

# USO DA METODOLOGIA EMERGETICA NA ANALISE DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO E CONSUMO

Enrique Ortega<sup>1</sup> e Miguel Juan Bacic<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Faculdade de Engenharia de Alimentos, <sup>2</sup> Instituto de Economia  
Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil

## Resumo

Após décadas de estudos sobre o funcionamento dos ecossistemas e da biosfera, H. T. Odum esquematizou uma metodologia para calcular o valor biofísico dos recursos da natureza e, também, dos produtos da atividade humana. A metodologia emergética propõe o uso da emergia (energia solar equivalente) para medir o valor biosférico dos recursos da biosfera Terra, entre eles: os fluxos externos, os estoques geológicos e biológicos, os materiais dos ciclos biogeoquímicos naturais e daqueles afetados pela intervenção humana. De acordo com Odum, o valor econômico e o valor biofísico geralmente não coincidem, pois o preço no mercado omite e não considera devidamente os fatores de produção. O presente trabalho aborda a análise sistêmica dos processos ecológico-econômicos usando a metodologia emergética e discute sua utilidade potencial na formulação de políticas públicas.

**Palavras chave:** Emergia, sustentabilidade, resiliência, colapso.

## 1. Introdução

Sobre o conceito e a medição do valor na Economia, existem duas linhas de pensamento principais, uma considera que o valor decorre de fatores objetivos (o trabalho humano) e outra que o valor decorre de elementos subjetivos (a utilidade). A proposta teórica de Howard T. Odum (1924-2002) se enquadra dentro da teoria do valor-trabalho de Adam Smith, David Ricardo e Karl Marx e a amplia, pois considera tanto o trabalho humano quanto o da natureza na formação do valor de um recurso. O **valor-trabalho integral** é a **emergia** do recurso.

A emergia se expressa em Joules de energia solar equivalente (seJ) por unidade de recurso (kg, J, etc.) ou em termos de seu equivalente em dólares por unidade de recurso. Define-se a emergia como a energia potencial (exergia) gasta, direta e indiretamente, na produção de um recurso. Seu cálculo é válido quando se consideram todas as entradas e saídas do conjunto de sistemas envolvidos na produção. Geralmente, além do produto existem outras saídas, assim a segunda condição é que os co-produtos do sistema não devem conter energia potencial capaz de afetar negativamente outros sistemas, em outras palavras, seu impacto ambiental e social (externalidades negativas) deve ser resolvido dentro do sistema.

## 2. Justificativa

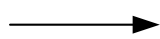
A metodologia sistêmica emergética permite entender como funcionam a biosfera, os ecossistemas naturais, os ecossistemas antrópicos e suas inter-relações com a economia humana ao longo da evolução histórica. Consegue-se assim, compreender claramente os temas que desafiam hoje a análise econômica: as bases da sustentabilidade ecológica, a capacidade de suporte e a resiliência das distintas regiões da Terra, a intensidade energética dos diversos estilos de vida, o saldo energético das fontes de energia (renováveis e não renováveis), a área de absorção de impacto pelo uso de energia não renovável, entre outros.

## 3. Objetivo

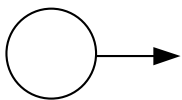
O objetivo do presente artigo é mostrar a análise dos processos físicos, biológicos, econômicos e ecológicos dentro da perspectiva da análise emergética, tornando evidente a relação entre os processos naturais e os econômicos.

## 4. Análise de processos físicos, biológicos, econômicos e ecológicos

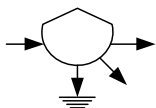
Será feita uma exposição do raciocínio da análise de sistemas, de forma similar a utilizada nos manuais de introdução a Física, a Biologia, a Economia e a Ecologia. Estudaremos, por meio de diagramas, processos físicos, biológicos e econômicos (isolados e depois no marco de um ecossistema e da biosfera). Utilizaremos a **linguagem dos sistemas** desenvolvida por H. T. Odum na Universidade da Flórida. Como toda linguagem ela tem símbolos e nos diagramas se organizam de maneira a expressar o sentido do fenômeno estudado. Nos diagramas serão mostradas as interações das forças de fontes externas e de estoques que geram novos recursos.



**Caminho Energético:** Fluxo de energia, materiais ou informação.



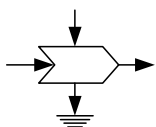
**Fonte de Energia:** Energia existente nos recursos usados pelo ecossistema: sol, vento, chuva, marés, ondas nas praias, sementes trazidas pelo vento e as aves, forças físicas e econômicas.



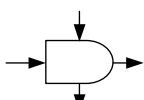
**Depósito ou estoque:** É um acúmulo de um recurso. Por exemplo: biomassa, solo, água subterrânea, areia, nutrientes, depósitos de energia fóssil, minerais, produtos industriais, etc.



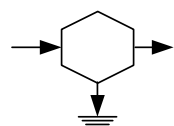
**Sumidouro de Calor:** Energia dispersa em um processo, a qual não pode mais ser aproveitada, como a água evaporada durante a fotossíntese, o calor do metabolismo animal, o calor da fricção, etc.



**Interação:** Processo que combina diferentes tipos de energias e materiais para produzir um recurso diferente (realizar trabalho).

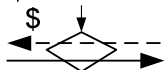


**Produtor:** Uma unidade biológica (autótrofo) que transforma energia solar e materiais básicos em biomassa. Exemplos: as plantas silvestres e das lavouras, árvores, fazendas, o setor agrícola de um país.

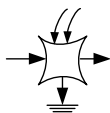


**Consumidor:** Uma unidade biológica (heterótrofo) que aproveita os recursos gerados pelos produtores. Por exemplo: insetos, microorganismos, gado, seres humanos e cidades.

Força resultante das pressões sociais



**Transação:** Intercâmbio de energia, materiais, serviços e dinheiro.



**Interruptor:** Dispositivo de controle (movido por várias forças) que dispara um processo que estava inativo, o qual geralmente é de pouca duração como um incêndio ou a polinização das flores.



**Caixa:** Demarcação dos limites de um sistema ou de um subsistema.

Figura 1. Símbolos da linguagem emergética (H. T. Odum, 1066):

#### 4.1. Análise de um processo físico

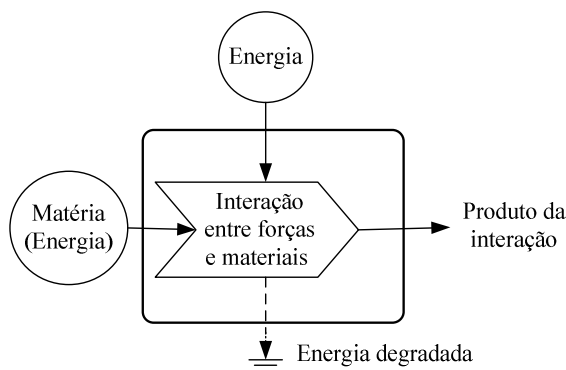


Figura 2. Processo físico.

A matéria é modificada por ação da força aplicada e desse trabalho surge um recurso com novos potenciais (capaz de ser utilizado em outros sistemas) e também se dissipa calor. Nesta representação não se diz de onde vêm as energias, nem como são geradas. Como a matéria pode ser expressa em termos de energia teríamos a seguinte equação:

$$\text{Energia nas condições iniciais} + \text{Energia aplicada} = \text{Energia nas condições finais} + \text{Energia dissipada}$$

A eficiência do processo pode ser calculada:

$$\text{Eficiência do sistema} = \frac{\text{Energia nas condições finais} - \text{Energia nas condições iniciais}}{\text{Energia aplicada}}$$

#### 4.2. Análise de um processo biológico

Este diagrama mostra que a produção bruta forma um estoque interno e parte dele é aproveitado na retroalimentação reduzindo a quantidade de produto que sai do sistema.

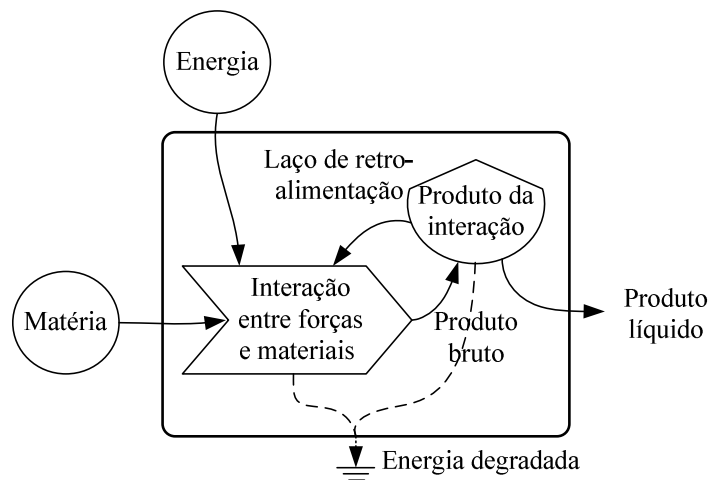


Figura 3. Processo biológico em sua configuração mais elementar.

Este modelo de interação é denominado sistema auto-catalítico, pois possui capacidade para aumentar o consumo de energia disponível em função de suas estruturas internas (o estoque de biomassa). As estruturas físicas e funcionais do sistema biológico (estabelecidas pela genética e outros fatores) estabelecem seu limite de crescimento.

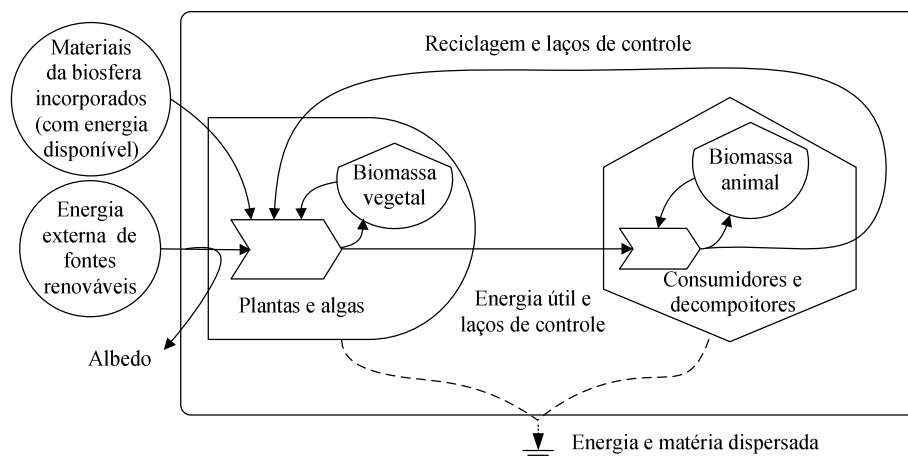


Figura 4. Cadeia trófica simplificada.

Para aproveitar os recursos disponíveis (energia e materiais, externos e internos), as unidades auto-organizadas de produção de biomassa (vegetal e animal) formam redes de produtores e consumidores que desenvolvem laços duplos de energia, materiais e informação (para cima e para baixo da cadeia trófica). A sobrevivência do sistema depende da qualidade dessas interações. Os consumidores não podem destruir a base que os sustenta (os produtores) senão o sistema colapsa. A cadeia trófica (seqüência articulada de produtores e consumidores) mostra a origem dos recursos que sustentam o ciclo de produção e respiração (consumo). Esse ciclo se denomina metabolismo do ecossistema. O metabolismo do ecossistema tem uma dinâmica especial, a produção ocorre lentamente e o consumo se realiza como pulso rápido.

### 4.3. Análise de um processo econômico simples

Nos livros de Economia inicia-se a análise dos processos econômicos com o exemplo do produtor individual que produz para se manter (auto-subsistência) e que destina parte de sua produção para intercambiar com os produtores individuais que produzem outros produtos (Robinson, Eatwell, 1979, Livro II, cap. 1). Geralmente, não se analisa o modo de produção, não se menciona a origem dos recursos que utiliza nem se fala da sua relação com a natureza.

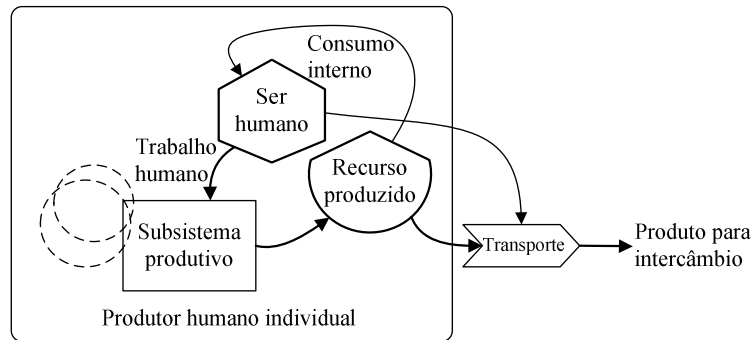


Figura 5. Processo econômico simples.

### 4.4. Análise de um processo econômico um pouco mais complexo

Um processo econômico mais complexo considera a existência de vários produtores individuais que trocam mercadorias por meio do escambo.

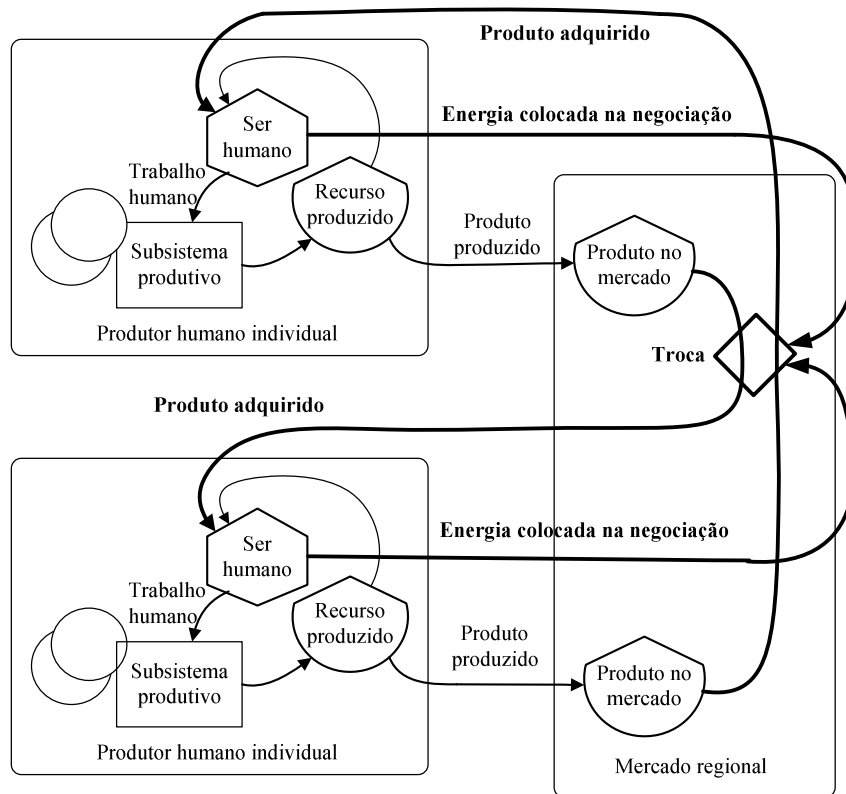


Figura 6. Processo econômico com dois ou mais produtores.

No intercâmbio de recursos entre dois produtores que levam seus produtos ao mercado existe a possibilidade de uma troca justa, que considera o trabalho humano aplicado na produção, pois há diálogo direto entre os produtores quando se encontram no mercado. Na troca (escambo) mostrada na Figura 6 não há moeda. O produtor atua diretamente da negociação (veja a linha de força que vai para o processo de troca).

#### 4.5. Análise da relação econômica entre campo e cidade usando moeda

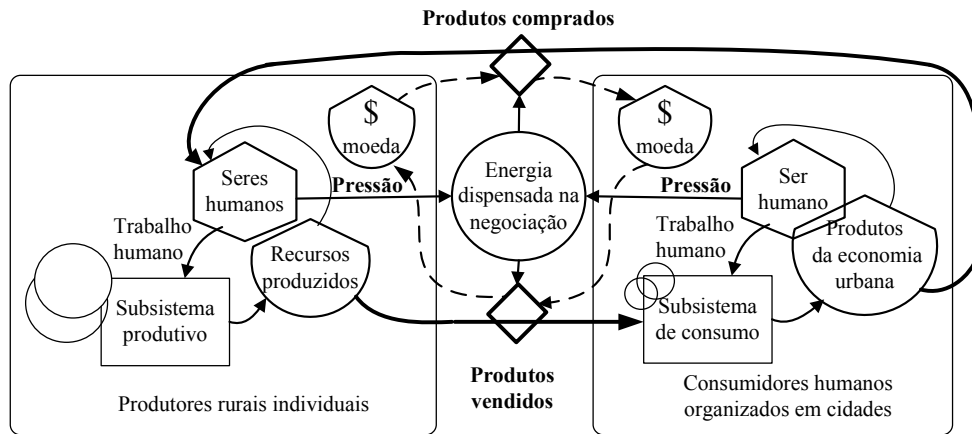


Figura 7. Relação campo-cidade com uso de moeda.

Com a urbanização há uma clara separação entre os produtores rurais e os consumidores urbanos. Neste modelo não é mais possível o escambo e é necessário o uso da moeda que facilita as trocas entre produtores e consumidores. O fluxo monetário ocorre em sentido inverso ao fluxo das mercadorias. No espaço regional os processos humanos substituem a flora e a fauna naturais por meio da introdução de plantas agrícolas, a eliminação do consumo da fauna local e o uso dos recursos minerais da região.

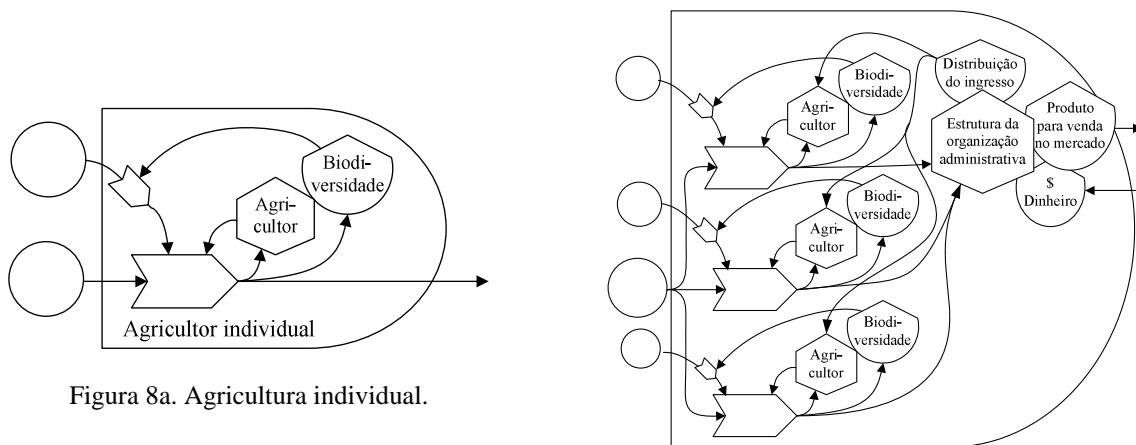


Figura 8a. Agricultura individual.

Figura 8b. Agricultores associados.

O produtor rural ecológico aproveita a biodiversidade para obter recursos do meio usados na produção de biomassa, materiais para a família e serviços ambientais para a região.

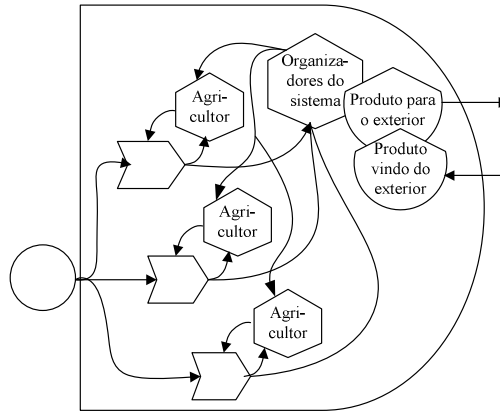


Figura 8c. Sistema agrícola sem biodiversidade e sem entradas naturais.

A produção rural muda com o tempo em função das inovações e das pressões externas que recebe. Em alguns casos, o produtor individual pode subsistir. Os produtores rurais podem se auto-organizar ou podem ser organizados por terceiros; nesse caso, as vantagens se distribuem entre eles e o novo elemento. Se a gestão humana destrói os estoques naturais, o sistema deixa de captar recursos, perde-se a fertilidade do solo e a produtividade e pode entrar em colapso.

Quando o sistema econômico cresce, as relações de troca podem tornar-se injustas, pois a força de pressão dos grupos humanos varia com a capacidade de organização, nela se aplica conhecimento e poder. Surgem atravessadores que concentram o poder de compra do agrupamento urbano e pressionam para obter menores preços por parte dos produtores rurais, assim se transfere a riqueza do meio rural para a cidade. A menor organização dos agricultores contribui para permitir a transferência de riqueza. Muitas vezes, os produtores procuram soluções parciais que implicam na geração de externalidades negativas.

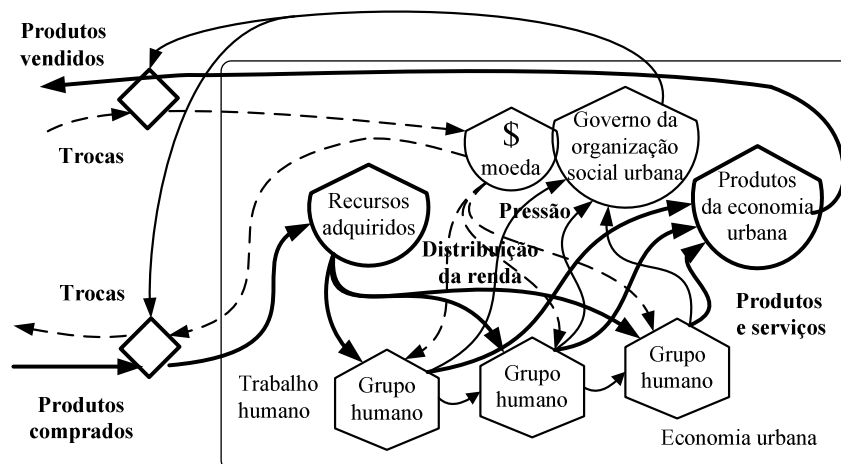


Figura 9. Relação cidade-cidade e pressão pela renda.

A distribuição da renda dentro da cidade geralmente é desigual e concentra a riqueza no topo da cadeia de transformação de recursos (cadeia trófica).

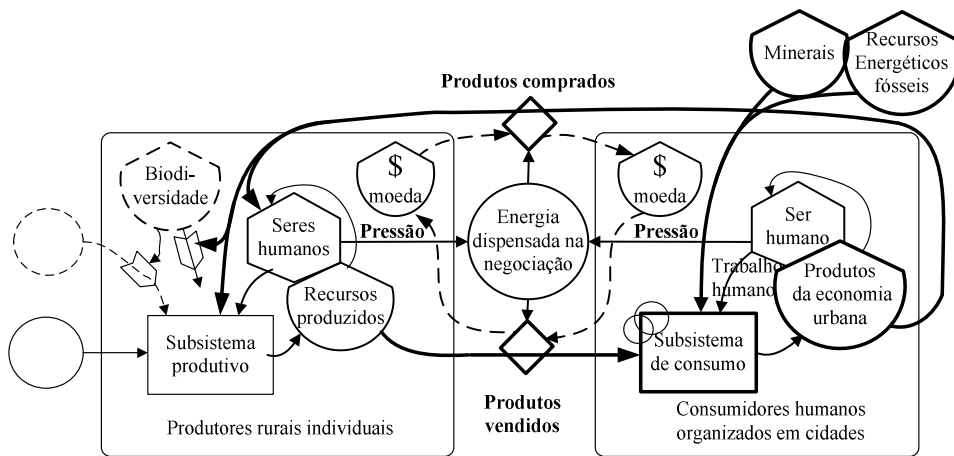


Figura 10. Relação cidade-cidade influenciada pelos produtos derivados de petróleo e minerais.

Nos três últimos séculos, o sistema econômico mundial passou a usar, de forma cada vez mais intensa, estoques que não repõe: florestas, minerais e hidrocarbonetos (madeira, carvão, petróleo, gás). Para a economia urbana esses recursos (não renováveis) têm custo mínimo, pois somente paga os custos de extração. Com eles a indústria produz insumos agrícolas de baixo preço. Os fertilizantes e os biocidas substituem os trabalhos da natureza e do homem na lavoura e destroem a biodiversidade diminuindo os serviços ambientais vitais. O sistema rural perde sua fertilidade natural, permite o crescimento das cidades e se coloca perante o colapso.

#### 4.6. Análise do funcionamento de um ecossistema

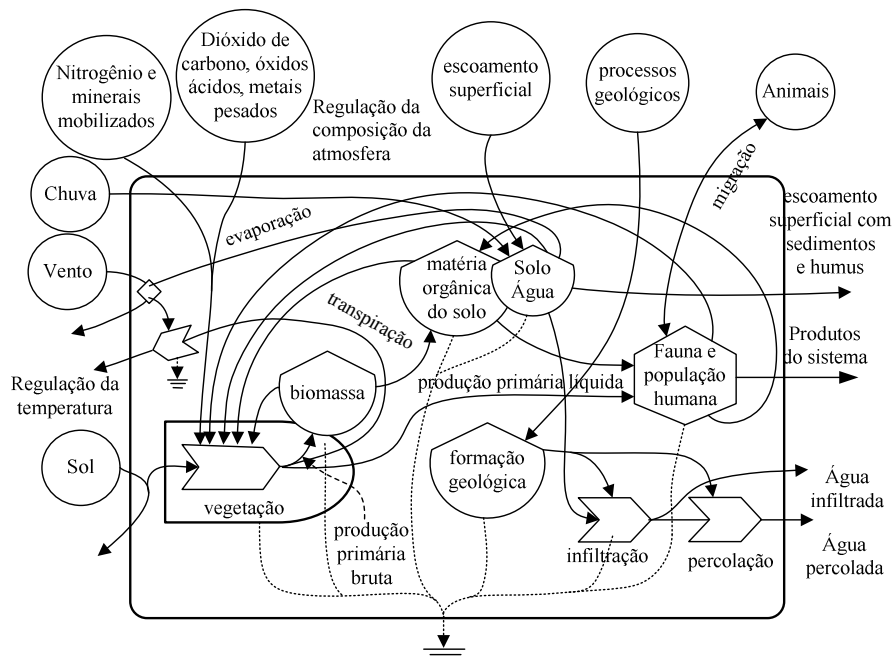


Figura 11. Diagrama que mostra o funcionamento de um ecossistema.  
(Fonte: Center for Environmental Policy. University of Florida)



Os ecossistemas evoluíram para aproveitar ao máximo os recursos da biosfera. A intervenção humana diminui a eficiência e a vitalidade dos ecossistemas. O homem não deve ultrapassar a capacidade de suporte crítica, para evitar a perda da capacidade de recuperação (resiliência).

#### 4.7. Análise de um processo econômico dentro de uma região

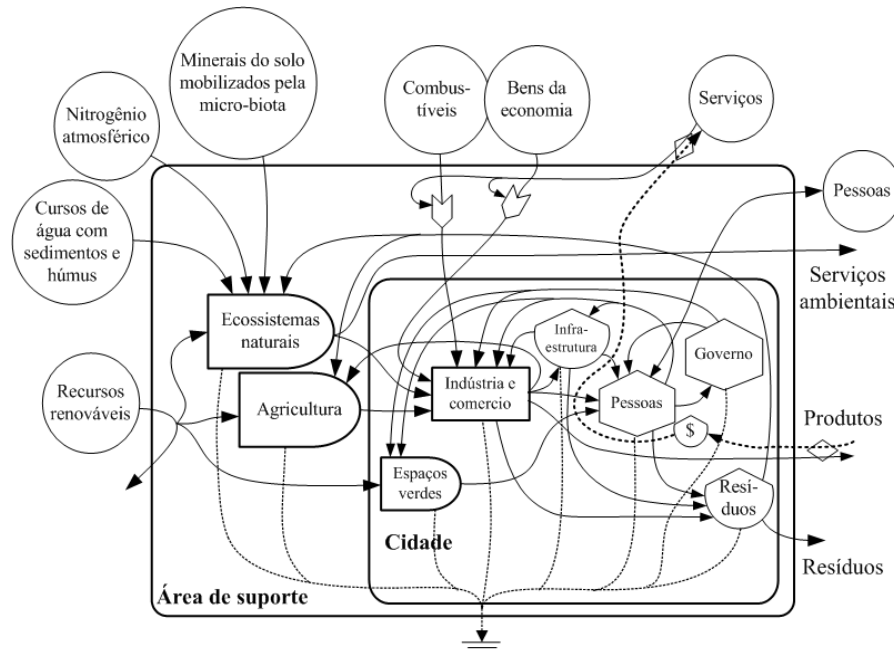


Figura 12. Relação da uma cidade com sua região de suporte.

(Adaptação de um diagrama do Center for Environmental Policy, University of Florida)

Uma cidade precisa de duas áreas de suporte, uma para gerar os serviços ambientais que demanda e outra para absorver os impactos ambientais que a atividade humana gera. As florestas infiltram água e também regulam o clima, os brejos absorvem a carga biológica dos efluentes. O planejamento regional deve considerar essas demandas de espaço geográfico.

#### 4.8. Análise de um processo econômico dentro da biosfera

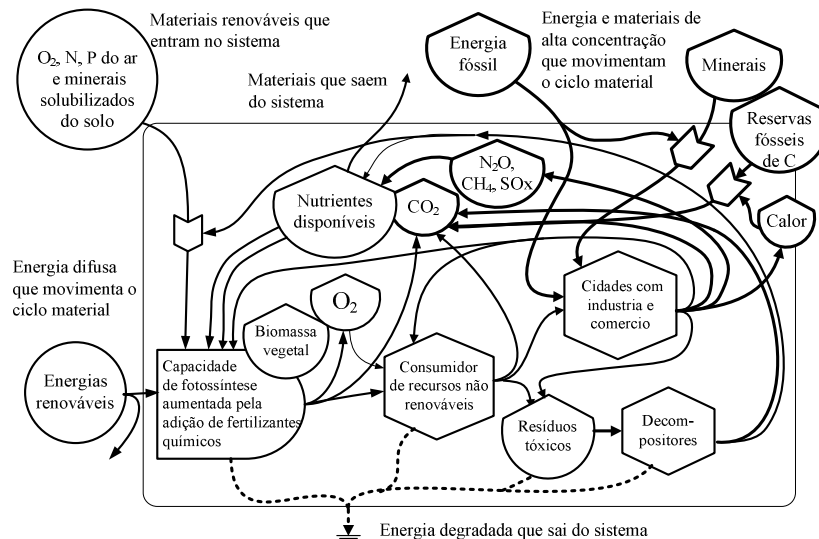


Figura 13. Relação processo econômico e biosfera.

Se observarmos o processo econômico dentro da biosfera podemos verificar sua relação com um conjunto de elementos que tendem a ser ignorados na análise econômica convencional. A Figura 13 mostra um modelo sistêmico que considera aquecimento global, esgotamento do petróleo, perda da biodiversidade, desconcentração da população, fixação biológica do dióxido de carbono. O processo econômico intensificou-se de forma extrema a partir de momento no qual a humanidade desenvolveu a capacidade de extrair e usar primeiro carvão e depois petróleo e gás. Esses recursos têm uma densidade energética muito grande, pois o trabalho realizado pela natureza na sua formação foi enorme, demorou milhões de anos. A agricultura deixou de ser limitada pela reciclagem dos nutrientes. O trabalho humano e da natureza foi substituído pelo trabalho realizado por produtos químicos e máquinas movidas à energia fóssil, porém com **custos ambientais e sociais significativamente elevados**.

O impacto sócio-ambiental decorre da introdução no sistema de recursos com alta capacidade de trabalho, que não tem seus custos verdadeiros captados pelos sistemas de contabilidade.

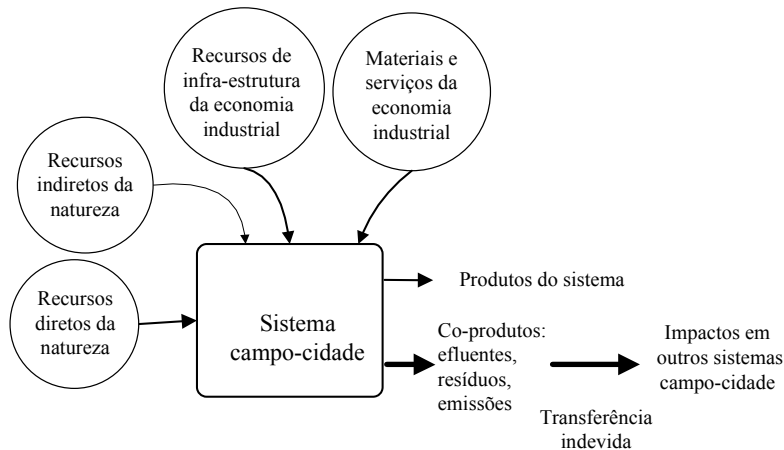


Figura 14a. Um sistema com co-produtos impactantes

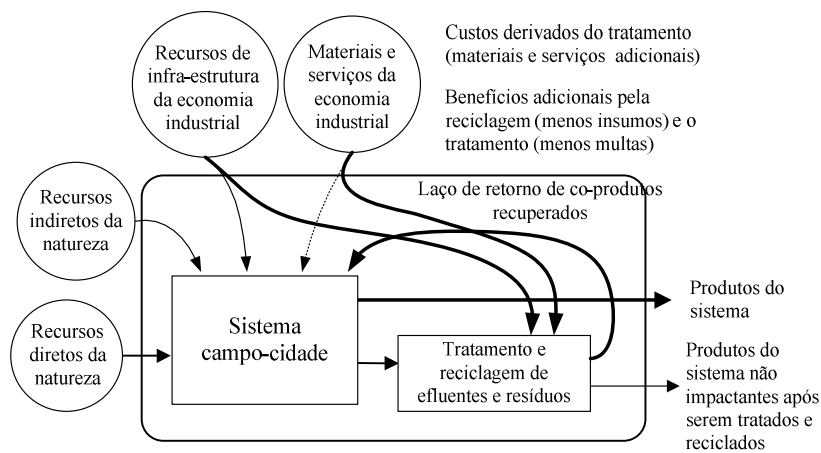


Figura 14b. Um sistema que recicla e absorve seu impacto.

Esses recursos de caráter não renovável propiciam a geração de externalidades negativas para todo o sistema, tais como: a perda de biodiversidade, a poluição com substâncias tóxicas, a diminuição da água doce potável disponível, a concentração do poder econômico e político, e impactos sociais negativos (êxodo rural, marginalização). A solução para o problema das externalidades negativas é a mudança do modo de produção social (insumos sustentáveis, menos emissões, trabalho humano de melhor qualidade) e o tratamento e reciclagem de efluentes e resíduos. Esse tratamento gera custos, mas os benefícios superam os custos. Quando os resíduos são tratados e reciclados, há menos gasto com insumos, além disso, preserva-se o meio ambiente por reduzir os impactos ambientais.

O modelo sistêmico da biosfera pode ser colocado numa perspectiva histórica para evidenciar as contribuições da natureza e dos seres humanos para os processos produtivos.

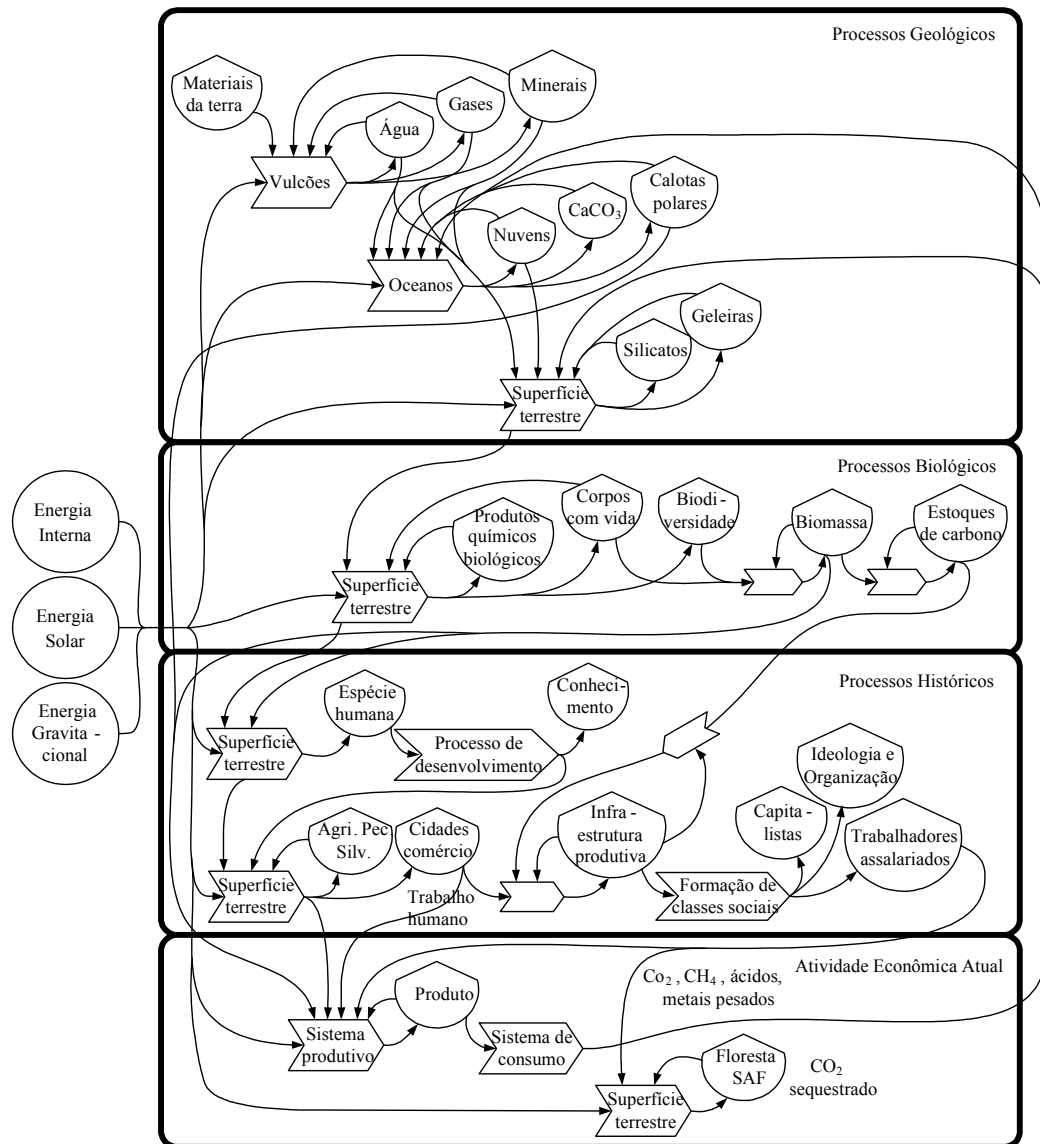


Figura 15. Relação do processo econômico com os processos geológicos, biológicos e culturais da biosfera

As atividades do presente estão vinculadas ao trabalho da natureza realizado em outros tempos: trabalho geológico das primeiras Eras, trabalho biológico dos ecossistemas para gerar a biodiversidade e os processos funcionais da biosfera e trabalho social (história mais recente) que levou a formação dos modelos de organização da produção e consumo das distintas culturas humanas. Os estoques geológicos, biológicos e culturais geram fluxos cujo valor emergético pode ser calculado. Esses fluxos ajudam a viabilizar as atividades humanas no planeta e também pode limitar-las no futuro, a manutenção desse estoques exige retornos.

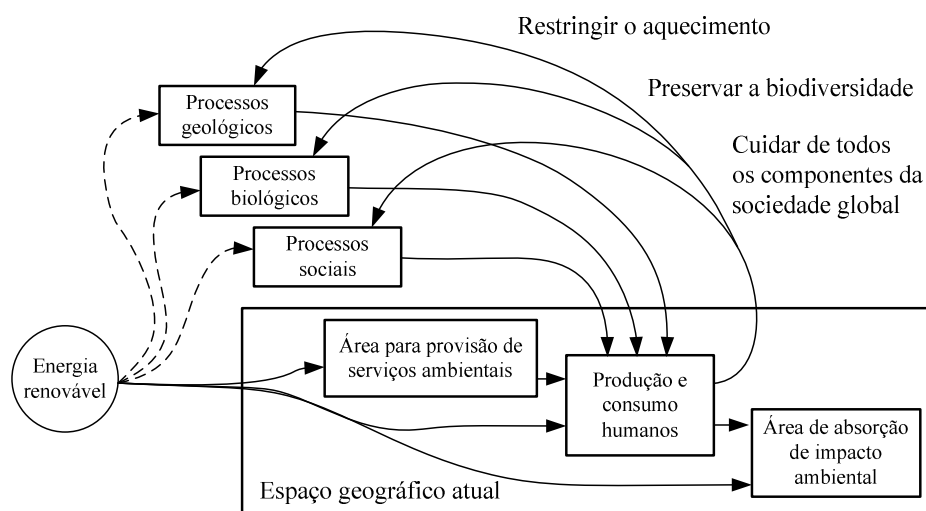


Figura 16. O fluxo de materiais, serviços e informação produzidos no passado na biosfera· exige retribuições adequadas por parte da sociedade humana.

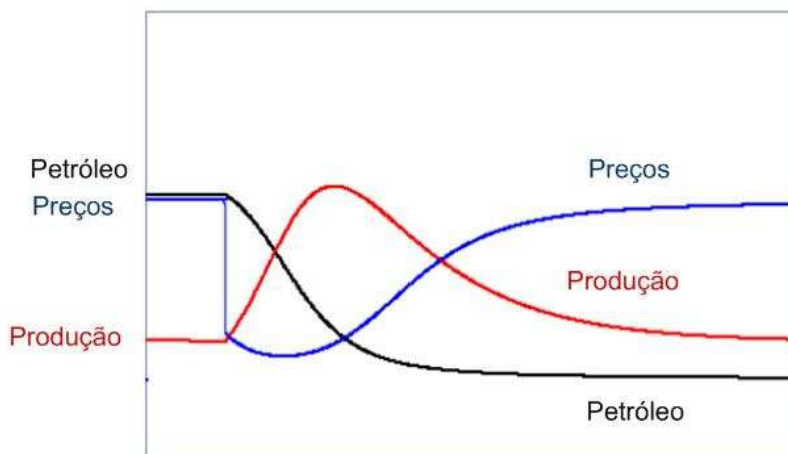


Figura 17. Modelo de simulação da economia baseada no petróleo (Odum e Odum, 2001).

A diminuição do petróleo pode trazer, conforme Odum e Odum (2001), forte queda da população, dada a dependência deste recurso para alimentar os processos econômicos.

A reprodução da força de trabalho coloca um limite aos capitalistas. A existência de estoques imensos de recursos da natureza (porem finitos num prazo relativamente curto, dado o ritmo

frenético do consumo econômico), leva a valorações que desconsideram seu custo de reposição e se concentram nos custos de extração e exploração correntes. Isto, aliado aos longos ciclos de reposição dos recursos naturais, leva a sobre-exploração, ao esgotamento e finalmente ao colapso de processos econômicos e atmosféricos.

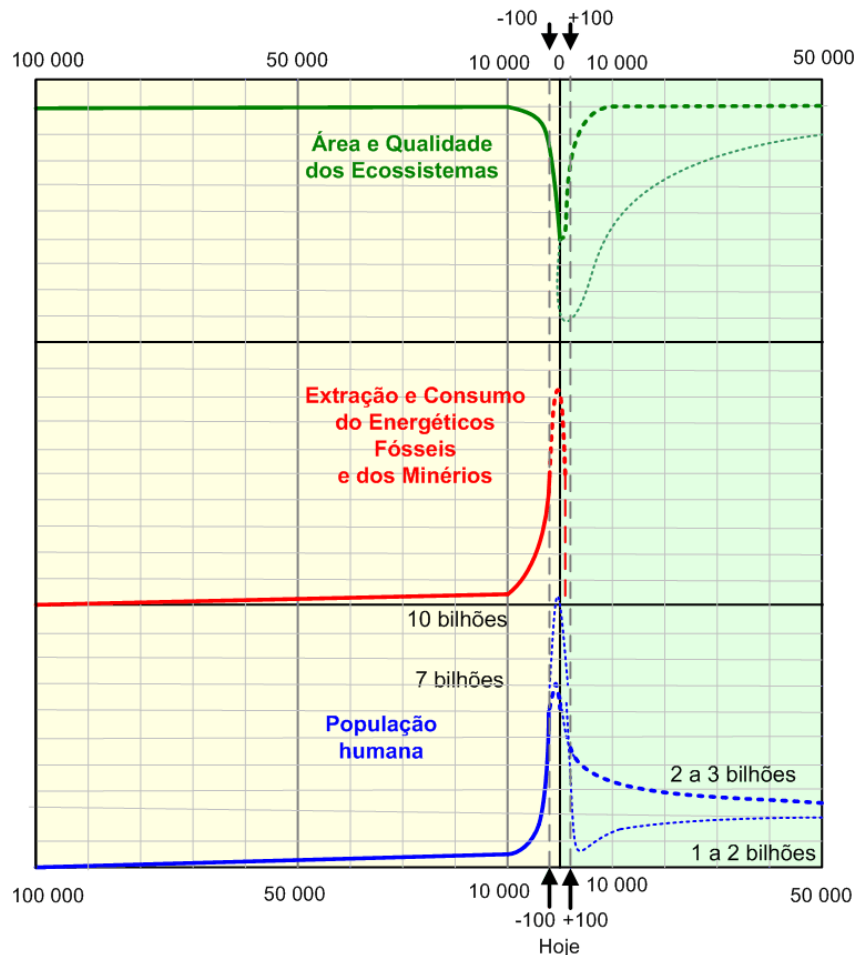


Figura 18. Modelo de simulação da biosfera (elaboração própria).

## 5. Análise emergética e políticas públicas.

A análise emergética pode colaborar na informação dos preços reais dos recursos, induzindo uma maior racionalidade em sua utilização, o que pode ser realizado por meio da formulação de políticas públicas que intervenham na estrutura de preços relativos do sistema econômico. No caso do trabalho da natureza se apresentam dois casos extremos: o da abundância e o da escassez. Quando os recursos são abundantes esse trabalho é considerado gratuito! Nesse caso, o valor dos recursos naturais é inversamente proporcional ao preço. Pode-se concluir que o dinheiro pago não representa o valor do trabalho incorporado pela natureza. E quando os recursos naturais se esgotam (e a demanda se mantém), o preço aumenta e acelera a extração dos recursos remanescentes colocando em risco sua preservação.

A tendência da economia é mobilizar tão rapidamente quanto possível os estoques de alta qualidade. Como a disponibilidade dos recursos varia com o tempo, as políticas devem mudar a cada etapa dos ciclos de evolução. Para garantir o aporte de recursos da natureza deve-se reconhecer seu trabalho e investir para que a natureza possa seguir oferecendo os serviços ambientais: absorção dos resíduos, infiltração da água da chuva, fixação biológica de nitrogênio, mobilização de nutrientes do solo agrícola e manutenção da qualidade do clima.

A análise emérgica converte os fluxos de massa e energia numa mesma unidade (Joules de energia solar equivalente, seJ), separa os recursos da natureza e os da economia humana e mede os fluxos que entram e saem de um sistema dentro da ótica da renovabilidade. Ao analisar um processo, calcula o fluxo emérgico de cada recurso e do processo como um todo, informa sobre a relação entre o preço e a energia, apontando as distorções do preço de mercado. Esta informação pode ser de muita utilidade na formulação de políticas públicas que visem aproximar os preços de mercado aos valores emérgicos. Adicionalmente, a análise emérgica gera indicadores que podem ser utilizados na análise de alternativas produtivas.

## 6. Análise de sistemas produtivos alternativos pela ótica emérgica

O modelo atual (“Urbanização Econômica”) degrada o meio e reduz os serviços ambientais. Ele é planejado para atender interesses externos, causa erosão social, concentra o poder e a propriedade, transfere os benefícios para fora da região, gera emprego rural de péssima qualidade, depende de recursos do petróleo e tem saldo prejudicial de gases de efeito estufa.

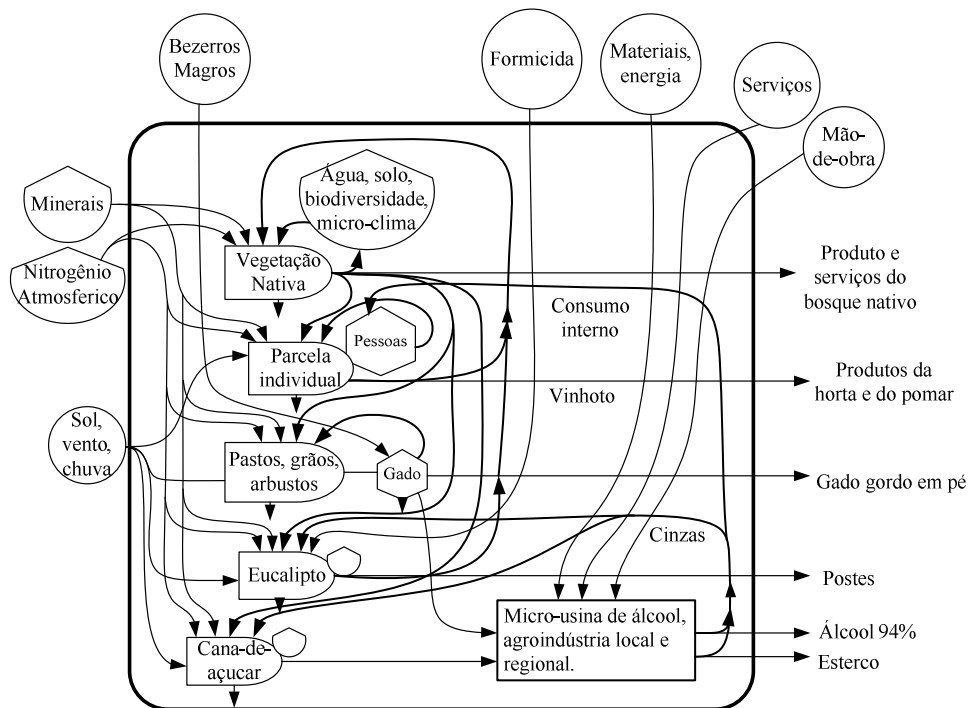


Figura 19. Sistema de produção de alimentos, energia e serviços ambientais (SIPAES)

O modelo alternativo (“Ruralização Ecológica”), mostrado nas Figuras 19 e 20, têm como base os sistemas integrados de produção de alimentos, energia e serviços ambientais (SIPAES) para permitir a descentralização humana e a recuperação do meio ambiente para sustentar cidades menores. Os SIPAES podem ser projetados para absorção dos impactos decorrentes das mudanças climáticas: capturar dióxido de carbono, regular a temperatura e os fluxos hídricos, preservar a biodiversidade, incorporar pessoas desempregadas.

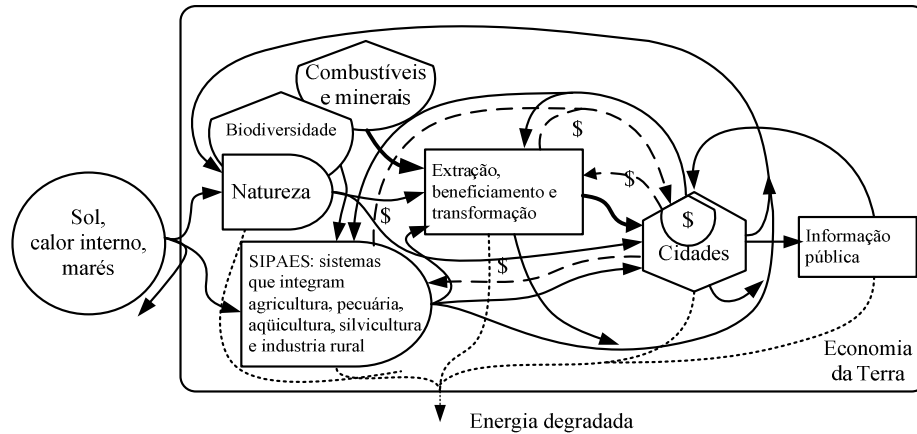


Figura 20. Interação entre campo e cidade (Odum, 2007).

### 7. Exemplo.

A continuação mostra-se a aplicação de fatores de intensidade emergética (transformidades) para obter os valores de energia das entradas do sistema de produção convencional de etanol de cana-de-açúcar em São Paulo (21300 ha de cana, sem reserva florestal, Pereira, 2007). A Figura 21 mostra o diagrama com os valores de energia que são calculados na Tabela 1.

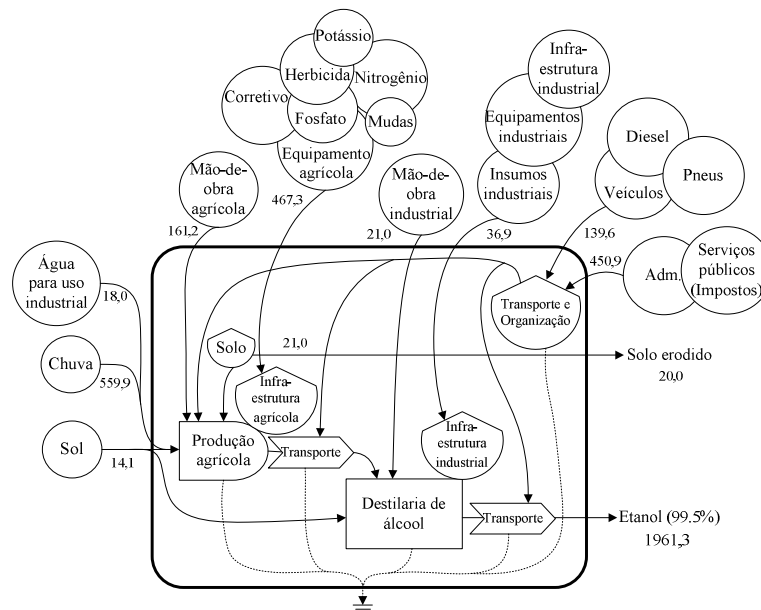


Figura 21. Destilaria de álcool convencional (adaptado de Pereira, 2007)

**Tabela 1. Cálculo dos fluxos de energia de um sistema de produção de álcool a partir de cana-de-açúcar, usando fatores de intensidade energética (transformidades). Dados de uma usina em São Paulo, com 21300 ha de cana, sem reserva florestal (Pereira, 2007)**

Contribuições	Fluxo de entrada (nas unidades comuns)		Valor padronizado	Unidades	Intensidade energética	Fluxo de energia	Dólares equivalentes	Percentual	
									sej/unidade
<b>Contribuições renováveis da natureza</b>						Subtotal	<b>592,13</b>	30,2%	
1	Radiação solar	1727	kWh/m2.ano	5,22E+13	J/ha.ano	1	5,22E+13	14,11	
2	Chuva (potencial químico)	1660	mmca/m2.ano	6,77E+10	J/ha.ano	3,06E+04	2,07E+15	559,90	
3	Água (ferti-irrigação)	500	l/ha.ano	2,50E+06	J/ha.ano	1,85E+05	4,63E+11	0,13	
4	Água (uso industrial)	1,5	m3/TC	3,60E+08	J/ha.ano	1,85E+05	6,66E+13	18,00	
<b>Não renováveis da natureza</b>						Subtotal	<b>20,95</b>	1,1%	
5	Perda do estoque de solo arável	11,9	t/ha.ano	3,23E+09	J/ha.ano	2,40E+04	7,75E+13	20,95	
<b>Materiais serviços</b>						Subtotal	<b>1348,23</b>	68,7%	
6	Infra-estrutura industrial	0,23	USD/ha.ano	2,30E-01	USD/ha.ano	3,70E+12	8,51E+11	0,23	
7	Equipamento agrícola (aço)	4,33	kg /ha.ano	4,33E+00	kg/ha.ano	1,13E+13	4,89E+13	13,22	
8	Equipamentos industriais (aço)	4,05	kg /ha.ano	4,05E+00	kg/ha.ano	1,13E+13	4,58E+13	12,37	
9	Veículos (aço)	7,58	kg/ha.ano	7,58E+00	kg/ha.ano	1,13E+13	8,57E+13	23,15	
10	Insumos industriais	93,2	kg /ha.ano	9,32E+01	kg/ha.ano	3,80E+12	3,54E+14	95,72	
11	Mudas	2,8	t /ha.ano	2,80E+03	kg/ha.ano	7,50E+10	2,10E+14	56,76	
12	Corretivos	80	kg /ha.ano	2,44E+08	J/ha.ano	2,72E+06	6,64E+14	179,37	
13	Nitrogênio	16,0	kg/ha.ano	1,60E+01	kg/ha.ano	6,38E+12	1,02E+14	27,59	
14	Fosfato	98	kg /ha.ano	9,80E+01	kg/ha.ano	6,55E+12	6,42E+14	173,49	
15	Potássio	21	kg /ha.ano	2,10E+01	kg/ha.ano	2,92E+12	6,13E+13	16,57	
16	Herbicidas	45	kg /ha.ano	4,50E+01	kg/ha.ano	2,48E+10	1,12E+12	0,30	
17	Diesel	186,12	l/ha.ano	6,55E+09	J/ha.ano	5,50E+04	3,60E+14	97,36	
18	Pneus	3,94	kg/ha.ano	3,94E+00	kg/ha.ano	1,79E+13	7,05E+13	19,06	
19	Mão-de-obra agrícola-transporte	43,65	pessoa/ha.ano	2,13E+08	J/ha.ano	2,80E+06	5,96E+14	161,19	
20	Mão-de-obra industria-distribuição	204,6	pessoa/ha.ano	2,77E+07	J/ha.ano	2,80E+06	7,76E+13	20,96	
21	Despesas administrativas	195	USD/ha.ano	1,95E+02	USD/ha.ano	3,70E+12	7,22E+14	195,00	
22	Impostos e Taxas	255,88	USD/ha.ano	2,56E+02	USD/ha.ano	3,70E+12	9,47E+14	255,88	
						Total	<b>1,07E+16</b>	<b>1961,31</b>	100,0%



Como pode ser visto na tabela anterior é possível converter todos os fluxos de entrada de um sistema de produção, no caso: de etanol de cana-de-açúcar, em termos de energia solar equivalente e depois em termos de dólares equivalentes para poder compara com os valores monetários de cada entrada.

Cabe observar que o estudo realizado (Pereira, 2007) não considera a produção residual de serviços ecossistêmicos nem a produção de externalidades negativas.

Tabela 2. Dados do produto e da produção

Ítems	Valor	Unidade
Produção obtida por hectare	6560	Litros/ha.ano
Valor calórico unitário	7000	kcal/litro
Fator de conversão de kcal para Joules	4186	J/kcal
Energia produzida em unidades padrão	1,92E+11	J/ha.ano
Preço do etanol	0,55	USD/litro

Tabela 3. Indicadores do processo.

Índices emergéticos	Fórmula	Valor	Unidades
Energia utilizada: Y =	soma de todas as energias utilizadas	1,07E+16	seJ/ha.ano
Energia do produto: E =	valor calórico da produção de etanol obtida	1,92E+11	J/ha.ano
Eficiência sistêmica =	E/Y	0,001794	%
Transformidade: Tr =	Y/E	<b>5,57E+04</b>	sej/J
Taxa de troca: EER =	Y/(litros etanol/ha.ano)*(dólares/litro)*(energia/dólar)	<b>0,80</b>	
Renovabilidade: Ren =	(contribuições renováveis da natureza)/ Y	<b>30%</b>	
Saldo emergético: EYR =	Y/(materiais e serviços econômicos)	<b>1,45</b>	
Taxa de investimento: EIR	(contribuição da economia)/(contribuição da natureza)	<b>2,28</b>	

Da análise das tabelas anteriores podem ser observados os seguintes fatos:

1. Do valor em dólares equivalentes da produção total (1961,31 USD equivalentes/ha.ano) 31% correspondem a contribuições da natureza que são ignoradas no cálculo econômico convencional. Estes valores em uma visão de sustentabilidade que exige a reposição dos recursos da natureza deveriam ser cobrados do produtor para ser utilizados em fundos que garantam ações para que os sistemas rurais (áreas agrícolas e áreas protegidas) possam manter seus estoques de mata nativa para gerar os serviços ambientais necessários a continuidade da produção e da qualidade de vida humana. Cabe notar como desdobramento desta observação que a metodologia emergética tem condições de calcular as áreas necessárias para gerar os serviços ambientais e para absorver o impacto ambiental de uma população.

2. Os números da Tabela 1 mostram a importância da chuva para o sistema de produção. Ela é o item mais importante dentro do sistema, porém sua falta garante a disponibilidade deste recurso se não forem implementadas ações de governança que evitem a destruição da floresta da Amazônia e das matas locais, o que exige recursos monetários.
3. A Tabela 3 mostra que a eficiência ecossistêmica da produção de etanol produzido de forma convencional é muito baixa (0,001794%) o que coloca em discussão as políticas que promovem a expansão ampla deste modelo de produção.
4. Como tarefa futura caberia comparar os valores dos insumos econômicos em dólares equivalentes com os valores monetários de mercado o que permitiria encontrar distorções algumas das quais vinculadas ao preço subsidiado do petróleo na economia internacional.

## **8. Conclusão**

A energia é o motor que move a natureza, os ecossistemas e o sistema econômico. À visão de um sistema econômico composto basicamente por fluxos e estoques monetários deve ser contraposta outra visão, na qual o sistema econômico seja visto como composto por fluxos e estoques de energia. Nesta concepção a análise emergética permite estudar a natureza dos elementos intervenientes nos sistemas humanos analisados e calcular o valor do trabalho da natureza informando claramente onde o preço de mercado está distorcido. Esta informação é fundamental para o desenho de políticas públicas que tentem assegurar que esse valor seja incluído nos preços (por exemplo: por meio de tributação ou racionamento) de forma a garantir que haja reposição do que foi extraído ou para manter a fertilidade natural e assegurar a sustentabilidade e governança futura.

A metodologia de valoração emergética ajuda a compreender o funcionamento e as interações do sistema econômico, os ecossistemas e a biosfera. Esta visão permite efetuar estudos comparativos de desempenho de sistemas de produção atuais com os sistemas ecológicos projetados para máximo desempenho emergético (SIPAES) incorporando os valores dos serviços ambientais devidos e as externalidades negativas. Isto possibilita imaginar programas de governo cujo objetivo fosse o emprego de qualidade aliado a produção dos alimentos, da energia e os serviços ambientais necessários para as distintas regiões do país e para atender mercados locais, regionais e externos.

## **Agradecimentos**

A Mileine Zanghetin pelos desenhos, tabelas e revisão do texto.

## 9. Referências bibliográficas

- Bacic, M., Carpinteiro, J., Costa Lopes, C., Ortega, E., 1988. **Proposta para o estudo de um novo modelo de empresa agroindustrial**. II Encontro Brasileiro de Energia para o Meio Rural, UNICAMP.
- Odum, H.T., 1996. **Environmental Accounting: Energy and Environmental Decision Making**. Wiley, New York, NY, USA, 370 pp.
- Odum, H.T., Odum, E.C., 2001. **A prosperous way down: principles and policies**. Boulder, University Press of Colorado, 326 pp.
- Odum H. T., 2007, **Environment, Power and Society for the Twenty-First Century: The Hierarchy of Energy**, Columbia University Press, USA: 432 pp.
- Ortega, E.; Cavalett, O.; Bonifacio, R.; Watanabe, M., 2005. **Brazilian soybean production: Energy analysis with an expanded scope**. Bulletin of Science, Technology and Society., Toronto, v. 25, n. 4, p. 323-334.
- Ortega, E.; Cavalett, O.; Watanabe, M., 2008. **A produção de etanol em micro e mini-destilarias**. Em Biomassa para Energia. Organizadores: Cortez L.A., Lora, E., Gomez, E. Editora da Unicamp, Campinas, SP. Páginas: 475-492.
- Ortega, E. 2008. Novo modelo de produção agrícola: SIPAES. Fórum Sustentar, Campinas. <http://www.unicamp.br/fea/ortega/coeduca/SIPAES-Ortega>.
- Ortega, E., Zanghetin, M., Takahashi, F., 2009. Cartilhas do LEIA. Módulo #1. **Como funciona a natureza? Conceitos básicos sobre a biosfera, os ecossistemas e a economia humana**. Laboratório de Engenharia Ecológica. Convênio PROEXT/MEC- Unicamp. Campinas, SP, outubro de 2008. Primeira revisão: maio de 2009. <http://www.unicamp.br/fea/ortega/extensao/modulo1.pdf>
- Pereira, C. 2007. **Avaliação da Sustentabilidade Ampliada de Produtos Agroindustriais. Estudo de caso: Suco de Laranja e Etanol**. Tese de doutorado, FEA, Unicamp. <http://www.unicamp.br/fea/ortega/extensao/Tese-ConsueloPereira.pdf>
- Robinson, J., Eatwell, J. 1979. **Introdução a Economia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 419 pp.
- Watanabe, M. 2008. **Mata nativa e cana-de-açúcar: cálculo do valor dos serviços ecossistêmicos vinculados aos ciclos da água, do carbono e do nitrogênio utilizando a análise emergética**. Tese de mestrado, FEA, Unicamp: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/extensao/Tese-MarcosWatanabe.pdf>