tradução Marco Aurélio de Moura Matos. 2.ed. Rio de Janeiro : Zahar. 187p.

FISCHER-KOWALSKI, M. et. alii (1991). Cause related environmental indicators : a contribution to the environmental satellite-system of the Austrian SNA. Wien: IFF. (Research Report IFF - Soziale Ökologie, n.17).

FISCHER-KOWALSKI, M., HABERL, H., PAYER, H. (1992). A paradise for paradigms: *outlining an information system on physical exchanges between the economy and nature*. Wien: IFF. (Research Report IFF - Soziale Ökologie, n.22).

FISCHER-KOWALSKI, M., HABERL, H. (1992). Purposive interventions into life process: *a neglected environmental dimension of the society-nature-relationship*. Wien: IFF. (Research Report IFF - Soziale Ökologie, n.24).

FISCHER-KOWALSKI, M., HABERL, H. (1993). Metabolism and colonisation: *modes of production e the physical exchange between societies e nature*. Wien : IFF. (Research Report IFF - Soziale Ökologie, n.32).

FISCHER-KOWALSKI, M., HABERL, H. (1994). On the cultural evolution of social metabolism with nature : *sustainability problems quantified*. Wien : IFF. (Research Report IFF - Soziale Ökologie, n.40).

FISCHER-KOWALSKI, M. (1997). Metabolismo and Communication : *towards a common epistemological framework for social and natural processes*. (Conference on "Science for sustainable society - integrating natural and social sciences" at Roskilde University, Oct. 26-29. Vienna : IFF - Social Ecology).

FISCHER-KOWALSKI, M. (1998). Society's Metabolismo – *The Intellectual History of Material Flow Analysis*. Part I: 1860-1970. *Journal of Industrial Ecology* 2(1):61-78

FISCHER-KOWALSKI, M. (1999a). Society's Metabolismo – *The Intellectual History of Material Flow Analysis*. Part II: 1970-1998. *Journal of Industrial Ecology*, Vol 2, N.4: 107-136

FISCHER-KOWALSKI, M. (1999b). Material Flow Accounting (MFA) *Information Package*. Viena: OAR-Regionalberatung GmbH, Amazônia 21 Project. 31p

FURTADO, José Luís (1995). Trânsito filosófico I : *política e ciência*. Ouro Preto: Ed. UFOP. 104p. GAGNEBIN, Jeanne Marie (1997). Sete aulas sobre linguagem, memória e história. Rio de Janeiro : Imago Ed. 192p.

GAMA, Ruy (Org.) (1985). História da técnica e da tecnologia: *textos básicos*. São Paulo: T. A. Queiroz, Ed. Universidade de São Paulo. 270p. (Biblioteca Universitária Básica: Engenharia e Tecnologia, v.4).

GARDNER, Gary (1995). Water tables falling. In: BROWN, Lester R. et alii. *Vital Signs 1995 : The trends that are shaping our future*. New York: Worldwatch Institute. p.122-123.

GARDNER, Gary, PERRY, Jim (1995). Dam starts up. In: BROWN, Lester R. et alii. *Vital Signs 1995: The trends that are shaping our future*. New York: Worldwatch Institute. p.124-125.

GIDDENS, Anthony (1991). *As conseqüências da modernidade*. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista.

GOODLAND, Robert (1995). The concept of environmental sustainability. *Annual Reviews in Ecol. Sist.*, Washington, n.26, p.1-24, 1995.

GROOT, Rudolfo S. de (1994). Environmental functions and the economic value of natural ecosystems. In: JANSSON, Ann Mari et alii. *Investing in natural capital : the ecological economics approach to sustainability*. Washington DC : Island Press. p.151-168.

GUIMARÃES, Roberto P. (1997). Desenvolvimento sustentável : da retórica à formulação de políticas públicas. In: BECKER, Bertha, MIRANDA, Mariana (Orgs). *A geografia política do desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro : Editora da UFRJ. p.13-44.

HABERMAS, Jurgen (1988). *Teoria de la accion comunicativa*. Altea : Taurus. v.1.

HABERMAS, Jurgen (1992): A modernidade: um projeto inacabado?. In: ARANTES, O. F., ARANTES, P. E. *Um ponto cego no projeto de Jurgen Habermas*. São Paulo: Brasiliense. p.99-123.

HARRIS, M. (1991). *Cultural Anthropology*. 3rd ed. New York : Harper and Collins.

HERF, Jeffrey (1984). *Reactionary modernism*. New York.

HIGUCHI, Niro et alii (1997b). Crescimento e incremento de uma floresta amazônica de terra-firme manejada experimentalmente. In: HIGUCHI, Niro (Org). Biomassa e Nutrientes Florestais - Projeto BIONTE - Relatório Final. Manaus : MCT-Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia / UK-Department for International Development. 345p.

HOBBSBANN, Eric (1982). A era das revoluções. Europa 1789-1848. Rio de Janeiro: Paz e Terra.

KHANE, Hal (1995). Sulfur and nitrogen emissions fall slightly. In: BROWN, Lester R. et alii. Vital Signs 1995: *The trends that are shaping our future*. New York : Worldwatch Institute. p.86-87.

LASZLO, Ervin (1996). The systems view of the world: *a holistic vision for our time*. New Jersey: Hampton Press. 103p.

LENSSEN, Nicholas (1995). Nuclear waste still accumulating. In: BROWN, Lester R. et alii. Vital Signs 1995 : *The trends that are shaping our future*. New York. : Worldwatch Institute. p.88-89.

LIMA, Deborah (1997). Conferência sobre a noção polissêmica do desenvolvimento sustentável. Simpósio Internacional: Amazônia – estratégias de desenvolvimento sustentável em debate; maio, 1997. Belém: FASE, NAEA/UFGA, SACTES/DED, FAOR, UNIPO, CPT/PA, FETAGRI/PA/AP, MPST e ABONG.

LOBO, João Bôscio (1999). Informação pessoal sobre remoção de solos em implantação de rodovias. Belém : Delegacia Regional do DNER / Ministério dos Transportes.

LOVELOCK, James (1991). As eras de gaia: *a biografia de nossa Terra viva*. Tradução de Beatriz Sidou. Rio de Janeiro: Campus. 236p.

LUHMANN, Niklas (1998). Sistemas Sociais: Lineamentos para una teoría general. Trad. Silvia Pappé y Brunhilde Erker; coord. por Javier

Torres Nafarrete. Rubi (Barcelona): Antrophos; México: Universidad Iberoamericana; Santafé de Bogotá: CEJA, Pontificia Universidad Javeriana. 445 p. (Autores, Textos e Temas. Ciências Sociais, 15)

LUBCHENCO, Jane (1998). Entering the Century of the Environment: a new social contract for science. In: Science, v. 279, january, 1998. Pag. 491-497.

MACHADO, J. A. da C. (1998c). Idéias de crise e sustentabilidade. Novos Cadernos NAEA, Belém: NAEA/UFPA, v.1, n.1, p.125-150, jun.1998.

MARCUSE, Herbert (1969). O homem unidimensional: *ideologia da sociedade industrial*. Rio de Janeiro : Zahar.

MARTIN, L. C. Tayarol (1993). Nutrição mineral de bovinos de corte. São Paulo: Ed. Nobel.

MATHIS, Armin (1997). O fim da supremacia da política : *possibilidades e limites da intervenção do Estado na interpretação da teoria de sistemas*. Belém : Universidade Federal do Pará / Núcleo de Altos Estudos Amazônicos. (Notas de aula no Programa de Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido).

MAX-NEEF, M. A. (1991). Speculations and reflections on the future. Santiago de Chile: Preparatory Committee of the Santiago Encounter, March, 13-15th, Santiago del Chile. (Official document, n.1).

MEADOWS, Donella H., MEADOWS, Dennis L., RANDERS, Jorgen, BEHRENS III, William W. (1972). Limites do crescimento : *um relatório para o projeto do Clube de Roma sobre o dilema da humanidade*. São Paulo : Ed. Perspectiva.

MEADOWS, Donnella H. *et al.* (1992). Beyond the limits. Vermont: Chelsea Green Publishing Co.

MENDES, A. D. e SACHS, I.. A inserção da Amazônia no mundo. In: Conferência Internacional Amazônia 21: uma Agenda para um mundo sustentável (1,1997, Brasília, DF.) Brasília: DMF Congresso, 1998. 264p, p.35-44.

MORAIS, João Francisco Regis de (1981). *Ciência e tecnologia : introdução, metodologia e crítica*. 3.ed. São Paulo : Ed. Moraes. 181p.

MUMFORD, Lewis (1934). *Technics and civilization*. New York : Harcourt.

MYER, Herman (1966). *La tecnificación del mundo : origen, esencia y peligros*. Versión española de Rafael de la Vega. Madrid : Editorial Gredos. 410p.

NBER (National Bureau of Economic Research) (1996). NBER Online Data. The PENN World Table (Mark 5.6) (on line data). URL: <http://www.nber.org/dataindex.html>

NORGAARD, R. B. (1992). Towards economics that sustain nature and human dignity: one perspective from the United States. In: *THE NEW economic paradigm : a sustainable economy*. Austria : Technische Universitat. p.19-39. NUNES, Benedito (1997). Um conceito de cultura. In: XIMENES, Tereza (Org.). *Perspectiva do desenvolvimento sustentável : uma contribuição para a Amazônia 21*. Belém: Universidade Federal do Pará / Núcleo de Altos Estudos Amazônicos / Associação de Universidades Amazônicas. 657p. p.531-551.

OECD (Organization for European Community Development) (1993). *Core set of indicators for environmental performance reviews : a synthesis report by the group on the State of the Environment*. Paris: OECD. (Environment. Monographs, n.83).

Office for Official Publications of the European Community: *Economy-wide material flow accounts and derived indicators*. A

methodological guide, Luxembourg 2001, ISBN 92-894-0459-0, © European Communities, 2001

PLATT, Anne E. (1995). Aquaculture Boosts Fish Catch. In: BROWN, Lester R. et alii. *Vital Signs 1995 : The trends that are shaping our future*. New York : Worldwatch Institute. p.32-33.

PRIGOGINE, I., STENGERS, I. (1984). A nova aliança : *a metamorfose da ciência*. Tradução de Miguel Faria e Maria Joaquina Machado Trincheira. Brasília : Editora Universidade de Brasília.

RAPOPORT, Anatol (1976). Aspectos matemáticos da análise geral dos sistemas. In: *TEORIA dos sistemas*. Tradução de Maria da Graça Lustosa Becskeházy. Rio de Janeiro : Editora da Fundação Getúlio Vargas. 143 p. p.21-46.

ROODMAN, David M. (1995a). Global temperature rises again. In: BROWN, Lester R. et alii. *Vital Signs 1995: The trends that are shaping our future*. New York : Worldwatch Institute. p.64-65.

ROODMAN, David M. (1995b). Carbon emission resume rise. In: BROWN, Lester R. et alii. *Vital Signs 1995: The trends that are shaping our future*. New York : Worldwatch Institute.

ROSSI, Paolo (1992). A ciência e a filosofia dos modernos : *aspectos da revolução científica*. Tradução Alvaro Lorencini. São Paulo : Ed. Universidade Estadual Paulista. 389p. (Biblioteca Básica).

RUNNELS, Curtis N. (1995). Environmental degradation in Ancient Greece. *Scientific American*, p.72-75, March 1995.

RYAN, Mega (1995). CFC Production Plummeting. In: BROWN, Lester R. et alii. *Vital Signs 1995: The trends that are shaping our future*. New York : Worldwatch Institute. p.62-63.

SAINT-SERNIN, Bertrand (1998). A razão no século XX. Tradução de Mario Pontes. Brasília : Ed. UnB; Rio de Janeiro : J. Olympio. 256p.

ECTMA (Secretaria de Ciência e Tecnologia e Meio Ambiente do Acre) (1997). Criterios de sustentabilidade da produção florestal. Documento final. Rio Branco, Acre, Brasil.

SOROS, George (1997). Por uma sociedade global aberta. *Veja*, São Paulo : Editora Abril, v.30, n.51, p.88-92, 24 dez. 1997.

SOUZA, A. L. Lopes (1996). Meio ambiente e desenvolvimento sustentável : *uma reflexão crítica*. Belém : Faculdade de Ciências Agrárias do Pará. Serviço de Documentação e Informação. 50p.

SPANGENBERG, Joachim H. (1996a). Integracion de critérios en el concepto de sostenibilidad. *Espacios*, Costa Rica, n.7, Enero/Junho 1996. SPANGENBERG, Joachim H. (1996b). Towards an integrated concept of sustainability. (Paper apresentado no Simpósio Internacional "Amazônia: Estratégias para o Desenvolvimento Sustentável em Debate", Belém, Pará, Brasil 08-11 de setembro, 1996).

SPANGENBERG, Joachim H., BONNIOT, Odile (1997). Sustainability Indicators : *a compass on the Road Towards Sustainability. Technical Report*. Wuppertal, Germany : Wuppertal Institute for Climate, Environment, Energy. Division for Material Flows and Structural Change.

SPANGENBERG, Joachim H., SCHMIDT-BLEEK, Friedrich (1997). How to probe the physical boundarie for sustainable society? *Foundations of sustainable development. Ethic, law, culture and the physical limits*. Uppsala, Sweden: Uppsala University.

TAVARES, Maria da Conceição, FIORI, José Luis (1993). Desajuste global e modernização conservadora. São Paulo : Paz e Terra. 193p.

TOURAINE, Alain (1994). Crítica da modernidade. Tradução Elia Ferreira Edez. 3.ed. Petrópolis : Vozes. 431p.

UN (United Nations) (1992). International Comparison Programme. Handbook of The International Comparison Programme (on line data). URL: <http://www.un.org/depts/unsd/sna/icp/index.html>

UN (United Nations) (1994). International Comparison Programme. World Comparison of Real Gross Domestic Product and Purchasing Power, 1985 (on line data): <http://www.un.org/depts/unsd/sna/icp/index.html>

UNDP (United Nation's Development Program) (1996). Human Development Report 1996. New York : UNDP.

WILKEN, Elena (1995). Soil erosion's toll continues. In: BROWN, Lester R. et alii. *Vital Signs 1995 : The trends that are shaping our future*. New York: Worldwatch Institute. p.118-119.

WORLD BANK (1995). *Monitoring Environmental Progress: a report on work in progress*. Washington DC.

WORLDWATCH INSTITUTE (1995). *Worldwatch Database Diskette (digital database)*. Washington, DC.

WRI (World Resource Institute) et alii (1996). *World Resource (1996-97)*. New York: Oxford University Press.

WRIGHT, D. H. (1990). Human impacts on energy through natural ecosystems, and implications for species endangerment. *Ambio*, v.19, n.4, p.189-194.

YARZA, Florêncio I. S. (1995). *Dicionário Griego-Español*. Barcelona : Ed. Ramón Sopena.

YOUTH, Howard (1995). Amphibian populations take a dive. In: BROWN, Lester R. et alii. *Vital Signs 1995 : The trends that are shaping our future*. New York : Worldwatch Institute. p.120-121.



Norbert Fenzl, graduado em Geologia pela Universidade de Viena (1971), doutorado em Hidrogeologia e Ciências Ambientais pela Universidade de Viena (1975) e pós-doutorado também pela Universidade de Viena (1993). Atualmente é pesquisador e professor Associado II da Universidade Federal do Pará. De 2006 a 2008 foi Coordenador do Projeto GEF/Amazonas "Gerenciamento Integrado e Sustentável dos Recursos Hídricos Transfronteiriços da Bacia do Rio Amazonas" da Organização do Tratado de Cooperação Amazônica (OTCA). Tem experiência na área de Geociências e Ecologia, com ênfase em Ciências Ambientais, atuando principalmente nos seguintes temas: desenvolvimento sustentável, Amazônia, Meio Ambiente, e Teoria de Sistemas.

Universidade Federal do Pará
Núcleo de Altos Estudos Amazônicos.
Campus Universitário do Guamá - Setor
Profissional - Guamá
66075-900 - Belem, PA - Brasil
Telefone: (91) 32017868
Fax: (91) 32717868
<http://www.ufpa.br>



José Alberto da Costa Machado - Doutor em Desenvolvimento Sustentável (1999), Mestre em Engenharia de Sistemas e Computação (1990) e Graduado em Administração de Empresas (1978). Professor Adjunto do Departamento de Economia e Análise da Faculdade de Estudos Sociais da Universidade Federal do Amazonas, dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Ciências do Ambiente e Sustentabilidade da Amazônia e Desenvolvimento Regional, todas da Universidade Federal do Amazonas. Pesquisador em teorias, métodos e métricas sobre desenvolvimento sustentável e em dinâmicas do desenvolvimento regional amazônico. Nos últimos anos teve sua atuação centrada sobre a Zona Franca de Manaus, Pólo Industrial de Manaus e desenvolvimento amazônico.

Universidade Federal do Amazonas,
Faculdade de Estudos Sociais,
Departamento de Economia e Análise.
Av. Gal. Rodrigo Octávio Jordão Ramos,
3000 - Campus Universitário
Aleixo
69077000 - Manaus, AM - Brasil
Telefone: (92) 6474344
Fax: (92) 6441620

A construção de uma base teórica capaz de nortear o debate do desenvolvimento sustentável e a criação de instrumentos operacionais e orientações pragmáticas são tarefas eminentes da academia e das ciências que tratam desta temática. Certamente esta não é tarefa fácil, devido à enorme complexidade dos fatores envoltos sob o termo desenvolvimento sustentável. Trata-se do conceito mais genérico e amplo atualmente em uso nas diferentes áreas do conhecimento que, de uma forma ou outra, se encontram implicadas na busca de um mundo mais sustentável.

Entretanto, por maior que seja este desafio, num contexto teoricamente desafiador, como o nosso, e particularmente no mundo amazônico, a presente leitura se inscreve como reveladora, didática e inovadora para todos aqueles que miram o tema do desenvolvimento sustentável como foco de preocupação econômica, política e social.

Belém, 15 de abril de 2009.

Alex Fiúza de Mello

ISBN 978-85-88000-28-6



9 788588 998285



União Europeia
projeto Amazônia 21



Núcleo de Meio Ambiente
NUMA/UFPA



NAEA