

**VALORAÇÃO AMBIENTAL PELA
METODOLOGIA EMERGÉTICA**
Subsídios às Políticas Públicas no Brasil

Vito Comar



2017

Equipe EdUFGD/2012
Coordenação editorial: Edvaldo Cesar Moretti
Administração: Givaldo Ramos da Silva Filho
Revisão e normalização bibliográfica:
Raquel Correia de Oliveira
Programação visual: Marise Massen Frainer

Conselho editorial:
Edvaldo Cesar Moretti - Presidente
Célia Regina Delácio Fernandes
Luiza Mello Vasconcelos
Marcelo Fossa da Paz
Paulo Roberto Cimó Queiroz
Rozanna Marques Muzzi
Wedson Desidério Fernandes

A presente obra foi aprovada de acordo
com o Edital 01/2012/EdUFGD.
Os dados acima referem-se ao ano de 2012.

Editora filiada à



Gestão 2015/2019
Universidade Federal da Grande Dourados
Reitora: Liane Maria Calarge
Vice-Reitor: Marcio Eduardo de Barros

Equipe EdUFGD
Coordenação editorial: Rodrigo Garófallo Garcia
Divisão de administração e finanças:
Givaldo Ramos da Silva Filho
Divisão de editoração: Cynara Almeida Amaral,
Marise Massen Frainer,
Raquel Correia de Oliveira
e Wanessa Gonçalves Silva
e-mail: editora@ufgd.edu.br

Conselho editorial:
Rodrigo Garófallo Garcia - Presidente
Marcio Eduardo de Barros
Thaise da Silva
Clandio Favarini Ruviano
Gicelma da Fonseca Chacarosqui Torchi
Rogério Silva Pereira
Eliane Souza de Carvalho

Revisão: Cynara Almeida Amaral e Raquel Correia de Oliveira
Projeto gráfico/capa: Marise Massen Frainer
Desenho da capa: Vito Comar
Diagramação, impressão e acabamento:
Triunfal Gráfica e Editora – Assis – SP

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C728v Comar, Vito.
Valoração ambiental pela metodologia emergética :
subsídios às políticas públicas no Brasil. / Vito Comar. --
Dourados, MS: Ed. UFGD, 2017.
102p.

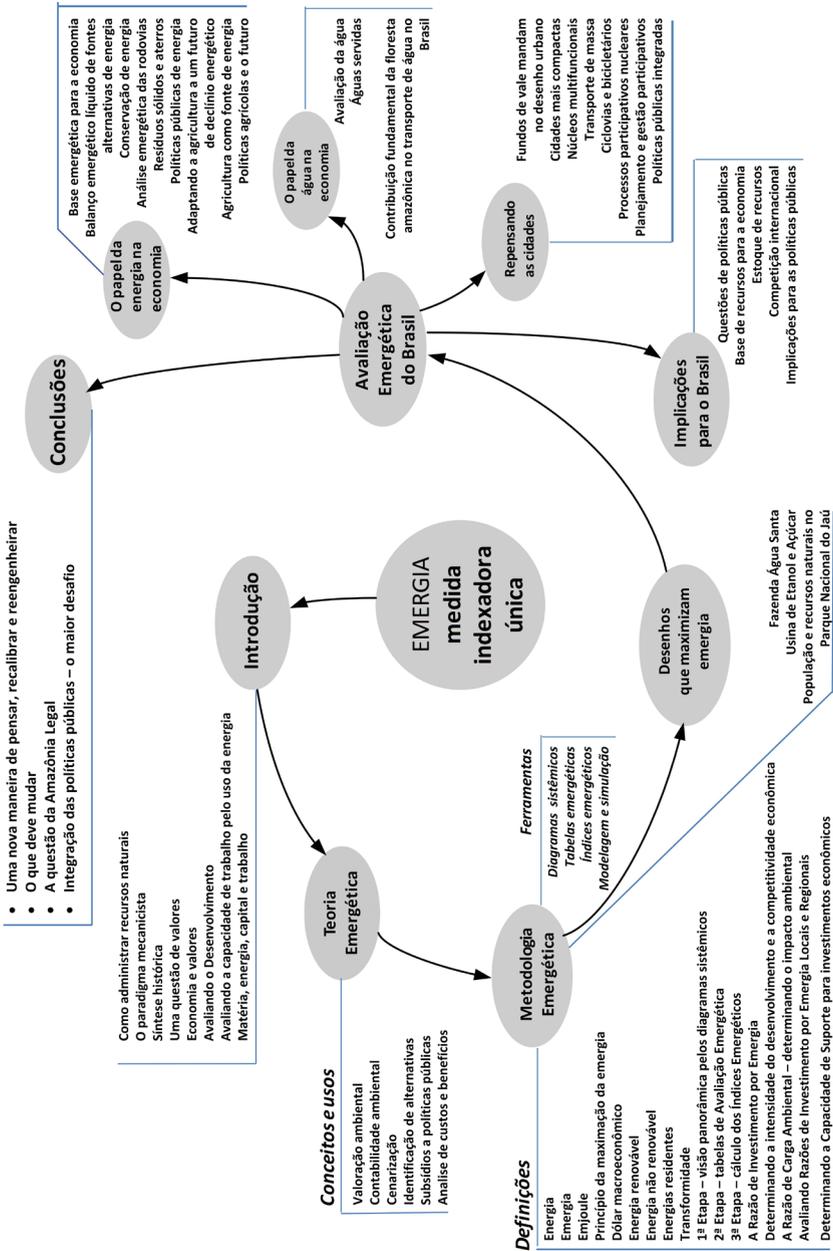
ISBN: 978-85-8147-135-8.
Possui referências.

1. Metodologia emergética. 2. Contabilidade ambiental. 3.
Gestão ambiental. 5. Engenharia ecológica. 6. Políticas
públicas. I. Título.

CDD – 657.4

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.
©Todos os direitos reservados. Permitida a publicação parcial desde que citada a fonte.

PREÂMBULO



Mapa conceitual do livro: siga o fluxo das setas do centro para a esquerda, sentido anti-horário.

Energia, escrito com “m”, é um novo medidor das relações homem/recursos naturais. É possível agora medir processos e serviços ambientais e antrópicos utilizando a energia como medida indexadora única. Usada para subsidiar políticas públicas, ela está emergindo como instrumento de valoração e contabilidade ambiental, identificando as melhores alternativas de desenvolvimento para as mais diversas situações e condições, em toda escala, desde formas de geração de energia e uso da água, até obras de engenharia como barragens, plantas industriais e cidades.

Seguindo o mapa conceitual acima, este livro inicia introduzindo a questão da gestão dos recursos naturais, em uma síntese histórica que, ao passar pela visão fragmentada, cartesiana e mecanicista, evolui para uma concepção mais holística, incluindo o questionamento dos valores, dados garantidos, que baseiam o atual modelo de desenvolvimento predatório e irresponsável. Apontam-se as teorias e formulações econômicas que chegam a considerar como possível a substituição dos recursos naturais por novas tecnologias, como se, num passe de mágica, não se precisasse mais deles, e discute o desenvolvimento histórico dos conceitos de matéria, energia, capital e trabalho à luz da busca de uma visão unificadora e de denominadores comuns.

Definem-se, então, os conceitos e usos da teoria emergética, abordando a valoração ambiental do ponto de vista dos custos da natureza, como produtora de bens e serviços ambientais, e não como o faz a economia neoclássica, do ponto de vista do consumidor, de quanto a sociedade está disposta a pagar, considerando os valores que acha economicamente viáveis, ou politicamente oportunos. É uma economia biofísica, que parte do fluxo de matéria e energia na biosfera, para chegar a quantificar estas trocas e processos; ecocêntrica, então, sem, contudo, negar as necessidades, demandas, aspirações e os tratos culturais e políticos humanos, que, com o decorrer do tempo, estão sendo incorporados nas avaliações.

Em um terceiro momento, entra-se na própria metodologia emergética, esclarecendo os novos termos como energia, transformidade, índices e razões emergéticas. Apresentam-se as ferramentas inovadoras da linguagem simbólica e dos diagramas sistêmicos, a importância de uma visão dinâmica, por meio de modelagem e simulação de possíveis alternativas e futuros cená-

rios, visando subsidiar o processo de decisão e desenvolvimento de políticas públicas adequadas para uma maior sustentabilidade dos processos avaliados.

Estudos de caso demonstram o uso das ferramentas e sua importância para melhor esclarecer a forma de identificar escolhas mais adequadas. São oferecidas dicas de como desenvolver sistemas que maximizem o uso de energia para serem mais duráveis e manter um equilíbrio dinâmico com os processos ecológicos envolvidos.

Chega-se, assim, na segunda parte do livro, que, a partir de uma avaliação emergética do Brasil, investiga e identifica as suas implicações, desde as relações comerciais internacionais, até os múltiplos usos da água, a importância urgente e estratégica da preservação da floresta amazônica e suas inúmeras funções, serviços e produtos, as formas de produção de energia e relativos custos e benefícios emergéticos, o repensar das cidades para melhor qualidade de vida para todos, entre outras considerações.

As conclusões traçam estratégias de desenvolvimento de pesquisas e procedimentos práticos e concretos que possam contribuir para aprofundar o conhecimento e balizar ações em questões e demandas específicas da atualidade. É um longo caminho a se percorrer, principalmente uma nova forma de se pensar e repensar os atuais processos de produção e consumo em todos os campos e atividades. É um intenso desconstruir para tomar novamente o ponto da situação, reequilibrar, recalibrar, reengenheirar, encontrar meios e formas de integrar políticas públicas nesta nova percepção. Esta integração e mudança de paradigma — tanto no planejamento, como na implantação e gestão de políticas, planos, programas e projetos em todas as escalas e níveis governamentais — vai exigir um grande esforço interinstitucional e lançar mão de mecanismos participativos, informados e transparentes como nunca antes na história.

Neste sentido, o papel das instituições de pesquisa e de ensino superior — ao providenciar espaços e condições adequadas de diálogo e interlocução entre todos os setores e agentes sociais, gerar e validar conhecimento para subsidiar o atendimento às múltiplas e urgentes demandas da sociedade — não pode ser subestimado.

O autor



SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| INTRODUÇÃO | 9 |
| Como administrar recursos naturais | 9 |
| O paradigma mecanicista | 12 |
| Síntese histórica | 13 |
| Uma questão de valores | 15 |
| Economia e valores | 16 |
| Avaliando o desenvolvimento | 20 |
| Avaliando a capacidade de trabalho pelo uso da energia - um contexto histórico | 21 |
| Matéria, energia, capital e trabalho | 24 |
| A TEORIA EMERGÉTICA E SUA METODOLOGIA | 27 |
| A metodologia emergética | 32 |
| Energia | 32 |
| Emergia | 33 |
| eMjoule | 33 |
| Princípio da maximização de emergia | 33 |
| Dólar macroeconômico | 33 |
| Energia não renovável | 33 |
| Energia renovável | 34 |
| Energias residentes | 34 |
| Transformidade | 34 |
| 1ª Etapa: Visão panorâmica pelos diagramas sistêmicos | 34 |
| 2ª Etapa: Tabelas de avaliação emergética | 35 |
| 3ª Etapa: Cálculo dos índices emergéticos | 36 |
| Razão de investimento por emergia - determinando a intensidade do desenvolvimento e a competitividade econômica | 39 |
| Razão de carga ambiental - determinando o impacto ambiental | 41 |
| Avaliando razões de investimento por emergia locais e regionais | 41 |
| Determinando a capacidade de suporte para investimentos econômicos | 44 |
| Desenhos que maximizam a emergia | 44 |

| | |
|---|-----------|
| Desenvolvimento optimal para máximo benefício – comparando benefícios emergéticos de alternativas de uso da terra | 45 |
| Exemplos de estudo de caso de avaliação emergética | 47 |
| Fazenda Água Santa | 47 |
| Usina de etanol e açúcar Ester, Cosmópolis-SP | 51 |
| Avaliação emergética da população humana e dos recursos naturais do Parque Nacional do Jaú-Amazonas | 54 |
| EMERGIA E O BRASIL | 59 |
| Avaliação emergética do Brasil | 59 |
| Implicações para o Brasil | 65 |
| Questões de políticas públicas | 65 |
| A base dos recursos para a economia | 66 |
| Estoques de recursos | 66 |
| Competição internacional | 66 |
| Implicações para as políticas públicas | 68 |
| Repensando as cidades | 69 |
| O papel da água na economia | 73 |
| Avaliação da água | 73 |
| A contribuição fundamental da floresta amazônica no transporte de água no Brasil | 74 |
| Águas servidas | 75 |
| O papel da energia na economia | 76 |
| Base emergética para a economia | 76 |
| Balanco emergético líquido de fontes alternativas de energia | 76 |
| Conservação de energia | 78 |
| Análise emergética das rodovias | 79 |
| Resíduos sólidos e aterros | 80 |
| Políticas públicas de energia | 80 |
| Adaptando a agricultura a um futuro de declínio energético | 81 |
| Agricultura como fonte de energia | 84 |
| Políticas agrícolas e o futuro | 85 |
| CONCLUSÕES | 87 |
| Uma nova maneira de repensar, recalibrar e reengenheirar | 87 |
| O que deve mudar | 91 |
| Integração das políticas públicas – o maior desafio | 93 |
| BIBLIOGRAFIA | 97 |

INTRODUÇÃO

Como administrar recursos naturais

Um dos assuntos mais críticos da atualidade refere-se à administração dos recursos naturais no melhor interesse das populações humanas, providenciando uma gestão adequada dos ecossistemas de apoio e suporte às nossas atividades. Há uma urgente necessidade de estudos integrados de processos humanos e naturais, e de desenvolvimento de estratégias de manejo que reconheçam e promovam as conexões vitais entre os dois. As disciplinas da economia e da ecologia não podem abordar independentemente os problemas que estamos enfrentando. Questões como a otimização do uso de recursos, a administração igualitária no mercado internacional, a exploração excessiva dos recursos, a perda de diversidade biótica ou as modificações climáticas, não podem ser resolvidas focalizando aspectos isolados de um problema maior. Uma visão mais abrangente torna-se necessária, com o objetivo de integrar os sistemas da humanidade e da natureza sem considerar as atividades dos seres humanos e dos processos produtivos da biosfera como entidades distintas, uma tendo o domínio absoluto sobre a outra. Um novo paradigma para este tipo de avaliação está surgindo.

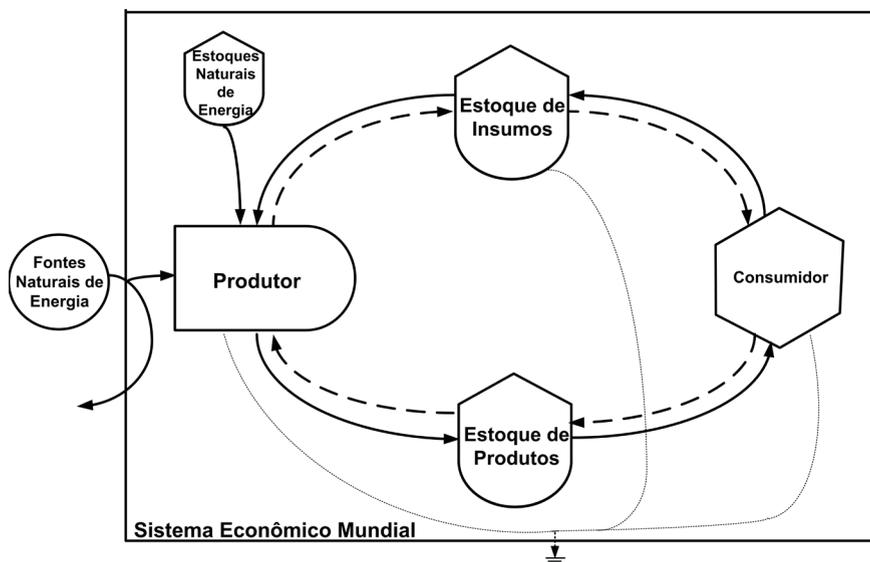
Da mesma forma que as economias distintas de nações individuais estão se tornando cada vez mais entrelaçadas num sistema econômico mundial, torna-se bastante claro que o bem-estar econômico e a estabilidade ecológica dependem do desenvolvimento de uma interface entre a ecologia e a economia.

Soluções não serão encontradas no estudo dos sintomas resultantes das interações entre culturas humanas e a natureza, dentro dos confins de disciplinas científicas separadas, mas numa abordagem holística que integre a humanidade e a natureza em padrões simbióticos e sustentáveis para seu futuro comum.

Uma avaliação da Emergia, escrita com m , ou energia incorporada nas várias componentes e processos dos ecossistemas (ODUM, 1983, p.

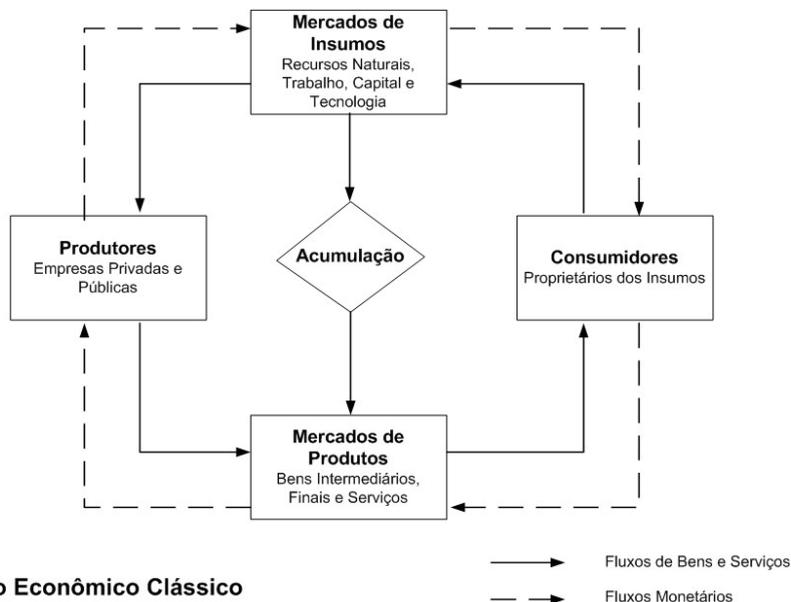
22; ODUM; ODUM, 1983, p. 19), esclarece a interdependência entre a economia humana e os sistemas naturais, em que a energia é usada como denominador comum para medir atividades em ambos os tipos de sistemas. A avaliação dos principais fluxos de energia providencia medidas quantitativas do sistema ecológico-econômico da área estudada. Decisões sobre o uso de recursos naturais não podem ser tomadas corretamente usando o dinheiro, pois este é apenas pago por serviços prestados, enquanto uma comparação usando a energia pode ser feita para escolher-se uma entre várias alternativas ambientais. O modelo global dentro desta visão econômica inclui a economia da natureza e suas contribuições (Figura 1a) e precisa ser comparado com o modelo econômico clássico que não inclui estas contribuições (Figura 1b).

Figura 1A - O modelo de Odum inclui a natureza como contribuinte ao sistema econômico.



Fonte: COMAR, 1994.

Figura 1B - O modelo econômico clássico que exclui as contribuições da natureza.



Fonte: COMAR, 1994.

A avaliação emergética é também útil como um meio para integrar diferentes disciplinas, iniciando por uma perspectiva ecológica e um conhecimento biológico baseado nos fluxos energéticos dentro dos ecossistemas e entre eles e as atividades humanas que sustentam.

Desta forma, como quantidade contábil, ela expressa toda forma de energia em termos de sua habilidade equivalente de realizar trabalho, procurando avaliar objetivamente a ação dos ecossistemas, seus produtos e serviços, como contribuições à economia, usando uma unidade única, baseada na energia, o Joule de energia solar, seJ, juntamente a uma unidade combinatória energética-monetária, o dólar emergético, Em\$. Esta nova contabilidade ambiental procura equilibrar as necessidades dos sistemas humanos e dos ecossistemas que suportam nossas atividades, apoiando decisões de planejamento e gestão de políticas públicas, buscando processos mais sustentáveis.

A avaliação emergética representa um instrumento para políticas públicas em procurar um equilíbrio entre ganhos em curto prazo e uma estabilidade em longo prazo para a sociedade. Este é de fato um dos papéis primários de

um governo. Se a avaliação emergética está baseada em percepções acertadas de como os ecossistemas — incluindo seus componentes humanos — funcionam e respondem, então ela pode providenciar uma compreensão quando consideramos questões como:

- Quanto vale um recurso natural ou um serviço ambiental?
- Qual é a magnitude da contribuição gratuita do ambiente a uma *commodity*?
- Qual é o potencial gerador de riqueza dos recursos naturais de uma região ou nação?
- Quais substituições podem ser feitas ao processo de geração de um produto sem alterar a produtividade de um sistema?
- Como impostos podem ser usados para reforçar de forma eficaz aqueles níveis e tipos de consumo que beneficiam uma sociedade sem, porém, ameaçar a produtividade de uma economia?
- Como podemos estimar a qualidade de vida e riqueza de uma economia não monetária?

A avaliação emergética aplica os princípios da ecologia de sistemas a estas questões e substancia observações de como os ecossistemas funcionam e porque, em condições competitivas, certos sistemas prevalecem. Assim, espera-se que as conclusões e recomendações deste livro para políticas públicas possam esclarecer como melhor aproveitar as potencialidades e de que forma diminuir os impactos negativos dos nossos sistemas de produção e consumo na sociedade, sua economia e ambiente.

O paradigma mecanicista

A transição do modo de produção feudal para o modo de produção capitalista, no século XVI, testemunhou o nascimento do paradigma mecanicista baseado em um sistema de valores antropocêntrico, de competição individualista, de submissão da natureza ao homem, tanto em termos de seu uso quanto em termos científicos. O crescimento, como fenômeno quantitativo, tornou-se sinônimo de desenvolvimento. Estes valores estão respaldados até as presentes metodologias de mensuração do desenvolvimento. Variáveis macroeconômicas como o incremento anual do Produto Nacional Bruto (PNB),

ou de renda per capita, imputam apenas o valor dos custos de produção e do trabalho humano aos bens e serviços. A economia não reconhece, atualmente, o valor de qualquer outro processo de produção a não ser o humano (ODUM, 1971, p. 25; CAPRA, 1982, p. 167).

Embora a aplicação dos valores mecanicistas tenha resultado na melhoria das condições sanitárias em certas regiões do planeta, crescimento na oferta de bens e serviços a um mercado que os possa comprar, avanço nos sistemas de transportes e comunicações reduzindo distâncias e barreiras culturais e um melhor conhecimento dos sistemas naturais através da indagação científica, sua continuação como abordagem dominante no comportamento socioeconômico e suas aplicações técnico-científicas nos levarão ao completo desequilíbrio com nosso meio.

Atualmente, tanto entre países quanto entre classes sociais, a distribuição de renda, derivada da aplicação dos valores mecanicistas, é enormemente desigual e 60% da população mundial vive em condições precárias. Isso indica que este modelo socioeconômico e administrativo mundial é deficitário e falido.

Essa negligência em gerenciar tanto os recursos humanos quanto naturais tem solapado a estabilidade das estruturas sociais, exaurido fontes de recursos, prejudicado ecossistemas essenciais, extinguido espécies e minado o delicado equilíbrio biótico e climático do planeta.

A consciência ecológica tornou claro que, em última análise, os limites ecológicos para um crescimento econômico ininterrupto podem-se manifestar por alterações indesejáveis e perigosas no clima e nos principais ciclos naturais (SACHS, 1981, p. 95).

Síntese histórica

Na revolução industrial na Inglaterra¹, onde se desenvolveram as primeiras invenções na indústria têxtil e na do aço entre 1700 e 1782, a concen-

1 Foi a contribuição de energia incorporada nos produtos extrativistas das colônias, principalmente o ouro roubado pelos piratas ingleses aos conquistadores espanhóis, que por sua vez dizimaram as populações nativas das Américas, que possibilitou a acumulação de suficientes capitais para experimentação e invenções na Inglaterra, dando início à revolução industrial.

tração urbana não partiu da indústria em si, que estava originariamente dispersa nas áreas rurais, mas do recurso usado: o carvão. Quando, após 1780, o carvão substituiu a energia provinda dos moinhos de água na indústria têxtil, dependente diretamente da geografia e disponibilidade deste recurso, ele tornou-se a principal fonte de energia para indústria, concentrando-a nos pontos estratégicos de suprimento: próxima às minas de carvão ou adjacente ao transporte de volume (HALL; DAY, 1977, p. 92).

Ainda assim havia pesadas limitações de transporte, essencialmente fluvial, e de eficiência das máquinas no uso do carvão, que determinaram a urbanização subsequente. A primeira ferrovia com trens movidos a vapor foi construída em 1825 e somente após 1830 ambos os fatores limitantes, transporte e eficiência, foram mudados, tornando a indústria livre para se deslocar para áreas mais viáveis.

Foi tarde demais, pois o padrão de concentração espacial e ocupação do solo já estavam lançados definitivamente. Na Inglaterra, as grandes concentrações urbanas, demográficas e industriais ocorreram em função do desenvolvimento das ferrovias e não das rodovias, fenômeno mais tardio.

Com o advento do automóvel, já neste século, e a decorrente utilização dos derivados do petróleo que aumentou a mobilidade e flexibilidade no uso dos recursos naturais, dois fatores determinaram a presente configuração social e os padrões de assentamento humano na maioria dos países industrializados, com exceção de alguns países europeus que continuaram a explorar as ferrovias e hidrovias. O primeiro foi o estoque de capitais já presentes nas economias das nações industrializadas que as capacitaram a adquirir a preços irrisórios os novos recursos energéticos para produção e transportes, e a maximizar sua energia interna por aumento de eficiência, rapidez e diversificação produtiva, resultando em baixo custo de produção e alta competitividade. O segundo foi a escolha política, induzida pelos interesses dos grandes consórcios industriais, para o transporte individualizado e o conseqüente alastramento do sistema de rodovias, autoestradas e sistemas expressos de transporte individual que beneficiavam uma ínfima parte da população, destruindo unidades paisagísticas, identidades culturais, ciclos de produção agrícola e comunidades biológicas.

A concentração de população humana e de atividades industriais, inicialmente sem diferenciação espacial, juntamente a uma visão antropocêntri-

ca do uso dos recursos naturais, sobrecarregou-os demasiadamente e exigiu o impossível dos sistemas hídricos existentes que, simplesmente, passaram a funcionar como canalizadores dos nossos dejetos. Este estado de coisas já estava presente em grandes concentrações humanas da antiguidade, a exemplo da Roma Imperial, com enormes problemas de congestionamento no trânsito, mas que já tinha um adiantado sistema de esgotos, a *Cloaca Maxima*, e rede de aquedutos aéreos para garantir um menor índice de contaminação do precioso líquido. O agravante na era industrial foi a concentração e o enorme volume de substâncias inorgânicas tóxicas liberadas pelas atividades industriais e outras, além de uma demanda, principalmente industrial, de ordens de magnitude maior. Assim, a contaminação do lençol aquífero e das concentrações naturais ou induzidas de água era uma questão de coeficientes de percolação, vazão e de taxas de concentração, e os fatores tempo/produção/demanda-uso de recursos/despejo já estavam definindo o cenário.

Este preâmbulo histórico é necessário para a avaliação das atividades humanas e seu uso do espaço. Cabe à pesquisa, uma vez identificadas certas causas, tentar qualificá-las e quantificá-las através de estratégias de avaliação, chegando a diretrizes para ações mitigadoras e monitoramento envolvendo toda comunidade. O diagnóstico é a primeira fase de um processo cíclico de planejamento, visto como o esforço para se atingir certos objetivos congregando-se ações em sequências ordenadas.

O processo histórico, acima diagnosticado, pressupõe como meta do planejamento o redirecionamento das atividades humanas como um todo, um condicionamento dos valores da sociedade e seus níveis de consumo, tendo como base a justiça biológica no uso dos recursos, especialmente energéticos, e um repensar sobre os meios de produção e o uso do espaço. O fato de a sociedade moderna ser mais tecnológica e socialmente complexa do que qualquer outra do passado não impede sua crítica e avaliação e, tanto menos, sua possibilidade de redirecionamento, uma vez encontradas alternativas viáveis.

Uma questão de valores

Para se encontrar tais alternativas a questão dos valores objetivos dos recursos naturais e os serviços que estes providenciam são fundamentais. Quanto

vale um sistema de drenagem, uma bacia hidrográfica, uma jazida de carvão, quando comparados com os custos econômicos de transporte, distribuição, uso e processos produtivos? Quanto vale sua reciclagem ou reposição nos sistemas naturais? Na avaliação de uma hidroelétrica, qual é a relação de custos/benefícios, de investimento humano por contribuição natural, em nível das economias integradas homem/natureza? Qual a relação com a produção de energia elétrica por investimentos humanos e naturais?

Respostas a estas perguntas necessitam de qualificação e quantificação urgente. Até agora os esforços no campo da economia esbarram na questão da “vontade de pagar” (*willingness to pay*, em inglês). O valor que se atribui a estes processos e serviços depende de quanto a sociedade e os setores diferenciados dentro dela, principalmente dos empreendedores com alavanca política, estão dispostos a pagar. Isto nenhuma relação tem com os processos geológicos, climáticos, biológicos e ecológicos que produziram estes recursos na primeira instância.

Economia e valores

Uma revisão dos conceitos econômicos e do sistema de valores que os sustentam torna-se importante. A economia é definida como a disciplina que se ocupa da produção, da distribuição e do consumo de riquezas. Tenta determinar o que é valioso num dado momento, estudando os valores relativos de troca de bens e serviços. Portanto, a economia é, entre as ciências sociais, a mais normativa e a mais claramente dependente de valores.

A economia atual caracteriza-se pelo enfoque reducionista e fragmentário típico da maioria das ciências sociais. De um modo geral, os economistas não reconhecem que a economia é apenas um dos aspectos de todo um contexto ecológico e social: um sistema vivo composto de seres humanos em contínua interação com seus recursos naturais, a maioria dos quais, por sua vez, constituída de organismos.

O triunfo da mecânica newtoniana nos séculos XVIII e XIX estabeleceu a física como o protótipo de uma ciência “pesada” pela qual todas as outras ciências eram medidas (CAPRA, 1982, p. 167).

Outro aspecto dos fenômenos econômicos, crucialmente importante, mas seriamente negligenciado pelos economistas, é o da evolução dinâmica da economia. Os sistemas econômicos estão em contínua mudança e evolução, dependendo dos igualmente mutáveis sistemas ecológicos e sociais em que estão implantados. Para entendê-los necessitamos de uma estrutura conceitual que seja também capaz de mudar e adaptar-se continuamente a novas situações.

Adam Smith e Thomas Malthus previram o esgotamento dos recursos naturais, principalmente das terras usadas para agricultura, devido ao crescimento industrial e demográfico (SMITH, 1776, p. 40; SUNKEL; PAZ, 1976, p. 55). David Ricardo propôs a liberação do comércio internacional e o uso de melhores técnicas de cultivo para adiar o “estado estacionário” que resultaria da falta de terras cultiváveis e de recursos naturais, mas confirmou sua irreversibilidade. A visão histórica de Karl Marx, onde os meios de produção transformam as relações homem/homem a homem/ambiente na dinâmica do tempo, e onde o trabalho é visto como a medida indexadora única, embora ainda antropocêntrica, coloca-a na fronteira entre os paradigmas mecanicista e holístico (OLIVEIRA, 1993, p. 40).

A evolução de uma sociedade, inclusive a evolução do seu sistema econômico, está intimamente ligada a mudanças no sistema de valores que serve de base a todas as suas manifestações. Uma vez expresso e codificado o conjunto de valores e metas, ele constituirá a estrutura das percepções, intuições e opções da sociedade para que haja inovação e adaptação social. À medida que o sistema de valores culturais muda frequentemente em resposta a desafios ambientais, surgem novos padrões de evolução cultural. O estudo dos valores é de suprema importância para todas as ciências sociais; pois é impossível existir uma ciência social “isenta de valores” (CAPRA, 1982, p. 169).

O prazer e o sofrimento são, sem dúvida, o objetivo final dos cálculos econômicos. Para satisfazer até um máximo nossas necessidades com um mínimo de esforço..., ou, em outras palavras, maximizar o prazer é o problema na economia (JEVONS, 1871, apud CAPRA, 1982, p. 192).

Embora matematicamente não se possa minimizar um fator e maximizar outro ao mesmo tempo, esta declaração tipifica as atitudes econômicas

atuais. Os economistas, numa tentativa de dotar sua disciplina de embasamento científico, evitam sistematicamente a questão de valores não enunciados. Os únicos valores que figuram nos modelos econômicos atuais são aqueles que podem ser quantificados mediante a atribuição de pesos monetários (CAPRA, 1982, p. 170). Essa ênfase dada à quantificação confere à economia a aparência de uma ciência exata. Ao mesmo tempo, contudo, ela restringe severamente o âmbito das teorias econômicas na medida em que exclui distinções qualitativas que são fundamentais para o entendimento das dimensões ecológicas, sociais e psicológicas da atividade econômica. Por exemplo, a energia é medida apenas em quilowatts, independentemente de sua origem; nenhuma distinção é feita entre os bens renováveis e os não renováveis; e os custos sociais de produção são adicionados como contribuições positivas para o Produto Nacional Bruto (CAPRA, 1982, p. 171).

Economistas ambiciosos elaboraram elegantes soluções matemáticas para problemas teóricos com escassa ou nenhuma importância para as questões públicas (WASHINGTON POST, apud CAPRA, 1982, p. 171).

Acredito que nós, economistas, em anos recentes, causamos grandes danos — à sociedade, em geral, e à nossa profissão, em particular —, ao pretendermos dispor de mais do que podemos realmente oferecer (FRIEDMAN, 1972 apud CAPRA, 1982, p. 172).

O que os economistas precisam fazer com a máxima urgência é reavaliar toda a sua base conceitual e recriar seus modelos e teorias fundamentais em conformidade com essa reavaliação. A atual crise econômica só será superada se os economistas estiverem dispostos a participar da mudança de paradigma que está ocorrendo hoje em todos os campos. Tal como na psicologia e na medicina, a substituição do paradigma cartesiano por uma visão holística e ecológica não tornará as novas abordagens menos científicas, mas, pelo contrário, torná-las-á mais compatíveis com as novas conquistas nas ciências naturais (CAPRA, 1982, 172).

A macroeconomia moderna, keynesiana em origem, estuda o funcionamento global do sistema econômico como um conjunto de interações dinâmicas entre produtores e consumidores. O esquema global da economia capitalista deste ponto de vista não considera o governo ou os setores externos como agentes separados (FONSECA, 1991, p. 39 – ver Figura 1).

Na medida em que ocorre uma acumulação, aumentam os estoques de todos os suprimentos, com exceção dos estoques de recursos naturais. Enquanto a regeneração de todos os outros suprimentos (mão de obra, tecnologia e capital) está controlada pelos seres humanos, a reposição dos estoques de recursos naturais é regulada pela dinâmica dos ecossistemas terrestres. Qualquer aumento na acumulação de estoques representa uma diminuição proporcionalmente maior no volume dos recursos naturais. A velocidade da renovação dos recursos naturais pela ação da natureza é muito inferior à velocidade do crescimento industrial. Este fator fundamental não está considerado no modelo keynesiano nem em qualquer outro modelo macroeconômico (OLIVEIRA, 1993, p. 45).

No modelo keynesiano, o investimento adicional aumentará sempre o emprego e, portanto, o nível total de renda, o que, por sua vez, levará a uma maior demanda de bens de consumo. Desse modo, o investimento estimulará o crescimento econômico e aumentará a riqueza nacional que, finalmente, “escorrerá aos poucos” para os pobres. O modelo keynesiano é hoje inadequado porque ignora muitos fatores que são fundamentais para a compreensão da situação econômica. Ele se concentra na economia interna, dissociando-a da rede econômica global e desprezando os acordos econômicos internacionais; negligencia o poder político das empresas multinacionais, não dá atenção às condições políticas e ignora os custos sociais e ambientais das atividades econômicas. Assim sendo, não pode formular previsões realísticas (CAPRA, 1982, p. 191).

Diferentes métodos de avaliação de impacto ambiental têm procurado desenvolver uma abordagem integrada aos vários processos envolvidos, como identificação, medição e predição (CANTER, 1977, p. 23; MUNN, 1979, p. 56; SHOPLEY; FUGGLE, 1984, p. 63). Abordagens econômicas de custo e benefício para tais análises têm sido aplicadas para avaliar transações de recursos (WESTMAN, 1985, p. 35). Mesmo que o preço de um serviço ambiental seja tomado como positivo, a fonte de valor ainda é vista como sendo sujeita às vontades individuais e não em relação às necessidades objetivas de seres humanos e de outras espécies, consideradas como entidades biológicas entrelaçadas em comunidades ecológicas e sistemas sociais. De que forma, então, podemos avaliar serviços ambientais e como podemos integrar estes valores nos processos de tomada de decisões?

Os sistemas de contabilidade social, desde François Quesnay até hoje, não tomaram conta dos estoques de recursos naturais (ROSSETTI, 1991, p. 75). A contabilidade social, dentro das macroeconomias, não reconhece o trabalho realizado pelos ecossistemas na produção de recursos, a assim-chamada “economia da natureza”. Na metodologia do valor adicionado (FONSECA, 1991, p. 33), o custo das matérias-primas — enquanto não usadas pelo sistema econômico, não existindo assim sistemas que considerem tais aspectos — não tem nenhum valor intrínseco antes de ser usadas pelo homem. Infelizmente, esta visão macroeconômica serviu como base para a institucionalização de um conjunto de indicadores econômicos, políticos e socioeconômicos, adotados pela Organização das Nações Unidas para medir o desenvolvimento nacional. Todos esses indicadores são apenas quantitativos e não medem o impacto das atividades econômicas sobre o ambiente.

Avaliando o desenvolvimento

Os problemas acima mencionados têm sido agravados pela formulação de políticas econômicas em curto e longo prazo que desrespeitam a contribuição do planeta ao nosso bem-estar, sem nada devolver a um sistema natural que tem seus limites. Estas considerações têm impulsionado novas direções, tanto na concepção de novos valores quanto numa abordagem científica mais ousada e criativa com aplicações práticas. É o emergente “paradigma holístico” (CAPRA, 1982, p. 310) no qual a cooperação e o uso adequado dos recursos substituem individualismo e acumulação de bens e “o homem é apenas um fio na trama da vida, ele não a tece” (Chefe Indígena Seattle, 1854 apud SACHS, 1986, p. 18).

Esta nova concepção exige a formulação de políticas de desenvolvimento que levem em consideração os impactos ambientais delas derivados, a definição de eficiência empresarial como a otimização entre lucros, relações trabalhistas mais humanas, qualidade do produto final e baixo impacto ambiental. Isto é “ecodesenvolvimento”, ou “desenvolvimento que é socialmente desejável, economicamente viável e ecologicamente prudente (SACHS, 1986, p. 34)”. A “qualidade de vida” vem a ser um fenômeno multidimensional e dinâmico, incluindo crescimento, racionalidade, alocação espacial, impacto social e ambiental (OLIVEIRA, 1993, p. 43).

Os atuais indicadores econômicos necessitam destas novas variáveis para avaliação e mensuração das atividades econômicas regionais, nacionais e internacionais.

Avaliando a capacidade de trabalho pelo uso da energia – um contexto histórico

Em 1842 Robert Meyer, Herman Helmholtz e Prescott Joule (COOK, 1976, p. 77) adaptaram o conceito de energia como medida por um processo específico do uso tradicional para o científico. Karl Marx já tinha usado o trabalho como medida para a realização de trabalho útil (MARX, 1867 apud ODUM, 1983, p. 44). O equivalente mecânico do calor foi desenvolvido por Joule (WOOD, 1925 apud ODUM, 1983, p. 33) em termos de energia calorífica e Maxwell (1877 apud ODUM, 1983, p. 33) definiu o conceito de trabalho como uma transformação de energia. Gibbs aplicou a energia como medida de processos gerais quantificando a energia potencial e definindo-a como a habilidade de provocar processos químicos (GIBBS, 1901 apud ODUM, 1983, p. 34). A energia necessária para mudanças de estado era derivada por cálculos de transformações energéticas a taxas infinitamente lentas (CARNOT, 1824 apud ODUM, 1983, p. 34).

O conceito de energia como denominador comum para medir todo o trabalho útil realizado foi proposto por vários pesquisadores (todos citados em ODUM, 1983): Boltzmann (1905), Ostwald (1907), Soddy (1912, 1922b, 1933) e Cottrell (1955).

Boltzmann (1905), falando de energética mental, estava visualizando o conceito de energia incorporada medindo a quantia de energia mental, em que a quantia de energia desenvolvida seria sempre igual à energia física perdida.

Em 1922 o princípio da maximização do poder foi desenvolvido por Lotka (1922 a, b) como uma extensão da seleção natural. Sistemas lineares abertos de transformações energéticas foram descritos por Onsager (1931 apud ODUM, 1983, p. 38), De Groot (1952), e Prigogine (1955). Juday (1940) e Lindeman (1942) descreveram energia incorporada observada nas transformações dentro de sistemas ecológicos quando estavam tentando realizar uma análise energética.

Uma teoria energética de valores, destituída de uma base para qualidade energética e de uso positivo do dinheiro dentro de uma economia, foi proposta nos Estados Unidos na depressão da década de 1930. Seus proponentes (SCOTT, 1933, p. 83; PARRISH, 1933, p. 45) procuravam, através de uma organização nacional, a Tecnocracia, propor novas políticas econômicas.

No campo industrial a análise dos processos de avaliação dos fluxos energéticos e sua diagramação foram desenvolvidas nos anos 60 (SCHMIDT; LIST, 1962). Esta foi conhecida como a primeira lei da análise. A determinação da quantidade de energia disponível para realizar trabalho foi algumas vezes referida como a segunda lei da análise.

Em 1971, Hannon (1973) também propôs energia como uma métrica de valores. Os valores eram vistos ou como uma função de processos mais eficazes ou como uma característica do livre arbítrio humano.

Outro conceito proposto sobre a qualidade da energia é a Razão de Carnot. A conversão do calor em trabalho, realizada na taxa mais lenta e mais eficiente possível, é dada pelo cálculo do ciclo de Carnot, no qual a eficiência do processo de resfriamento e aquecimento de um gás, a diferentes pressões, pode ser expressa pela razão das mudanças em temperatura. A razão do trabalho realizado no fluxo do calor representa a eficiência da conversão, resultando ser isto a razão da mudança em temperatura, a partir da temperatura absoluta. Usinas de produção de energia a temperaturas muito altas têm altos graus de eficiência. Assim, a razão de Carnot é vista como uma medida da qualidade da energia de gradientes de calor. Ela mede a habilidade da energia ao ser convertida em trabalho útil de qualidade mecânica. A razão estima a eficiência em uma condição reversível, ou de perda de velocidade. A eficiência da conversão de uma fonte de calor, em um gradiente térmico, para energia mecânica no ponto máximo do poder é metade da razão de Carnot (ODUM, 1983, p. 41).

A “essergia” (ingl.: *essergy*) é ainda outra medida de qualidade energética (GIBBS, 1873; EVAMS, 1969 apud ODUM, 1983, p. 42). Ela foi proposta para avaliar a capacidade das fontes energéticas e suas combinações de realizar trabalho. A essergia representa a energia disponível para realizar trabalho. Ela é calculada como soma das energias, onde cada contribuição é multiplicada pela fração de cada energia que pode ser convertida em trabalho mecânico.

Para aqueles tipos de energia de qualidade inferior às de energia mecânica, ela é uma medida de eficiência teórica. Ela não considera as eficiências no ponto máximo do poder. Aos fluxos energéticos de qualidade superior do trabalho mecânico não é atribuído um valor maior por caloria. A “exergia” é usada para alguns dos componentes da energia potencial incluídos na essergia. Ela é, efetivamente, uma medida dos equivalentes energéticos expressos em unidades de trabalho mecânico. Jorgensen e Mejer (1979) usam a exergia, que é energia de um certo tipo, para avaliar estruturas. Exergia incorporada poderia ser um termo mais apropriado (ODUM, 1983, p. 44).

No estudo da capacidade de absorção de um ecossistema ao carregamento com fósforo, Jorgensen e Mejer (1977) descobriram que a capacidade de absorção era proporcional à exergia armazenada.

Cabe aqui usar o resumo do próprio Odum do conceito de transformações energéticas, maximização do poder, desenho de sistemas e razões de transformação, ou transformidades:

[...] o conceito de trabalho útil foi definido como aquelas transformações de energia que contribuem para a maximização do poder e para a sobrevivência do sistema, por causa do desenho do sistema. Transformações energética por meios selecionados previamente em situações competitivas para a melhor eficiência possível, comensuradas com a maximização do poder, definem a energia termodinâmica inerente de um tipo necessária para gerar a energia de um outro tipo. Razões de energia de um tipo, necessárias à geração de um outro tipo, dentro destas condições, podem ser usadas para predizer pontos máximos. Para comparar a contribuição relativa de energias de tipos diferentes ao valor potencial, as energias são convertidas para equivalentes de energia incorporada do mesmo tipo pelo uso destas razões de transformação. Energia incorporada foi definida como uma forma de medir a ação cumulativa de energias em cadeias tróficas e redes. A energia incorporada providencia uma teoria alternativa de valores, é útil para localizar fontes, estimar energia líquida, determinar a importância relativa dos componentes, e comparar itens livres que não são cobertos pelo dinheiro... este tipo de análise energética tem sido aplicado aos problemas humanos e à crise energética, mas é mais aplicável, em geral, a todos os sistemas (ODUM, 1983, p. 45).

Matéria, energia, capital e trabalho

Podemos definir matéria e energia como fatores explícitos de produção, mas isto não elimina a dificuldade... [as funções de produção convencionais sugerem que] poderíamos até reduzir o input de materiais para zero, substituir suficiente capital e mão-de-obra, e ainda produzir a mesma quantidade de bens. Claramente, isto é fisicamente impossível. Ambos os bens finais produzidos pela economia e o estoque de capital usado para produzi-los incorporam certa quantidade de massa e energia. Massa e energia não podem ser criadas pela mão de obra ou pelo capital[...] Os teóricos da economia, pelo menos resumindo, parecem ter inventado a máquina de moto-perpétuo[...] (AYRES; NAIR, 1984).

O modelo de Solow (1974) é incompatível com as leis básicas da física, pois, se pela Primeira Lei da Termodinâmica podemos substituir alumínio pelo cobre, quando este se tornar escasso, é fisicamente absolutamente impossível substituir mão de obra ou capital por materiais como alumínio ou cobre. Pesquisas recentes realizadas por analistas biofísicos contestam outra pedra fundamental da teoria econômica convencional: a substituição de fatores de produção. O modelo teórico de Solow e outros economistas que argumentam que os recursos naturais não são importantes, pelo fato de que a produção pode ser mantida indefinidamente no mesmo nível, se o capital (ou algum outro fator) é continuamente substituído pelos recursos naturais, está baseado em funções de produção que violam as leis da física. Estas funções não fazem a distinção entre recursos e qualquer outro fator de produção. Isto é incorreto, pois matéria e/ou energia de baixa entropia é necessária para manter e refinar todas as estruturas ordenadas, incluindo capital e trabalhadores, contra as investidas da entropia. Nem o capital nem o trabalho podem criar a matéria e/ou energia de baixa entropia das quais eles derivam e das quais eles dependem para operar. A construção e a manutenção de um aumento no estoque de capital requerem um aumento na retirada de estoques de matéria e/ou energia de baixa entropia.

O trabalho de Podolinsky (1883), Soddy (1922a, 1926), Cottrell (1955), Odum (1971, 1976, 1983, 1996) e outros está sendo resgatado, pois está se reconhecendo a utilidade da perspectiva biofísica e identificam-se mais

claramente algumas das limitações do tratamento econômico padrão dos recursos naturais. Hannon (1986) conclui com a negação da argumentação de Solow (1974), pois o progresso técnico e a substituição de fatores de produção dependem dos recursos naturais e estão por isto limitados pelas leis físicas que governam todas as transformações de recursos.

Em relação à escassez de recursos é necessário reconhecer que, para extrair ou explorar os próprios recursos naturais, precisamos usar quantidades maciças de recursos naturais na primeira instância (AYRES, 1978; GEORGESCU-ROEGEN, 1979; CLEVELAND et al., 1984). O progresso técnico foi definido por Cleveland et al. (1984) como a habilidade de potencializar os esforços do trabalho com maiores quantidades de combustível de qualidade mais alta, aumentando a produtividade do trabalho e diminuindo a quantidade de trabalho necessária para produzir uma unidade de recurso.

Desde a década de 1930 os custos do trabalho e do capital por unidade diminuíram, mas o custo energético por tonelada de metal e por quilocaloria de combustível fóssil aumentou dramaticamente (CLEVELAND et al. 1984). Hall, Cleveland e Kaufmann (1986) descobriram que o excedente energético entregue pela indústria americana do petróleo diminuía mais de 100 kcal de combustível entregue por cada kcal de energia investida, nos anos 30, a cerca de 10 a 20 kcal devolvida por cada kcal investida em 1980. Eles também enfatizaram o perigo de usar apenas medidas econômicas de escassez, pois elas ignoram a energia usada para extrair e processar novas quantidades de energia.

Georgescu-Roegen (1979) e Cleveland et al. (1984) concluíram que a presunção da economia neoclássica de diminuir o papel dos recursos naturais é incorreta, pois ignora a interdependência física do capital, trabalho e dos recursos naturais. Embora o modelo neoclássico substitutivo possa refletir as possibilidades de substituição em nível microeconômico, ele falha em nível macroeconômico, pois ignora a relação física entre os fatores de produção.

Finalizando, a maioria dos economistas tanto neoclássicos quanto marxistas rejeitam totalmente os modelos da economia biofísica (ENGELS, 1942; KAYSEN, 1972). Segundo eles, os modelos biofísicos ignoram ou subestimam a habilidade das ideias humanas, manifestas em novas tecnologias, de resolver mudanças na qualidade dos recursos rapidamente e com eficácia para prevenir um decréscimo em longo prazo da riqueza per capita. Não haveria um limite

à mudança tecnológica, pois não existe uma razão *a priori* para acreditar que a taxa de geração de novas ideias diminuirá no futuro. O conhecimento vem a ser “o recurso por excelência” (SIMON, 1981) e a literatura econômica abunda de referências ao crescimento exponencial das mudanças tecnológicas. A resposta do Daly (1985) é enfática:

[...] arranjos improváveis não podem ser impostos sobre pó e cinzas por uma brisa intermitente. Necessita-se de minerais concentrados e de energia disponível. Matéria e energia de baixa entropia são necessárias para incorporar o conhecimento em estruturas físicas. Matéria/energia de alta entropia não podem ser seladas com o selo do conhecimento humano. Isto é o que a torna lixo. Nós deveríamos ter cuidado com a elevação do conhecimento a um substituto universal para os recursos.

A ideia de que os modelos biofísicos ignoram ou subestimam a habilidade das ideias humanas é razoável, o que, porém, não autoriza a afirmação de que o conhecimento humano supera qualquer restrição, pois aí, reversamente, é o modelo antropocêntrico que ignora ou subestima a importância dos atributos biofísicos da realidade, que independem do homem e dos quais ele depende.

A noção de que a mudança tecnológica tenha o poder de autocorreção e autogeração é demasiadamente simplista à luz da observação empírica, de que um grande componente da mudança tecnológica dependeu do aumento do uso do combustível fóssil por cada trabalhador (HALL; CLEVELAND; KAUFMANN, 1986).

A economia não pode mais se dar ao luxo de ignorar, minimizar, ou representar indevidamente o papel dos recursos naturais no processo econômico. Em última análise, a qualidade dos recursos naturais define limites amplos mais específicos sobre o que é ou não é economicamente possível. Ignorar tais limites leva à ilusão eufórica de que os únicos limites para expansão econômica existem apenas em nossas próprias mentes (CLEVELAND, 1997, p. 70, tradução nossa).

A TEORIA EMERGÉTICA E SUA METODOLOGIA

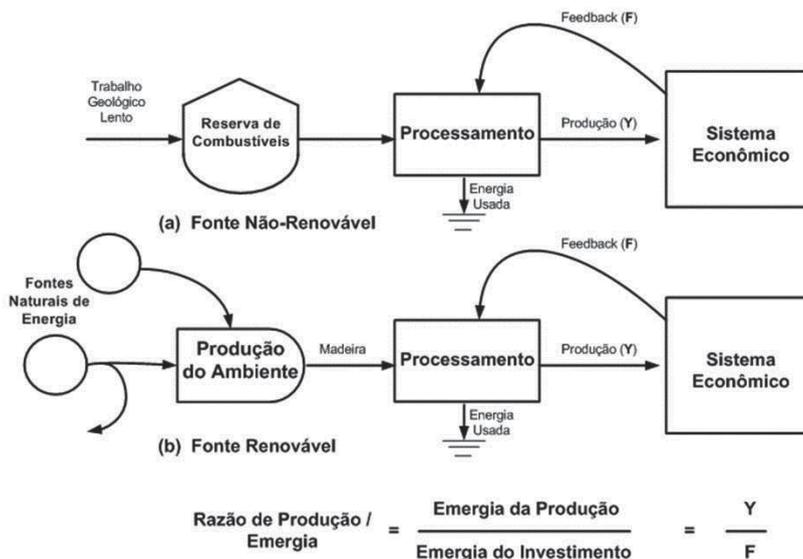
A teoria sugere (ODUM, 1971, 1983, p. 24; ODUM; ODUM 1983, p. 21) que as economias tanto da natureza quanto dos seres humanos se organizam de forma a desenvolver a máxima energia incorporada possível, e desta maneira conseguem prevalecer e sustentar-se em preferência a outras alternativas. A base teórica encontra-se no Princípio da Maximização do Poder (LOTKA, 1922a, 1922b apud ODUM, 1983, p. 21). Para esta maximização, qualquer economia desenvolve uma organização de processos úteis que aumenta sua produção total por uma retroalimentação positiva, superando os fatores limitantes. A questão não é que existam atualmente processos que desperdiçam energia incorporada, os quais não reforçam seus processos produtivos e violam o princípio da maximização do poder, mas se eles funcionarão desta forma indefinidamente, em condições competitivas. Isto se contrapõe à teoria keynesiana que sugere que qualquer despesa de dinheiro e recursos leva à vitalidade econômica. Outros critérios para sobrevivência que têm sido sugeridos incluem: custo mínimo, risco mínimo, máxima estabilidade, eficiência máxima, máxima produção (WESTMAN, 1985, p. 45) e máxima diversidade. Na abordagem de H. T. Odum, tanto as próprias economias quanto os processos dentro delas, organizam-se e operam para aumentar sua riqueza real e assim prevalecer de acordo com o princípio da maximização de sua energia incorporada que vem a ser uma medida de riqueza verdadeira.

A administração com a energia mais alta pode ser escolhida para maximizar a economia. Um uso que promova a produção de energia provinda do ambiente também mantém a habilidade da área em atrair mais energia de fontes externas. Novos processos de produção são promovidos na medida em que novos *inputs*, comprados externamente, são introduzidos no sistema. A energia líquida de uma fonte de energia é a sua produção de energia menos a energia usada para processá-la. Fontes primárias de energia podem ser avaliadas usando

a Razão Emergia Líquida por Produção, que é a Razão da Produção de Emergia dividida pela emergia usada pelo sistema econômico para o processamento (Figura 2). Na medida em que a Razão de Emergia Líquida por Produção das fontes primárias da economia aumenta, um maior número de processos pode ser realizado do que apenas o processamento da sua energia. Selecionar fontes de energia com a mais alta Razão de Emergia Líquida por Produção torna-se a melhor política, mesmo que estas fontes tenham que ser compradas externamente ao sistema.

Figura 2 - Razão de Produção por Emergia para avaliar uma fonte primária de energia.

(a) Fonte não renovável; (b) Fonte renovável.

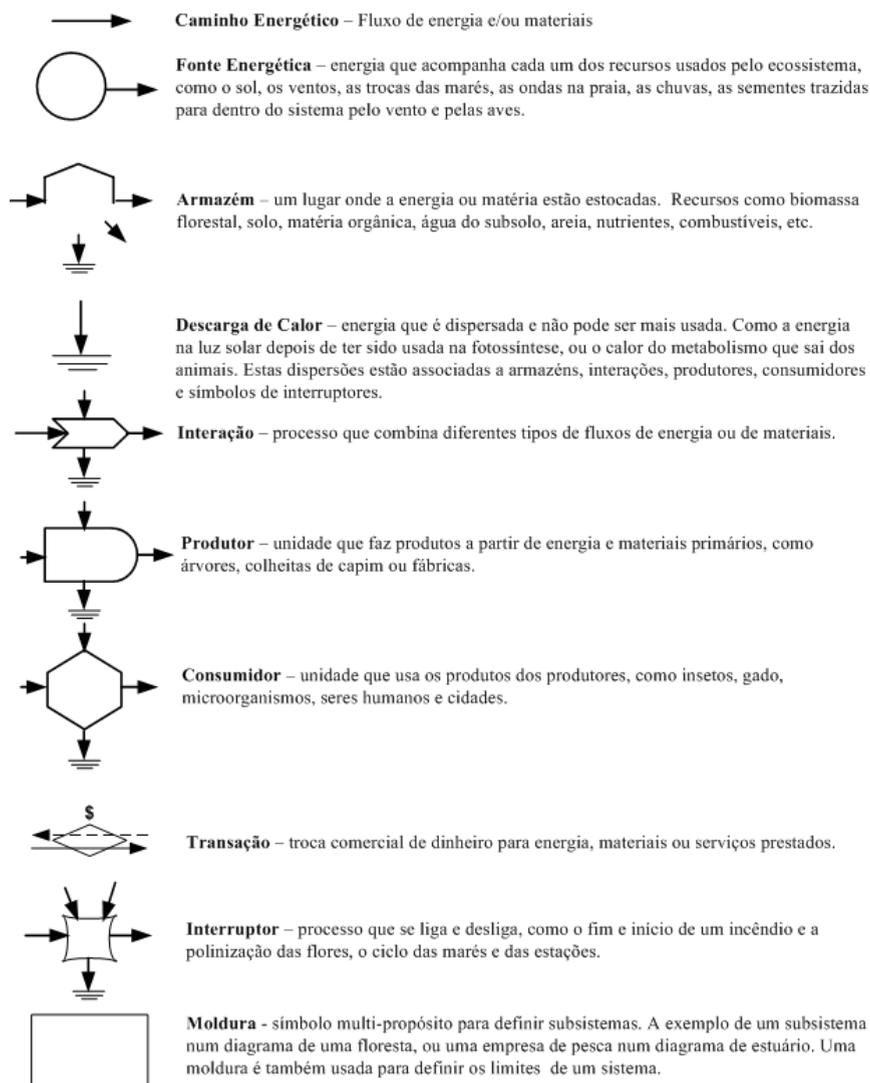


Fonte: BROWN e MCLANAHAN, 1992, p. 22.

Howard Odum iniciou a aplicação de conceitos ecológicos à análise da sociedade humana em 1971 (ODUM, 1971, p. 9), com simbologia própria (Figura 3), traçando os equivalentes industriais e organizacionais das cadeias tróficas em fluxos energéticos de produção e consumo. Em 1983 (ODUM, 1983, p. 19) ele aprofundou mais a questão na análise de sistemas e, mais tarde, no mesmo ano (ODUM; ODUM, 1983, p. 9), formou o conceito de

energia incorporada que aplicou tanto aos sistemas biológicos quanto aos processos sociais, industriais e macroeconômicos (ODUM; BROWN; CHRISTIANSON, 1986, p. 10; ODUM, 1988, p. 11, Figura 4).

Figura 3 - Dicionário de símbolos energéticos.



Fonte: ODUM, 1983, p. 19.

Cálculos em energia incorporada ou emergia, escrito com m — usada como medida indexadora única — proporcionam uma forma de avaliar e comparar recursos e benefícios para auxiliar a tomada de decisões a nível de planejamento. Nos ecossistemas naturais, todos os processos de uso, transferência, transformação e armazenagem de energia, desde os produtores até os consumidores, podem ser visualizados como fluxos energéticos e quantificados em emergia (em Joules de emergia solar), convertendo cada fluxo e estoque em energia solar incorporada, na medida em que passa de um estado (ex.: biomassa vegetal) a outro (ex.: biomassa animal; Figura 4). Para isto, a equipe de Odum desenvolveu tabelas de transformidades, preparadas a partir de extensas observações (ODUM, 1988; ODUM, 1989), tendo como referencial a própria energia solar. A energia solar necessária para obter um Joule de um determinado tipo de energia é a transformidade solar daquele tipo de energia, em Joules de emergia solar (ou energia solar incorporada) por Joule (seJ/J – em Joules Solares por Joule). Usando a fórmula:

$$\text{Transformidade solar da energia tipo A} = \frac{\text{Joules Solares necessários}}{1 \text{ Joule energia tipo A}}$$

Assim, se 1.000.000 de Joules Solares geraram 100 Joules de consumidores primários, a Transformidade Solar dos consumidores primários seria:

$$\frac{1.000.000 \text{ Joules Solares}}{100 \text{ Joules de consumidores primários}} = 10.000 \text{ seJ/J.}$$

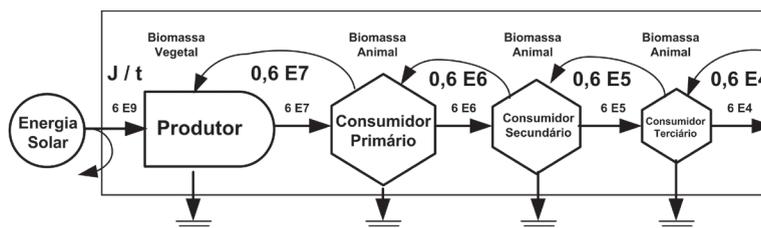
Odum considera a energia dos consumidores primários sendo então 10.000 vezes mais valiosa do que a da luz do sol. Quanto maiores as distâncias ao longo das cadeias tróficas e mais complexos os processos envolvidos, maiores as transformidades (Tabela 1).

Tabela 1 - Transformidades solares típicas (em Joules Solares por Joule).

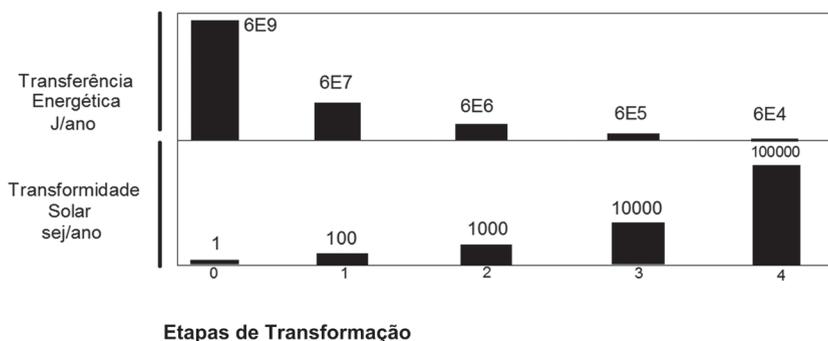
| Item | seJ/J |
|---|---------------------------|
| Energia solar | 1 |
| Energia cinética do vento | 623 |
| Matéria orgânica não consolidada | 4.420 |
| Energia geopotencial dispersa na chuva | 8.888 |
| Energia química dispersa na chuva | 15.423 |
| Energia geopotencial nos rios | 23.564 |
| Energia química nos rios | 41.000 |
| Energia mecânica em ondas e marés | 17.000-29.000 |
| Combustíveis consolidados | 18.000-40.000 |
| Alimentos, hortifrutigranjeiros, grãos, gêneros aliment. principais | 24.000-200.000 |
| Alimentos proteicos | 1.000.000-4.000.000 |
| Serviços humanos | 80.000-5.000.000 |
| Informação | 10.000-10.000.000.000.000 |

Fonte: ODUM e ARDING, 1991.

Figura 4 - Transferências energéticas.



Transformação energética descendo a cadeia trófica



Fonte: ODUM, 1983, p. 22.

Este mesmo raciocínio pode ser aplicado aos processos de transformação industrial ou às atividades humanas em geral, que são de caráter produtivo ou consumidor. Desta forma, o sistema urbano pode ser avaliado como um todo, tendo como base as interações energéticas, quantificadas em energia, entre os vários componentes e entre o sistema urbano e o ambiente natural que o suporta.

Espera-se que este tipo de análise evolua para um instrumento que auxilie a tomada de decisões acerca do uso de recursos e energia a nível governamental, e leve a padrões de organização espacial e territoriais mais funcionais.

A metodologia emergética

A metodologia geral para análise emergética é de abordagem sistêmica, partindo do geral para o detalhe (ODUM, 1983, p. 15). O primeiro passo consiste em construir diagramas sistêmicos como um meio de organizar o pensamento e as relações entre componentes. Os fluxos de energia das fontes de recursos e as trocas energéticas entre componentes são representados por linhas denominadas “caminhos”. O segundo passo é a construção de tabelas de avaliação emergética, derivadas diretamente destes diagramas. O terceiro passo envolve o cálculo de vários índices emergéticos que relacionam os fluxos emergéticos da economia com os de dentro do ambiente natural para prever a viabilidade econômica e a capacidade de suporte do sistema. Finalmente, usando os resultados das tabelas de avaliação emergética e os índices derivados, são propostas opções para diretrizes públicas — sugeridas pelos custos e benefícios dos diferentes desenvolvimentos propostos.

Antes da apresentação da descrição detalhada de cada passo da metodologia, cabe definir os seguintes conceitos-chaves:

Energia

Às vezes definida como a capacidade de produzir trabalho, é uma propriedade de todas as coisas que podem ser transformadas em calor e que é medida em unidades caloríficas (BTU, calorias, ou Joules).

Energia

Uma expressão de toda a energia usada nos processos de produção que geram um produto ou serviço, em unidades de um único tipo de energia. A energia solar de um produto é a energia do produto expressa na energia solar equivalente necessária à sua geração. Pode-se definir a energia como memória energética.

eMJoule

É a unidade de medida de energia, “Joule energético”. É expressa nas unidades de energia previamente usadas para gerar o produto; por exemplo, a energia solar da madeira é expressa como Joules de energia solar que foram necessários para produzir a madeira.

Princípio da maximização de energia

Os sistemas que prevalecem são aqueles que obtêm o máximo benefício da energia que está disponível. Isto é atingido pelo reforço dos processos produtivos, pelo aproveitamento de mais recursos, e pela capacidade de superar outras limitações pela organização mais eficaz do seu sistema. Os padrões que conseguem maximizar a energia contribuem para uma maior riqueza.

Dólar macroeconômico

Esta é uma medida do dinheiro que circula em uma economia como resultado de um processo. Na prática, para se obter o valor macroeconômico do dólar de um fluxo ou estoque de energia, a energia é multiplicada pela razão entre a energia total usada naquele país durante o ano em questão e o Produto Nacional Bruto (PNB) daquela economia nacional.

Energia não renovável

Estes são os estoques de energia e materiais como combustíveis fósseis, minérios e solos que estão sendo consumidos em taxas que excedem grandemente as taxas da sua produção pelos processos geológicos.

Energia renovável

Representada pelos fluxos de energia da biosfera que são relativamente constantes e que efetivamente movimentam os processos biológicos e químicos da terra, contribuindo ao processo geológico.

Energias residentes

São as energias renováveis, características de uma região específica.

Transformidade

É a razão obtida dividindo-se a energia total usada num processo pela energia produzida pelo processo. As transformidades têm as dimensões de energia/energia. A transformidade para um determinado produto é calculada somando-se todos os fluxos emergéticos que entram no processo e dividindo-se pela energia do produto. As transformidades são usadas para converter diferentes tipos de energias para energia do mesmo tipo. A Tabela 1 lista transformidades para alguns tipos de energia, recursos e bens, calculados na literatura.

A transformidade é uma medida do “valor” de um serviço ou produto, presumindo-se que os sistemas que operam dentro das limitações do princípio da maximização de energia geram produtos que estimulam o processo produtivo pelo menos na mesma medida dos seus custos. A Figura 6c mostra o método de calcular uma transformidade.

Na sequência, faz-se uma explicação da metodologia usada para a avaliação emergética.

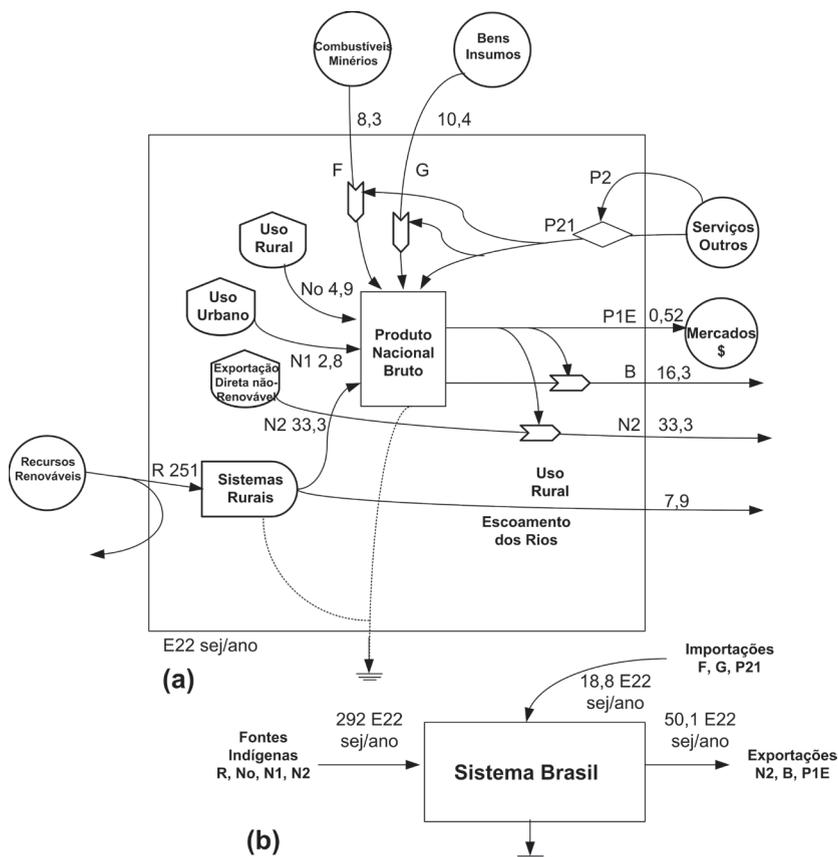
1ª Etapa: Visão panorâmica pelos diagramas sistêmicos

Um diagrama sistêmico panorâmico, usando os símbolos da linguagem energética ilustrados na Figura 3, é construído inicialmente para colocar em perspectiva o sistema de interesse, integrar informações de várias fontes sobre o sistema e organizar a coleta de dados. O processo de diagramar o sistema de interesse nesta abordagem panorâmica assegura a inclusão de todas as energias

forçantes e de todas as interações. O diagrama inclui tanto a economia quanto o ambiente do sistema e mostra todas as interações relevantes (Figura 5).

Um diagrama simplificado, ou agregado, contém as informações essenciais da versão mais complexa. Este é usado para construção de uma tabela de dados necessários à análise emergética. Avalia-se então cada caminho que cruza os limites do sistema.

Figura 5 - Exemplo de diagrama sistêmico panorâmico (a), e agregado (b).



Fonte: COMAR, 1994.

2ª Etapa: Tabelas de avaliação emergética

Normalmente a avaliação emergética de um sistema observado é conduzida em duas escalas. Primeiro, o sistema maior, no qual se situa o sistema de

interesse, que é analisado e gera índices necessários para avaliação e propósitos comparativos. Em segundo lugar, o sistema de interesse é avaliado, levando a observações entre ele e outros sistemas comparáveis, e entre ele e o sistema maior.

A avaliação é conduzida usando uma tabela de avaliação emergética com os seguintes tópicos:

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------|------|----------|----------------|---------------|--------------------|
| Anotação | Item | Unidades | Transformidade | Emergia Solar | \$ Macro-Econômico |

Cada fileira na tabela é um caminho de entrada ou de saída no diagrama agregado do sistema observado. Desta forma, os caminhos são avaliados como fluxos em unidades por ano. Segue uma explicação de cada coluna.

Coluna 1 - número da linha e anotação que contém as fontes e os cálculos para aquele item.

Coluna 2 - nome do item que corresponde ao nome do caminho no diagrama agregado.

Coluna 3 - unidades usadas na quantificação do fluxo, normalmente avaliadas em fluxo por ano. Na maioria dos casos as unidades são em energia (Joules/ano), mas às vezes são em gramas por ano.

Coluna 4 - transformidade do item, normalmente derivada de estudos anteriores.

Coluna 5 - emergia solar, é o produto das unidades na Coluna 3 pela transformidade na Coluna 4.

Coluna 6 - resultado da divisão da emergia solar na Coluna 5 pela razão emergia/dinheiro, independentemente calculada, para a economia da nação, relevante ao sistema (BROWN; MCLANAHAN, 1992, p. 22).

3ª Etapa: Cálculo dos índices emergéticos

Terminadas as tabelas emergéticas, vários índices são computados usando-se dados das tabelas para ajudar no processo de decisão das diretrizes públicas. Os critérios usados no julgamento de alternativas diferem, dependendo do caso, entre compararem-se dois sistemas ou avaliar-se um único sistema para sua contribuição à economia. Quando se comparam dois sistemas alternativos, aquele que contribui com a maior parte da emergia à economia pública e minimiza as perdas ambientais é considerado o melhor. Quando se analisa

um único sistema, seu sucesso é julgado em relação à economia dentro da qual está inserido, determinando quanto a sua intensidade emergética se aproxima da economia local, e se o sistema minimiza as perdas ambientais. Para se chegar a esta determinação, é necessário calcular duas razões: a razão investimento por emergia (IR) e a razão de carga ambiental (ELR, *Environmental Loading Ratio*, em inglês). Vários outros índices ajudam a ganhar perspectivas sobre os processos e as economias e tornam-se precursores necessários à IR e à ELR; são eles: a razão emergia por dinheiro, emergia per capita, densidade emergética, razão de troca emergética, razão de produção líquida por emergia e transformidade solar. Estas são definidas primeiras.

Razão emergia por dinheiro. Esta representa a razão do fluxo total de emergia na economia de uma região ou nação pelo Produto Nacional Bruto da região ou nação. A Razão emergia por Dinheiro é uma medida relativa do poder aquisitivo, quando se comparam as razões de duas ou mais nações.

Emergia per capita. Esta é a razão do uso total da emergia na economia regional ou nacional pela população total. A emergia per capita pode ser usada como medida do padrão de vida médio da população.

Densidade emergética. É a razão do uso total de emergia na economia de uma região ou nação pela área total da região ou nação. Densidades de emergia renovável e não renovável são também calculadas separadamente, dividindo-se a emergia total renovável pela área e a emergia total não renovável pela área, respectivamente.

Razão de troca emergética. Esta representa a razão da emergia trocada numa transação comercial ou uma compra, ou seja, aquilo que se recebe por aquilo que se dá. Esta razão é sempre expressa relativamente a um ou a outro dos parceiros comerciais e é uma medida da vantagem relativa de troca de um parceiro sobre o outro. A Figura 6b mostra a relação e os cálculos da Razão de Troca Emergética.

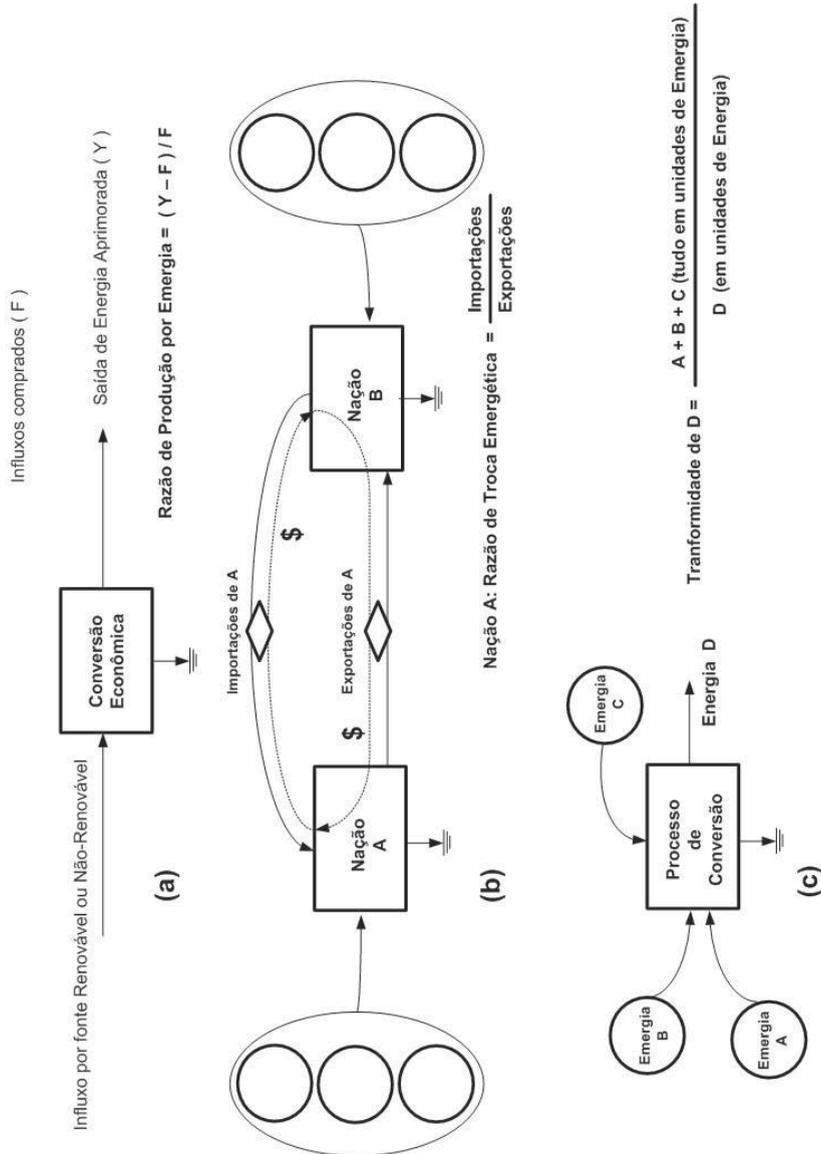
Razão de produção líquida por emergia. É a razão da produção de emergia de um processo pelos custos emergéticos necessários. Esta razão é uma medida de quanto um processo irá contribuir para a economia. As fontes de energia primária têm razões de produção na faixa de 3/1 até 11/1; assim, elas contribuem muito para a riqueza da economia. A Figura 6a mostra o método de cálculo da Razão de Produção Líquida (Produção por Emergia).

Figura 6

(a) Cálculo da Razão de Produção/Energia para uma conversão econômica, em que a energia comprada é usada para aprimorar um recurso de grau inferior (ODUM, 1983, p. 22).

(b) Cálculo da Razão de Troca Emergética entre duas nações;

(c) Cálculo da Transformidade para o fluxo D, que é o produto do processo que requer o input de 3 fontes diferentes de Energia (A, B e C).



Fonte: BROWN e MCLANAHAN, 1992, p. 45.

Razão de investimento por energia – determinando a intensidade do desenvolvimento e a competitividade econômica

O diagrama na Figura 7 ilustra o uso de energias não renováveis e renováveis dentro de uma economia regional. A interação das energias não renováveis — ambas adquiridas de fora do sistema (F) e transformadas dentro dele (N) — com energias renováveis (I), é o processo primário pelo qual os seres humanos interagem com seu ambiente.

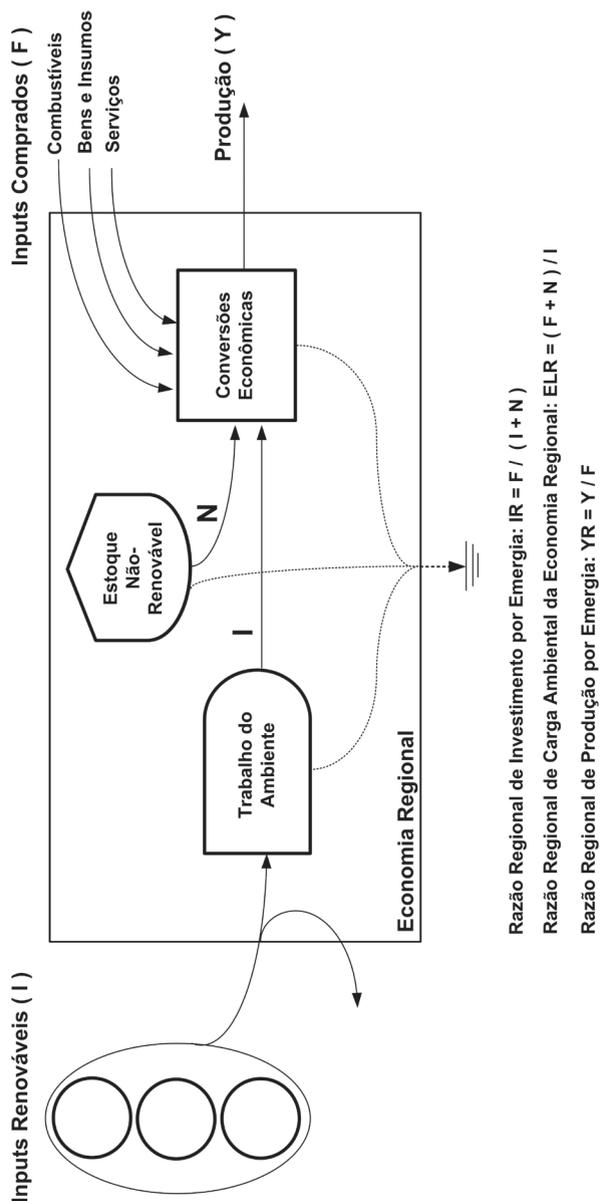
A razão do investimento (IR) é a razão dos *inputs* comprados por todas as energias derivadas das fontes locais (a soma de I e N) como segue:

$$IR = F/(I + N) \quad (1)$$

O nome é derivado do fato de que esta é uma razão da energia “investida” pela energia residente. Quanto maior a razão do investimento, maior a intensidade do desenvolvimento. Razões de investimento regionais ou nacionais são úteis para comparações com as razões de investimento dos processos individuais de desenvolvimento. Razões de investimento para várias nações estudadas variam de 7/1, nos Estados Unidos, a valores baixíssimos de 0,045/1, para Papua e Nova Guiné.

A comparação entre razões de investimento regionais e a razão para desenvolvimentos propostos ou existentes pode ser usada como indicação da intensidade do desenvolvimento relativo à economia local. Quando se comparam razões de dois desenvolvimentos do mesmo tipo, chega-se a uma indicação de sua competitividade econômica. A razão de investimento pode também ser usada para indicar se um processo está sendo econômico na utilização dos *inputs* comprados quando comparada a outros investimentos alternativos dentro da mesma economia.

Figura 7 - Economia regional que importa (F) e usa *inputs* renováveis indígenas (I) e estoques não renováveis (N). Várias razões usadas para comparações entre sistemas se encontram abaixo do diagrama. As letras nos caminhos dos fluxos referem-se aos fluxos de emergia por unidade de tempo.



Fonte: BROWN e MCLANAHAN, 1992, p. 48.

Razão de carga ambiental – determinando o impacto ambiental

Quase todo processo humano envolve a interação entre energias não renováveis com energias renováveis do ambiente; desta forma, o ambiente está sendo “carregado”, ou seja, há uma aplicação de pressão ambiental ou “stress”. A Figura 7 mostra a carga ambiental como o resultado da interação entre a energia adquirida (F) e os estoques não renováveis de energia (N) dentro do sistema. O caminho de energia renovável (I) está entrando pelo trabalho realizado pelo ambiente. Representando um índice de carga ambiental, a razão de carga ambiental (ELR – *Environmental Loading Ratio*) é a razão da energia não renovável (N + F) pela energia renovável (I), como segue:

$$ELR = (N + F)/I \quad (2)$$

Uma ELR baixa reflete carga ambiental relativamente pequena, enquanto uma ELR alta sugere uma carga maior. A ELR reflete o *stress*, ou a pressão ambiental potencial, de um desenvolvimento quando comparada à mesma razão pela região e pode ser usada para calcular a capacidade de suporte.

Avaliando razões de investimento por energia locais e regionais

Um diagrama simplificado de uma economia regional e de um setor da economia é ilustrado na Figura 8. O setor usa energia renovável (I_s) e energia adquirida, ambos da economia local (F_m) e da economia externa, ou mundial (F_i). O setor é parte da economia regional, mas é mostrado separadamente para esclarecer a comparação entre ele e a região onde ele está localizado. A razão investimento por energia na economia regional é derivada usando-se a razão da energia comprada (F) para os *inputs* de energia residente ($I_m + N_m$), como segue:

$$IR_m = F / (I_m + N_m) \quad (3)$$

A razão investimento energia do setor (IR_s) é calculada de forma semelhante levando em conta todas as fontes renováveis e compradas de energia:

$$IR_s = (F_m + F_i)/(I_s + N_s) \quad (4)$$

A razão de carga ambiental regional (ELR) é calculada como a razão da energia não renovável ($F + N_m$) à energia renovável (I_m). O cálculo da ELR para o setor econômico precisa considerar a porção de F_m que provém de I_m , como aquela área do ambiente que não está adicionando à carga ambiental do setor, mas é parte do sustento ambiental para o setor. A ELR para o setor é assim calculada subtraindo-se a porção de F_m que provém de I_m . Isto é feito calculando-se inicialmente a energia total necessária à economia principal (energia Total = $F_m + F_i + N_m + N_s + I_m + I_s$) e então dividindo-se para determinar a percentagem do total que é derivada de I_m (definido como “k” na Figura 8).

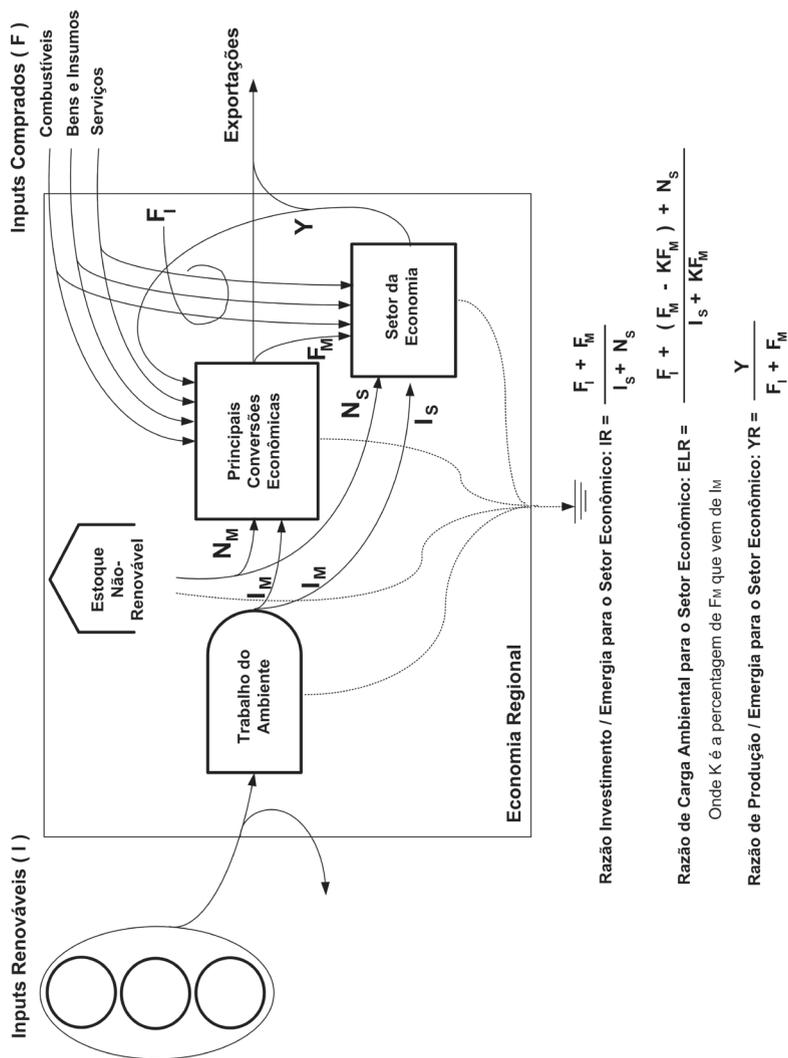
A ELR para o setor é então determinada (BROWN; MCLANAHAN, 1992):

$$ELRs = [F_i + (F_m - kF_m) + N_s] / (I_s + kF_m) \quad (5)$$

onde:

k = percentagem da energia total proveniente de I (Figura 8).

Figura 8 - Economia regional com fluxos energéticos de fontes externas de dentro da economia. Um setor da economia está separado da economia principal do lado direito. O setor recebe energia das importações (F_I), da economia principal (F_M), dos estoques não renováveis (N_S) e do ambiente (I_S).



Fonte: BROWN e MCLANAHAN, 1992, p. 51.

Determinando a capacidade de suporte para investimentos econômicos

Uma vez que a ELR de uma região é conhecida e o uso total anual de energia não renovável por um desenvolvimento específico é determinado, a área de terra necessária para equilibrar este desenvolvimento pode ser calculada usando-se a média do fluxo anual de energia renovável por unidade de área da paisagem, ou a densidade de energia renovável. A densidade de energia renovável é derivada da análise das economias regionais ou nacionais. Para determinar a área de sustento necessária para um desenvolvimento proposto, e então a capacidade de suporte (quer dizer: a área da paisagem necessária para o desenvolvimento), a razão de carga ambiental para a região é calculada, e então uma simples proporção equivalente é construída:

$$\text{ELR (região)} = \text{ELR (desenvolvimento)} \quad (6)$$

onde: ELR (região) = conhecida

$$\text{ELR (desenvolvimento)} = [F_i + (F_m - kF_m) + N_s] / (I_s + kF_m)$$

e então a equação é resolvida assim:

$$(I_s + kF_m) = [F_i + (F_m - kF_m) + N_s] / \text{ELR (região)} \quad (7)$$

Uma vez que a quantidade é conhecida, a área da paisagem necessária para equilibrar o desenvolvimento proposto é assim calculada:

$$\text{Área de suporte} = (I_s + kF_m) / \text{densidade energética renovável} \quad (8)$$

Desenhos que maximizam a energia

De acordo com a teoria, o padrão que consegue maximizar a energia no sistema agrega mais riqueza. Os desenhos que atraem mais recursos são mais capazes de superar limitações e condições desfavoráveis e acabam eliminando alternativas. Em geral, recursos economicamente mais desenvolvidos prevalecem sobre os subdesenvolvidos pelo fato das contribuições energéticas ambientais serem aumentadas pelos *inputs* adicionais de recursos que são pagos pelos investimentos e vendas de *commodities*. A Figura 9 mostra o plano de avaliação usado

neste estudo, em que se compara a emergia de um novo projeto com a emergia antes deste desenvolvimento, com a emergia de um investimento alternativo e com a máxima emergia potencial para aqueles recursos. A seleção de um planejamento de projetos para maximizar a emergia do sistema pode gerar riqueza de acordo com o potencial de uma determinada área ou região.

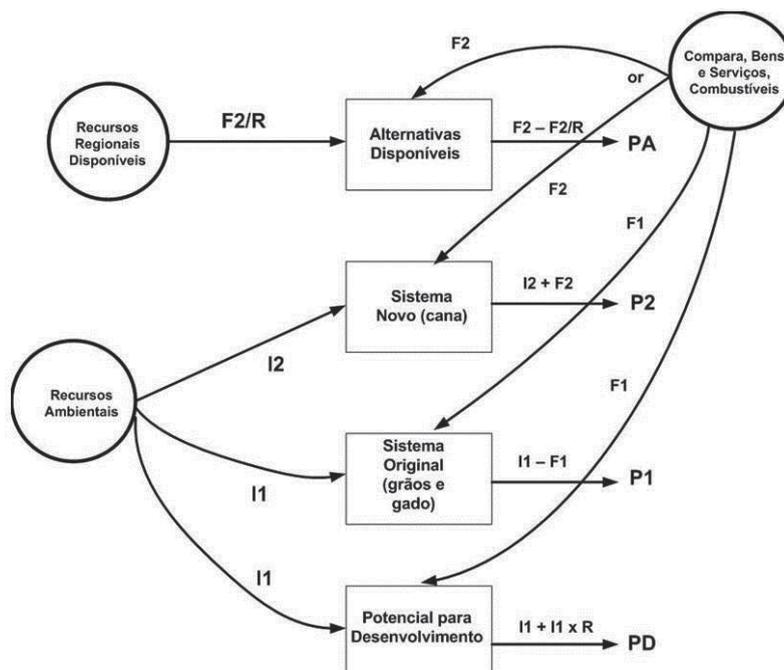
Desenvolvimento ótimo para máximo benefício – comparando benefícios emergéticos de alternativas de uso da terra

A título de exemplo, o conceito de comparar o benefício emergético de possíveis alternativas de uso da terra está diagramado na Figura 9. As alternativas neste diagrama sistêmico são avaliadas comparando-se os sistemas atuais de produção diversificada (gado de leite e de corte, grãos, suínos e hortaliças) com um cenário dominante de produção de etanol da cana-de-açúcar. Inclui-se também a emergia produzida: quando a mesma quantidade de emergia adquirida estaria sendo investida numa alternativa com o acoplamento típico regional, vindo das contribuições ambientais. Finalmente, a melhor alternativa possível pode ser avaliada com base nas contribuições ambientais originais, mais a emergia dos *inputs* adquiridos externamente — casados ao valor da razão de investimento emergético regional —, quando um investimento de *inputs* adquirido maior do que esta razão regional não seria economicamente² viável.

A emergia solar produzida do sistema econômico combinado humanidade/natureza (P) é calculada para cada alternativa como a soma dos fluxos de emergia solar I e F, *inputs* naturais (renováveis e não renováveis: $I = R + N$) e *inputs* adquiridos, F (Feedback).

2 Aqui “economicamente” significa uma avaliação da economia integrada da contabilidade ambiental ligada aos processos de produção naturais, ou ecossistêmicos, juntamente aos processos de produção humana. O que, de fato, a emergia pretende contabilizar.

Figura 9 - Diagrama usado para comparar os benefícios energéticos de um novo uso ambiental (P2) com um sistema antigo (P1), com alternativas típicas regionais (PA - Exemplo: produção de grãos e gado) e com o potencial máximo (PD), combinando a energia das contribuições ambientais e *inputs* econômicos de acordo com a razão de investimento regional.



Fonte: COMAR, 1994.

Em qualquer desenvolvimento ambiental existe uma intensidade ótima que gera uma contribuição máxima de energia, em parte advinda do trabalho realizado pelo ambiente e em parte dos *inputs* adquiridos. Neste exemplo, existem vários processos a serem maximizados:

- 1) intensidade de desenvolvimento que maximiza a produção de etanol e o lucro;
- 2) intensidade de desenvolvimento que maximiza a produção regional;
- 3) intensidade de desenvolvimento que maximiza a disponibilidade total de energia para a região produtora;
- 4) intensidade de desenvolvimento que maximiza a energia das nações investidoras;

- 5) intensidade de desenvolvimento que maximiza a emergência total produzida e usada mundialmente.

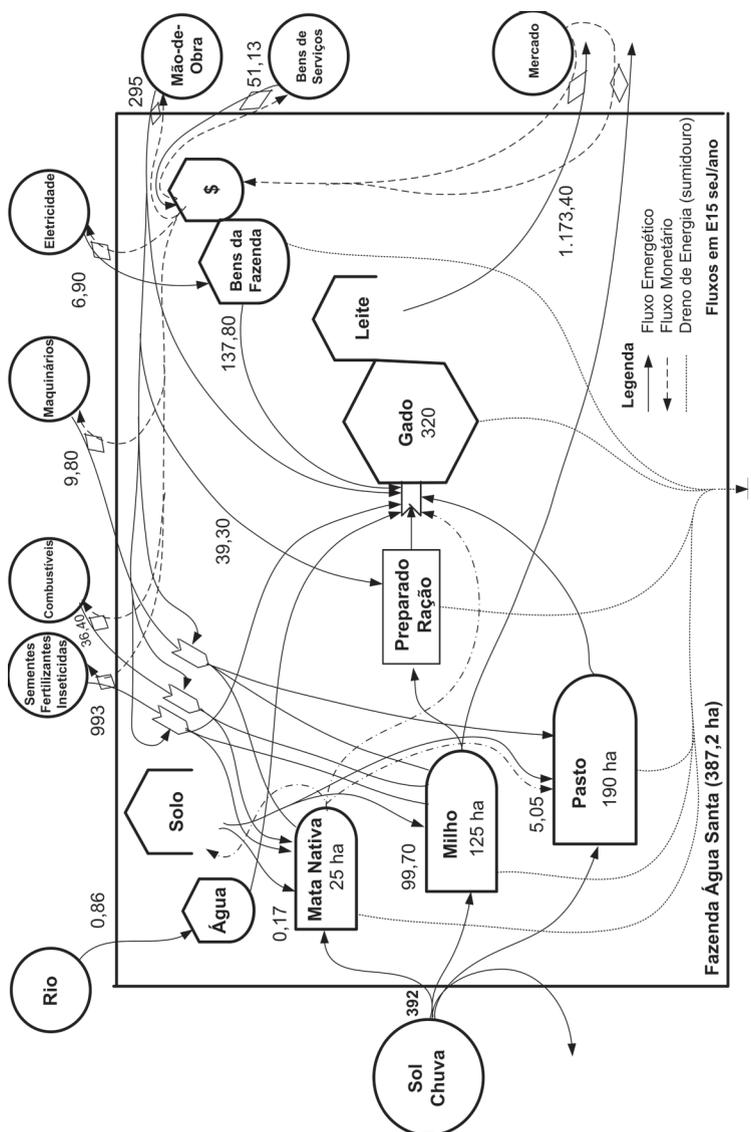
Estas questões ultimamente se dirigem à compreensão dos padrões e filosofias de desenvolvimento regional que a sociedade pretende escolher — quais são as verdadeiras escolhas e quais imposições da demanda de um mercado externo.

Exemplos de estudo de caso de avaliação emergética

Fazenda Água Santa

Neste exemplo (COMAR, 1999), desenvolve-se a avaliação emergética de uma fazenda de 387,2 hectares, no município de Pardinho-SP, que é considerada grande para a região, onde o padrão de fazendas é de 50 hectares ou menos. É uma unidade de produção de leite com um estoque médio de cabeças de gado que varia em torno de 320 unidades. O gado é deixado no pasto de 190 hectares durante a maior parte do tempo, com um tempo de alimentação regular de ração, composta principalmente de milho verde, produzido pela fazenda em uma área de 125 hectares. Existe uma área de 25 hectares de remanescentes florestais que é deixada como zona tampão para a área ribeirinha. Não está dentro do escopo deste exemplo avaliar e mesurar a quantidade de serviços ecológicos que estes remanescentes estão oferecendo à unidade de produção.

Figura 10 - Diagrama sistêmico da Fazenda Água Santa (fluxos emergéticos em E15 seJ/ano).



Fonte: COMAR, 1994.

A Figura 10 mostra os três processos produtivos envolvidos (símbolo com formato de unha), essencialmente de produção de biomassa vegetal: a) **vegetação florestal remanescente**; b) **cultura do milho**; c) **pastos**; sua re-

lação com a produção de leite, onde o gado assume o papel de consumidor (símbolo hexagonal) e estoca o leite (símbolo de tanque arredondado); os bens estocados na fazenda (outro símbolo de estoque à direita do gado); fontes de energia ambiental externas (representadas por círculos) de tipo renovável e contribuições humanas ao processo de produção. A contribuição fundamental do solo, estoque ao lado da água, registra principalmente a quantidade perdida por lixiviação pela cultura, ou função, a ele atribuída. A água é principalmente usada para o gado. O processo da preparação da ração é representado por uma pequena caixa central, que recebe biomassa vegetal, trabalho humano e outros inputs e alimenta o gado.

É preciso esclarecer que o diagrama sistêmico registra apenas os mais importantes fatores presentes num sistema observado, que são passíveis de quantificação dentro de uma avaliação emergética, pressupondo que, embutidos nela, encontram-se todas as retroalimentações dos sistemas complexos.

A Tabela 2 caracteriza os principais fluxos emergéticos provenientes do ambiente e das fontes humanas, ela deve ser analisada juntamente à Figura 10. A facilidade de visualizarem-se quais das contribuições — tanto humanas ou ambientais — são maiores, ajuda a avaliar e a planejar cenários futuros menos ambientalmente impactantes, uma vez que a importância relativa das contribuições está quantificada. Também, quando o devido peso está sendo atribuído aos recursos ambientais, os produtos resultantes recebem uma valoração mais aproximada à sua função real.

Aqui, o potencial químico da chuva e a contribuição da mão de obra são de longe os maiores, quase equivalentes, com respectivamente, 392,04 E15 seJ/ano (33,41% do total de energia usada) e 294,89 E15 seJ/ano (25,14%). Seguem em importância os bens e os serviços acumulados da fazenda, perfazendo um fluxo anual de 137,84 E15 seJ/ano (11,75%). A perda de solo, relativa a cada uso ou cultura, próxima em valor emergético expendido, de 104,87 E15 seJ/ano (8,94%), é ironicamente igual, 99,7 E15 seJ/ano, no milho, aos insumos usados de sementes, fertilizantes e inseticidas para esta mesma cultura, 99,3 E15 seJ/ano. A quantidade total de perda de solo foi calculada multiplicando-se as áreas dos diferentes usos da terra pelo valor médio correspondente de perda anual de solo para o estado de São Paulo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1995).

Tabela 2 – Avaliação emergética do sistema de produção da Fazenda Água Santa, 387,20 ha, município de Pardinho-SP.

| Anot. | Item | Unidade | Unid./ano | Transformidade seJ/unidade | Energia solar E15 seJ/ano | % |
|--|----------------------------|---------|-----------|----------------------------|---------------------------|--------------|
| CONTRIBUIÇÃO AMBIENTAL (I) | | | | | | |
| 1 | Potencial químico da chuva | J | 2,61E+13 | 1,50E+04 | 392,04 | 33,41 |
| 2 | Perda de solo no seu uso | J | 1,66E+12 | 6,30E+04 | 104,87 | 8,94 |
| 3 | Água captada do rio | J | 2,09E+10 | 4,11E+04 | 0,86 | 0,07 |
| Soma das contribuições emergéticas ambientais (I) | | | | | 497,77 | 42,42 |
| FEEDBACK (retorno - F) - Inputs das contribuições humanas | | | | | | |
| 4 | Sementes | \$ | 7,80E+03 | 4,82E+12 | 37,60 | 3,20 |
| 5 | Adubação química | \$ | 7,70E+03 | 4,82E+12 | 37,11 | 3,16 |
| 6 | Inseticida | \$ | 7,68E+02 | 4,82E+12 | 3,70 | 0,32 |
| 7 | Herbicida | \$ | 4,34E+03 | 4,82E+12 | 20,91 | 1,78 |
| 8 | Combustíveis | J | 6,86E+11 | 5,30E+04 | 36,36 | 3,10 |
| 9 | Eleticidade | \$ | 1,43E+03 | 4,82E+12 | 6,88 | 0,59 |
| 10 | Maquinários | g | 1,46E+06 | 6,70E+09 | 9,78 | 0,83 |
| 11 | Mão de obra | \$ | 6,12E+04 | 4,82E+12 | 294,98 | 25,14 |
| 12 | Bens e serviços comprados | \$ | 1,06E+04 | 4,82E+12 | 51,13 | 4,36 |
| 13 | Bens e serviços da fazenda | \$ | 2,86E+04 | 4,82E+12 | 137,84 | 11,75 |
| 14 | Trato do gado | \$ | 8,16E+03 | 4,82E+12 | 39,33 | 3,35 |
| Total Contribuição Humana (F) | | | | | 675,63 | 57,58 |
| PROCESSO PRODUTIVO (Y) | | | | | | |
| 15 | Produção de leite | J | 5,40E+11 | 2,17E+06 | 1173,40 | |
| RAZÕES | | | | | | |
| Razão produção por energia (EYR) = Y / F = | | | | | 1,737 | |
| Razão de carga ambiental (ELR) = F + N / R = | | | | | 1,987 | |
| Razão de sustentabilidade ambiental (SI) = (Y/F) / [(F+N)/R] = | | | | | 0,874 | |
| Transformidade do leite = (I + F)/ Y = (497,8+675,6) E15 seJ/ano/5,4 E11 J = | | | | | 2,17E+06 | |

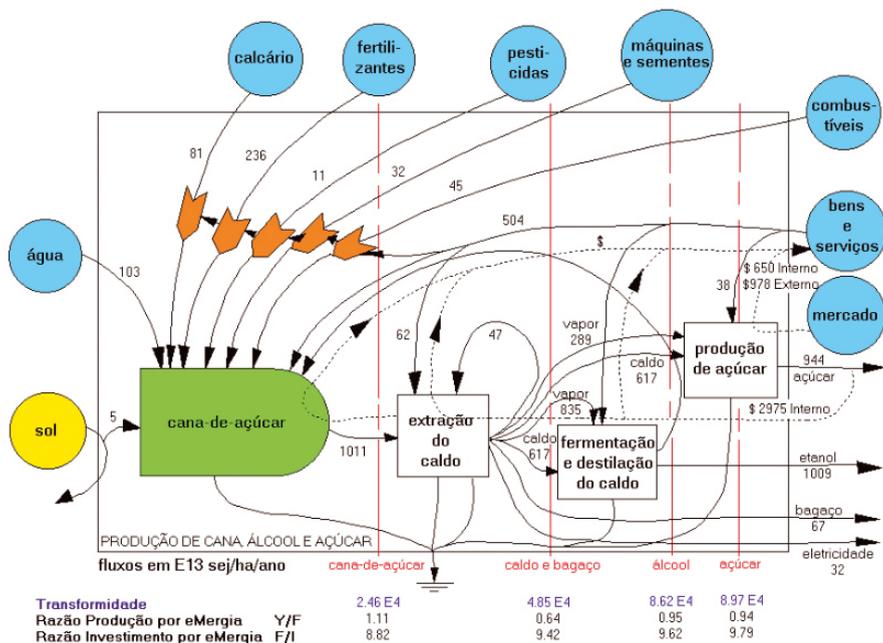
Fonte: COMAR, 1999.

É importante notar o fluxo de energia do leite vendido, de 1173,4 E15 seJ/ano, que, por acumular a energia de todos os fatores incidentes na sua produção, é sua simples soma emergética. Esta questão torna-se fundamental quando, considerando-se a quantidade de energia produzida e exportada pelo sistema na forma de venda da produção de leite para o mercado, registra-se um valor muito inferior no equivalente emergético do dinheiro pago pelo leite, ou seja, produz-se muito mais do que se recebe pelo produto, empobrecendo o capital natural existente, sem ter como repô-lo adequadamente.

Usina de etanol e açúcar Ester, Cosmópolis-SP

A usina de produção de etanol e açúcar, Ester, no município de Cosmópolis-SP, produz parte da sua própria cana-de-açúcar em 15.600 ha de canaviais. O bagaço da cana produz vapor e cogeração de energia elétrica para a planta, a água é reciclada, como também alguns dos efluentes líquidos. Além da produção de energia elétrica, o vapor é usado para o processo de destilação do caldo da cana. Parte do vinhoto é usada para fertirrigação dos canaviais (COMAR; ORTEGA, 1995).

Figura 11 - Diagrama sistêmico mostrando as 4 etapas produtivas da Usina Ester: 1) produção de cana-de-açúcar; 2) produção de caldo de cana e bagaço, queimado para produção de vapor; 3) produção de álcool (etanol); 4) produção de açúcar. Cada etapa é marcada por um corte transversal ao longo do processo produtivo como um todo. Na parte inferior do diagrama são listados para cada etapa do processo os índices emergéticos calculados: transformidade, em sej/J, razão de produção por energia (Y/F) e razão de investimento por energia (F/I), ambas adimensionais. A transformidade e a razão de investimento por energia aumentam pelo maior uso de energia nos processos de esquerda para direita.



Fonte: COMAR e ORTEGA. 1995.

O valor da transformidade do etanol produzido, de 8,62 E4 sej/J (Figura 11), está aproximado para estimativas de outros tipos de fluidos e a transformidade do açúcar é muito parecida, 8,97 E4 sej/J, sendo maior por causa dos maiores *inputs* emergéticos do processamento. O valor da transformidade para caldo e bagaço de cana é o mesmo de 4.85 E4 sej/J, pois eles são ambos subprodutos e está perto do valor da extração do gás natural (COMAR; ORTEGA, 1995).

A razão de produção por investimento, Y/F, avalia a eficiência de um processo de produção específico, comparando-se à quantidade produzida aos *inputs* utilizados em termos de energia. Esta razão é de 1,11 para produção de cana-de-açúcar, 0,64 para o caldo de cana e o bagaço; para o etanol e para

o açúcar é respectivamente de 0,95 e 0,94, menos de 1. Acima de 1 teríamos uma contribuição positiva à economia geral, portanto, isto indica que estes produtos não estão representando nenhuma contribuição à vitalidade da economia como um todo.

Ademais, usam grandes extensões cultiváveis de território nacional, que poderiam beneficiar mais a economia com produtos com maiores razões de produção por investimento. Adicione-se a isto o deslocamento das populações rurais dos seus sistemas produtivos diversificados para favelas urbanas e a perda de biodiversidade devida à expansão desta monocultura (COMAR; ORTEGA, 1995).

A razão de carga ambiental, ELR, de 8,82, é relativamente alta para a cana-de-açúcar, classificando este sistema produtivo como um agroecossistema intensivo. A ELR para o caldo da cana e para o bagaço é de 9,42, e de 9,62 para produção de etanol e de 9,79 para o açúcar, pois estes dois últimos processos requerem mais energia (COMAR; ORTEGA, 1995).

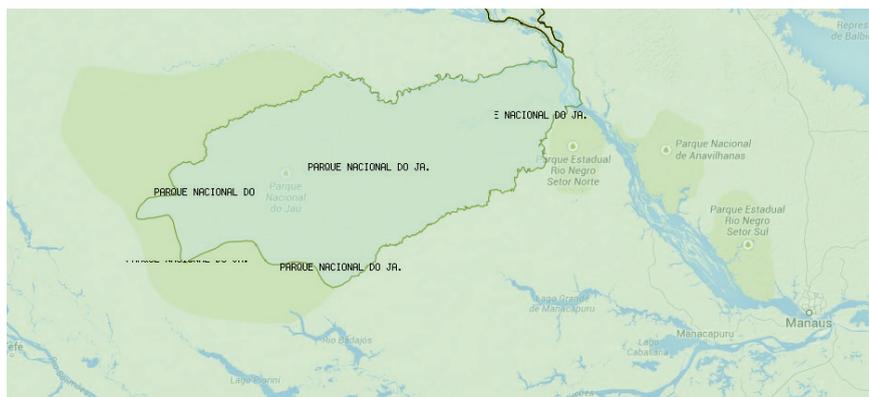
Os benefícios relacionados à venda de açúcar no mercado internacional, na razão de 1,04, são mínimos, ou inconsequentes, pois esta razão está igual a 1. Se esta razão fosse inferior a 1, o Brasil estaria perdendo energia para as nações compradoras. Combustíveis líquidos são essenciais para processos econômicos como o transporte e o sistema produtivo de etanol da cana-de-açúcar supre esta necessidade com um efeito neutro na economia emergética da nação.

Isto tem implicações na questão da logística do transporte que deveria ser multimodal, principalmente ferroviário, fluvial e por dutos (líquidos e grãos); na questão de cidades mais compactas, com sistemas de transporte de massa e menos veículos motorizados de transporte individual. Esta questão será retomada mais adiante.

Assim, conclui-se que a simples avaliação de um sistema produtivo como este estudo de caso levanta muitas questões de alçada nacional que precisam ser revistas com base nesta nova percepção, pois envolvem o desenvolvimento de políticas públicas integradas, de logística aplicada e de escolhas produtivas que possam beneficiar a nação como um todo e não apenas alguns setores mais tradicionais da economia e com alto poder geopolítico.

Avaliação emergética da população humana e dos recursos naturais do Parque Nacional do Jaú-Amazonas

Figura 12 - Localização do Parque Nacional do Jaú em relação à cidade de Manaus-AM.



Fonte: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/mma/googlemaps.phtml?ic3p1rrvcmikq2jpo3f1mj7i27>. Acesso em: 21 de junho de 2014.

O Parque Nacional do Jaú (PNJ), criado em 24 de setembro de 1980, é o maior parque nacional brasileiro e o segundo maior do mundo em florestas tropicais contínuas (Figura 12). Com 2.272.000 ha, está situado nos municípios de Novo Airão e Barcelos, na Amazônia Central, protege toda a bacia hidrográfica do Rio Jaú, afluente do Rio Negro, chegando até os rios Unini e Paunini ao norte e Carabinani ao sul.

Proximamente 200 km noroeste de Manaus, o parque abrigava na época deste estudo (COMAR, 1992) cerca de 170 famílias, distribuídas ao longo do curso principal do Rio Jaú e dos outros rios que limitam o parque.

No bioma de Floresta Tropical Úmida, seus ecossistemas mais característicos consistem de floresta densa tropical, floresta aberta tropical, campinarana, e sistemas fluviais de água preta.

Com base no relatório (SCHUBART et al., 1977), foi proposta em 1979 a criação de uma Reserva Biológica na área, sendo modificada em se-

guida para Parque Nacional, devido à natureza extremamente restritiva das REBIOs³ à visitação pública.

Com o propósito de efetuar as indenizações às famílias residentes na área do PNJ, em 1989 o IBAMA tentou realizar o pagamento, recusado pelos moradores. Argumentou-se que os valores das indenizações estavam abaixo do valor real a ser pago. Para que eles se retirassem da área, seria necessário atualizar os valores com critérios mais justos no cálculo das indenizações, e garantir a realocação por um projeto de assentamento.

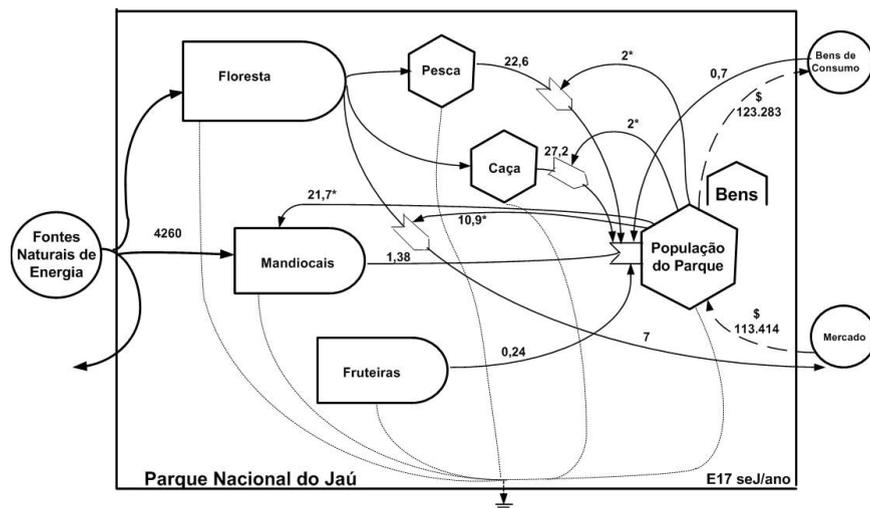
A avaliação emergética do parque foi realizada em 1992, a partir de uma expedição multidisciplinar coordenada pela Fundação Vitória Amazônica, organização não governamental:

[...] organizou-se em abril de 1992 uma expedição multidisciplinar ao PNJ que contou com a participação de técnicos do IBAMA, de pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e de membros da FVA. Essa expedição tinha como objetivo iniciar a discussão mais ampla possível que levasse à elaboração de um plano de atividades imediatas a serem implementadas no Parque. O resultado foi a elaboração do Plano de Ação para a Consolidação do Parque Nacional do Jaú, documento cuja proposta era auxiliar o IBAMA na busca de soluções para os problemas básicos do Parque e subsidiar a elaboração do seu Plano de Manejo (FUNDAÇÃO VITÓRIA AMAZÔNICA, 1998).

Na Figura 13, a combinação de atividades extrativistas — uso de produtos florestais, caça e sobretudo pesca — e agrícolas, principalmente mandioca para produção de farinha, complementa as necessidades nutricionais e a renda da unidade familiar dos moradores do parque. Essa prática exercida pelas populações tradicionais gerou um complexo sistema de produção familiar diversificado e integrado.

3 REBIO – Reserva Biológica, Unidade de Conservação dentro do Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC.

Figura 13 - Diagrama sistêmico que descreve as principais fontes naturais de energia que mantêm a floresta, os mandiocais e os pomares de fruteiras. Caça e pesca suprem as demais necessidades junto aos bens adquiridos pelo sistema de “avia-mento”. Os valores representam o fluxo de emergia em seJ E17/ano.



Fonte: COMAR, 2004.

Na Figura 13, o diagrama está desenhado definindo-se os limites do parque por uma caixa que diferencia sua realidade interna do ambiente externo, do qual ele recebe o influxo de fontes naturais de energia à esquerda, bens de consumo em cima à direita, e dinheiro dos mercados que recebem os produtos extrativistas.

Iniciando-se com as contribuições dos recursos naturais no lado esquerdo — que sustentam o PNJ, com um valor emergético total de 4.260 E17 seJ/ano — são mantidas suas áreas de florestas, os sistemas produtivos dos seus moradores, mandiocais e fruteiras (indicado pelas componentes internas em forma de unha), e o extrativismo vegetal e animal (produtos da floresta, caça e pesca, estes últimos indicados por hexágonos como funções de consumidores dos serviços da floresta).

Sempre na Figura 13, em termos de emergias despendidas pela população do parque para obter seus meios de vida, tem-se, em primeiro lugar, o esforço para colher mandioca e processá-la para obter a farinha que é consumida localmente e vendida ou trocada por bens externos ao parque. Este valor

é de 21,7 E17 seJ/ano (seta que entra nos mandiocais vindo do hexágono da população do parque). O asterisco após os valores nos caminhos dos fluxos representa dispêndio emergético em forma de mão de obra; notar que todos estes caminhos iniciam-se no hexágono da população para terminar nos respectivos componentes de produção ou de extrativismo.

Seguindo-se o mesmo raciocínio, os moradores despendem uma mão de obra de 21,7 E17 seJ/ano para produzir apenas 1,38 E17 seJ/ano de mandioca; enquanto com apenas 2 E17 seJ/ano conseguem o alto valor emergético de 27,2 E17 seJ/ano pela caça e 22,6 E17 seJ/ano pela pesca. Para extração dos produtos florestais empregam 10,9 E17 seJ/ano, mas obtêm apenas 7 E17 seJ/ano de produtos que vendem ao mercado externo.

Em geral os moradores do parque estão perdendo 10 a 1 neste balanço emergético, pois entregam 7 E17 seJ/ano de produtos, recebendo apenas 0,7 E17 seJ/ano em emergia dos bens de consumo adquiridos, gastando por isto \$ 123.283 por ano, enquanto ganham cerca de \$ 10.000 a menos pela venda de seus produtos ao mercado externo, que valem \$113.414 por ano. Isto poderia representar:

- a) um erro devido às estatísticas do levantamento de dados efetuado (SIZER; CARVALHO, 1991);
- b) uma indicação de que a receita é complementada por fontes de renda não declaradas, como venda ilegal de quelônios e outros animais;
- c) uma dívida permanente com os “regatões”, dentro do sistema atual de “aviamento”.

Estas duas últimas possibilidades são as mais prováveis, pois em termos econômicos são forçados a complementar sua renda por meio da venda ilegal da fauna do parque, contribuindo com a perda de diversidade biológica, pois na época do estudo não existiam meios eficientes de controle e regulamentação da caça ou pesca.

A razão de emergia para produção, Y/F (onde Y é a saída de produtos extrativistas e $F = G + N1$) é muito baixa considerando-se que se trata de um produto natural, extraído diretamente da mata. Este baixo valor deve-se ao fato de que o preço pago pelo mercado para estes produtos é excessivamente baixo, tanto que seu valor total de 7 E17 seJ/ano é inferior ao custo emergé-

tico de 10,9 E17 seJ/ano de mão de obra do extrativismo. Isto sem contar os custos emergéticos adicionais de conhecimento específico da população, sua informação e cultura, que não estão computados.

As exportações de energia nos produtos extrativistas são acima de cinco vezes inferiores à energia despendida pela população em total de mão de obra que permite este nível de extrativismo (7 E17 seJ/ano contra 36,7 E17 seJ/ano, respetivamente).

Os dados da caça no levantamento de Sizer e Carvalho (1991) são questionáveis, pois as populações caboclas, os moradores, investem mais na pesca do que na caça, sendo que o resultado da pesca é maior por menor gasto de energia e maior em produção em quilogramas por hectare (SMITH, 1974).

Uma futura avaliação emergética poderia investigar alternativas de geração de emprego e renda para evitar a perda de biodiversidade. Atividades de turismo ecológico, produção de artesanato com produtos não madeireiros requerem uma infraestrutura de apoio social e comunitário para treinamento e capacitação.

Esta questão é fundamental em um parque nacional, onde não poderia haver atividades extrativistas. De fato, por um longo processo de definições e negociações, no Plano de Manejo do parque, optou-se finalmente pela permanência das famílias e do desenvolvimento de uma série de programas e subprogramas para promover estas mudanças na geração de emprego e renda.

Finalizando, mesmo com base em relativamente poucos dados censitários e entrevistas em um breve período de tempo, a avaliação emergética conseguiu, por sua natureza sistêmica e de contabilidade, estabelecer uma compreensão mais aprofundada da lógica das decisões tomadas pelos moradores em relação às suas atividades de subsistência e de produção para exportação. Também foi identificado o fato de que os maiores ganhos emergéticos na caça e pesca sem controle reforçam o argumento do perigo que uma população pode trazer para uma unidade de conservação, como o Parque Nacional do Jaú, se esta não for sensibilizada do seu impacto nos recursos naturais e, principalmente, na manutenção da biodiversidade. Tal sensibilização não poderia ser eficaz sem os programas sociais de apoio a uma gradativa mudança no estilo de vida, de caçadores para guardiães do parque.

EMERGIA E O BRASIL

Avaliação emergética do Brasil

Embora esta avaliação tenha como base os dados de 1989 — e a situação atual do país esteja bastante diferente, pela variedade da produção de bens e *commodities* consumidos internamente e exportados — foi escolhida por apresentar um Brasil que estava representando a situação atual de muitas nações em desenvolvimento, vendendo matéria prima e produtos resultantes da exploração dos recursos naturais, principalmente minérios, florestas e produção agrícola.

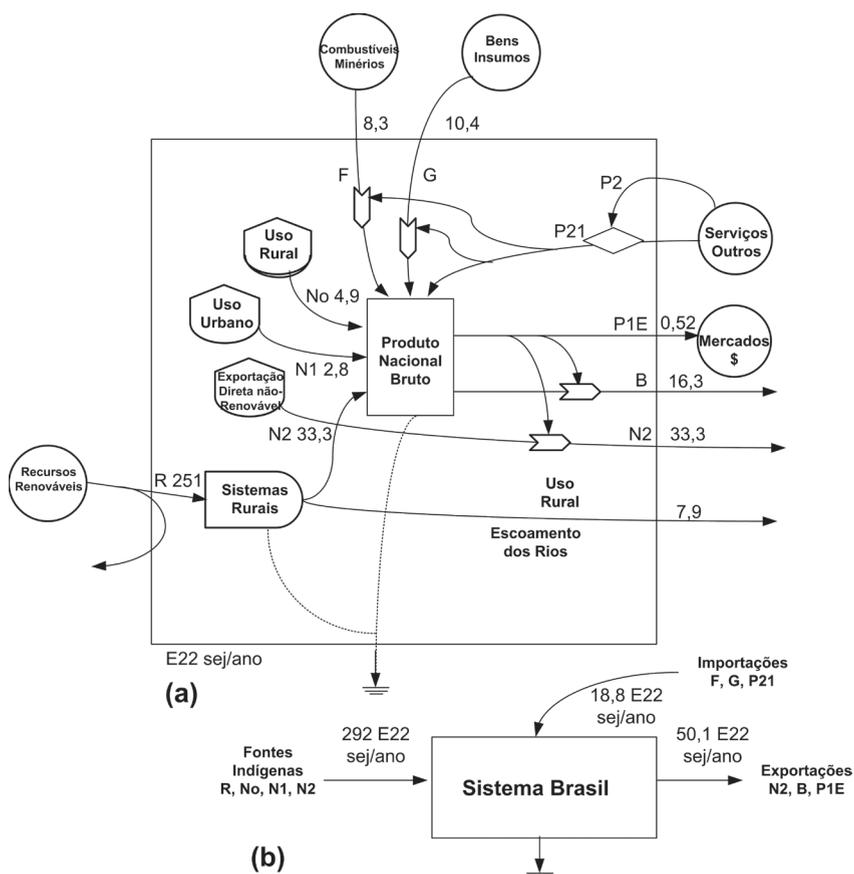
O valor emergético exportado não está sendo compensado pelo valor monetário pago. O Brasil, no período deste levantamento, era considerado uma “nação doadora”, como será discutido mais adiante, mas esta continua sendo a situação atual da grande maioria dos países pobres do mundo, que se concentram no hemisfério sul. Portanto, continua o dreno de recursos do sul para o norte, mantendo e aumentando a hegemonia de outra forma de colonialismo.

De fato, esta questão de trocas mais justas entre nações está na base da proposta da avaliação emergética, para redirecionar as políticas públicas tanto internas aos países, procurando diminuir as disparidades regionais, quanto entre os países.

No diagrama agregado do Brasil (Figura 14), as contribuições do sol, da chuva, dos rios e dos bens e serviços importados são mostrados. A produção da nação é representada pelas florestas e pela agricultura enquanto a indústria e a rede comercial usam os recursos naturais. A população urbana é sustentada por estes recursos e, ao mesmo tempo, gerencia-os. O recurso renovável mais importante é o potencial químico da chuva. Lenha e madeira são importantes recursos indígenas. Emergias importadas de relevância, que

são usadas, incluem o petróleo, o gás natural, o carvão, o potássio, os fosfatos e o nitrogênio. Serviços do exterior e produtos importados representam emergias muito elevadas devido aos serviços humanos envolvidos na sua produção. As exportações mais importantes são: produtos agrícolas, minérios de ferro e alguns minerais.

Figura 14 - Diagrama emergético do Brasil (fluxos em unidades de energia - ano 1889). O diagrama superior, (a) apresenta um inventário das fontes e componentes, enquanto o diagrama agregado (b) sintetiza as informações e apresenta os valores cumulativos.



Fonte: COMAR, 1994.

A Figura 14 mostra diagramas resumidos dos fluxos emergéticos que sustentam a economia brasileira. O diagrama superior (a) é um agregado de

todos os *inputs* energéticos, que incluem, de esquerda para direita: recursos renováveis (R) e recursos não renováveis derivados de dentro da nação (No, N1, e N2), combustíveis e bens importados (F e G), serviços importados (P2I). As exportações da economia são compostas por três fluxos: exportação direta de recursos não renováveis (N2), exportações de produtos da economia (B), e exportações de serviços derivados da renda em dólar gerada pelos bens exportados (P1E).

O Produto Nacional Bruto (X) é de US\$ 374,14 E9. O diagrama inferior (b) resume a economia brasileira somando os fluxos energéticos das fontes indígenas (R + No + N1 + N2), as importações (F + G + P2I) e as exportações (N2 + B + P1E). P1E é definida como a razão energia por dinheiro (em US\$) para o Brasil (P1) multiplicada pelo total das exportações (E). P2I é definida como a razão mundial de energia por dinheiro (em US\$; P2 = 3,8 E12 seJ/\$), multiplicada pelas importações (F + G = I).

Em relação aos Índices energéticos do Brasil (Tabela 3): a razão de energia por dinheiro (6,08 E12 seJ/\$) é quase o dobro da correspondente média mundial (3,8 E12 seJ/\$). Quase toda a base energética da economia brasileira vem de dentro da nação (93%), e apenas 7% é importada. 18% do total da economia energética é exportado. Quase todo o uso energético, 92%, é renovável localmente.

O Brasil possui um déficit líquido energético no seu comércio exterior (312 E21 seJ/ano). A razão da energia importada pela exportada é de 0,38/1. Apenas 0,06% do total energético da nação vem dos serviços importados.

A capacidade de suporte renovável no presente nível de vida é uma medida da capacidade de suporte da terra brasileira para os seres humanos, em longo prazo e de forma sustentável. A percentagem da energia total das fontes rurais (90%) é multiplicada pela presente população (147,3 milhões de pessoas - 1989). É uma medida do número de pessoas que poderiam ser sustentadas apenas pelas fontes de energia renováveis, mantendo seu nível de vida de 1989.

A capacidade de suporte renovável do Brasil é de 133 milhões de pessoas, ou cerca de 90% da população de 1989. A capacidade de suporte desenvolvida, outro índice energético, presume um desenvolvimento da economia brasileira compatível àquela que é característica de nações desenvolvidas como os Estados Unidos, mas usando o presente padrão de vida do Brasil, sua car-

ga emergética por pessoa. A capacidade de suporte desenvolvida é calculada multiplicando o fluxo de energia renovável (R) por 8,0 — a razão de energia concentrada à energia renovável em economias desenvolvidas (BROWN e MCCLANAHAN, 1992, p. 8) — e dividindo-a pelo uso corrente de energia per capita (3,402 E15 seJ/pessoa).

Tabela 3 - Índices emergéticos do Brasil, 1989.

| No. | Descrição | Expressão | Quantidade | |
|-----|---|--------------------------------|-------------|--------------------|
| 1 | Fluxo de Energia renovável | R | 2509,47 | E21 seJ/ano |
| 2 | Fluxo de reservas indígenas não renováveis | N | 410,13 | E21 seJ/ano |
| 3 | Fluxo de e Energia importada | F + G + P2I | 188,51 | E21 seJ/ano |
| 4 | Influxo total de Energia | R + N + F + G + P2I | 3108,11 | E21 seJ/ano |
| 5 | Energia total usada, U | No + N1 + R + F + G + P2I - E | 2274,59 | E21 seJ/ano |
| 6 | Energia total exportada | N2 + B + P1E | 501,05 | E21 seJ/ano |
| 7 | Fração de Energia usada derivada de fontes locais | (No + N1 + R) / U | 93,21% | |
| 8 | Importações menos exportações | (F + G + P2I) - (N2 + B + P1E) | -312,54 | E21 seJ/ano |
| 9 | Razão de importações para exportações | (F + G + P2I) / (N2 + B + P1E) | 0,38 | |
| 10 | Fração de Energia que está sendo exportada | (N2 + B + P1E) / U | 18,05% | |
| 11 | Fração usada que é localmente renovável | R / U | 90,42% | |
| 12 | Fração de Energia usada, comprada (importada) | (F + G + P2I) / U | 6,79% | |
| 13 | Fração de serviços importados | P2I / U | 0,06% | |
| 14 | Fração do uso que é gratuita | (R + No) / U | 92,19% | |
| 15 | Densidade emergética | U / área | 3,26E+11 | seJ/m ² |
| 16 | Energia per capita | U / (população) | 3,40156E+15 | seJ/pessoa |
| 17 | Capacidade de suporte renovável | (R / U) (população) | 1,33E+08 | Pessoas |
| 18 | Capacidade de suporte desenvolvida | 8R / (U / população) | 1,07E+09 | Pessoas |

| | | | | |
|----|--------------------------------|---------------------------------|-------------|------------|
| 19 | Razão Emergia/dinheiro | $P1 = U / \text{GNP}$ | 6,08E+12 | seJ/\$ |
| 20 | Uso de combustíveis por pessoa | combustível / população | 5,61303E+14 | seJ/pessoa |
| 21 | Razão de carga ambiental | $(N_0 + N_1 + F + G + P2I) / R$ | 0,11 | |
| 22 | Razão investimento por Emergia | $F / (R + N)$ | 0,064 | 0.064/1 |

Fonte: COMAR, 1994, p. 53.

A capacidade de suporte desenvolvida é de 1070 milhões de pessoas, mas presume-se que os suprimentos mundiais de energia são de volume suficiente para se conseguir isto e que os presentes padrões de vida seriam mantidos no futuro.

Maior a Razão Investimento por Emergia, maior a intensidade de desenvolvimento. A razão investimento por Emergia do Brasil, de 0,064/1, é muito baixa e é muito parecida com a da Papua e Nova Guiné (0,04/1). A razão do Brasil é cerca de 1/5 a do México (0,3/1), mostrando uma intensidade de desenvolvimento relativamente baixa. A Figura 15 resume a situação emergética do Brasil, ou sua “Assinatura Emergética”, comparável a uma impressão digital emergética nacional.

A avaliação emergética indica o estado de transição da economia brasileira. De fato, o país avançou consideravelmente no cenário econômico mundial nas últimas duas décadas. A razão energia por dinheiro do Brasil é quase duas vezes a da média mundial de 3,8 E12 seJ/\$ (US), que claramente o classifica dentro do grupo das nações menos desenvolvidas.

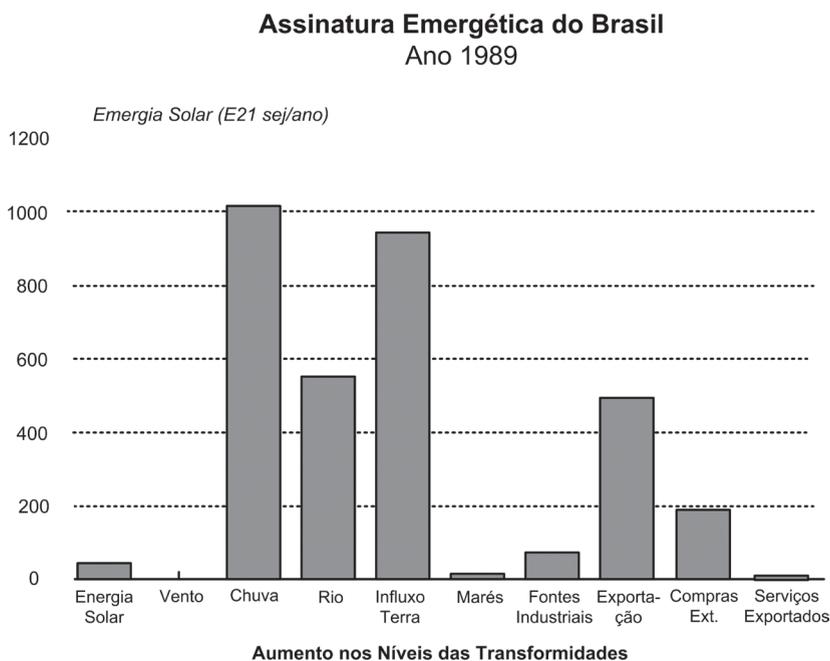
A razão de energia per capita do Brasil (3,4 E15 seJ/pessoa por ano) é relativamente baixa. A razão da Índia é de 1,0 E15 seJ/pessoa por ano e a dos Estados Unidos é de 29 E15 seJ/pessoa por ano (ODUM; ODUM; BLISSET, 1987).

A nação tem uma base de minérios e agricultura com potencial para aumento da produção de hidroeletricidade, que teria que ser vista em razão das perdas sociais e ambientais resultantes das mudanças ecológicas nas áreas ocupadas pelas hidrelétricas. O Brasil tem uma perda líquida de energia no seu comércio exterior, que não é devida diretamente ao seu déficit no balanço dos pagamentos, mas pelo fato de que muito valor está sendo exportado com

minérios, madeira e produtos da agricultura. Assim, este desequilíbrio é devido à exportação de matérias-primas, que totalizam 98,96% das exportações.

A análise das economias de outras nações (ODUM; ODUM, 1983, p. 33) levou a uma classificação das economias nacionais baseadas nas suas exportações como nações “consumidoras” ou nações “provedoras”. Se uma nação importa mais energia do que exporta, está classificada como uma nação “consumidora”; quando ela exporta mais do que ela importa, é uma nação “provedora”. As nações provedoras podem ser ulteriormente classificadas na base da composição das suas exportações. As nações cujas exportações são compostas principalmente de matérias-primas (em quantidades maiores do que 50%) são classificadas na metodologia emergética como “provedoras de recursos”. Quando as exportações são compostas principalmente de produtos de qualidade elevada, ou intermediária, ou são produtos acabados, a nação exportadora é considerada uma “provedora de *commodity*” (BROWN; MCLANAHAN, 1992, p. 21). O Brasil é então um provedor de recursos.

Figura 15 - Assinatura Emergética do Brasil, ano 1989.



Fonte: COMAR, 1994.

Implicações para o Brasil

O Brasil tem uma perda de energia líquida no seu comércio exterior, e uma razão de Investimento por Energia muito baixa, quando comparada com outras nações. Assim, o país tem ainda uma chance de aprender com os erros de outras nações e, com a ajuda de métodos de avaliação mais aprimorados, equilibrar o desenvolvimento com um uso durável dos seus recursos naturais.

O Brasil é também um “provedor de recursos”. Sua perda de energia líquida no comércio exterior não é diretamente devida ao *déficit* no seu balanço de pagamentos, mas ao fato de que muito valor energético está sendo exportado em minérios, madeira e produtos da agricultura.

É necessário que o Brasil reveja seus termos comerciais de pagamento e os preços que cobra para seus produtos, colocando pressão nos mercados internacionais por negociações mais justas e assumindo, ao mesmo tempo, a obrigação moral de repor as contribuições da sua própria natureza por meio de um planejamento e gestão socioambientais integrados do território nacional. Isto tem grande relevância principalmente na área de pesquisa e sua aplicação nos processos de desenvolvimento e macro planejamento produtivo e territorial. Como crescimento não é sinônimo de desenvolvimento, a pesquisa aplicada precisa receber pesados investimentos para evitar problemas futuros.

Os atuais Zoneamentos Ecológico-Econômicos (ZEE) estaduais são um avanço, mas raramente a pesquisa e os processos de monitoramento, gestão e fiscalização estão atrelados e aplicados na implementação dos ZEEs. Falta financiamento adequado, consciência política e participação eficaz da sociedade, cobrando consistência e resultados mensuráveis.

Questões de políticas públicas

Diferentes questões de política pública são analisadas comparando as contribuições energéticas das alternativas, dentre as quais tendem a prevalecer aquelas com maiores fluxos de energia, pois suas contribuições à economia são mais ricas. O processo decisório público experimenta várias alternativas para observar sua utilidade. É um processo de erros e acertos no qual se procura usar o bom senso face às complexidade das condições. Em última análise,

as alternativas com maior energia serão aceitas, pelo fato de terem obtido sucesso e sobrevivido. Acredita-se que a Avaliação Emergética pode prever aquilo que eventualmente viria a ser a política aceita.

A base dos recursos para a economia

O estudo das informações, derivadas na avaliação da economia brasileira do período estudado, permite identificar as principais fontes para a operação da economia e sua hierarquia, expressa em percentagens. Também pode ser avaliado o grau de autonomia ou dependência da economia nacional em relação a cada fonte energética e produto básico. Por meio dos vários índices emergéticos é possível avaliar o benefício ou perda de bens e serviços importados e exportados, podendo alterar o quadro para obter o mínimo de perdas. A relação entre fontes de energia renovável e não renovável esclarece muitos dos nossos padrões de consumo, oferecendo subsídios para melhorias. Processos de produção críticos, como o da agricultura e da energia, podem ser avaliados pela sua contribuição à economia emergética da nação.

Estoques de recursos

É preciso avaliar as reservas de recursos ainda disponíveis à nação e mensurar o tempo necessário para esgotá-las, de acordo com as atuais taxas de extração e uso. A razão de produção líquida por energia alocada pelo investimento humano tenderá a cair na medida em que a extração dos recursos se torna mais difícil, exigindo uma reorganização de todas as cadeias produtivas e da logística nacional de distribuição, alterando significativamente nossos padrões de produção e consumo.

Competição internacional

Em adição à previsão de uma queda na razão de energia líquida há outros fatores que afetam a competitividade dos nossos produtos no mercado internacional. Sua atratividade depende de seus preços e estes são mais baixos, pois existem mais contribuições “gratuitas” da natureza nos processos de

produção, ou seja, menos razões de investimento humano por contribuição natural. O cálculo dos índices emergéticos pode esclarecer quais seriam os melhores setores para continuar ganhando nesta equação.

À medida que crescem as densidades populacionais, ou a emergia por área e por pessoa, os recursos são dissipados e aumentam os custos públicos para providenciar serviços, incluindo os que eram providenciados pela natureza. É o caso do valor do ambiente natural na sua função de assimilação dos dejetos. Populações marginalizadas em favelas, ocupando fundo de vale e morros, ambos locais de altíssimo risco ambiental, demandam seus direitos a infraestruturas sociais, como educação, saúde, lazer, segurança, e a infraestruturas técnicas, rede viária, abastecimento de água, energia, comunicações, rede de esgoto. Além de ocupar ilegalmente áreas que perderam suas funções ecológicas, essenciais à manutenção de serviços ambientais, estas populações são vítimas da falta de planejamento nacional há décadas. A pressão que fazem por direitos à moradia, trabalho e dignidade humana precisa ser atendida por políticas agrárias e agrícolas que viabilizem novos padrões de desenvolvimento no campo, dotando-o das infraestruturas necessárias ao desenvolvimento. Não há como competir internacionalmente se estas questões fundamentais, que estão constantemente drenando os recursos sem resolver as causas, permanecem sem solução integrada adequada.

Quando o valor real da contribuição da natureza aos processos produtivos da produção de alimentos, fibras e produtos da terra for entendido pela nova forma de contabilidade ambiental proposta pela avaliação emergética, a sociedade deverá reconsiderar a importância do meio rural e providenciar investimentos de infraestrutura para seu desenvolvimento; nosso planejamento nacional deverá considerar e implantar novos programas estruturantes para a reorganização das áreas rurais e seus sistemas produtivos, visando à inclusão social. As massas precisam ser relocadas e ter condições de se desenvolver, educar-se, organizar-se, autogerenciar-se, não apenas serem abandonadas em lotes vazios, sem programas sociais de grande envergadura para sua educação, treinamento e capacitação para uma gestão participativa dos processos produtivos.

A avaliação emergética oferece aqui uma grande contribuição demonstrando a interligação entre políticas públicas mal resolvidas e a capacidade de competir em nível internacional.

Implicações para as políticas públicas

O Brasil é uma “nação doadora”, na terminologia da teoria emergética, pois exporta grandes quantidades de matéria-prima em minérios, alimentos, energéticos (petróleo, que também importa) e madeira, recebendo um correspondente emergético bem menor (COMAR, 1994). O uso do solo é também extremamente irracional do ponto de vista emergético, basta citar a cana-de-açúcar, tanto para açúcar de exportação quanto para o etanol, cujo processo está com um *déficit* em Emergia Líquida. Os sistemas de produção irracional do gado, com perda em produtividade agrícola, biodiversidade — pela destruição de áreas florestais, piora na consistência do solo e nos recursos hídricos pelo lixiviamento induzido pela pastagem e a compactação do solo decorrente do seu uso —, precisam ser investigados à luz da teoria emergética.

Na questão agrícola são necessárias menores unidades agrícolas com tratores menores e uso mais produtivo da terra apoiando o trabalho manual, diversificando a produção e agregando valor aos produtos pela industrialização local dos alimentos, focando em produção local para consumo local. Deverão ser usados também sistemas de produção agrícola com menores *inputs* de produtos químicos e derivados do petróleo, reciclando dejetos e integrando diferentes sistemas de produção procurando uma transição destes sistemas para uma sustentabilidade das suas características ecológicas e biofísicas.

Mas o que realmente é preciso são as mudanças nos padrões de produção e consumo, juntamente à integração das políticas públicas como descritas no Plano Nacional de Produção e Consumo Sustentáveis, tratado mais adiante (PPCS, Figura 24),

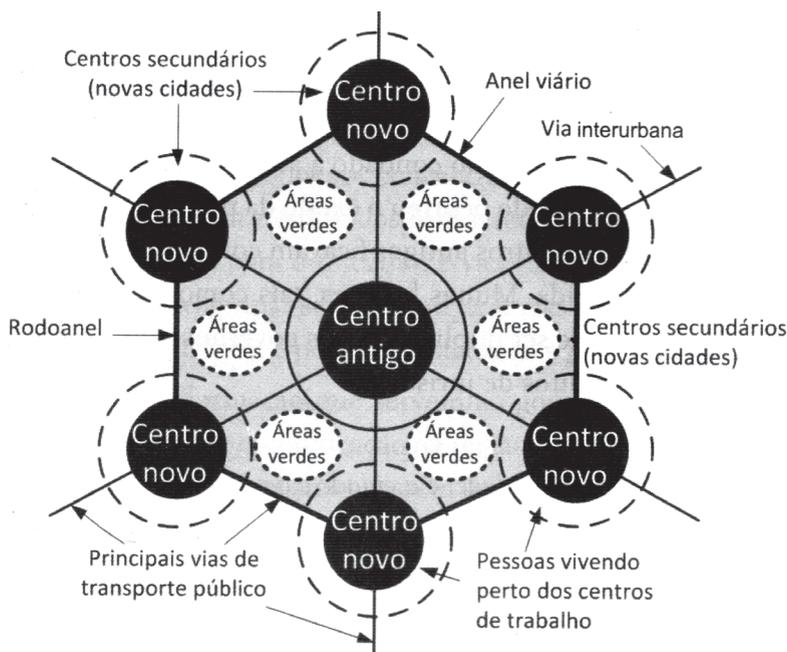
Em nível geral, as implicações de carros menores, de sistemas de transportes coletivos mais atraentes e menos poluentes, de menores plantas de produção energética e sua cogeração, de conservação de água e energia, de uso eficaz das comunicações e da informática, de outras mudanças que aumentariam a eficiência dos processos econômicos, poderiam garantir até melhores ofertas de trabalho e vitalizar uma economia nacional não apenas em favor da diversificação das exportações, mas, principalmente, favorecendo autonomias regionais e locais.

Repensando as cidades

Cidades sustentáveis dependem da garantia da função social do espaço urbano, que se dá pelo acesso à cidadania, dependente da construção do conhecimento de todos os setores da população, embasada fundamentalmente no desenvolvimento institucional, na gestão democrática e participativa, numa política de cooperação interinstitucional (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2000, capítulo 1). Precisamos devolver a cidade ao cidadão, ao pedestre e condicionar o carro, domesticá-lo.

O processo de declínio da atual economia mundial, baseada nos combustíveis fósseis derivados de petróleo, que estão entrando numa condição de escassez (ODUM; ODUM, 2008) e discutido mais adiante, fortalecerá a tendência de descentralização dos centros urbanos, com a implantação de novos polos multifuncionais (Figuras 16 e 17).

Figura 16 - Polinucleação multifuncional. Centro antigo e novos centros autônomos.



Fonte: ODUM e ODUM, 2008.

Emerge a necessidade da reorganização das funções urbanas, providenciando centros urbanos menores, mais autônomos na provisão de infraestruturas sociais (educação, saúde, lazer, trabalho e segurança) e técnicas (sistemas viários e de transporte público, redes de abastecimento de água, energia, comunicações), serviços públicos e privados (postos de administração municipal, correios, bancos, profissionais liberais, entre outros). Desta forma, junto com a provisão de praças de serviços, oferecendo também lazer, cultura, espaços de recreação ativa e passiva, além de postos de trabalho e atividades de geração de emprego e renda, não será necessário que as pessoas se dirijam todo dia para o centro antigo da cidade.

Esta polinucleação multifuncional — combinada a um sistema de transporte de massa rápido, eficiente e não poluente, ciclovias e bicicletários, modelos habitacionais mais compactos, com áreas verdes para mitigar as condições climáticas, como também acessos periféricos por vias tangenciais para descongestionar o transporte — alterará os padrões de produção e consumo e diminuirá substancialmente o tráfego, logo, o uso de combustíveis, a emissão de CO₂ e a poluição aérea. Polos estão ligados entre si e com o centro por um sistema de transporte de vias expressas tangenciais, oferecendo baixos custos, rapidez e qualidade.

Figura 17 - Polinucleação multifuncional. Proposta de novo centro autônomo, com praça de serviços, centros de lazer e cultura, geração de empregos e renda locais, ciclovias, transporte público de qualidade. Projeto vencedor de concurso público na zona da Barra Funda, São Paulo-SP.



Fonte: VITRUVIUS, 2013.

Embora nos países em desenvolvimento o crescimento das cidades continue rampante, em muitas há diminuição no consumo de combustível e no tráfego de veículos particulares, recuperando-se áreas de fundos de vale e remediando-se ilhas de calor. Neste sentido poder-se-á manter certo nível de prosperidade reduzindo-se o uso de automóveis, usando mais bicicletas e diminuindo o deslocamento entre moradia e trabalho.

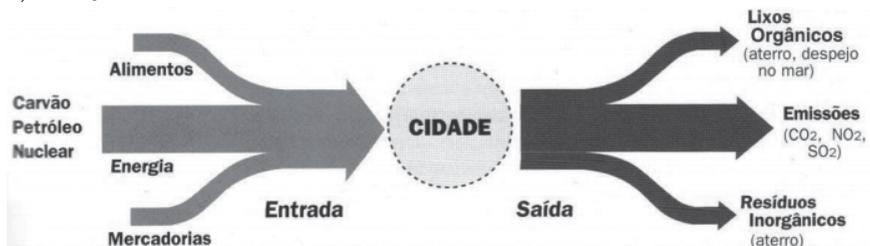
Enquanto o centro das cidades continua mantendo sua função de centro de formação, informação, suprimentos e comunicação, cinturões verdes — definindo e mantendo os limites urbanos, combinados aos fundos de vale urbanos, corredores ecológicos pela sua própria configuração geográfica — podem ser pensados para aumentar a biodiversidade urbana, oferecer áreas de lazer e áreas verdes, combinando funções como reservatórios de drenagem, alagados, lagoas e parques e para mitigar as condições mesoclimáticas.

Os fundos de vale tornam-se áreas tampão entre os novos núcleos multifuncionais; funcionando como condicionantes ambientais espaciais, definem a nova matriz de desenvolvimento urbano; transformados em parques lineares urbanos, integram bairros, oferecem lazer ativo e passivo, permitem a manutenção da biodiversidade, desempenham sua função climática mitigadora e regulam o funcionamento do sistema hídrico superficial e subterrâneo.

A cidade pode ser entendida como um sistema produtivo para sustentar as atividades humanas e o processo civilizatório, um organismo que metaboliza as entradas de energia, na forma de combustíveis fósseis e demais fontes energéticas, alimentos e mercadoria, enquanto expele lixos orgânicos, emissões de CO_2 , NO_2 , SO_2 , outros gases e particulados e resíduos inorgânicos (ROGERS, 2005, Figura 18). A ideia é que tanto o lixo orgânico quanto os resíduos inorgânicos sejam reaproveitados e reintroduzidos no sistema urbano, levando a consideráveis ganhos na qualidade de vida e na diminuição de desperdício e custos. Usando a energia para esta contabilidade tudo se torna mais claro, pois todos estes fluxos e estoques podem ser contabilizados numa medida indexadora única.

Figura 18 - Metabolismo circular de cidades:

a) Situação atual;



b) Processos desejados.



Fonte: ROGERS, 2005.

Considerando a aplicação correta de processos e produtos com maior sustentabilidade em projetos urbanos, programas e propostas precisariam também estar submetidos à luz dos critérios de sustentabilidade do LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), sistema internacional de certificação para edificações e áreas urbanas sustentáveis. Com matriz no sistema americano do *US Green Building Council-USGBC* (Conselho da Construção Verde dos Estados Unidos), este sistema de certificação ganhou aceitação global.

Embora este desenvolvimento venha a melhorar o desempenho ambiental de construções e soluções urbanísticas — e aprofundar a análise não caiba no escopo do presente trabalho — muitas das medidas adotadas como fundamentais por estes critérios não entram na profundidade e implicações de uma avaliação emergética, pois mesmo o ciclo de vida de um produto e dos recursos naturais que o possibilitaram, não avaliam os custos reais do trabalho da natureza e seus ecossistemas para a produção da matéria-prima em primeiro lugar. É um passo na direção correta, mas ainda há muitas perguntas que precisam ser respondidas.

O papel da água na economia

Avaliação da água

A capacidade de suporte humana regional é limitada, principalmente, pela quantidade e qualidade do suprimento de água doce — cidades e regiões inteiras se desenvolveram ou foram extintas na base disto.

A água da chuva também é fundamental para todo o sistema de produção vegetal, do qual depende nossa segurança alimentar, pois a irrigação tem altos custos de instalação e manutenção. A contribuição emergética da precipitação é a maior, em termos das contribuições dos recursos naturais renováveis, em porcentagem, podendo chegar a mais de um terço da emergia total usada em agroecossistemas (veja o exemplo da avaliação emergética da fazenda Água Santa, Tabela 2, com 33,41% do total de emergia usada, devido ao potencial químico da chuva).

Devem ser estabelecidos critérios para permitir escolher entre alternativas de uso da água. Para maximizar a vitalidade econômica, as políticas públicas deveriam gerenciar os recursos hídricos gerando o mais alto valor macroeconômico. O valor macroeconômico de uma determinada quantidade de água é representado pelo número de dólares, dentro da economia, que dependem desta água direta ou indiretamente (ver definição de dólar macroeconômico na metodologia). Subsidiar água para produção agrícola, de preferência ao abastecimento de cidades e indústrias, aumenta a emergia dentro do sistema, favorecendo o desenvolvimento em tempos de oportunidades e amortecendo as perdas em tempos de crise, analogamente aos ecossistemas.

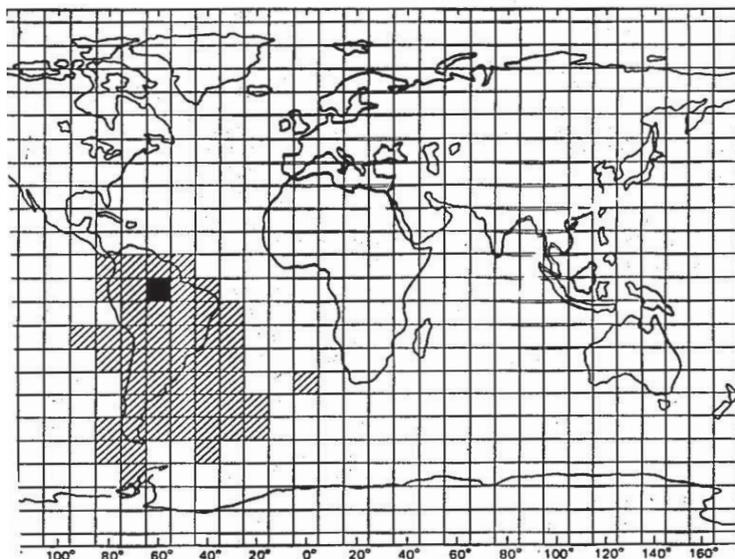
O valor econômico da água é às vezes definido como o preço que a sociedade é disposta a pagar por ela. Tal preço dependerá dos custos, da oferta e da demanda. A maior contribuição da água à economia se dá quando a água é abundante, e isto é visto como um fato natural, garantido, e pouco dinheiro é pago pelo recurso. Por este fato a contribuição da água para o produto econômico bruto pode ser vezes maior do que seu custo. A avaliação emergética pode ser usada para determinar os valores em dólares macroeconômicos da água para a economia incluindo as águas servidas. Estes valores são usados, então, para embasar sugestões para as políticas públicas relativas ao gerenciamento dos recursos hídricos.

A contribuição fundamental da floresta amazônica no transporte de água no Brasil

No primeiro semestre de 2014 o Brasil sofreu com a falta de energia elétrica produzida pelo sistema de hidrelétricas, cujos reservatórios estão muito abaixo dos seus níveis médios, causando dificuldade no seu abastecimento e na produção industrial, operando bem abaixo da sua capacidade produtiva, também devido a outros fatores políticos e econômicos. Precisamos lembrar os apagões e o racionamento de energia elétrica de 2001 e 2003, resultantes desta mesma condição que não foi sanada e continua representando uma questão fundamental de segurança nacional, mesmo com a contribuição de energia na rede pelas usinas de álcool e açúcar.

Em 2003, se as chuvas tivessem perdurado por mais 15 dias, haveria falta d'água para se beber no Rio de Janeiro e São Paulo, com pesadas consequências sociais (FEARNSIDE, 2006, p. 32). A precipitação em São Paulo depende grandemente da fonte de vapor de água vinda da floresta amazônica (FEARNSIDE, 2006, p. 32). Esta água da chuva da Amazônia é precipitada em toda bacia do Rio da Prata, portanto, em todo território brasileiro. Os ventos alísios, vindos do Oceano Atlântico, numa direção Leste-Oeste, trazem as massas de água para a floresta amazônica que a recicla, devolvendo cerca de 50% para a atmosfera, pelo processo de evapotranspiração (ET). Após precipitar mais vezes na floresta a oeste e esbarrar nos Andes, a massa de água retida nas nuvens desce numa direção sudeste, atingindo toda bacia do Prata (EAGLESON, 1986; Figura 19), vindo a afetar, além do abastecimento e a geração de energia elétrica, toda a produção agrícola, o clima, o turismo, os transportes, em suma, a vida do país.

Figura 19 - Simulação da dispersão da precipitação a partir da Amazônia Central.



Fonte: EAGLESON, 1986 apud FEARNSTIDE, 1997.

O quadrado preto representa o centro hipotético de dispersão da chuva, enquanto os quadrados com sombreamento registram as áreas atingidas pela dispersão.

Estudos demonstram que a conversão de áreas de floresta em pasto na região amazônica causa a perda por escoamento superficial de 10 vezes a quantidade de água reciclada pelas matas retornando-a ao vapor aquecido nas nuvens (FEARNSTIDE, 2006, p. 32). Portanto, é essencial que se considere como prioridade a manutenção das florestas amazônicas para manutenção destes volumes de energia em potencial químico da chuva para os sistemas produtivos agrícolas, o abastecimento de água doce, a geração de energia e a mitigação das mudanças climáticas globais, com suas tendências de aumento de temperatura e diminuição da umidade relativa do ar.

Águas servidas

Economia de sucesso não tem desperdícios e perdas, apenas subprodutos. Quando se consegue encontrar uso para um subproduto, este se torna uma con-

tribuição à economia e não um fator negativo. Águas servidas provenientes das cidades, das indústrias e da agricultura são valiosas e contêm, muitas vezes, substâncias químicas úteis como nutrientes fertilizantes (nitrogênio, fosfato e potássio). Como este tipo de água tem um alto valor emergético e macroeconômico, deveria ser processado para contribuir à economia. Com o devido cuidado para remover substâncias tóxicas, a maioria das águas servidas pode ser processada para uso florestal ou na agricultura, ou liberada para ajudar na manutenção da vegetação natural, dos solos e da fauna, chegando a apoiar a criação de peixes e o turismo (MIDDLEBROOKS, 1982, p. 66; PULICK, 1985, p. 45).

O papel da energia na economia

Analisando o desenvolvimento histórico da produção, distribuição e do uso da energia nas regiões, pode-se avaliar o potencial das fontes convencionais e alternativas de energia. Usam-se as avaliações emergéticas para examinar o potencial futuro e recomendar políticas energéticas públicas.

Base emergética para a economia

Os principais recursos que contribuem às economias regionais podem ser avaliados em termos emergéticos. Expressando a energia em termos de energia, diferentes tipos de energia podem ser comparados numa mesma base de mensuração em relação à sua capacidade para gerar riqueza verdadeira, ou maior energia incorporada retida no sistema. Os recursos ambientais de energias renováveis, como o sol, o vento e a chuva, contribuem ao desenvolvimento da agricultura, manejo florestal e silvicultura, piscicultura, vegetação original e fauna. Recursos energéticos indígenas representam percentagens relativamente pequenas do uso energético regional em regiões como o estado de São Paulo.

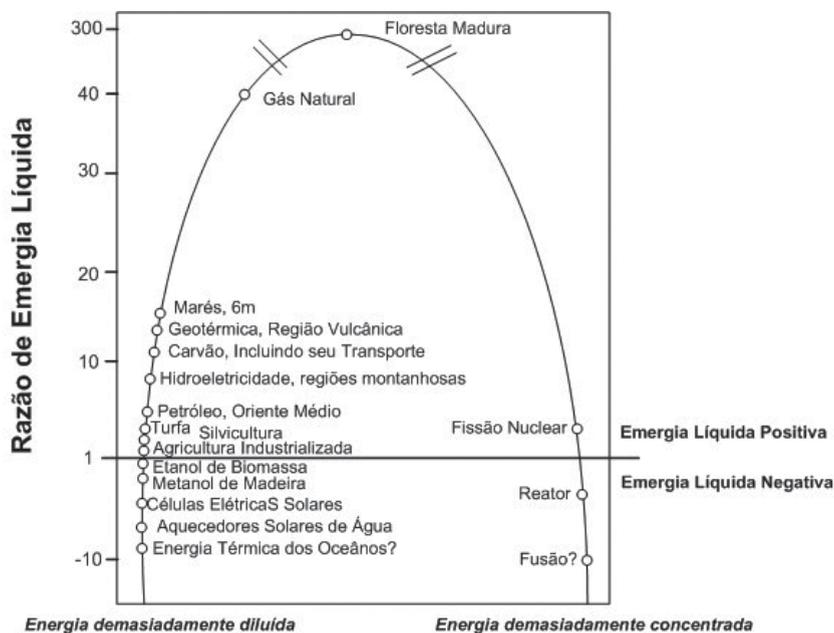
Balço emergético líquido de fontes alternativas de energia

Quais fontes de energia poderiam substituir o petróleo, o álcool, o gás natural e a hidroeletricidade? Para obter sucesso em termos macroeconômicos uma fonte de energia primária deveria ter uma razão de produção líquida de

energia tão alta quanto a razão para compra de petróleo no mercado internacional. É necessário calcular esta razão para o Brasil. Nos Estados Unidos a razão é de cerca de 7 por 1, ou seja, 7 unidades emergéticas resultam do uso de uma única unidade, tornando a economia mais dinâmica. A energia solar, abundante no Brasil, é muito dispersa e despende muito trabalho, ou muita energia incorporada, para ser concentrada para uso. Conseqüentemente, usar tecnologia ou coletar biomassa de plantas para concentrar energia solar em combustíveis produz baixas razões de produção líquida de energia (ODUM, 1983, p. 18). Avaliações, como, por exemplo, a produção de energéticos a partir da cana-de-açúcar, podem ser desenvolvidas para averiguar estas possibilidades. Alternativas como xisto, lignite, o próprio gás natural e a hidroeletricidade também podem ser comparadas pela metodologia emergética. Para isto é preciso inserir estes estudos no gráfico da Figura 20, no qual energéticos alternativos são comparados através do uso da Produtividade Emergética Líquida como parâmetro, ou seja, a razão da quantidade de energia produzida pela utilizada, Y / F .

O eixo horizontal do gráfico representa a quantidade de energia disponível, desde a muito dissipada do sol, difícil de concentrar e usar (necessita de metais, vidros, equipamentos), que fica ao lado esquerdo, até a muito concentrada nos materiais atômicos radioativos, que precisam de sofisticadas instalações, geram calor muito alto, difícil de ser esfriado, com óbvios impactos ambientais e sociais. O eixo vertical quantifica a Razão de Energia Líquida de (Y / F), e, para processos de produção de energia que impulsionem a sociedade, deveríamos superar as 4 unidades.

Figura 20 - Razões de Energia Líquida para tipos de energia de diferentes concentrações.



Fonte: ODUM, 1988, p. 72.

Processos como agricultura intensiva industrializada, extração de etanol da biomassa, ou metanol da madeira, silvicultura, que estão beirando a unidade (1) — tome-se o exemplo da produção de etanol da usina Ester (Página 49) — não fornecem um suficiente “giro” de capital emergético. Quando são inferiores à unidade, estão efetivamente retirando energia de outros setores da economia, sendo, de fato, subsidiados pela sociedade e pela natureza.

Conservação de energia

A eficiência de muitos aspectos do uso de energéticos na região pode ser aumentada. Muitas indústrias usam apenas uma parte do calor que é gerado pelo processamento dos combustíveis. Passando adiante este excesso de energia para outro usuário, o recurso energético inicial gera mais produtos úteis à economia. Algumas indústrias geram eletricidade com o excesso do seu vapor e vendem a energia para utilidades públicas. A cogeração é então

este processo de combinar e integrar os usuários de energia para conservar energia e diminuir custos. Produtores de etanol a partir da cana-de-açúcar, por exemplo, fornecem quantidades relativamente altas de energia para terceiros, embora atualmente os preços pagos para isto não sejam atraentes à indústria. A cogeração tem inúmeras implicações em termos de planejamento regional, de organização territorial rural e urbana e da promoção de um processo educativo do público alvo e da classe política.

Essencialmente, a conservação de energia estimula a economia usando os recursos para processos produtivos. Procura-se também educar os usuários, a sociedade em geral, fato que poderá ter, dependendo dos meios de divulgação e da vontade política, efeitos quase imediatos na demanda de energia. Esta é uma das áreas mais promissoras, especialmente se estiver integrada a um processo contínuo e progressivo de educação popular, sensibilizando os usuários contra o supérfluo e o esbanjamento. O projeto “Qualidade Ambiental e Desenvolvimento Regional nas Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari” aborda esta questão de forma holística no seu terceiro capítulo, “Organização da Sociedade Frente à Degradação Ambiental” (PEREZ et al., 1993, p. 12).

A avaliação emergética do país e as simulações que deveriam acompanhá-la permitem prever os ganhos relativos numa estratégia energética conservacionista.

Análise emergética das rodovias

Rodovias representam algumas das maiores estruturas da economia. Avaliações emergéticas das rodovias têm demonstrado que elas valem diversas vezes mais do que os valores a elas atribuídos pela economia tradicional (ODUM; ODUM; BLISSET, 1987, p. 8). Isto se deve aos altos valores emergéticos dos investimentos em cimento, asfalto, veículos e mão de obra especializada. Assim, uma grande quantidade de energia incorporada está estocada nestas estruturas públicas. A análise emergética de outras infraestruturas da economia urbana, como prédios e utilidades públicas, poderão ter valores similares. O alto valor destas infraestruturas poderá não ser mantido no futuro se anteciparmos a falta de disponibilidade energética. Como, no momento, a depreciação é relativamente lenta, bastante tempo vai passar antes que a

incapacidade de manter as presentes estruturas se torne parte da consciência pública. A redução de infraestruturas excessivas faz parte da estratégia da conservação de energia.

Resíduos sólidos e aterros

Atualmente os resíduos sólidos das sociedades urbanas são enterrados em aterros e a cada ano maiores quantidades de terra são retiradas do seu uso produtivo ou recreativo. O lixo, que contém substâncias tóxicas, é sujeito à lixiviação e estas substâncias percolam para o lençol aquífero. A cada ano que passa as ameaças para a economia aumentam. Numa avaliação emergética do estado do Texas, nos Estados Unidos, já nos anos 80, descobriu-se que o valor total anual estimado da energia presente nas componentes dos resíduos sólidos era de 25,7 bilhões de dólares macroeconômicos, correspondente a cerca de 10% do produto bruto do estado (VAN DER LOOP; HAAIJER; WILLIGERS, 1986, p. 24).

O presente sistema de gerenciamento do lixo representa um dreno na economia. Se estes recursos potenciais pudessem ser reciclados dentro da economia ou distribuídos nos ecossistemas de forma que estimulassem a produção de solo e de vegetação, haveria grande economia de energia, redução de impostos, e uma maior capacidade da economia se tornar competitiva em relação aos mercados externos. Subprodutos não deveriam ser vistos como lixo, mas como recursos para serem usados pelo sistema de suporte ambiental ou pela economia humana (ODUM; ODUM; BLISSET, 1987, p. 32).

Sistemas alternativos de disposição do lixo devem ser investigados e comparados pelos seus valores macroeconômicos, chegando a determinar as melhores opções para a sociedade.

Políticas públicas de energia

Embora valor econômico seja definido como o preço que a sociedade está disposta a pagar para algum serviço ou produto, o valor macroeconômico dentro da metodologia de avaliação emergética é o valor do bem ou serviço para economia pública (ver definições na metodologia). Planos e políticas pú-

blicas deveriam maximizar o valor macroeconômico. Resultados diferentes serão obtidos se, na avaliação da contribuição de um determinado combustível, for usado o seu preço como medida do seu papel na economia, ou se usada sua contribuição energética como esta medida. A questão da conservação de energia e os impostos sobre combustíveis devem ser investigados por este prisma.

Quando os suprimentos de energia são escassos, como no caso de um conflito (II Guerra Mundial, por exemplo), a prioridade deveria ser alocada à agricultura e à indústria. A política contrária foi implementada nos Estados Unidos em 1973, quando da alta do preço do petróleo, onde a prioridade foi colocada no bem estar dos moradores criando uma falta de empregos na indústria e no setor terciário (ODUM; ODUM; BLISSET, 1987, p. 36). Preços cobrados para energia não deveriam ser mais altos para os setores produtivos da economia do que para os consumidores. Grande parte do uso residencial de energia não é essencial e não contribui à produção.

Adaptando a agricultura a um futuro de declínio energético

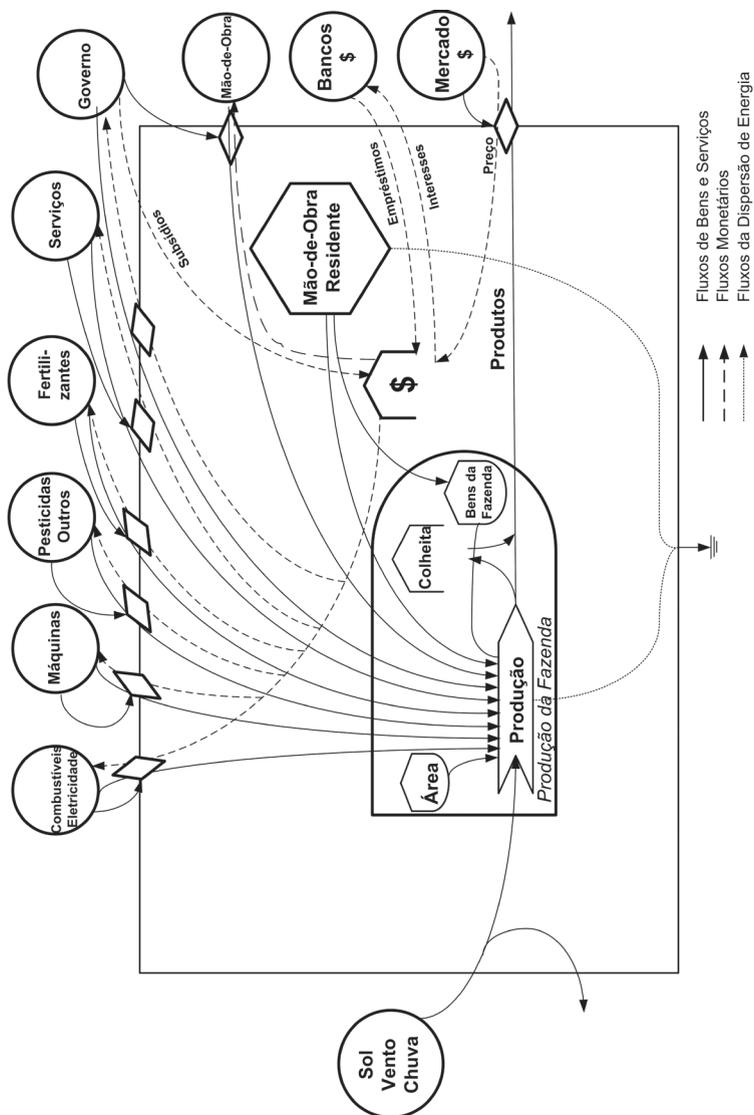
O setor agrícola é uma das principais interfaces entre os recursos renováveis de sol, terra, água e vento e as economias urbanas movimentadas pelo uso de combustíveis.

A Figura 21 mostra as principais contribuições, ou *inputs*, para produção agrícola e suas inter-relações:

- 1) O sol, abundante na região;
- 2) Água, às vezes pouco disponível e em geral pouco valorizada;
- 3) Energia, que também contribui muito mais ao valor macroeconômico — ou seja energético — em dólares equivalentes;
- 4) Terras, cada vez mais nas mãos de poucos proprietários;
- 5) Solos passíveis de erosão, que contenham estoques de energia de milhares de anos de trabalho geológico;
- 6) Grandes máquinas e equipamentos agrícolas, que podem tornar-se muito custosos pelo capital inicial e pela manutenção; e
- 7) Mão de obra, com indefinições trabalhistas e injustiças generalizadas.

Alguns dos *inputs* são gratuitos enquanto outros devem ser pagos. Há uma alta produtividade quando nenhum fator é limitante e a contribuição macroeconômica à economia é maior quando os preços pagos para os diferentes fatores são pequenos.

Figura 21 - Principais contribuições à produção agrícola.



Fonte: COMAR, 1999.

Os principais sistemas de agricultura precisam ser estudados e seus índices energéticos e valores macroeconômicos calculados. Isto permitirá determinar a contribuição macroeconômica do setor agrícola à economia, o que constitui uma indicação realística do seu verdadeiro papel regional. Os produtos agrícolas, ao passar pela economia, atraem recursos combinados que, juntamente, podem, no caso dos Estados Unidos, gerar cerca de um terço da economia (ODUM; ODUM; BLISSET, 1987, p. 46). As populações urbanas são realmente parte de um sistema econômico baseado na produção rural, embora não o percebam.

Com o declínio da disponibilidade de combustíveis fósseis baratos, a base recente das economias urbanas terá que ser reestruturada e a agricultura se fortalecerá como o eixo principal da economia. A economia em geral beneficiar-se-á pelas eficiências na agricultura que adotará a política de substituir *inputs* comprados de alto valor energético com inputs ambientais gratuitos. As políticas agrícolas precisam reconhecer estas tendências inevitáveis para facilitar a adaptação a uma maior escala de agricultura a baixos insumos.

Políticas públicas deveriam manter subsídios para abastecimento de água à agricultura onde estes existem, encorajando ao mesmo tempo a eficiência no seu uso. As atuais pressões para realocar água para usos urbanos estão baseadas na presunção de que o crescimento urbano pode continuar indefinidamente. O argumento usado é que a água deveria ser alocada para seu uso mais valorizado, ou seja, onde é cobrado o maior preço. Os princípios expostos na secção “O Papel da Água na Economia Regional” sugerem que o maior valor macroeconômico da água encontra-se na agricultura. Este uso produtivo, e não apenas de consumo, da água gera uma maior circulação monetária apoiando a produção agrícola, que, por sua vez, cria empregos em toda economia na medida em que os produtos são processados e consumidos. Boa parte da economia é direta ou indiretamente dependente da agricultura e empregos urbanos serão perdidos retirando a água da agricultura para uso dos setores consumidores da economia.

Na medida em que se adotam estes conceitos a produção agrícola tornar-se-á mais competitiva eliminando os custos relacionados ao aumento do custo dos energéticos. A produção para mercados locais diminui custos de transporte. O uso de máquinas e equipamentos menores diminui custos de

combustíveis e compactação do solo. As práticas de conservação do solo retornam *inputs* gratuitos dos organismos vivos e da matéria orgânica no solo e aumentam sua capacidade de retenção de água e nutrientes. Um aumento da confiança nos predadores naturais diminui o uso dos pesticidas, assim como a presença de áreas de matas nativas, fonte de alimentos para insetos, desviando-os das lavouras.

Um maior preço dos produtos agrícolas, como resultado da valorização da produção do campo incentivará o retorno de populações agrícolas tradicionais ao seu meio de sustento e atrairá outros segmentos da população a optar para produção rural como uma melhoria na sua qualidade de vida, com maiores investimentos em infraestruturas de educação, saúde e lazer, estradas, energia e comunicações.

Agricultura como fonte de energia

O cálculo, pela metodologia emergética, das razões de produção líquida de energia para vários sistemas de produção agrícola verificam a percentagem de energia produzida pela investida. Isto resulta numa medida de eficiência do sistema estudado. Vários estudos mostram que produção de biomassa como cana-de-açúcar e silvicultura tem pequenas razões de produção líquida de energia de 2 a 3, ou até menos disto (ODUM, BROWN, CHRISTIANSON, 1986, p. 30; COMAR, 1994). Este tipo de produção não pode competir com os combustíveis fósseis disponíveis no momento que tem razões bem mais elevadas. Quando os combustíveis fósseis tornar-se-ão mais caros a produção de biomassa poderá vir a competir.

Na medida em que o petróleo, o gás natural, e os subprodutos se tornam mais escassos e mais preciosos, seu valor como fontes de energia será reduzido e a importância da agricultura como fonte potencial de energia líquida aumentará. A agricultura terá que contar menos com este tipo de *inputs* e combustíveis; fertilizantes químicos e pesticidas deverão ser substituídos por sistemas mais adequados de controle biológico, reorganização espacial das unidades produtivas e modificações na alocação de mão de obra. O uso da terra e da mão de obra terá que ser feito em tal maneira que possa aumentar a eficiência no uso dos *inputs* ambientais para que a agricultura se torne fonte

de energia líquida. A meta será um *optimum* operacional de produção e não um máximo.

Enquanto a agricultura convencional procura simplificar os sistemas produtivos para diminuir custos, uma visão baseada na compreensão da importância das teias alimentares e da biodiversidade nos sistemas naturais reforça a necessidade de se buscar diversidade produtiva e sistemas produtivos mais sinérgicos e integrados.

Logicamente, isto requer uma mudança de percepção e um esforço notável no treinamento e capacitação dos agricultores para saber lidar com esta complexidade, enquanto as questões econômicas, de mercado, distribuição e consumo devem ser repensadas na lógica de um comércio justo e solidário. A emergência da agroecologia e da transição gradativa das unidades de produção atuais para estes novos sistemas produtivos são sintomáticas da urgente necessidade de mudança.

Políticas agrícolas e o futuro

A razão de investimento por energia de fontes naturais é um índice útil para determinar quais setores da agricultura são econômicos e apropriados num determinado momento. Na medida em que a razão de investimento por energia nacional diminui gradualmente, os custos, incluindo os salários, têm que descer — algo que já se verificou em muitas indústrias nos Estados Unidos (ODUM; ODUM; BLISSET, 1987, p. 13).

Uma menor razão de investimento por energia na agricultura pede mais mão de obra e menos máquinas e providencia uma oportunidade para mais empregos. Necessita-se providenciar uma maior energia na terra, hortas e pomares para os trabalhadores poderem melhorar a sua qualidade de vida e iniciativas individuais e coletivas sem aumentar muitos seus custos. Políticas agrícolas que encorajam agricultura de altos insumos, devido à indisponibilidade de terra, podem retardar as reduções de custos necessárias para um declínio na razão de investimento por energia. O princípio é de que mais terra deveria ser usada, e não menos, e os subsídios poderiam ser ligados à razão de investimento. A canalização de amplos territórios confronta diretamente este princípio.

Na medida em que os custos dos combustíveis aumentam, tornando os custos do frete demasiadamente caros, a agricultura local poderá competir com as importações. Manter produtos agrícolas para consumo local e não para exportação é um benefício emergético líquido para a economia. Estas tendências sugerem alto potencial agrícola para regiões como o estado de São Paulo, já uma das mais produtivas do país, e para o Centro Oeste.

CONCLUSÕES

Uma nova maneira de repensar, recalibrar e reengenheirar

Quando os custos de toda a contribuição da natureza à produção dos recursos naturais, originando nossa matéria prima, são adicionados aos processos de produção, tanto agrícola quanto industrial, uma verdadeira revolução acontece na nossa percepção da vida.

Primeiro, reconhecemos o real valor do apoio que estamos recebendo dos serviços da natureza, que temos desfrutado de forma agressiva e predatória. Isto nos torna mais humildes e mais sábios, mais sensíveis e, sobretudo, mais amantes daquilo que subconscientemente desconfiávamos ser tão importante: a terra, nossa pátria comum, plataforma de lançamento de nossa infinita aventura espiritual. Tornamo-nos mais felizes em sabermos que temos instrumentos para modificar a nossa qualidade de vida, a começar pelo conhecimento de causa e efeito e implementando mudanças gradativas, mas de peso, na administração das nossas sociedades — desde processos de produção de alimentos e energia, a planejamento regional e urbano, com suas implicações de processos descentralizados, mais autonomia local e regional, diminuição da carga energética nos transportes, diluição da morosa dependência da importação de insumos, maquinários e apoio técnico, o “pacote tecnológico” — na busca por sistemas sociais e econômicos mais cooperativos, transparentes e eficientes na gestão do patrimônio humano e natural. Uma macroeconomia que entrelaça ser humano e natureza em uma contabilidade comum, uma simbiose e sinergia dignas dos guardiões do planeta que deveríamos ser.

Segundo, esta sensibilidade acrescida exige que planejemos de acordo. Todos os processos serão revistos sob essa nova luz: educação, agricultura, indústria, saúde, construção, transporte, comércio, intercâmbios e informação, legislação e, principalmente, novas fronteiras de pesquisa. Os resultados destas

pesquisas, expressos e implementados em orientações, direcionamentos, normas e padrões, terão altíssimo valor emergético, podendo assim movimentar e dirigir de forma mais sábia a sociedade, lembrando que, maior o valor emergético, maior o impacto cadeia abaixo, maior o volume e as massas sendo redirecionadas.

Terceiro, esta nova valoração da agricultura, dos recursos hídricos e dos serviços funcionais, estéticos e espirituais providenciados pelo ambiente, vai redimensionar nossa escala de valores exigindo novas soluções de função e de uso do território e das terras agrícolas. Temos que alegrar nossa vida de ferro e concreto em ambientes mais amenos de trabalho, lazer e recompor as energias, melhor proporcionadas à escala humana e ligadas a ciclos biológicos e ecológicos mais amplos.

No livro *Um declínio próspero (A prosperous way down)*, Howard e Elisabeth Odum (ODUM; ODUM, 2008) consideram formas de um futuro próspero e pacífico com menor uso de combustíveis fósseis. Orientam políticas de planejamento e gestão de nações, estados e localidades, em busca de formas de adaptação a um futuro de rápido aumento na competição pelo uso da energia. Argumentam que, embora a história registre o colapso de várias civilizações, algumas sociedades e os ecossistemas nos quais elas eram inseridas, conseguiram declinar de forma ordenada, reduzindo suas demandas, selecionando e salvando o essencial. Recomendam, então, uma sociedade mundial mais equitativa e cooperativa, sugerindo especificamente uma melhor distribuição global de riqueza e de fontes de energia; uma revisão e reengenharia, à luz dos atuais desafios globais, de práticas de conservação, desenvolvimento urbano, capitalismo, comércio internacional, tecnologia da informação e educação. Provocam-nos e nos forçam a confrontar nosso futuro comum, providenciando tanto uma diretriz ordenadora quanto um chamado à ação com esta análise pragmática de uma transição global.

Desponta uma mudança de paradigma, com os valores da atual economia em crescimento: maior tamanho, maior velocidade e competição acirrada teriam que ser substituídos pelos valores de uma economia em declínio: menores tamanhos, mais eficiências e um maior nível de cooperação em todas as escalas. Para tanto, é necessário preparar as pessoas por um amplo processo educacional, de planejamento e gestão das políticas públicas.

Nesta mesma obra, os autores listam três exemplos de avaliação histórica em que a metodologia emergética tem esclarecido os eventos estudados. Em todos os casos, a sistematização da quantidade de estoques e fluxos de energia, contida nos produtos e processos em curso, tem possibilitado avaliar e comparar as componentes e fatores envolvidos, aumentando a compreensão dos fenômenos em tela.

O primeiro exemplo citado foi o domínio da Suécia do norte da Europa no século XVII (SUNDBERG et al., 1994), devido à contribuição emergética das madeiras das florestas suecas e ao minério de ferro para processar o carvão, obtendo aço para construir navios, refinar prata e pagar a importação de bens e serviços.

O segundo, a vitória dos Estados do Norte na Guerra Civil Americana (WOITHE, 1994), devido à importância dos recursos naturais locais, juntamente ao comércio exterior, aos escravos, ao investimento econômico e aos armamentos, aumentando seu nível de energia disponível.

O terceiro, na economia internacional (ODUM, 1996), o crescimento econômico e político dos Estados Unidos nos últimos dois séculos, devido aos fartos recursos, principalmente combustíveis fósseis e derivados do petróleo, aumentando também a disponibilidade de energia interna do país. Agora estes recursos estão findando e o país entra num período de forçado declínio, precisando urgentemente de uma profunda reformulação dos seus padrões de produção e consumo.

A reflexão sobre estes exemplos — com suas amplas e profundas implicações nos padrões subsequentes de desenvolvimento mundial — aponta para a contribuição essencial da Avaliação Emergética em relação à percepção do real valor da Amazônia, seus povos e florestas, colocando seu zoneamento, políticas de ocupação e gestão territorial em condição de prioridade estratégica, histórica e hierárquica das mais elevadas no presente momento da humanidade, confiando ao Brasil, retentor da maior parte do seu território, um papel e missão da mais alta responsabilidade perante os povos do mundo e seu futuro comum. Uma condição que futuras gerações lembrarão e cobrarão.

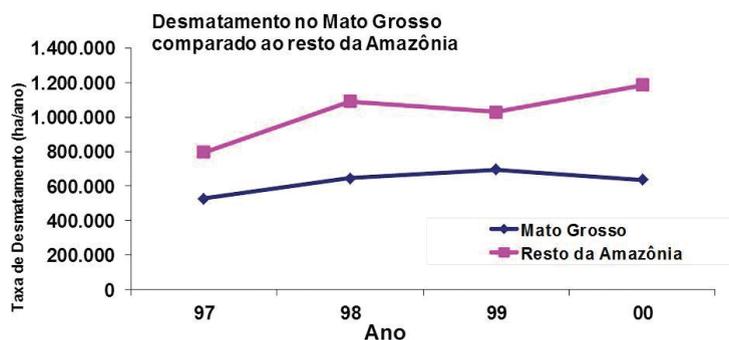
A diversificada e real importância econômica de serviços ambientais e produtos da floresta amazônica mantida em pé, além da função de estabilização climática mundial e seu valor intrínseco e estético para nossa e futuras

gerações — como a manutenção da distribuição nacional e internacional de grandes volumes de precipitação, o estoque de carbono, a conservação da biodiversidade e a riqueza ainda incalculável da floresta, com a avaliação emergética indica o estado de transição seu estoque de espécies vegetais com propriedades fitoterápicas, óleos essenciais e inúmeros produtos de extrativismo passíveis de exploração, manejo sustentável e agregação de valor; as questões socioambientais da preservação das culturas indígenas e ribeirinhas — fazem desta uma questão de estratégica relevância e de alerta vermelho para o Brasil.

Queremos chuva? Vamos cuidar da Amazônia!

Novamente, um caso de mudança de valores e de políticas públicas em sintonia com as necessidades deste novo momento. Há capacidade técnica para isto, como demonstrado pelo programa de autuação *on-line* dos desmatamentos e queimadas ilegais que foi implantado no estado de Mato Grosso em 1999 pela FEMA⁴, com duração de apenas dois anos. O resultado claro foi que, enquanto no restante da Amazônia brasileira a taxa de desmatamento aumentava, houve, após o seu estacionamento, uma clara diminuição na mesma taxa pela aplicação de pesadas multas e outras medidas legais (FEARNside, 2003. Figuras 22 e 23).

Figura 22 - Comparação das taxas de desmatamento em Mato Grosso e na Amazônia Legal.



Fonte: FEARNside, 2003.

4 FEMA – Fundação do Meio Ambiente do Mato Grosso; programa para licenciamento e controle do desmatamento, entre 1999 e 2001.

Figura 23 - Estado de Mato Grosso, atuação da fiscalização em área de desmatamento ilegal.



Fonte: FEARNSIDE, 2003.

O que deve mudar

Trocas, serviços e relações comerciais internacionais deverão pesar energeticamente suas transações e acordos. Além disso, deverá haver um poderoso convênio internacional de aceitação e implementação global, garantido por um executivo internacional de caráter representativo e consultivo, e uma força policial internacional, que possam avaliar, legislar e controlar os recursos naturais e seu uso.

Pacotes tecnológicos, bancos genéticos, patentes, inclusive os princípios ativos dos fármacos, a atuação das multinacionais e o papel das religiões deverão ser avaliados por grupos multidisciplinares de peritos, internacional e nacionalmente, que emitirão pareceres claros e transparentes à sociedade que estão servindo.

Órgãos de planejamento, em todos os níveis e áreas, deverão forçosamente adquirir esta nova perspectiva e planejar de acordo, lançando mão desde o início de processos participativos dos vários segmentos da sociedade, o que implicará na necessidade de que todos tenham uma educação que desenvolva uma percepção global e específica dos vínculos e princípios das relações ser humano/ambiente e da redefinição planejada e construída dos nossos padrões de produção e consumo.

Instituições de pesquisa e ensino deverão cada vez mais entrar na arena da extensão para proporcionar aqueles serviços e atitudes necessários ao

desenvolvimento das soluções dos problemas prioritários. A natureza das investigações as obrigará a estruturar metodologias de ensino e pesquisa multidisciplinares e interdisciplinares, com uma socialização dos resultados e redirecionamentos que as forçarão a lançar mão dos meios e técnicas de comunicação de massa na desmistificação do seu saber.

Nossas cidades, as megalópoles, as conurbações (conjuntos intermináveis de cidades contíguas), devem ceder lugar a um sistema hierárquico de assentamentos mais modestos, inseridos sustentavelmente nos seus ecossistemas e biomas. Seus raios de atuação deverão ser mais regionais em geral, com contribuições específicas e criativas, em particular para o mundo afora, tanto em bens quanto em ideias, artes e experiências. Sua organização interna, funcional e espacial deve nos permitir redescobrir a urbanidade, o sentido de pertencer, de identificar-se com algo bom, característico, simpático e confortável, algo a ser lembrado com carinho quando distante, algo que tenha uma escala humana, onde se possa andar com os filhos de mãos dadas por caminhos verdes, sentindo o perfume da primavera e percebendo os pássaros chilreando.

Isto é possível! Não é apenas um sonho relegado à memória de um computador solitário. Podemos planejar nossas cidades, é só colocar o homem antes das máquinas, as pernas antes das rodas, o coração antes do bolso e o espírito antes da satisfação imediata. “Para o amante não há dificuldades, tudo é fácil, e sempre há tempo” (‘ABDU’L-BAHÁ, 2003, p. 19).

Nossa agricultura deve servir ao homem imediato, perto dela. Deve saciar sua fome e equilibrá-lo pelo fato de estar ligada às mesmas solicitações ecológicas e, indo mais longe, cósmicas. Monoculturas de exportação apenas abastecem alguns indivíduos enquanto criam dependências indesejáveis tanto do ponto de vista econômico, pela ampla importação de pacotes tecnológicos (insumos, derivados de petróleo, maquinários pesados e caros com necessidade constante de manutenção e apoio técnico), quanto do social, cativando inteiras populações sem alternativas econômicas, quanto do biológico, empobrecendo geneticamente os estoques das culturas que se tornam viciadas, com baixa resposta à crise e diminuída força interna. Estas mesmas monoculturas, como demonstrado amplamente pelo estudo de casos apresentados, exportam grandes quantidades de energia, recebendo ínfimas percentagens em troca. O dreno dos países pobres para os países ricos não pode ser subsidiado por

mais esta geração de cientistas! Sem falar no empobrecimento progressivo dos solos, pela falta da mesofauna edáfica, pela lixiviação das camadas superficiais e pela compactação das máquinas, e na poluição dos lençóis freáticos, a água do subsolo, como já acontece em várias áreas do estado de São Paulo.

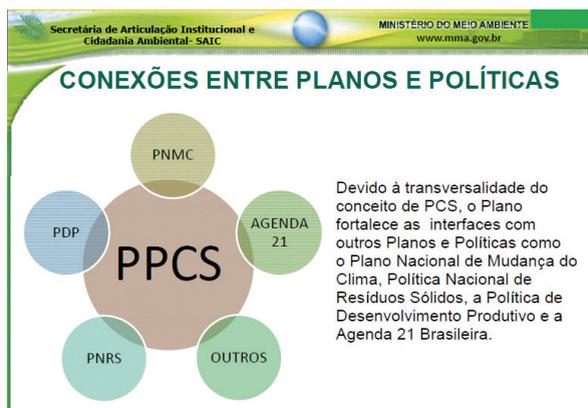
Novos sistemas, em uma nova escala, integrados entre si devem ser buscados nas tentativas do movimento da agricultura orgânica, que respeita a sabedoria dos ciclos e os princípios naturais. Devem ser atrelados a economias cooperativas e participativas que agreguem valor aos seus produtos por uma industrialização escalada à necessidade regional. Excedentes deveriam ser planejados somente após terem sido satisfeitas as demandas prioritárias locais, e deveriam estar ligados a características específicas dos ecossistemas que os sustentam.

Integração das políticas públicas – o maior desafio

O desafio de integrar as políticas públicas não exclusivamente brasileiro, o maior obstáculo para qualquer planejamento e sua implementação, independente das metodologias a serem adotadas, é a falta de integração das políticas públicas nos três níveis de governo: federal, estadual e municipal. Governos, em cada nível, são eleitos por coalisões entre partidos; quando da posse, os ministérios, departamentos e secretarias são loteados entre estes partidos, os quais estabelecem seus planos, procedimentos de gestão e critérios de avaliação de acordo com suas ideologias, tornando praticamente impossível o desenvolvimento de planejamento e gestão integrados. Tentativas de integração, como a criação do Ministério de Integração, o desenvolvimento do Plano Nacional de Produção e Consumo Sustentáveis (PPCS, Figura 24), a proposta de uma Avaliação Ambiental Estratégica para o país, são fadadas ao fracasso. Não há interesse político, nem estrutura funcional para oferecer suporte a estas importantes iniciativas.

De fato, a única esperança concreta está em uma articulação de fatores, promovendo uma cidadania mais plena e concreta pelo fortalecimento do capital social, resultante de um processo educativo que permita real participação nas grandes questões brasileiras; pela negociação entre a sociedade organizada, o empresariado e o governo, com ampla atuação das universidades e centros de pesquisa, assumindo suas funções sociais de mentoras da sociedade e seu sistema de valores.

Figura 24 - Componentes do Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis (PPCS). Neste esforço de integração das políticas públicas nacionais, o PPCS procura reunir os processos de planejamento e gestão do Plano Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC), da Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP), da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), da Agenda 21 (estadual e local), da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), entre outros.



Fonte: Ministério do Meio Ambiente-MMA, 2011.

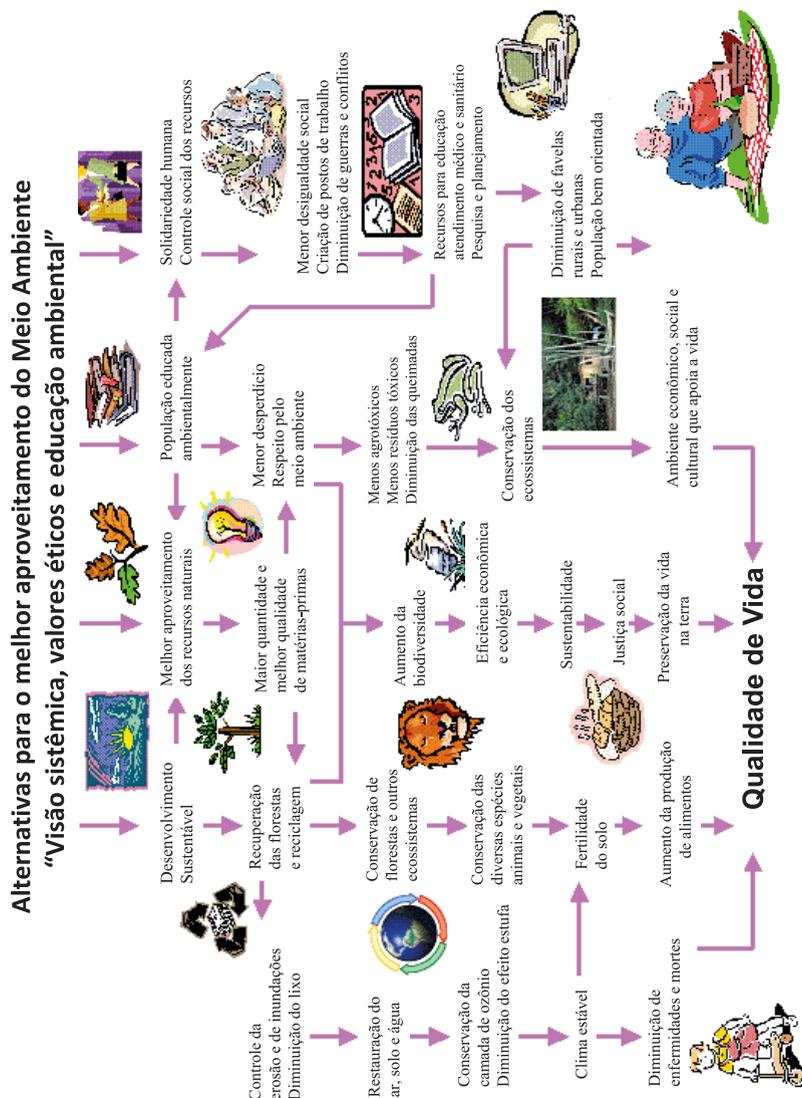
Somente neste diálogo, focado na identificação e construção de um modelo de desenvolvimento mais humano e menos predatório, poderão ser estabelecidas as bases conceituais e reais para novas formas de uso da terra, dos seus recursos, da governança, do planejamento e gestão do nosso futuro comum. O conjunto destas componentes é expresso no mapa conceitual “Visão sistêmica, valores éticos e educação ambiental” (Figura 25, ORTEGA)⁵.

A partir da solidariedade humana, da busca de um desenvolvimento mais sustentável em todos os setores de forma participativa — com melhor distribuição dos benefícios do progresso —, de uma educação socioambiental mais abrangente e inclusiva, do melhor aproveitamento e uso dos recursos naturais, a sociedade humana se torna mais esclarecida sobre seus propósitos e meios de desenvolvimento. Seguindo este processo, pode-se alcançar uma qualidade de vida adequada para todos, com erradicação dos preconceitos, eliminação da fome e da pobreza, equilíbrio das relações políticas e econômicas

5 ORTEGA, E. (Laboratório de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada – LEIA, Faculdade de Engenharia de Alimentos – FEA, Unicamp). Comunicação pessoal, 2010.

internacionais, tendo conservadas nossas florestas, mantida a biodiversidade, estabilizadas as mudanças climáticas e diminuídas as favelas rurais e urbanas. O conhecimento deveria resgatar o melhor do ser humano e colocá-lo no caminho do serviço dos menos afortunados.

Figura 25 - Mapa conceitual da visão sistêmica, valores éticos e educação ambiental.



Fonte: ORTEGA, E.; FEA-Unicamp. Comunicação pessoal, 2010.



BIBLIOGRAFIA

- 'ABDU'L-BAHÁ. **O segredo da civilização divina**. 1. ed. Mogi Mirim-SP: Editora Bahá'í, 2003. 137 p. Original em persa de 1875.
- AYRES, R. **Resources, environment, and economics: applications of the materials/energy balance principle**. Nova Iorque: Wiley-Interscience, 1978.
- _____; NAIR, I. Thermodynamics and economics. **Physics Today**, v. 37, n. 11, p. 62-71, Nov. 1984.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Editora Ícone, 1995. 356 p.
- BOLTZMANN, L. The second law of thermodynamics. **Populare Schriften**. Essay n. 3. (Address to Imperial Academy of Science in 1886). Reprinted in English in: *Theoretical Physics and Philosophical Problems, Selected Writings of L. Boltzmann*. D. Reidel, Dordrecht. Holanda, 1905.
- BROWN, M. T.; MCLANAHAN, T. R. **Emergy analysis perspectives of thailand and mekong river dam proposals**. Report to the Cousteau Society, Center for Wetlands and Water Resources. University of Florida, Gainesville, 1992. 60 p.
- CANTER, L. **Environmental impact assessment**. Nova Iorque: McGraw Hill, 1977.
- CAPRA, F. **O ponto de mutação**. São Paulo: Editora Cultrix, 1982. 447 p.
- CARNOT, S. **Reflections on the motive power of heat and on machines fitted to develop that power**. Londres: Macmillan, 1824 apud ODUM, H. T. **Systems ecology. An introduction**. Nova Iorque: John Wiley and Sons – Interscience, 1983. 644 p.
- CLEVELAND, C. J. Biophysical economics: historical perspective and current research trend, **Ecological Modeling**, n. 38, p. 47-73. 1997. Publicado inicialmente em 1987.
- CLEVELAND, C. J.; COSTANZA, R.; HALL, C. A. S.; KAUFMANN, R. Energy and the U.S. economy: a biophysical perspective. **Science**, 225, p. 890-897, 1984.
- COMAR, M. V. Applying HT Odum's concepts and principles in developing countries. **Ecological Modelling**, n. 178, p. 171-175, 2004.
- _____. **Avaliação emergética da população humana e dos recursos naturais do Parque Nacional do Jaú: uma interface entre a ecologia e a economia – estudo decorrente de uma excursão científica multidisciplinar coordenada pela Fundação Vitória Amazônica**. Manaus, AM. 1992.

_____. **Avaliação emergética de projetos agrícolas e agroindustriais no Alto Rio Pardo:** a busca do desenvolvimento sustentável. 1998. 197 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos)–Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas. 1999.

_____. **Uma avaliação emergética da cidade de Itacoatiara, na Amazônia Central, sua indústria de compensado e laminados e a várzea da Bacia do Rio Madeira.** 1994. 145 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas)–Curso de Pós-Graduação em Ecologia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, 1994.

_____; ORTEGA, E. Energy evaluation of the production of sugarcane, alcohol and sugar at the Ester sugar processing plant in Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE ISEE RUSSIAN CHAPTER: SOCIO-ECOLOGICAL-ECONOMIC SYSTEMS: FROM INFORMATION AND SIMULATION TO PRACTICAL SOLUTIONS, 2, 1995, Pereslavl-Zalessky, Russia. **Anais...** Russia, July 16-21, 1995, p. 12-13.

COOK, C. **Man, energy, society.** San Francisco: Freeman, 1976. 478 p.

COTTRELL, W. F. **Energy and society.** Nova Iorque: McGraw-Hill, 1955. 330 p.

DALY, H. E. The circular flow of exchange value and the linear throughput of matter-energy: a case of misplaced concreteness. **Review of Social Economy**, p. 279-297, dec. 1985.

DE GROOT, S. R. **Thermodynamics of irreversible processes.** Amsterdam: North-Holland, 1952.

EAGLESON, P. S. The emergence of global-scale hydrology. **Water Resources Research**, v. 22, n. 9, p. 6-14, 1986.

ENGELS, F. **Karl Marx and Frederick Engels: selected correspondence – 1846-1895.** v. 29. Marxist Library. Nova Iorque: International Publishers, 1942. Publicado inicialmente em 1882.

FEARNSIDE, P. M. Deforestation control in Mato Grosso: a new model for slowing the loss of Brazil's Amazon forest. **Ambio**, v. 32, n. 5, p. 343-345, 2003.

_____. Environmental services as a basis for the sustainable use of tropical forests in Brazilian Amazonia. In: ORTEGA, E.; ULGIATI, S. (Ed.). IV INTERNATIONAL BIENNIAL WORKSHOP ADVANCES IN ENERGY STUDIES: ENERGY-ECOLOGY IN LATIN AMERICA, 2006, Campinas. **Anais...** Campinas, SP: Gráfica da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2006. p. 31-36. 484 p.

_____. Environmental services as a strategy for sustainable development in rural Amazonia. **Ecological Economics**, n. 20, p. 53-70, 1997.

FONSECA, M. G. de. Medidas de atividade econômica. In: Universidade de São Paulo. **Manual de Economia.** São Paulo: Saraiva Editora, 1991, p. 173-187.

FRIEDMAN, M. THE AMERICAN ECONOMIC ASSOCIATION CONFERENCE, 1972. **Annals...** 1972 apud CAPRA, F. **O ponto de mutação.** São Paulo: Editora Cultrix, 1982. 447 p.

FUNDAÇÃO VITÓRIA AMAZÔNICA. **Plano de manejo do Parque Nacional do Jaú**. Versão 8. Manaus, 1998.

GEORGESCU-ROEGEN, N. Comments on the papers by Daly and Stiglitz. In: SMITH, V. K. (Ed.). **Scarcity and Growth Reconsidered**. Baltimore, M. D.: John Hopkins University Press, 1979. p. 95-105.

GIBBS, J. W. **Elementary principles in statistical mechanics**. Yale University Press, 1901. Collected Works, v. II. Reimpresso em 1948 apud ODUM, H. T. **Systems ecology. An introduction**. Nova Iorque: John Wiley and Sons – Interscience, 1983. 644 p.

HALL, C. A. S.; CLEVELAND, C. J.; KAUFMANN, R. **Energy and Resource Quality: The Ecology of the Economic Process**. Nova Iorque: Wiley-Interscience, 1986. 577 p.

HALL, C. A. S.; DAY, J. W. **Ecosystem Modeling in Theory and Practice**. Nova Iorque: John Wiley and Sons, 1977. 684 p.

HALL, P. **Urban and regional planning**. Middlesex, Inglaterra: Penguin Books, 1975. 312 p.

HANNON, B. M. The structure of ecosystems. **Journal of Theoretical Biology**, v. 41, n. 3, p. 535-546, Oct. 1973.

HANNON, B. M. F. Dynamic Modeling. In: HALL, C.A.S.; CLEVELAND, C. J.; KAUFMANN, R. (Ed.). **Energy and resource quality: the ecology of the economic process**. Nova Iorque: Wiley-Interscience, 1986.

JEVONS, W. S. **The theory of political economy**. 4. ed. Londres: Macmillan, 1871. Edição de 1911 apud CAPRA, F. **O ponto de mutação**. São Paulo: Editora Cultrix, 1982. 447 p.

JORGENSEN, S. E.; MEJER, H. Ecological buffer capacity. **Ecological Modelling**, n. 3, p. 39-61, 1977.

JUDAY, C. The Annual Energy Budget of an Inland Lake. **Ecology**, v. 21, n. 4, p. 438-450, Oct. 1940.

KAYSEN, C. The computer that printed out W * O * L * F. **Foreign Affairs**, n. 50, p. 660-668, 1972.

LINDEMAN, R.L. The Trophic-Dynamic Aspect of Ecology. **Ecology**, v. 23, n. 4, p. 399-417, Oct. 1942.

LOTKA, A. J. Contribution to the energetics of evolution. In: NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 8, 1922a. **Proceedings**... p. 147-155, 1922a.

_____. Natural selection as a physical principle. In: NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 8, 1922b. **Proceedings**... p.151-154, 1922b.

MARX, K. **O capital: crítica de economia política – Livro I: o processo de produção do capital**. Tradução de Rubens Enderle. São Paulo: Boitempo, 2013. 113 p.

MIDDLEBROOKS, E. J. **Water Reuse**. Ann Arbor, Michigan: Ann Harbor Science Publishers, 1982.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Cidades Sustentáveis**: subsídios à elaboração da Agenda 21 brasileira. Brasília: Consórcio Parceria 21 IBAM-ISER-REDEH, 2000.

_____. **Plano de Ação Para Produção e Consumo Sustentáveis – PPCS**. Sumário Executivo. Brasília, DF: MMA, 2011. 34 p.

MUNN, R. E. **Environmental impact assessment**. Scope 5. Nova Iorque: John Wiley and Sons, 1979.

ODUM, H. T. Biological circuits and the marine systems of Texas. In: OLSON, T. A.; BURGESS, F. J. (Ed.). **Pollution and marine ecology**. Nova Iorque: John Wiley and Sons – Interscience, 1967, p. 99-157.

_____. Energy and evolution. In Preprints of the 33rd Annual Meeting of the International Society for System Sciences, Edinburgh, Scotland, Vol. 3. July 2-7, 1989.

_____. Energy analysis overview of Brazil. **Energy systems overview of the Amazon Basin**. Gainesville, Flórida: Center for Wetlands Publication, University of Florida, 1986.

_____. Energy quality and carrying capacity of the earth. **Trop. Ecol.**, v. 16, n. 1, p. 1-8, 1976.

_____. **Environmental accounting**: Energy and environmental decision making. New York: John Wiley e Sons, 1996. 384 p.

_____. **Environment, power and society**. Nova Iorque: John Wiley and Sons – Interscience, 1971. 336 p.

_____. Self-organization, transformity, and information. **Science**. 242, p. 1132-1139, 1988.

_____. **Systems ecology. An introduction**. Nova Iorque: John Wiley and Sons – Interscience, 1983. 644 p.

_____. The emergy of natural capital. In: JANSSON, A. M., FOLKE, C., COSTANZA, R. (Ed.). **Investing in natural capital**. Covelo, CA.: Island Press, 1994, p. 200-212.

_____. ARDING, J. E. **Emergy Analysis of Shrimp Mariculture in Ecuador**. Working Paper prepared for Coastal Resources Center, University of Rhode Island, Narragansett. 1991. 124 p.

_____; BROWN, M. T.; CHRISTIANSON, R. A. **Energy systems overview of the Amazon Basin**: report to The Cousteau Society. Gainesville, FLA: Center for Wetlands, University of Florida, 1986. 190 p.

_____; ODUM, E. C. **A prosperous way down**: principles and policies. Boulder, CO.: University Press of Colorado, 2008. 344 p.

_____; _____. **Emergy analysis overview of nations**. Working paper of the International Institute for Applied Systems Analysis. Luxemburg, Austria, 1983.

_____; _____. BLISSET, M. Ecology and economy: emergy analysis and public policy in Texas. In: LYNDON, B. **Policy Research Project Report**. Austin: Johnson School of Public Affairs/ University of Texas, USA. 1987. 178 p.

_____; _____. BROWN, M. T. **Environment and society in Florida**. Boca Raton, Flórida: Lewis Publishers, 1998. 449 p.

OLIVEIRA, J. A. da R. **O ecodesenvolvimento e a mudança de paradigmas**. 1993. 107 p. Monografia (Graduação em Economia)–Universidade do Amazonas (FUA). Manaus, 1993.

ONSAGER, L. Reciprocal relations in irreversible processes. **Physics Review**, v. 37, 1931 apud ODUM, H. T. **Systems ecology. An introduction**. Nova Iorque: John Wiley and Sons – Interscience, 1983. 644 p.

OSTWALD, W. **The modern theory of energetics**. *Monist*, 17, p. 511, 1907.

PARRISH, W. **An outline of technocracy**. Nova Iorque: Rinehart, 1933.

PEREZ, A. F.; HOGAN, L. H.; JANNUZZI, G. P.; FREITAS, H. L. F. **Qualidade ambiental e desenvolvimento regional nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari**. Unicamp, Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais da Universidade Estadual de Campinas, 1993. 66 p.

PODOLINSKY, S. Menschliche arbeit und einheit der kraft. **Die Neue Zeit**, v. 1, set. 1883.

PRIGOGINE, I. **Introduction to thermodynamics of irreversible processes**. 2. ed. Nova Iorque: John Wiley e Sons – Interscience, 1955. 119 p.

PULICK, W. M. **Vascular plant production in southern texas and limitations by nutrient or freshwater inflow stress**. Port Aransas: The University of Texas Marine Science Institute, 1985. Project proposal.

ROGERS, R. **Cidades para um pequeno planeta**. Barcelona: Gustavo Gili, 2005.

ROSSETTI, J. P. **Contabilidade social**. 6. ed. São Paulo: Editora Atlas, 1991. 320 p.

SACHS, I. **Eco desenvolvimento: crescer sem destruir**. Coleção Terra dos Homens. São Paulo: Edições Vértice, 1981. 207 p.

_____. **Espaços, tempos e estratégias do desenvolvimento**. São Paulo: Vértice. 1986. 224 p.

SCHMIDT, A.; LIST, H. L. **Material and energy balances**. Nova Jersey: Englewood Cliffs Prentice-Hall, 1962.

SCHUBART, H. O. et al. **Relatório da excursão ao rio Jaú com a instalação de uma reserva natural**. Manaus, AM: INPA. 1977.

SCOTT, H. **Introduction to technocracy**. Nova Iorque: J. Day, 1933.

SHOPLEY, J. B.; FUGGLE, R. F. A comprehensive view of current environmental impact assessment methods and techniques. **Journal of Environmental Management**, v. 18. p. 25-47, 1984.

- SIMON, J. **The ultimate resource**. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1981. 415 p.
- SIZER, N.; CARVALHO, B. **Levantamento socioeconômico do Parque Nacional do Jaú**. Manaus, AM: Fundação Vitória Amazônica, 1991.
- SMITH, A. **An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations**. Nova Iorque: Modern Library Editors, 1937. Original de 1776.
- SMITH, N. **A pesca no Amazonas**. Manaus, AM: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA, 1974.
- SODDY, F. **Cartesian economics**. Londres: Henderson, 1922a.
- _____. **Cartesian economics and the bearing of physical science upon State Stewardship**. Londres: Hendersons, 1922b.
- _____. **Matter and energy**. Londres: Oxford University Press, 1912.
- _____. **Wealth, virtual wealth, and debt: The Solution of the Economic Paradox**. Nova Iorque: E.P. Dutton & Co., 1926.
- SOLOW, R. M. The economics of resources or the resources of economics. *The American Economic Review*. **American Economic Association**, v. 64, n. 2, p. 1-14. 1974.
- SUNDBERG, U. et al. Forest energy basis for swedish power in the 17th Century. *Scandinavian Journal of Forest Research*, suppl. 50 p., 1994.
- SUNKEL, O.; PAZ, P. **A teoria do desenvolvimento econômico**. São Paulo: Difel, 1976. 243 p.
- VAN DER LOOP, B. **Solid Waste and Recycling**. Universidade do Texas, Austin, LBJ School of Public Affairs, 1986. p. 235-255. Relatório não publicado de projeto do Curso de Pesquisa em Políticas Públicas.
- VAN DER LOOP, H.; HAAIJER, R; WILLIGERS, J. **Induced demand: new empirical findings and consequences for economic evaluation**. KiM Netherlands Institute for Transport Policy Analysis. The Hague, The Netherlands. 1986.
- VITRUVIUS. **Projeto urbano Bairro Novo: uma reavaliação**. *Arquitextos*, v. 104, 2013.
- WASHINGTON POST, 20 de Maio de 1979 apud CAPRA, F. **O ponto de mutação**. São Paulo: Editora Cultrix, 1982. 447 p.
- WESTMAN, W. E. **Ecology, Impact Assessment, and Environment Planning**. Nova Iorque: John Wiley & Sons – Interscience, 1985. 544 p.
- WOITHE, R. **Emergy evaluation of the United States Civil War**. Gainesville: University of Florida. 1994. 206 p. Tese de Doutorado.



Diagramação, Impressão e Acabamento:



Assis - SP
Fone: (18) 3322-5775
Fone/Fax: (18) 3324-3614
vendas@graficatiunfal.com.br
www.graficatiunfal.com.br