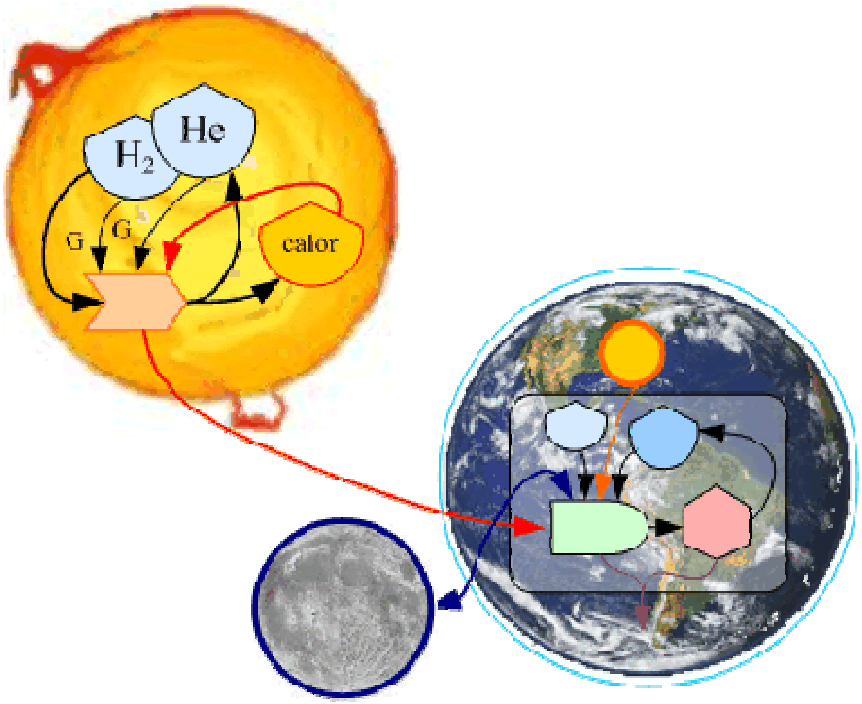
CARTILHAS DO LEIA

Modulo #1. Como funciona a natureza?

CONCEITOS BÁSICOS SOBRE A BIOSFERA, OS ECOSSISTEMAS E A ECONOMIA HUMANA.



Laboratório de Engenharia Ecológica da Unicamp

Enrique Ortega, Mileine Zanghetin,
Fabio Takahashi.

Campinas, SP, outubro de 2008.

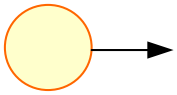
O objetivo desta cartilha é explicar o mundo em que vivemos. Vamos usar um método de estudo chamado abordagem sistêmica, que consiste em visualizar as coisas como um sistema, ou seja, como partes ativas de um todo maior. Um sistema é um conjunto de objetos que interagem entre si e com o exterior. Todos os sistemas se relacionam entre si e esses relacionamentos variam de forma e de intensidade de acordo com o tempo.

Interessa-nos descobrir como funcionam os seguintes sistemas:

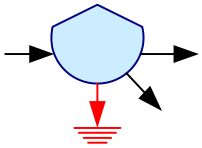
1. Nosso planeta,
2. A região onde vivemos,
3. As organizações humanas para produzir e consumir.

Vamos aprender a desenhar sistemas, mostrando as interações das forças e os estoques naturais que geram os recursos. Usaremos a linguagem dos sistemas. Ela foi desenvolvida pelo professor H. T. Odum da Universidade da Flórida. Como toda linguagem ela tem símbolos e os agrupa de maneira a expressar o sentido do mundo que nos rodeia. Seguem os símbolos que utilizaremos:

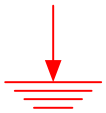
Caminho Energético:
Fluxo de energia ou materiais.



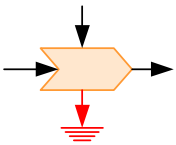
Fonte de Energia:
Energia existente nos recursos usados pelo ecossistema, como o sol, o vento, a chuva, as marés, as ondas nas praias, as sementes trazidas pelo vento e as aves.



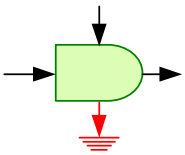
Depósito:
É um lugar onde se armazena um recurso: biomassa florestal, solo, matéria orgânica, água subterrânea, areia, nutrientes, etc.



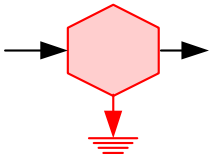
Sumidouro de Calor:
Energia dispersa em um processo que não pode mais ser utilizada, como a água evaporada durante a fotossíntese, o calor do metabolismo animal, etc.



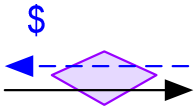
Interação:
Processo que combina diferentes tipos de energias e materiais para produzir um recurso diferente.



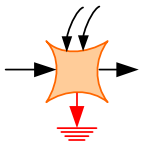
Produtor:
Unidade que produz biomassa a partir de energia e materiais básicos, como as plantas das lavouras, árvores, os sítios e as fazendas.



Consumidor:
Unidade que utiliza os produtos fabricados pelos produtores; como insetos, microorganismos, gado, seres humanos e cidades.



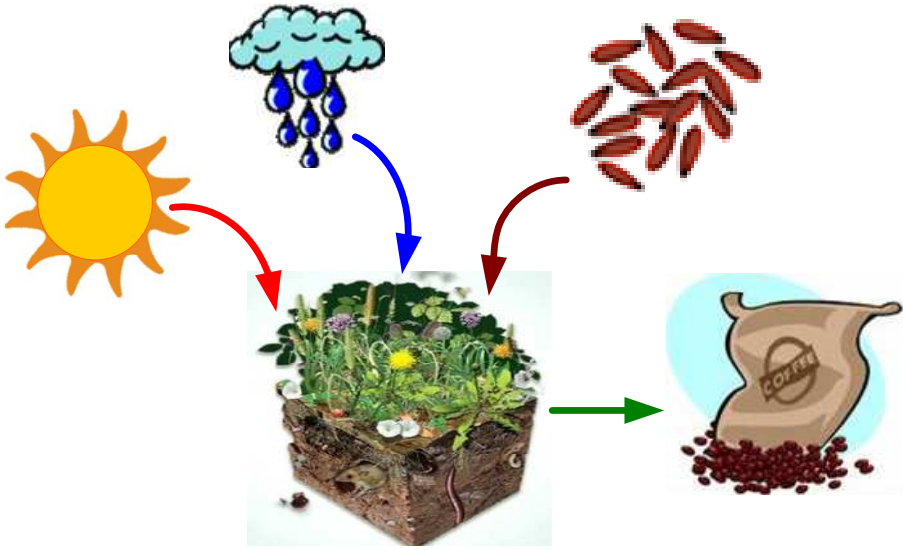
Transação:
Intercâmbio de dinheiro por energia, materiais ou serviços prestados.



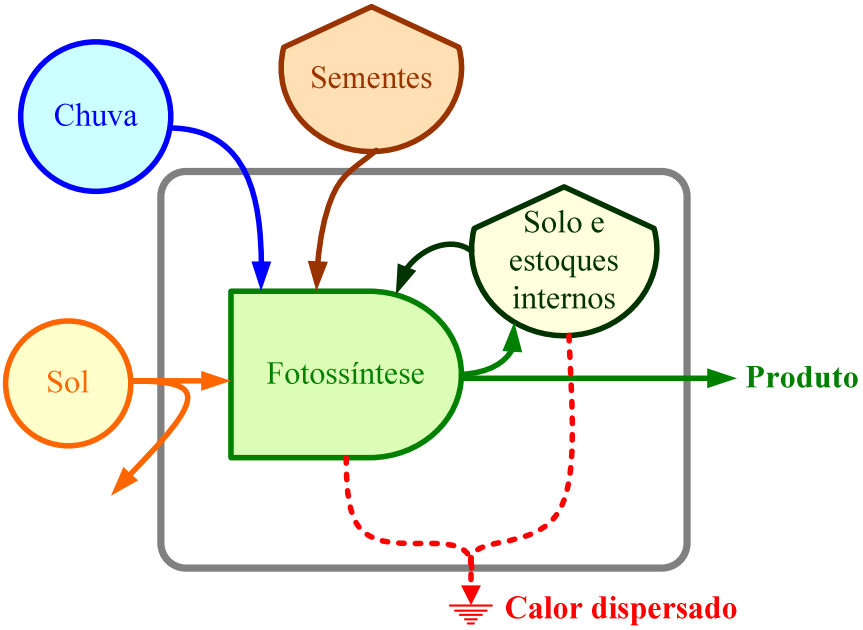
Interruptores:
Dispositivo que dispara um processo que estava inativo. Esse processo inicia e termina logo, como um incêndio ou a polinização das flores.

Caixa:
Símbolo para definir os limites de um sistema, ou de um subsistema, etc.

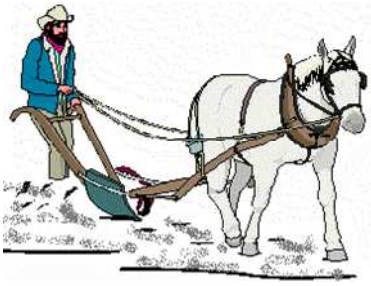
Vamos fazer o diagrama de uma lavoura. Temos que expressar como se fazem as coisas no sítio ou na fazenda: "o sol, a chuva, o solo e as sementes são coisas necessárias para obter uma colheita". A partir disso, podemos fazer o seguinte desenho:



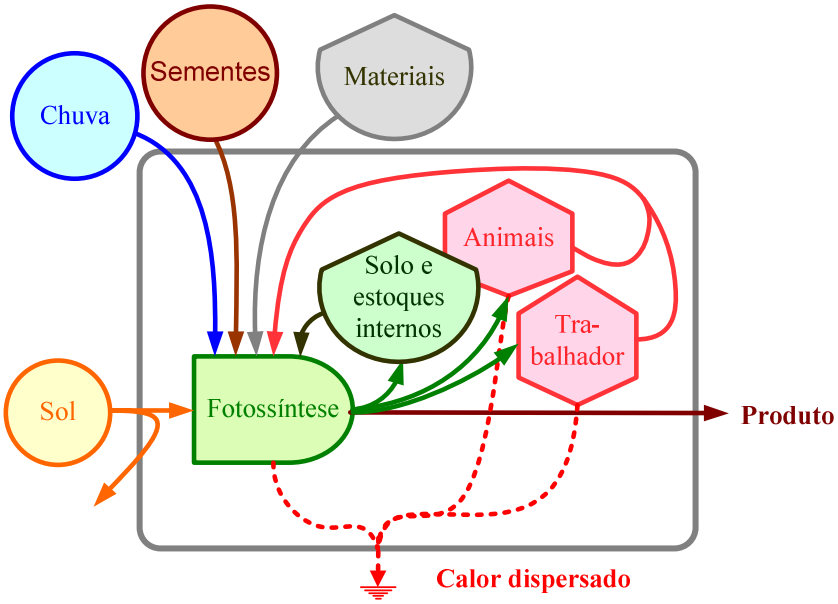
Na linguagem de sistemas ficaria assim:



Mas nessa unidade produtiva também é necessário alguns insumos e trabalho humano, bem como o trabalho do animal que vai puxar o arado. Vamos incluir essas coisas no desenho:

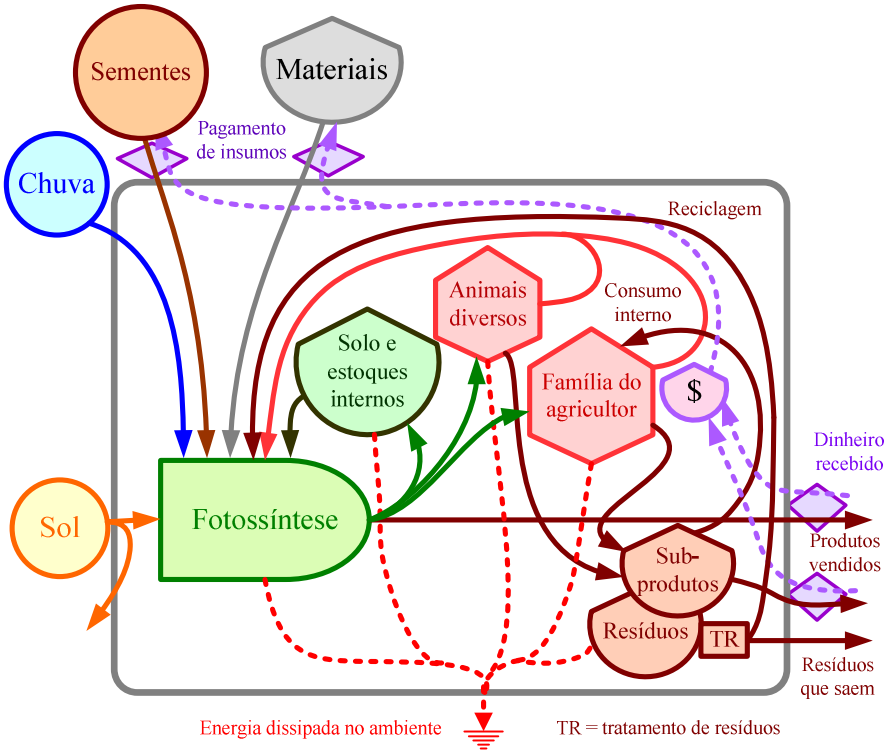


Na linguagem de sistemas ficaria assim:



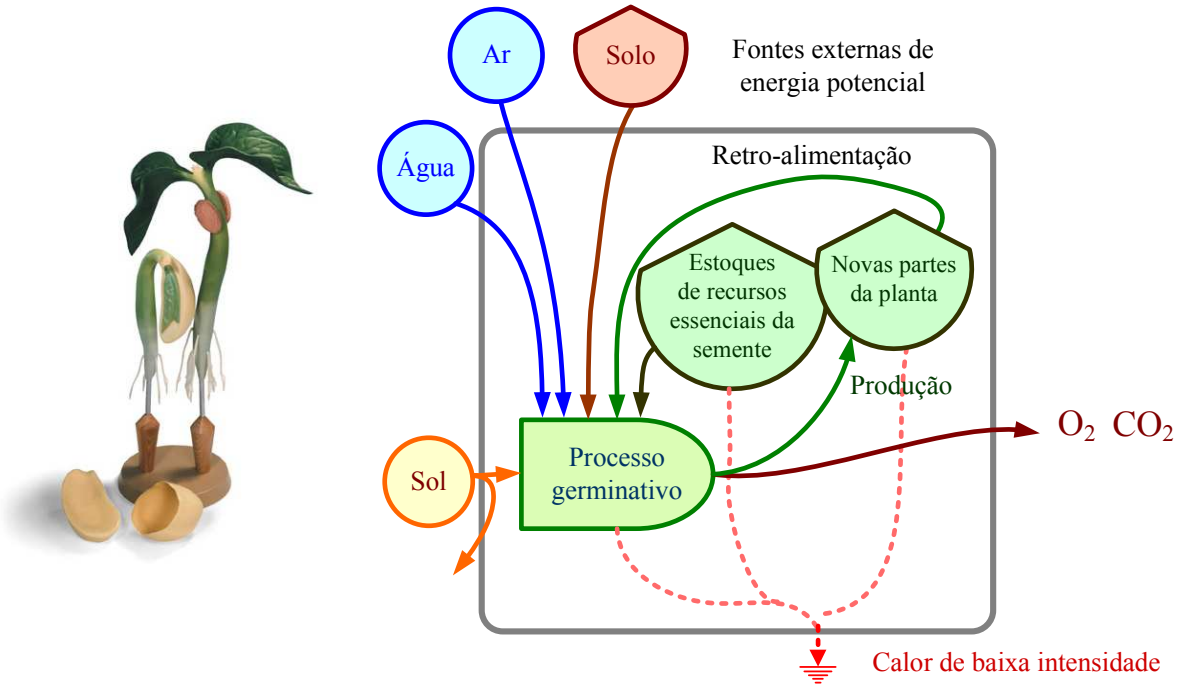
Para completar a representação do sistema rural, podemos incluir a família que mora no lugar e consome parte da produção e também mostrar que uma parte da produção é vendida em troca de outras coisas úteis ou de dinheiro.

Na linguagem de sistemas ficaria assim:



Depois dessa breve introdução, vamos passar a estudar sistemas mais complexos.

Começaremos pelo diagrama de uma semente germinando.



Observe agora um diagrama de uma planta vista como sistema.

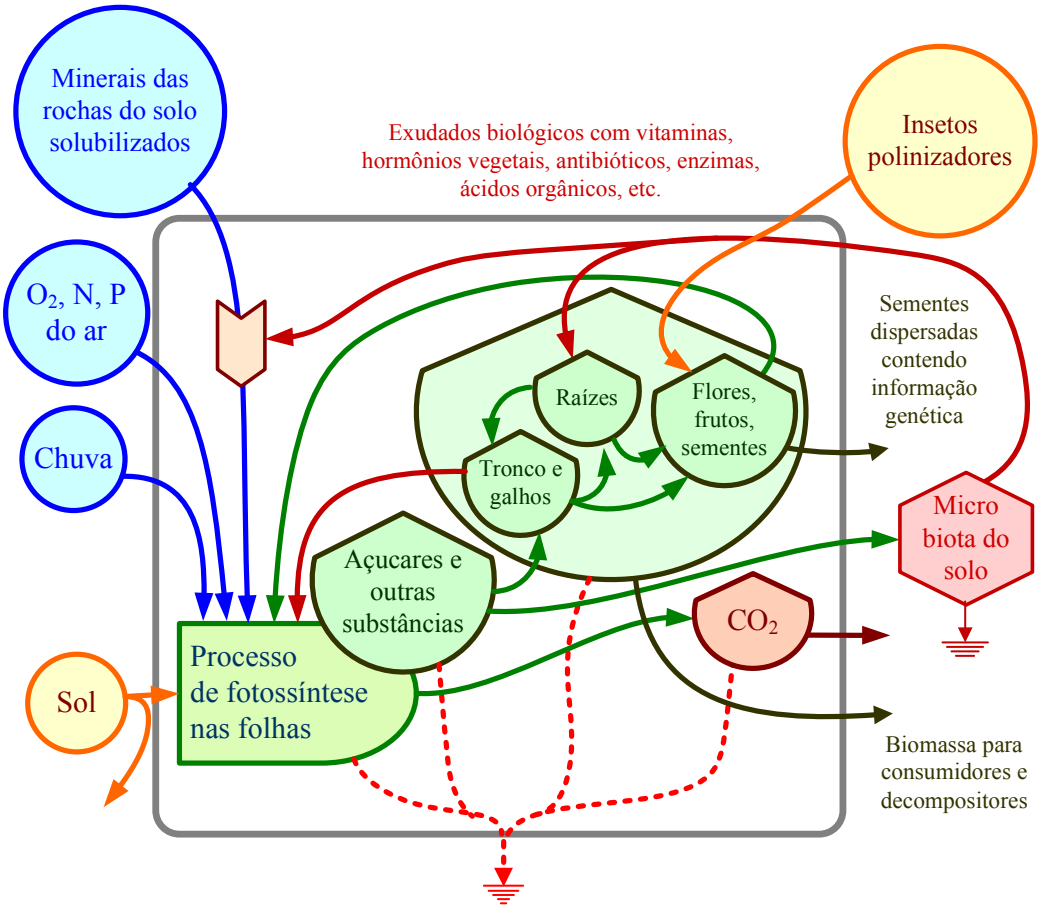


Diagrama da planta como sistema independente

Instruções para fazer o diagrama de um sistema:

Os diagramas de fluxos de energia, materiais e formação devem mostrar os elementos importantes para o funcionamento de um sistema.

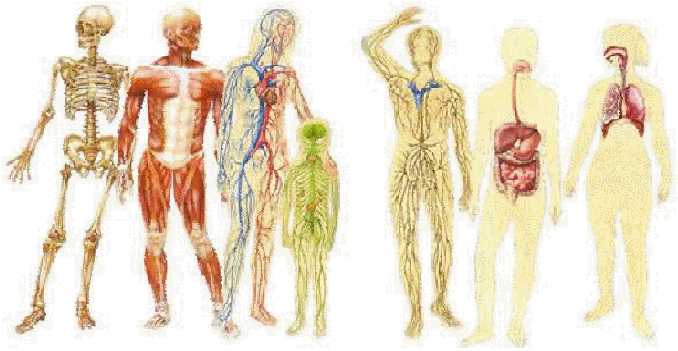
Os fluxos simples ou de menor intensidade, são colocados à esquerda.

Os fluxos de maior intensidade e mais complexos, à direita.

Os estoques naturais à esquerda os estoques mais complexos à direita.

A energia potencial disponível é transformada para produzir energias diferentes, porém em quantidade menor. Esses novos recursos são aproveitados nas etapas seguintes do sistema ou em outros sistemas.

Agora vamos fazer o diagrama de sistema do corpo humano com diversos subsistemas: locomotivo (esquelético-muscular), circulatório, endócrino, nervoso, digestivo, respiratório.



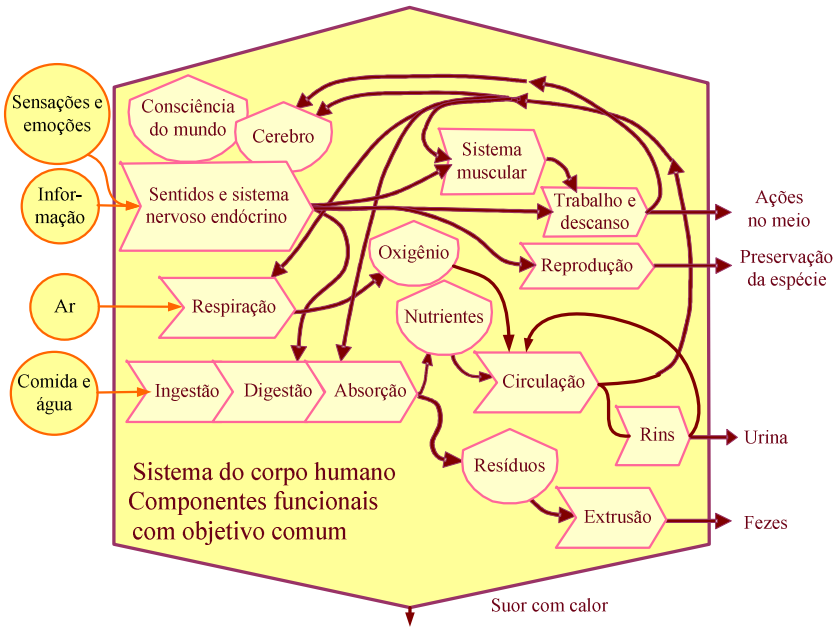
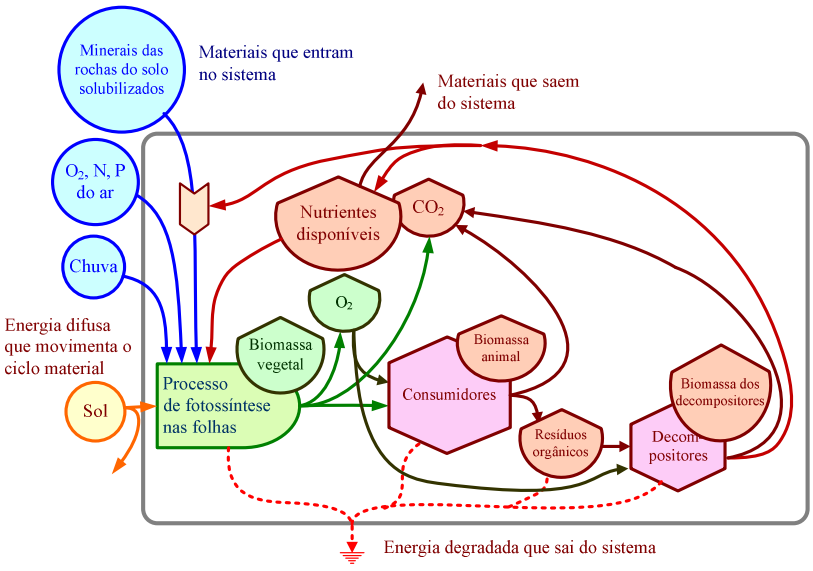


Diagrama do ser humano, com fluxos externos e internos e órgãos funcionais.

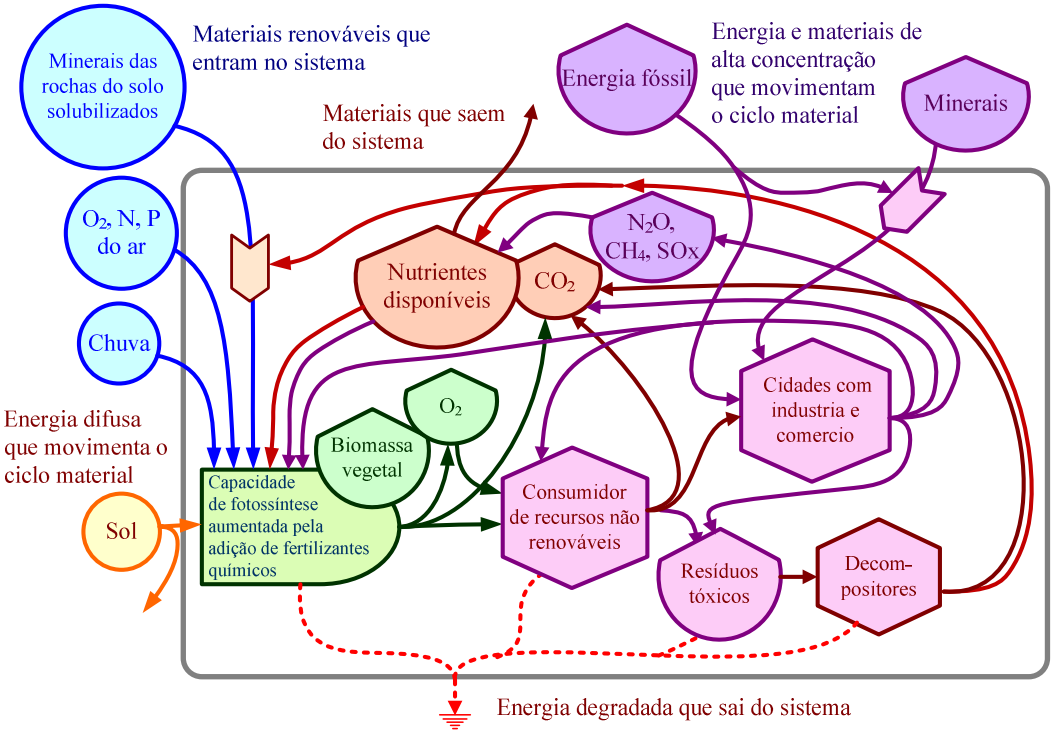
Acoplamento entre plantas e animais (sem o homem):



Na natureza, as plantas e os animais se integram em um **ciclo de produção e consumo** que é impulsionado pela energia do sol. As plantas, através da fotossíntese, transformam a radiação solar e os nutrientes básicos em biomassa vegetal. Dela, os animais obtêm os compostos químicos necessários para a vida.

A biomassa animal tem energia disponível que é aproveitada por outros animais (predadores). Esse consumo gera uma **"cadeia trófica".** Os resíduos dos animais ainda têm um pouco de energia disponível, a qual é aproveitada por um grupo especial de animais: os decompositores. Eles devolvem os nutrientes básicos ao sistema para que o ciclo de vida possa recomeçar.

O mundo hoje:



As coisas mudaram muito no planeta quando a humanidade desenvolveu a capacidade de extrair e usar carvão, 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. E esse trabalho não é considerado na contabilidade econômica. As despesas consideradas são apenas a de extração, transporte e beneficiamento, por isso o petróleo foi muito barato durante décadas (10 dólares/150 litros = 0,2 reais/litro aprox.).

Com esses recursos, a agricultura deixou de ser limitada pela reciclagem dos nutrientes locais. O trabalho humano foi substituído por produtos químicos e máquinas movidas à energia fóssil, porém com **custos sociais excessivamente elevados**.

Os custos sociais são:

Destruição das matas nativas = perda da biodiversidade, diminuição da água disponível;

Desapropriação (violência social) = concentração da riqueza, irresponsabilidade, injustiça;

Êxodo rural = marginalização (vida em favelas);

Uso de substância tóxicas = doenças e mortes na lavoura, poluição (custo de tratamento caro);

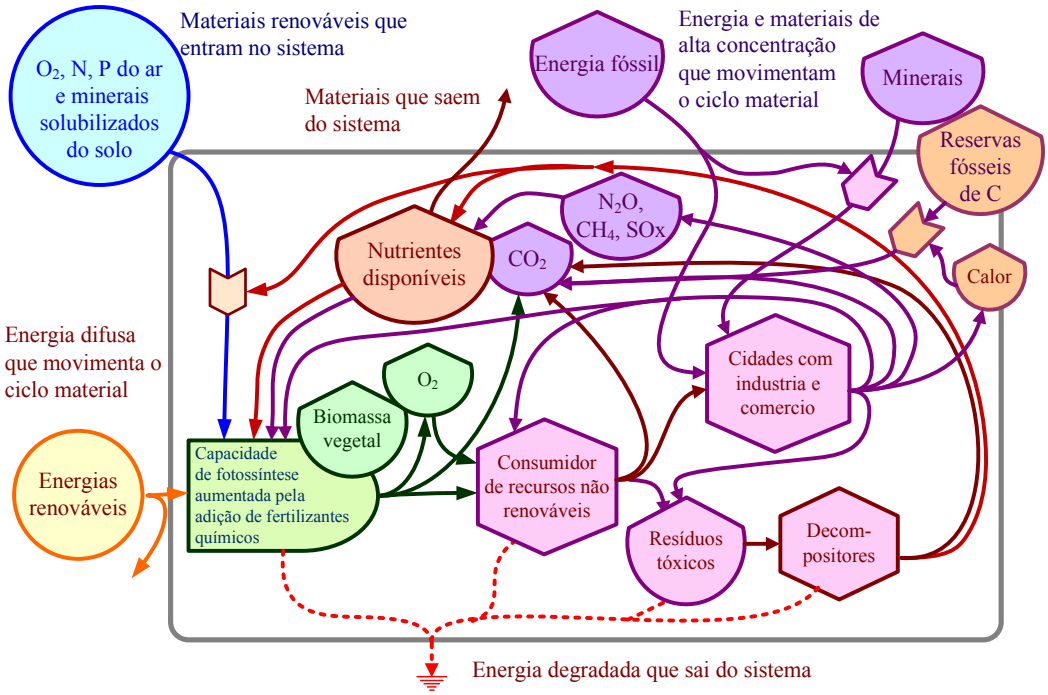
Alienação = ignorância, perda do sentido da vida;

Mudanças climáticas = extinção de espécies.

Resíduos, efluentes e emissões:

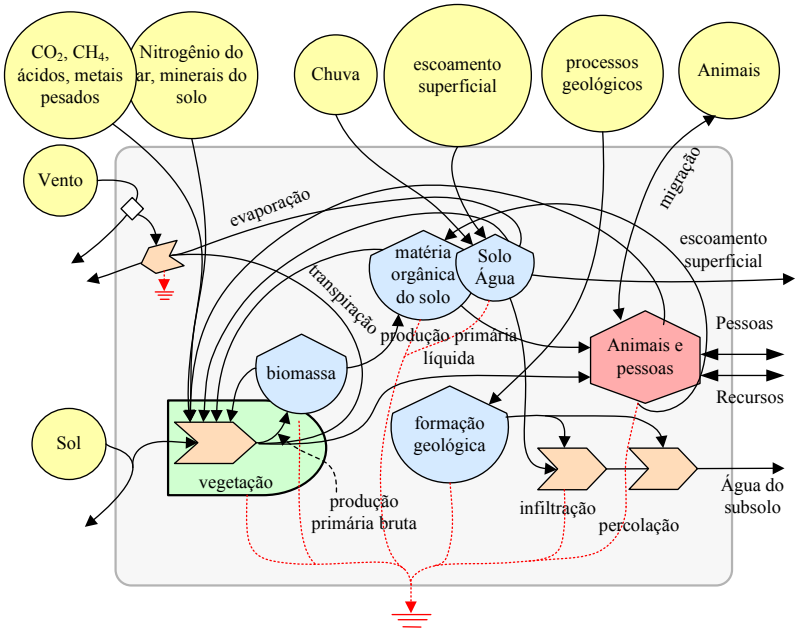
Os perigosos resíduos gerados pelos países industrializados são jogados no mar ou depositados em outros países. Senão, suas populações viveriam cercadas por imensos lixões. Ao queimar o petróleo ou transformá-lo em produtos industriais geram-se gases, muitos deles de efeito estufa (dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrogênio, enxofre) que aumentam a absorção do calor que a Terra emite, provocando assim o **Aquecimento Global**.

Aquecimento global:



A queima de energia fóssil e das florestas pode liberar estoques de CO_2 e CH_4 (calotas polares, geleiras, permafrost, clatratos).

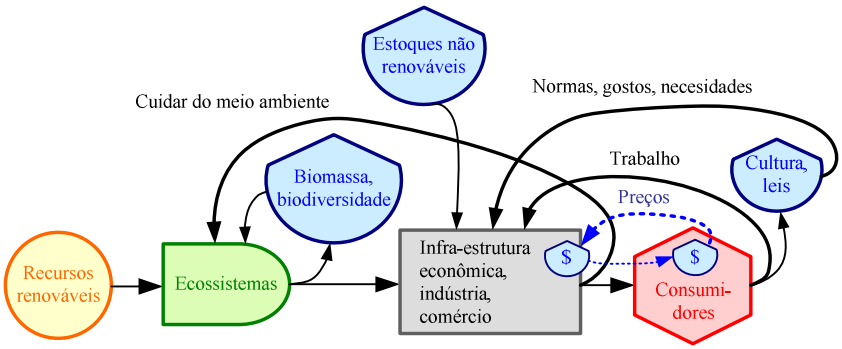
Um ecossistema:



A chuva, o escoamento superficial e o resultado dos processos geológicos em outras regiões entram e criam estoques de solo, húmus, água e estruturas geológicas. A vegetação local recebe energia solar e utiliza os estoques internos para criar um estoque de biomassa que serve de alimento para a fauna. A flora e a fauna geram matéria orgânica para o solo. Há migração de animais e intercâmbio de pessoas e produtos. Observamos também um escoamento superficial de água que arrasta parte do estoque de solo; fluxos de infiltração e transpiração e evaporação que, com a ação do vento, saem do sistema. Por último, uma parte da energia sai do sistema como energia degradada.

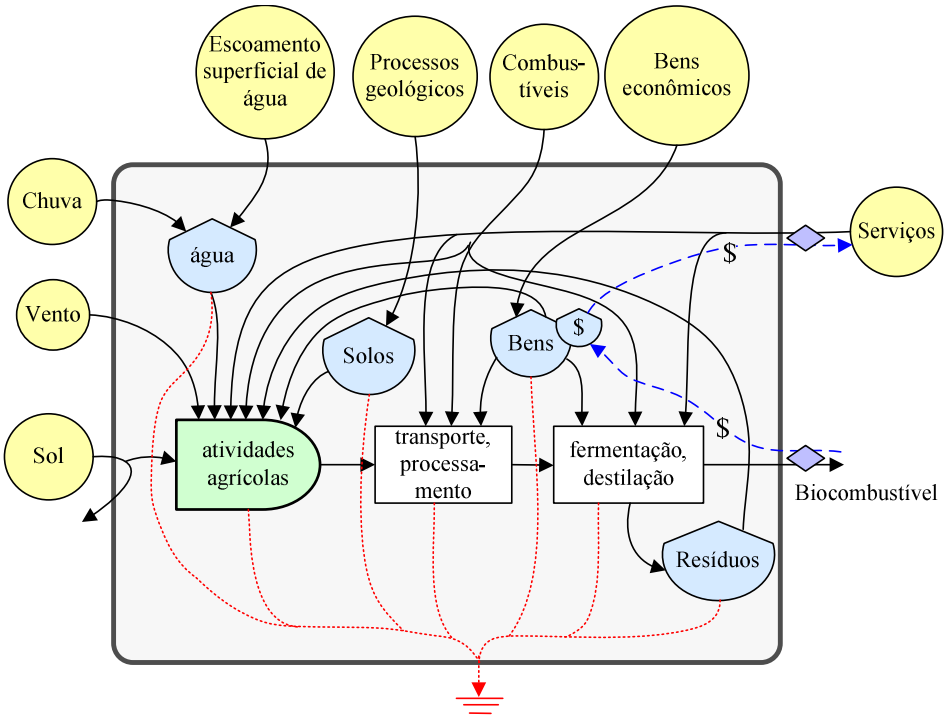
Laços de retro-alimentação nos sistemas.

A auto-organização do sistema se consegue pelos laços de retroalimentação que reforçam o funcionamento das estruturas primárias (à esquerda no diagrama), fornecendo energias de maior qualidade vindas dos elementos no topo da cadeia trófica (à direita no diagrama). A auto-organização visa o aumento da captação de energia.



Os sistemas se auto-organizam criando laços de retro-alimentação e estruturas para aproveitar a energia disponível e realizar trabalho sistêmico. **A cultura, as leis, os preços, o trabalho, os gostos, as necessidades sociais constituem a retro-alimentação humana.**

Usina de álcool (sem mostrar impacto sócio-ambiental):

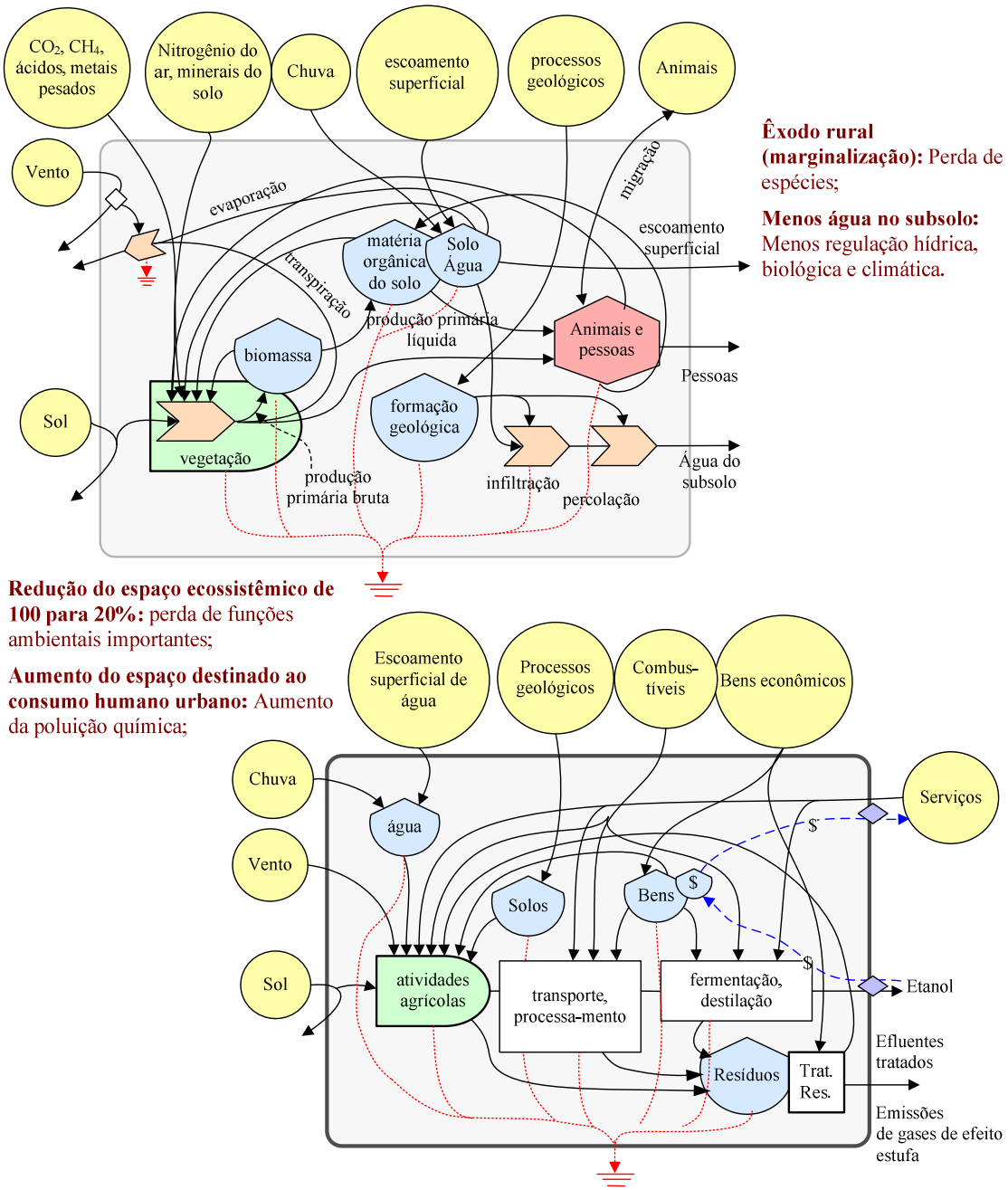


O diagrama representa uma usina de álcool de forma simplificada. Observamos um escoamento superficial de água que, junto com a chuva gera um estoque de água. Vemos que os processos geológicos externos geram um estoque de solo.

As atividades agrícolas precisam da energia do sol e dos estoques internos de água e solo. A produção industrial requer mão-de-obra, combustíveis, produtos químicos e bens econômicos para o corte da cana, o transporte, a extração, a fermentação e a destilação.

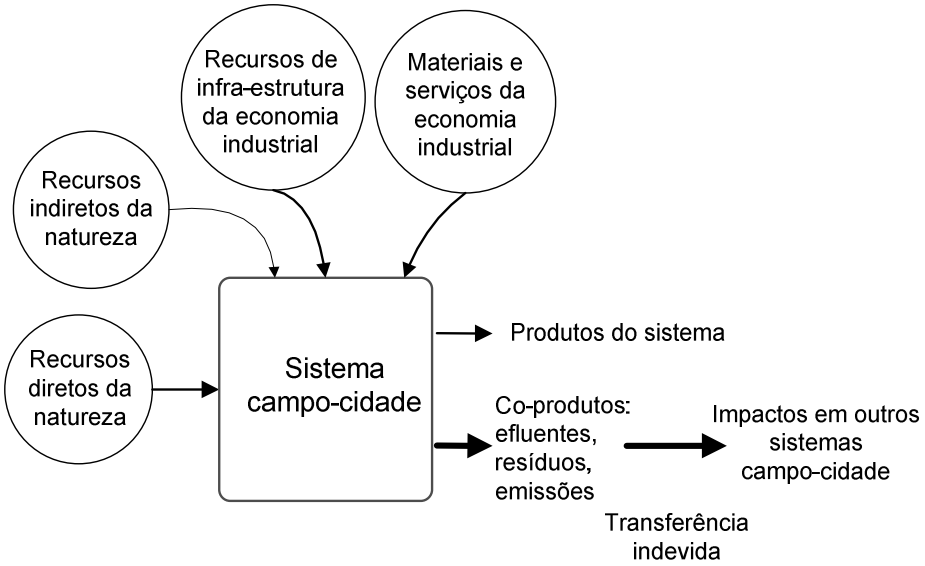
Além do etanol se produz um resíduo (vinhoto), que é reciclado como fertilizante na lavoura. A venda do etanol gera um estoque de capital (dinheiro) que é usado para pagar os insumos, os serviços externos e gerar lucro. Por fim, o sistema dispersa energia e materiais.

Usina de álcool mostrando o impacto sócio-ambiental:



Um sistema de produção (com a usina de álcool) ou um sistema campo-cidade utiliza os recursos diretos e indiretos da natureza bem como recursos, materiais e serviços da economia industrial para gerar seus produtos.

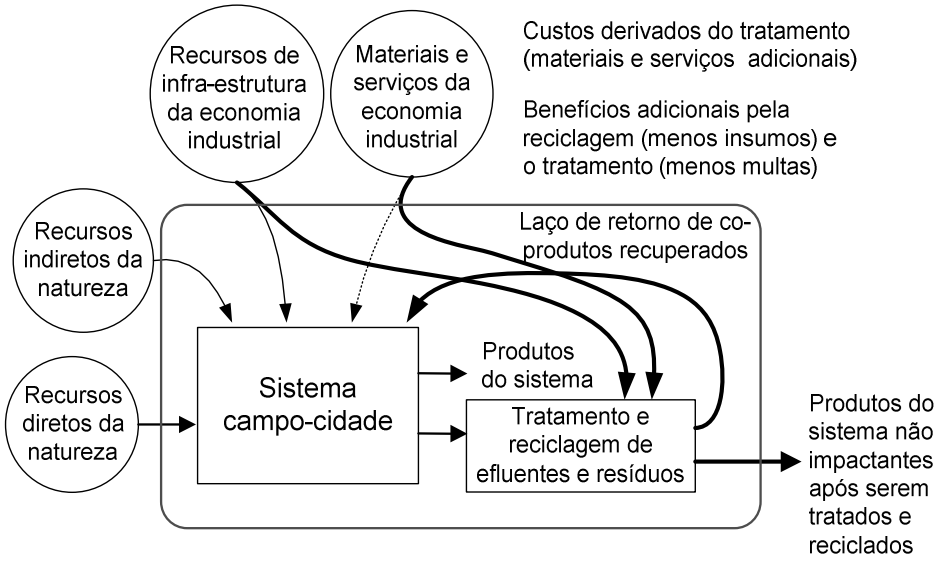
No entanto, nesse processo geram-se também efluentes e resíduos que, por não serem tratados, causam impactos ambientais.



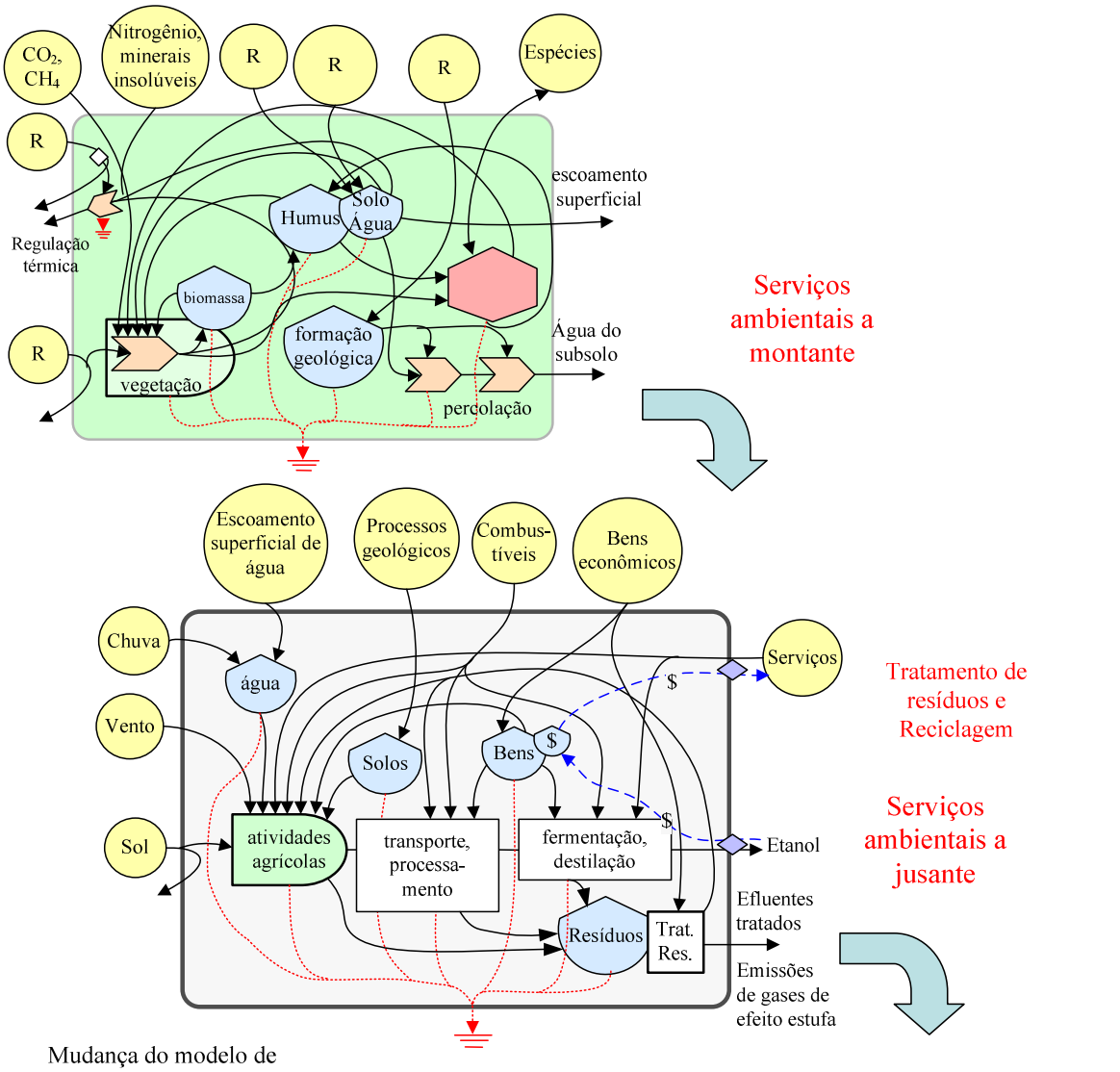
A solução para esse problema é o tratamento e reciclagem de efluentes e resíduos.

Esse tratamento gera custos, mas os benefícios superam os custos.

Quando os resíduos são tratados e reciclados, há menos gasto com insumos e menos multas, além disso, preserva o meio ambiente por reduzir os impactos ambientais.



Absorção do impacto social:



Mudança do modelo de produção, integração do metabolismo campo-cidade utilizando recursos renováveis e pleno emprego.

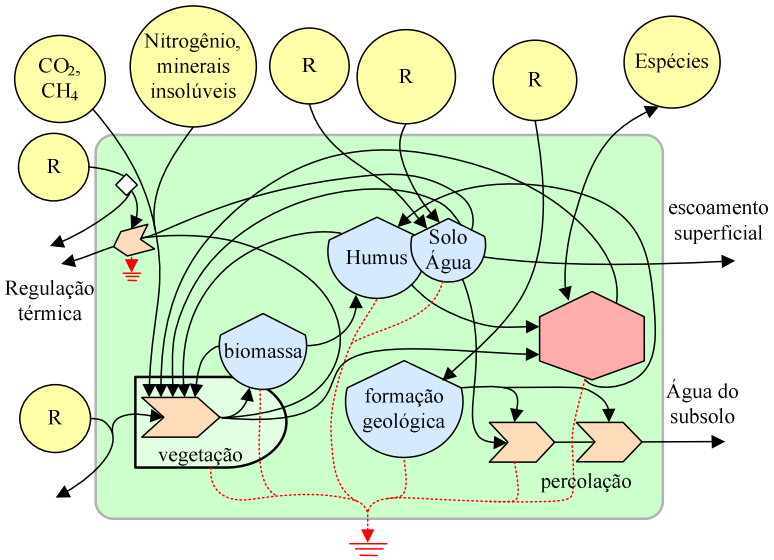


Diagrama sistêmico de uma região sustentável:

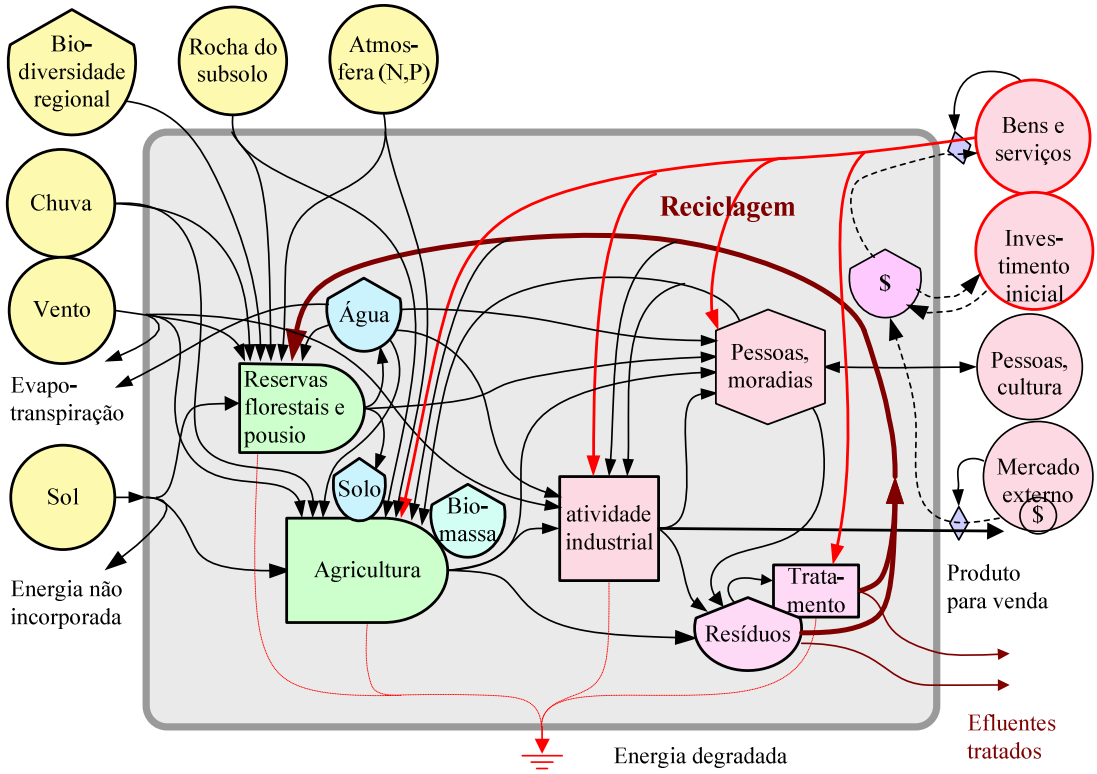
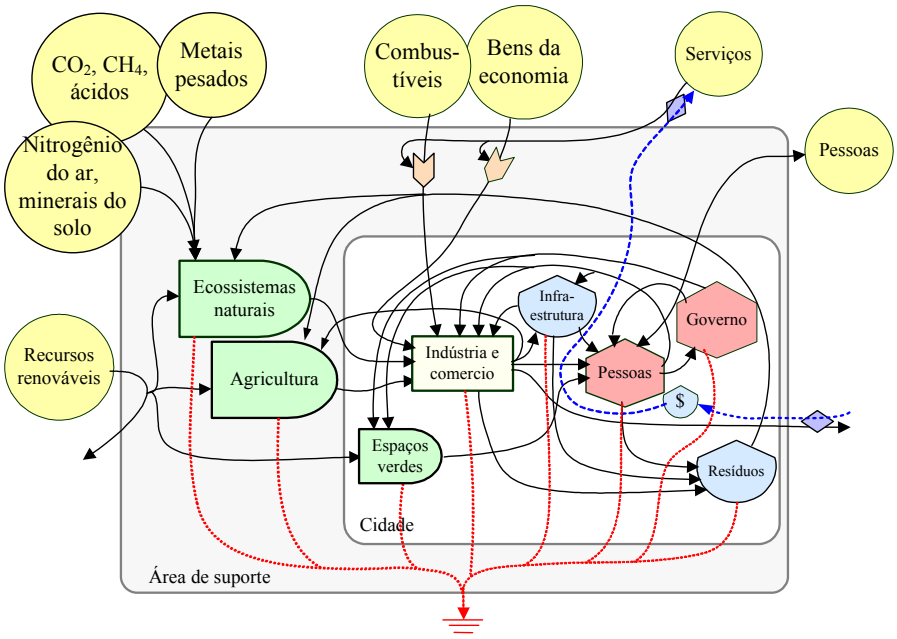


Diagrama de uma cidade



Existem três áreas de produção vegetal: os ecossistemas naturais remanescentes, o setor agrícola e os jardins e parques da cidade. Aí se aproveita o fluxo de energias renováveis, os resíduos da cidade e uma parte dos insumos que vem do exterior. Os resíduos da indústria, do comércio e da população são reciclados. O símbolo de estoque de resíduos inclui um processo de tratamento de resíduos. A infra-estrutura permite o funcionamento da indústria, do comércio e das moradias. Os cidadãos governam a região. O vínculo com o exterior ocorre através da venda de produtos, compra de bens e combustíveis, entrada de serviços públicos e troca de pessoas. O diagrama não mostra pessoas no espaço rural.

Contabilidade dos sistemas

Já sabemos interpretar os sistemas e fazer seus diagramas, agora vamos estudar sua contabilidade.

Para comparar coisas diferentes precisamos antes colocá-las na mesma base, para isso usaremos um novo conceito de riqueza ou valor: a emergia solar equivalente (ou, simplesmente, **emergia**).

"Emergia" se define como a energia total utilizada para produzir um recurso da Biosfera. Ao colocar todos os fluxos em emergia solar podemos conhecer o custo energético integral dos produtos e comparar processos.

Porque necessitamos da visão sistêmica?

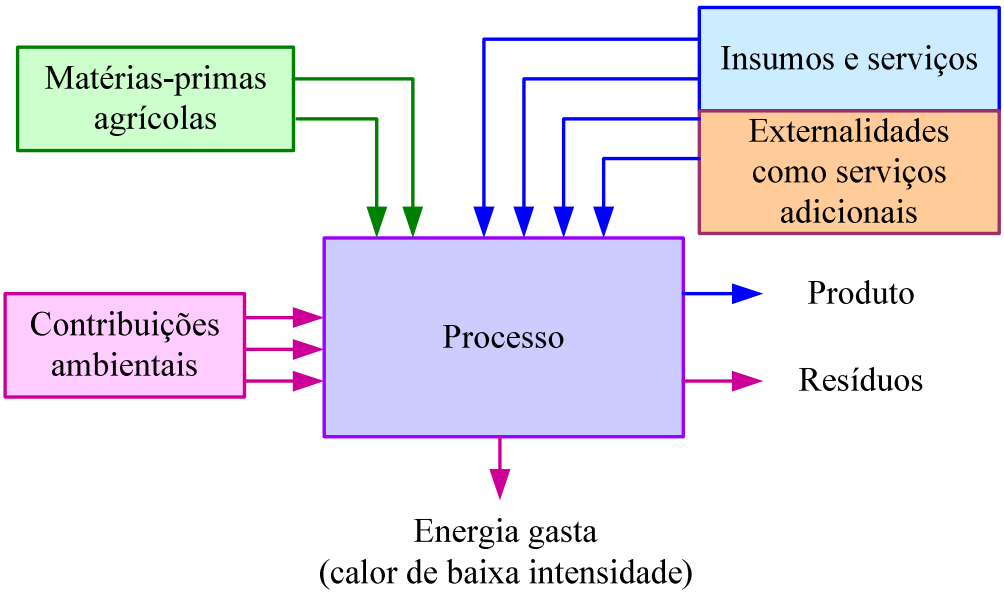
Na economia convencional, o preço de um produto se calcula somando as despesas com insumos e serviços mais a margem de lucro desejada.

Preço = Custo dos insumos e serviços + Lucro (+ Despesas ocultas)

O preço econômico considera despesas vinculadas ao trabalho humano, mas desconsidera:

- A coerção, os subsídios;
- A contribuição da natureza na produção de recursos;
- A absorção do impacto ambiental;
- Os custos do tratamento médico (doenças provocadas pelo uso de substâncias tóxicas);
- Os custos de tratamento de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões gasosas;
- As despesas da exclusão social (que geram uma grande demanda de serviços públicos).

Valor = Contribuição da natureza + Custos + Serviços Adicionais + Lucro



A metodologia emergética coloca todas as entradas do sistema (energias, materiais, moeda, informação) em termos de energia solar equivalente (emergia solar). Usa o princípio que rege os sistemas abertos: os sistemas na natureza se auto-organizam para aproveitar ao máximo a energia disponível através da criação de estruturas autocatalíticas e da formação de redes que integram produtores e consumidores em uma hierarquia universal de energia.

Algumas definições:

(a) Emergia é a energia potencial disponível (exergia) que foi previamente utilizada, em forma direta ou indireta, para produzir um produto ou serviço. A emergia (energia potencial agregada) fornece o valor do trabalho realizado na produção de um recurso, o que constitui seu valor.

(b) A qualidade de um recurso é medida em emergia por unidade (massa, energia, dinheiro, informação, área, pessoa, país, biosfera).

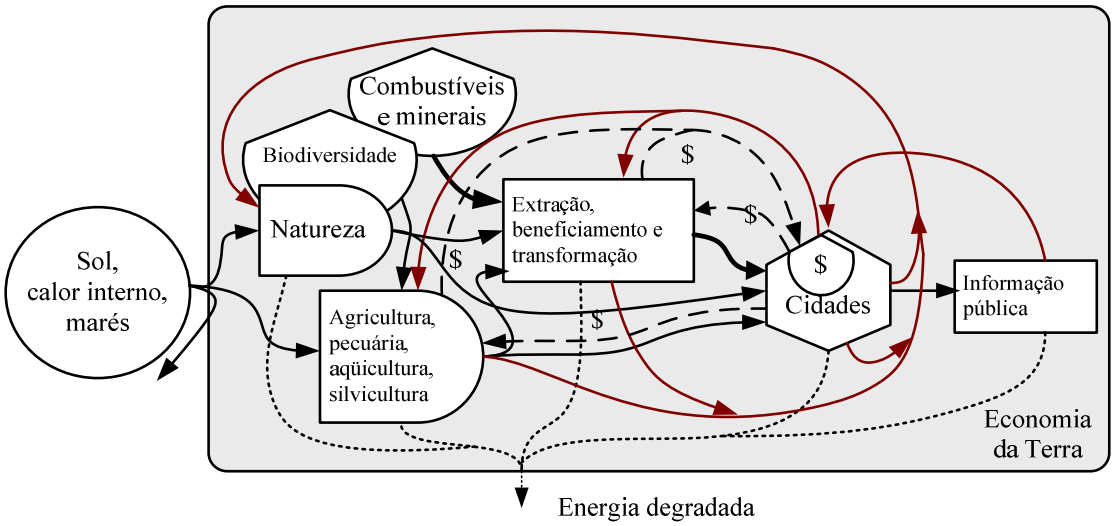
(c) A emergia por dólar indica a capacidade de aquisição de riqueza. A série histórica deste indicador mostra a inflação ocorrida.

(d) A razão (emergia/dinheiro) varia com o tempo e também entre países. Ela permite converter os fluxos de emergia em fluxos de dólares emergéticos (emdólares) e, quando necessário (geralmente no caso de serviços humanos), converter dólares em fluxos de emergia.

As ações promovidas pelas políticas públicas serão bem sucedidas quando:

- Conseguirem aproveitar a emergia que está disponível em cada etapa do sistema. Cabe dizer aqui que, a emergia disponível varia com o tempo, pode haver momentos de abundância sem condições de usar os recursos, momentos de crescimento rápido, momentos de desaceleração devido ao esgotamento dos recursos, momentos de estancamento e declínio, momentos de escassez de recursos naturais. Cada momento exige uma política diferente para aproveitar recursos diferentes;
- Retribuírem adequadamente o trabalho de todos os componentes da cadeia energética;
- Extraírem os recursos naturais sem exceder a capacidade de reposição pela natureza e reporem os nutrientes extraídos para manter a fertilidade natural e a produtividade;
- Beneficiarem a base produtiva natural, não somente o setor de consumo humano. O trabalho da natureza deve ser reconhecido, valorizado e reforçado.

Interação entre campo e cidade (Odum, 2007).



Conceitos básicos da metodologia emergética

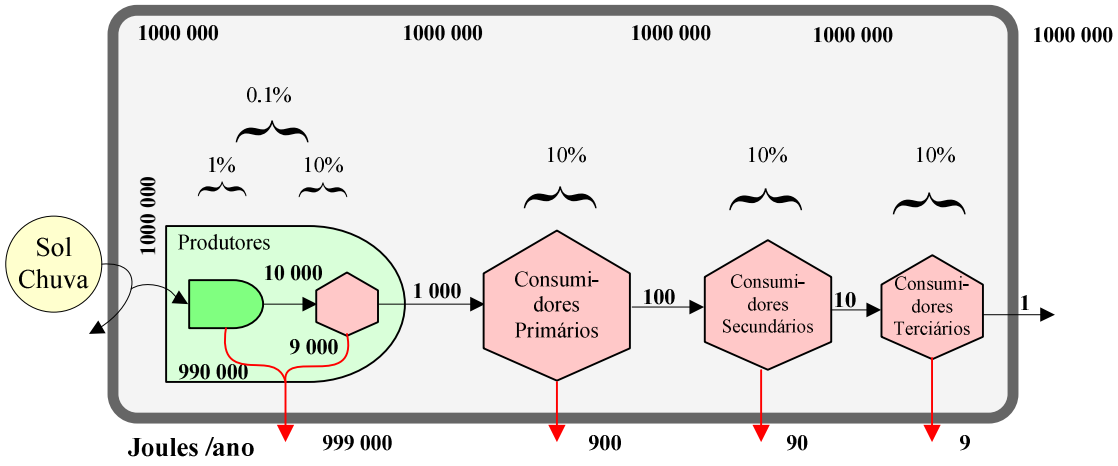
Se considerarmos que em tudo há energia disponível, a energia pode ser usada para avaliar a riqueza real em uma base comum. Mas para isso, temos que colocar as diversas energias “na mesma unidade”.

Como já foi dito, o conceito de emergia resolve o problema de comparar diferentes tipos de energia ao reconhecer sua posição na hierarquia universal de energia.

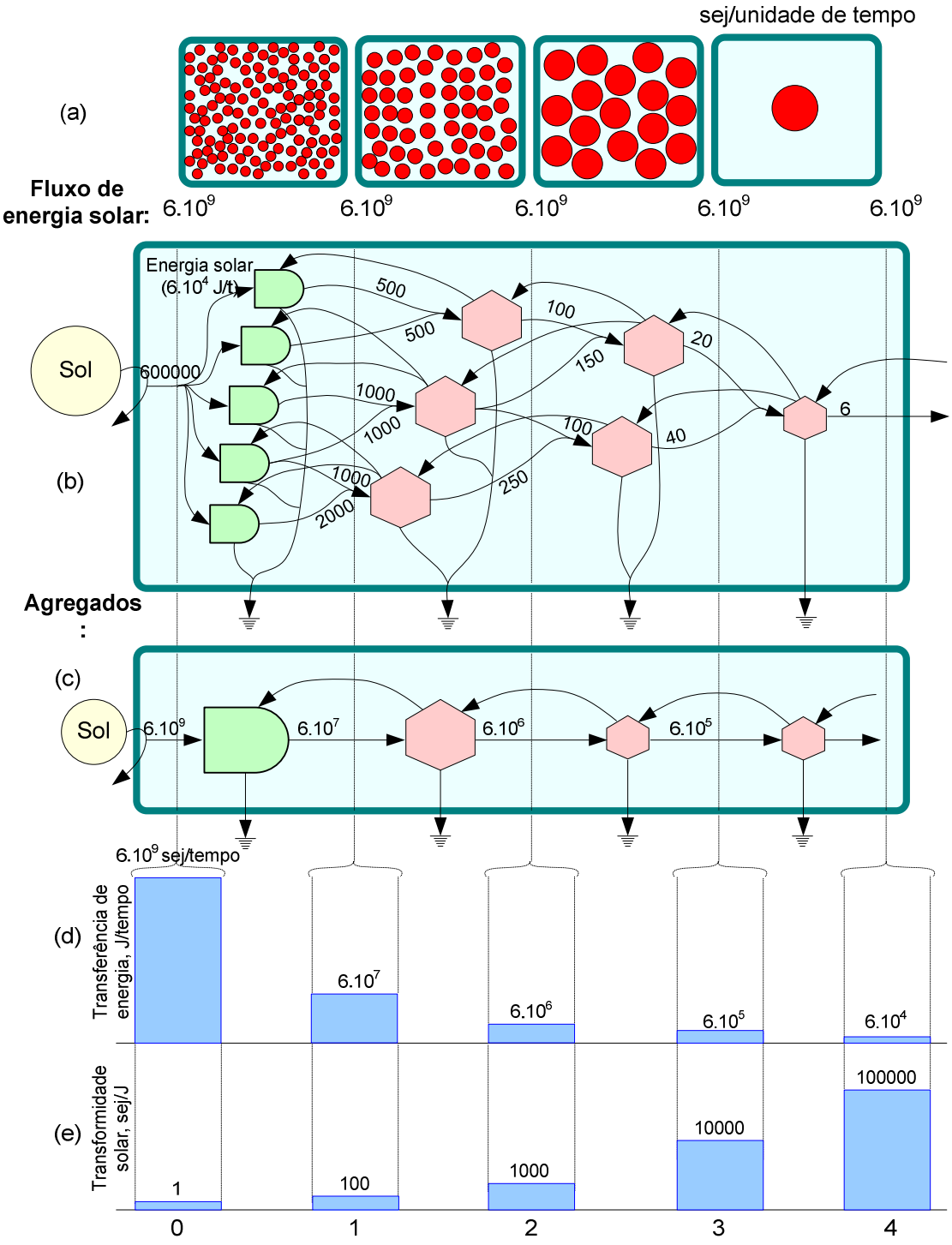
A natureza e a humanidade são partes de uma hierarquia de energia universal e estão imersos em uma rede de transformação de energia, que une os sistemas pequenos à grandes sistemas, e estes, à sistemas ainda maiores.

Para reconhecer a qualidade (funcionalidade) de cada tipo de energia deve-se medir o trabalho realizado e gerar o fator de conversão denominado transformidade, que aponta a posição dessa energia na hierarquia universal de energia.

Cadeia alimentar da floresta (visão simples).



Hierarquia da transformação de energia:



(a) Ocupação do território pelas unidades da rede de energia;

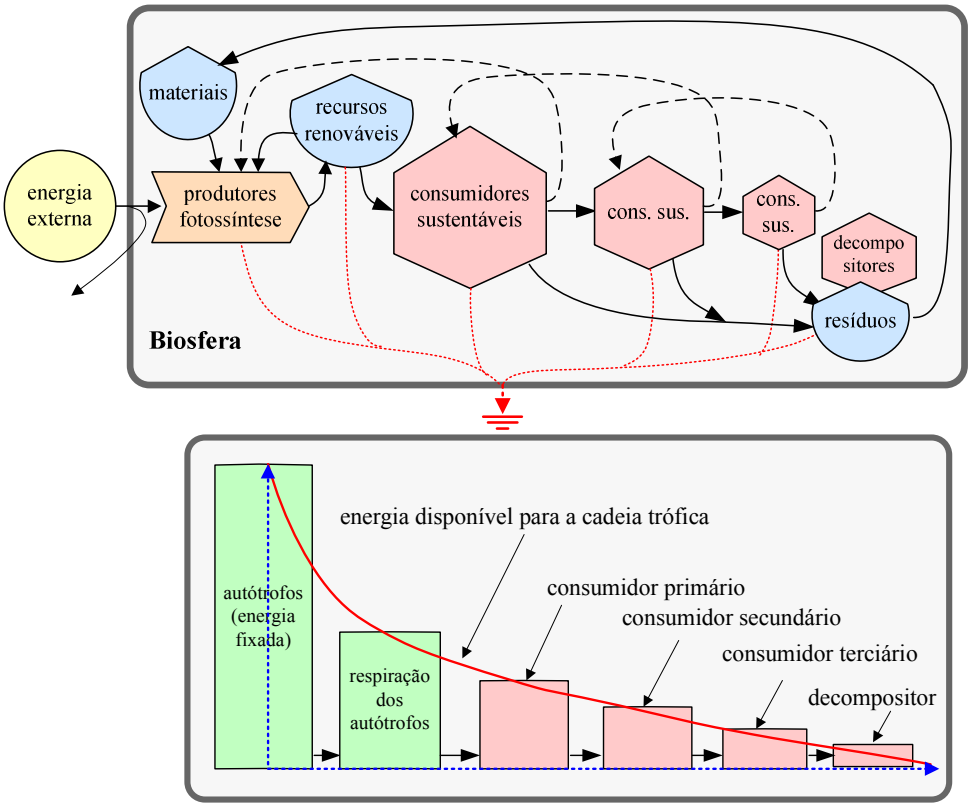
(b) Rede de energia incluindo transformação e retroalimentação;

(c) Cadeia de emergia com símbolos que indicam unidades agregadas;

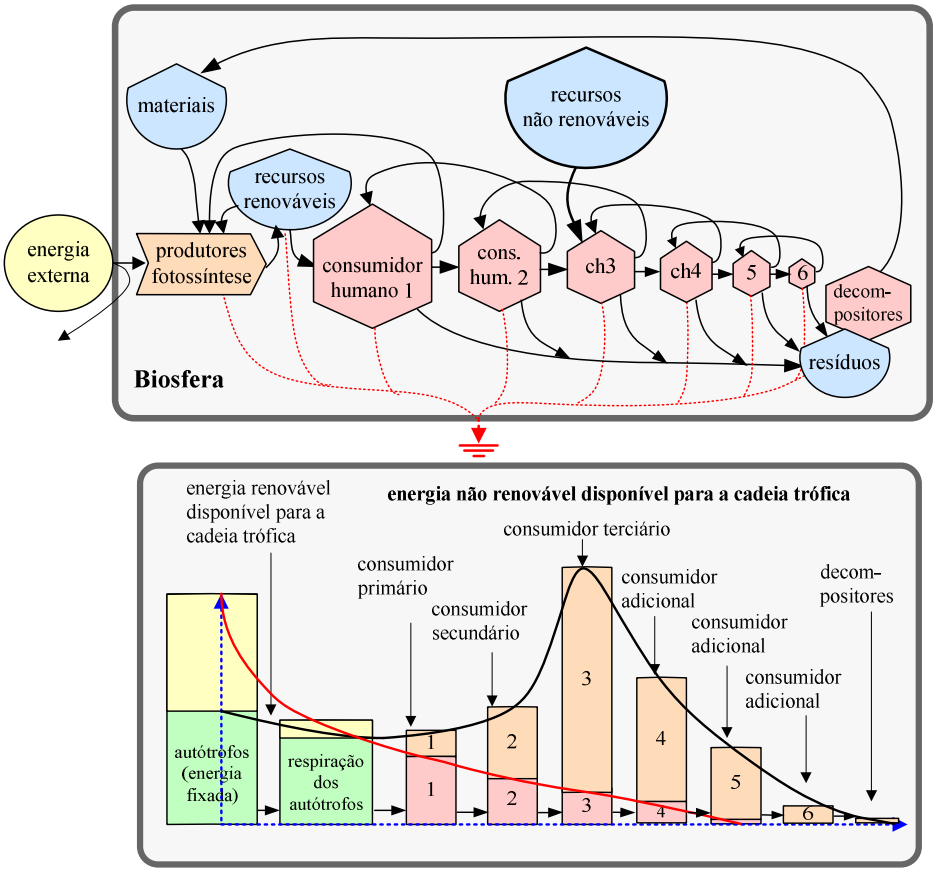
(d) Diagrama de barras dos fluxos de energia entre os diversos níveis da cadeia trófica;

(e) Diagrama de barras de transformidades.

Cadeia trófica gerada pela energia captada na fotossíntese:

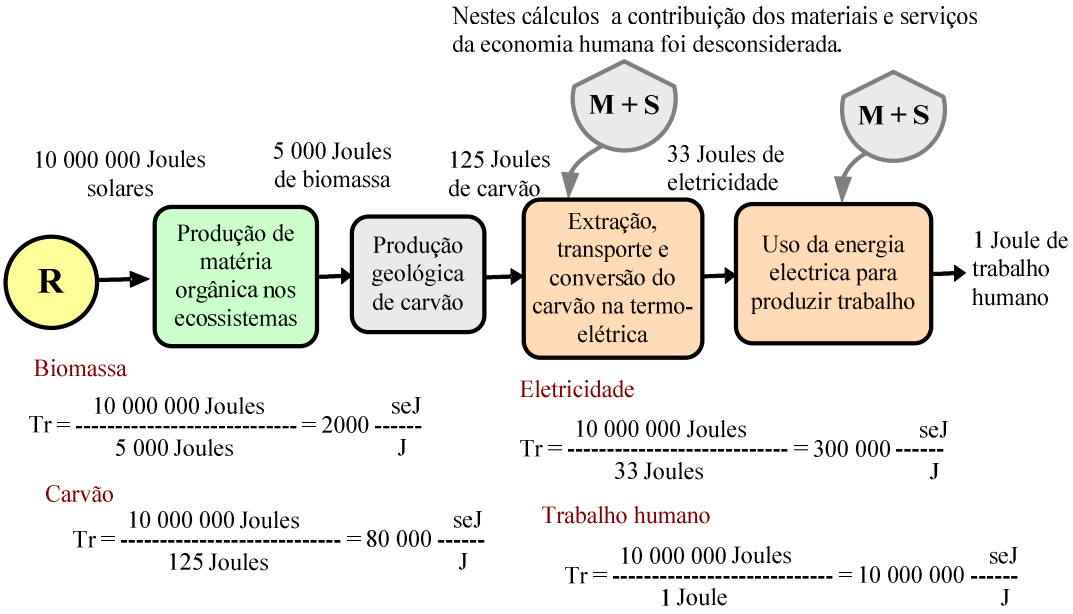


Cadeia trófica gerada pela energia captada dos energéticos fósseis:



Cadeia trófica gerada pela energia captada dos energéticos fósseis

Cadeia energética que inclui uma usina termoelétrica.



Necessitam-se:

2000 Joules de luz solar para fazer 1 Joule de matéria orgânica;

80000 Joules solares para 1 Joule de carvão;

300000 Joules solares para 1 Joule de eletricidade

10 milhões de Joules solares para obter 1 Joule de trabalho humano.

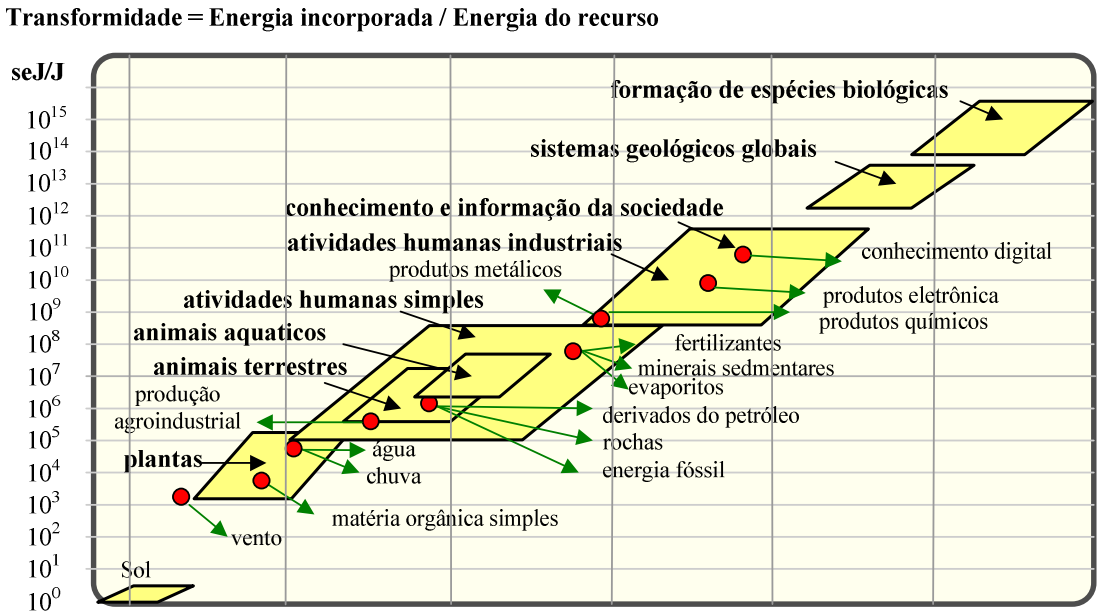
As energias de tipos diferentes não são equivalentes em sua contribuição de trabalho útil.

Uma mesma quantia de Joules de energia solar, biomassa, carvão, eletricidade e trabalho humano diferem em sua capacidade de fornecer trabalho útil. A funcionalidade da energia depende de sua transformidade.

Quanto maior o espaço e o tempo necessário para a produção de um recurso, maior a qualidade da energia produzida. Há menos energia, porém mais emergia por unidade nas coisas que exigem mais etapas nas cadeias de transformação.

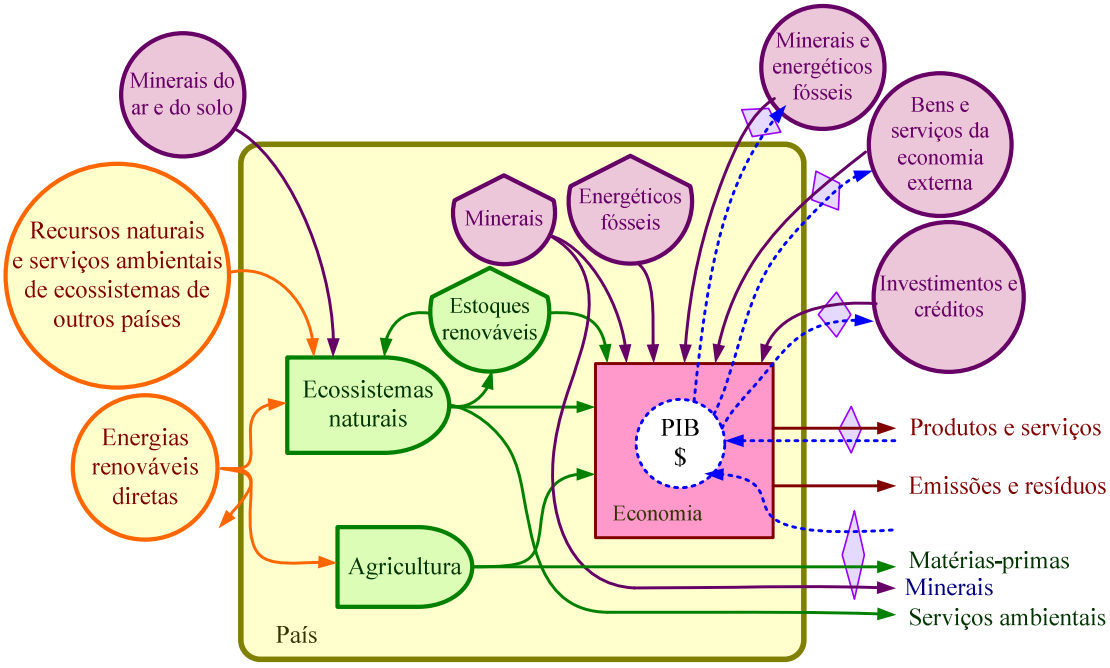
A metodologia emergética usa como unidade a **energia solar equivalente** (emergia solar). Para não confundir a energia que existe em um produto (Joules) com a energia utilizada para fazê-lo, as unidades de emergia são denominadas **emjoules solares** (sej).

Transformidades dos recursos da biosfera

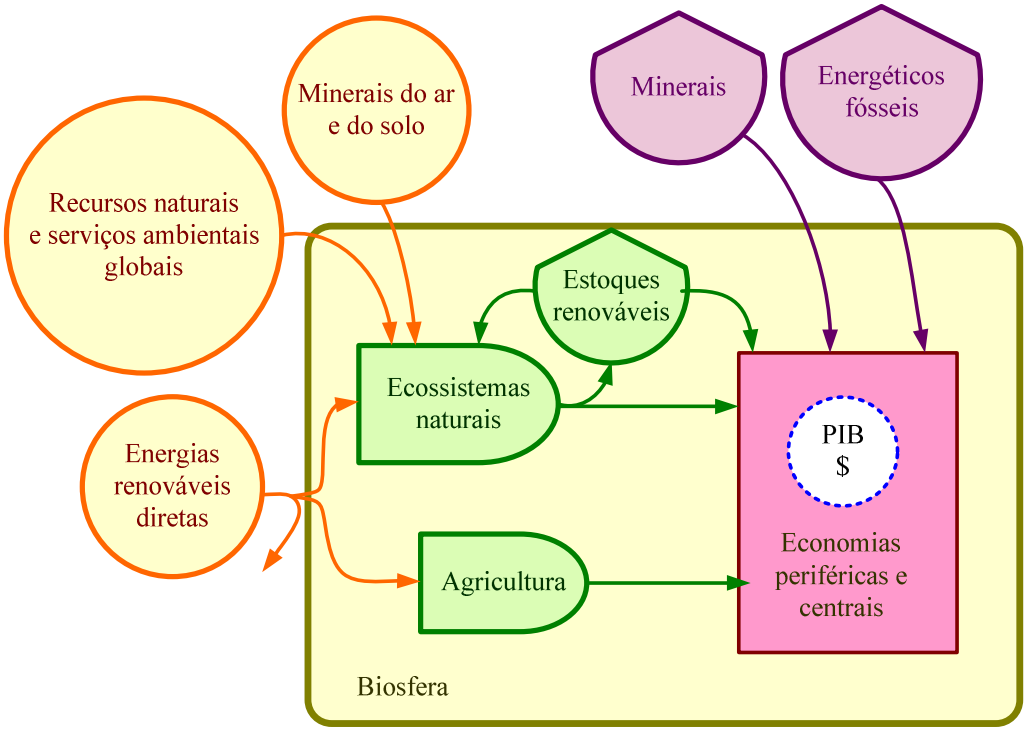


Na metodologia emergética usam-se as transformidades solares: emergia solar por unidade de energia [emjoules solares por Joule (sej/J)].

Relação [emergia utilizada/dinheiro circulante]



Como as pessoas têm dificuldades de lidar com números grandes (como os valores em emergia solar dos recursos) é recomendado o uso do emdólar, que se obtêm a partir da análise emergética da economia local. Assim obtemos a razão [emergia/dinheiro]. Ela varia com o tempo e com o perfil da economia da região. Essa informação nos permite converter o valor de um fluxo de emergia em fluxo de emdólares (e vice-versa).



A relação emergia/dinheiro da Biosfera foi avaliada em 3.4 x 10^{12} seJ/dólar (Odum, 1996). No início da década de 90, 70% da riqueza global vinha de recursos não renováveis e apenas 30% das energias renováveis (Brown e Ulgiati, 1994).

A análise "emergética" de sistemas

A análise "emergética" vida ser uma Economia Biofísica, corrige deficiências da análise econômica. No futuro próximo deve incorporar a visão política. É fruto de muitos anos de pesquisa realizada pelo professor Howard T. Odum, a qual é utilizada por muitos cientistas no mundo inteiro.

Objetivos:

A análise emergética avalia a renovabilidade, a emergia líquida de um sistema, a carga ambiental e a relação de troca entre sistemas. Os índices emergéticos permitem analisar as opções da sociedade e apontar as melhores.

Princípio básico:

O fluxo de energia e materiais renováveis da Biosfera constitui o potencial (e o limite) para o desenvolvimento humano sustentável.

"Emergia" como conceito de valor

A emergia considera o trabalho humano, a contribuição da natureza na formação dos recursos e pode avaliar e incluir as perdas de serviços ambientais e o custo das externalidades negativas. Em relação ao 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. Vemos que o dinheiro pago não representa o valor do trabalho incorporado. 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.

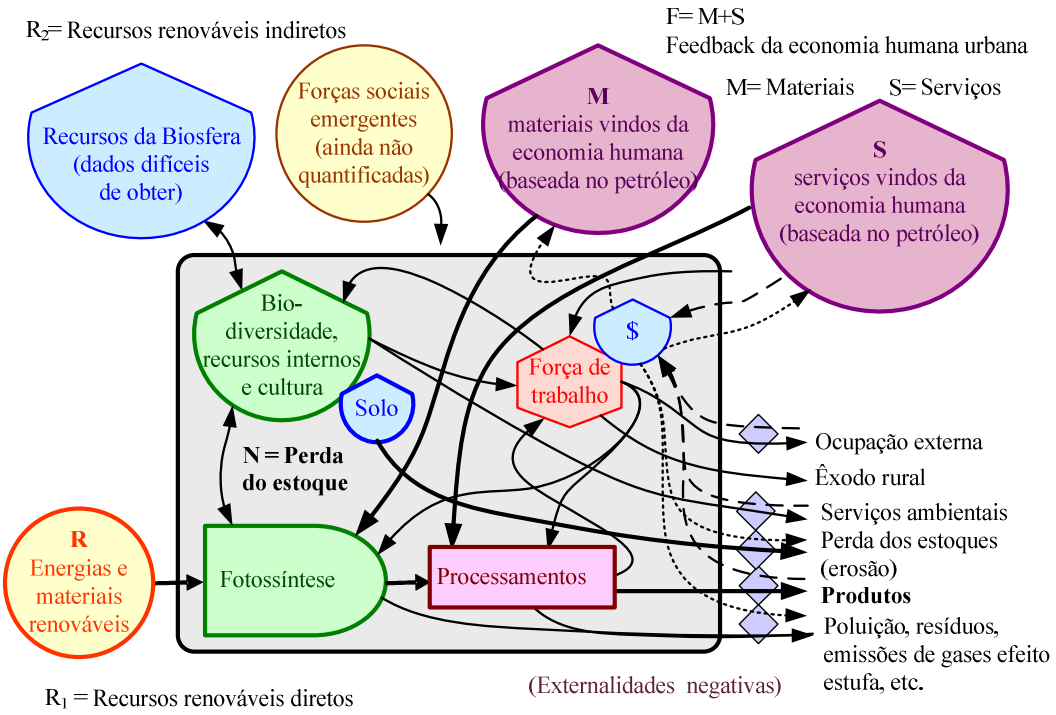
A tendência da economia é mobilizar rapidamente os estoques de alta qualidade. Como a disponibilidade dos recursos varia com o tempo, as políticas devem mudar a cada etapa dos ciclos de evolução.

Para garantir o aporte de recursos da natureza deve-se reconhecer seu trabalho e investir para que 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.

O trabalho da natureza deve ser estudado para poder ser reconhecido e valorizado. O dinheiro relativo à sua contribuição deve ser empregado para garantir que haja reposição daquilo que foi extraído, para manter a fertilidade do ecossistema e gerar controles para assegurar a sustentabilidade e governança do sistema.

O fator de conversão de energia para emergia se denomina “transformidade”. A chuva tem uma transformidade de 1,53 x 10^8 joules de energia solar por quilograma, o petróleo possui uma transformidade de 110000 joules de energia solar por Joule.

Diagrama sistêmico de um sistema produtivo:



Procedimento de cálculo do desempenho de um sistema:

1. A etapa inicial do cálculo consiste na preparação dos diagramas de fluxos de energia, materiais e serviços dos sistemas;
2. Depois se procede à obtenção dos valores dos fluxos das entradas e dos estoques utilizados;
3. A seguir esses valores são convertidos em fluxos de emergia solar (mediante a multiplicação com fatores de conversão de energia ou “transformidades”);
4. Ao ter todos os fluxos expressos na mesma unidade surge a possibilidade de agregar os fluxos conforme seu tipo e calcular índices de desempenho.

Exemplo de cálculo:

Para calcular a **energia agregada** na produção de um lápis devemos considerar a madeira, a tinta, o grafite e os serviços usados na produção. Os fluxos desses materiais se expressam em diversas unidades: kg de madeira/lápis, kg de tinta/lápis, kg de grafite/lápis, $ de serviços/lápis.

Para fazer a conversão para os fluxos equivalentes expressos em Joules de energia solar devemos usar os **fatores de conversão**: as **transformidades solares.** Elas expressam essas relações em termos de Joules equivalentes de energia solar (sej) por unidade de recurso (J, kg, $). Temos que conseguir as transformidades da madeira, da tinta, do grafite, do trabalho humano, e dos serviços em termos de **sej/J,sej/kg, sej/$**. Após as conversões, é possível somar os fluxos (pois estão nas mesmas unidades) e obter o valor da **energia necessária para produzir o lápis**, ou, de acordo com a metodologia empregada, a **"emergia"** do **lápis**, expressa em Joules de energia solar equivalente (**seJ/lápis**) ou **emdolares/lápis**.

Os valores em emergia representam os verdadeiros valores dos recursos.

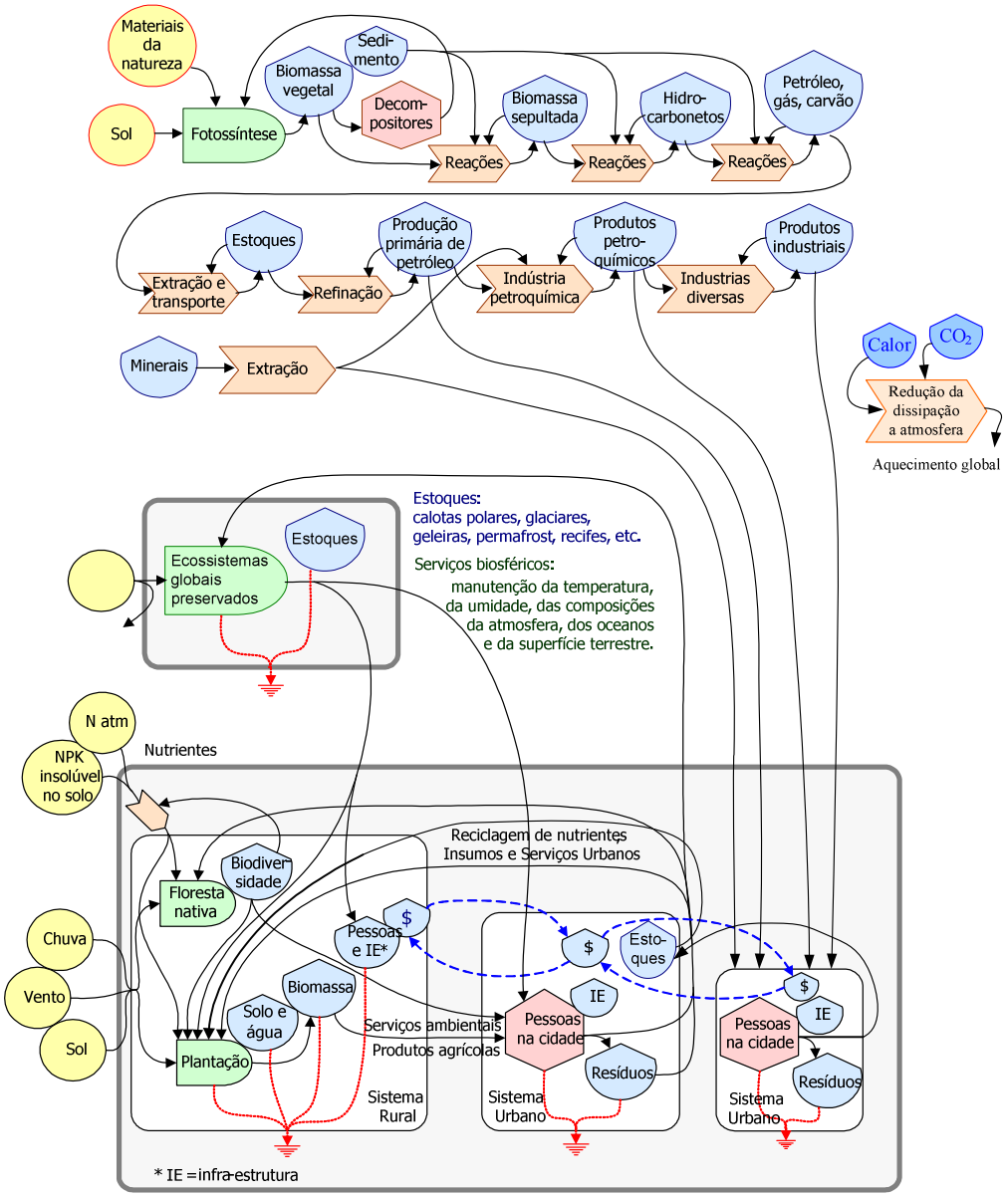
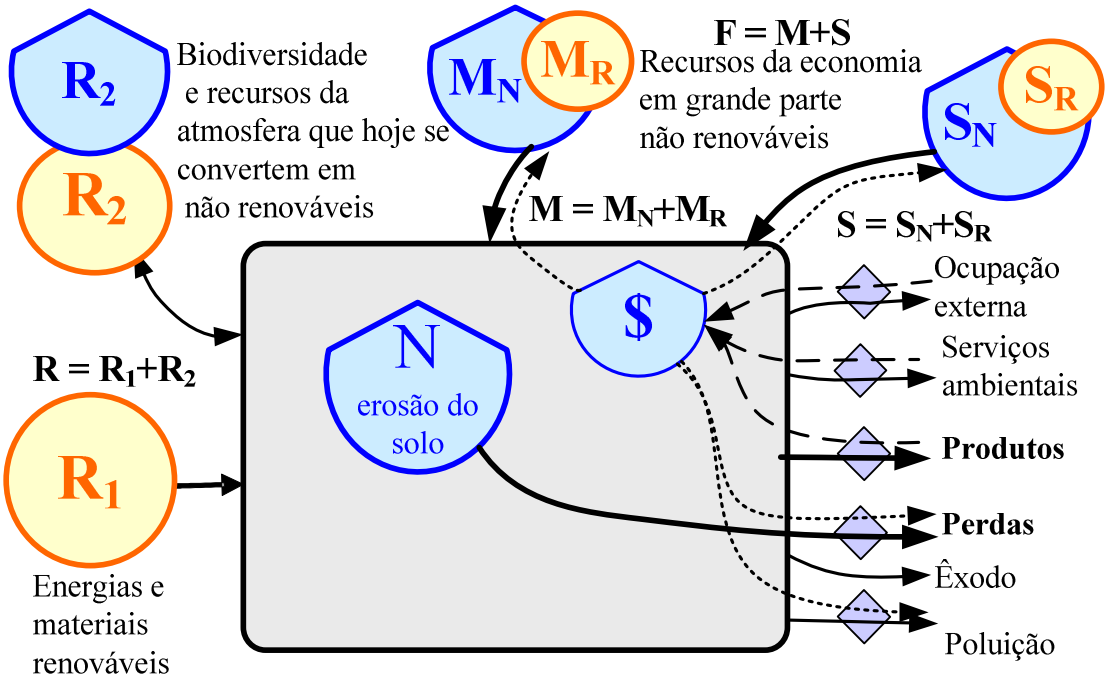


Diagrama sistêmico de um sistema produtivo



Recursos renováveis da natureza: R Recursos não renováveis da natureza: N Contribuição da natureza: I = R + N	Materiais comprados: M Serviços comprados: S Feedback da economia: F = M + S

Diagrama simplificado de fluxos agregados

Cálculo dos fluxos de Emergia das Entradas, Perdas e da Energia dos Produtos

Renováveis da natureza: $R = \Sigma (Je_i * Tr_i)$ Naturais não renováveis: $N = \Sigma (Je_i * Tr_i)$ Contribuição total da natureza: I = R + N	Materiais comprados: $M = \Sigma (Je_i * Tr_i)$ Serviços comprados: $S = \Sigma (\$_i * (Em/\$))$ Feedback da economia: F = M + S

Emergia usada: Y = I + F
Energia produzida: Ep = energia dos produtos

Índices de emergia dos sistemas de produção

Transformidade: Tr = Y/E: Renovabilidade: %Ren = 100 (R/Y) Taxa de rendimento emergético: EYR = Y/F	Taxa de investimento emergético: EIR= F/I: Taxa de carga ambiental: ELR = (N+F)/R Índice de Sustentabilidade Emergético: ESI = EYR/ELR

Taxa de intercâmbio emergético:
EER = [Y] / {(produto)*(preço de venda) * (emergia/USD)}

Indicadores de desempenho emergético

Transformidade: $Tr = Y/E$

A transformidade ("transformity") avalia a intensidade da energia produzida pelo sistema. É obtida dividindo a emergia total entre a energia (ou a massa) do recurso produzido. A transformidade é o valor inverso da eficiência ecossistêmica.

A letra E corresponde a energia do produto. Existem dois procedimentos de cálculo de E: como energia do produto principal ou como soma de todas as energias dos produtos. Uma idéia interessante seria usar duas transformidades complementárias para denotar a parte renovável e a não renovável:

$Tr = (Y_R/E) + (Y_N/E)$

Porcentagem de renovabilidade: $\%Ren = (R / Y)*100$

Pode-se calcular a renovabilidade dividindo a emergia dos recursos renováveis (R) entre a emergia total usada no sistema (Y). Pode ser vista como a medida da sustentabilidade.

Os países industriais apresentam baixa renovabilidade e os subdesenvolvidos um valor alto. Devido ao intercâmbio internacional não ser justo existe uma transferência da riqueza ambiental da periferia aos países centrais que compram as matérias-primas (um subsídio de sustentabilidade).

No decorrer de um século a renovabilidade da biosfera que era de 95% caiu a 28% (Brown, 1998). Nos países industriais a renovabilidade caiu mais (até 5-10%).

Este índice pode ser aprimorado, ao considerarmos que os materiais e os serviços da economia são em parte renováveis:

$Ren = (R + M_R + S_R) / Y$

Taxa emergética de rendimento líquido: $EYR = Y/F = ((R+N) + (M+S))/F$

Para conhecer o benefício líquido ou neto, calcula-se a razão de rendimento emergético ("emergy yield ratio" ou "net emergy ratio") dividindo a emergia total pela emergia das entradas que provém da economia (F). Indica se o processo pode competir com outros no fornecimento de energia primária para a economia (conjunto de consumidores).

Esse indicador pode ser aprimorado: $EYR = (I+F)/F = ((R+N) + (M+S))/F$

Os recursos energéticos fósseis, dependendo da concentração, localização, preço e situação política fornecem 3 a 15 vezes mais emergia (valor alto de N) que a investida na extração e processamento. Porém a tendência é a queda no valor do EYR do petróleo, pois valor de F está aumentando. Os produtos florestais rendem entre 2 e 10 vezes o investimento feito. Os produtos agrícolas feito com agro-químicos apresentam valores pequenos (entre 1,1 e 2). Os sistemas agro-ecológicos apresentam valores maiores. Quando o valor de EYR é próximo da unidade, não há emergia líquida, pois a captura da energia da natureza (I/F) é mínima:

$EYR = Y/F = (R+N+F) / F = 1.0 + [(R+N) / F] = 1.0 + (I / F)$

Pode-se aprimorar separando o saldo renovável e o saldo não renovável:

$EYR = (I+F)/F = ((R+F_R)/F) + ((N + F_N)/F) = EYR_R + EYR_N$

Taxa emergética de investimento: EIR = F/I

Para saber se o investimento terá uma boa contrapartida de recursos naturais calcula-se a razão de investimento ("emergy investment ratio"). Esse índice mede a proporção entre os recursos da economia com custo monetário (F) e a emergia da natureza gratuita (I).

É uma medida da viabilidade econômica. Quando a contribuição da fonte ambiental é alta esta proporção é pequena e os custos são baixos. Para ser competitivo o processo deve ter um valor de EIR similar ao das outras atividades da região. Se o processo exige mais da economia que outras opções, terá menos chances de subsistir; se exigir menos seu custo será menor, e poderá competir prosperar e depois aumentar o investimento.

Taxa de carga ambiental: ELR = (N+F)/R

A taxa de carga ambiental ("emergy loading ratio") mede a proporção entre recursos não renováveis e os renováveis. Os processos ecológicos apresentam um valor baixo, já os processos que usam intensamente os recursos não renováveis possuem valores altos.

Esse indicador pode ser aprimorado:

ELR= (renováveis)/(não renováveis)
$= (N+M_N+S_N)/(R+M_R+S_R)$

Taxa de intercâmbio emergético: EER = Y / Σ [(produção anual*preço)*(emergia/USD)]

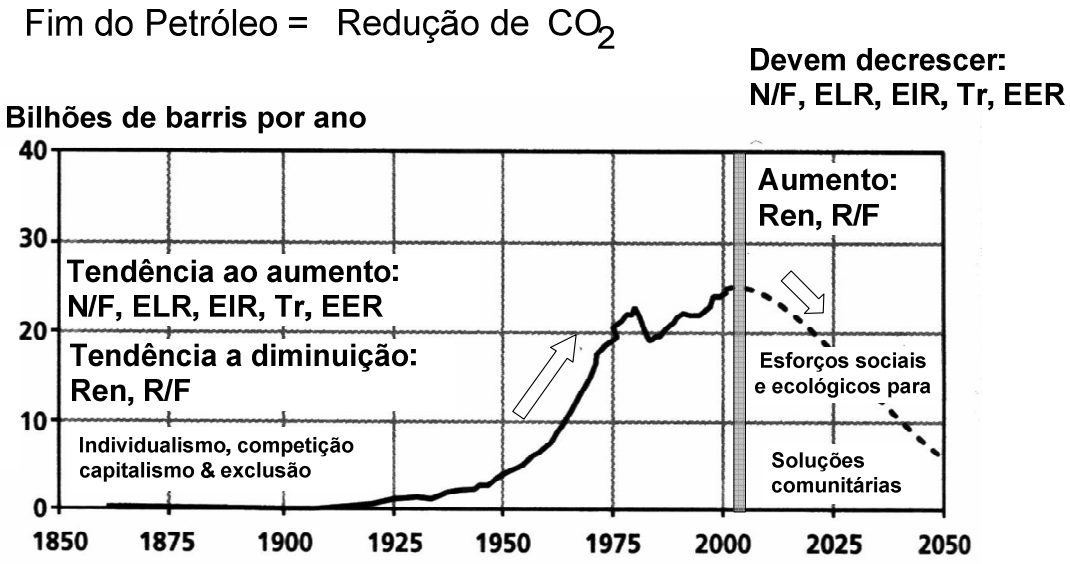
A razão de intercâmbio de emergia ("emergy exchange ratio"), desde o ponto de vista do consumidor externo é a proporção entre a emergia recebida (Y) e a emergia fornecida ($) em uma transação.

As matérias-primas (minerais e produtos da agricultura, pesca e silvicultura), apresentam um valor alto de EER. O dinheiro recebido somente paga os serviços humanos e não retribui o trabalho da natureza.

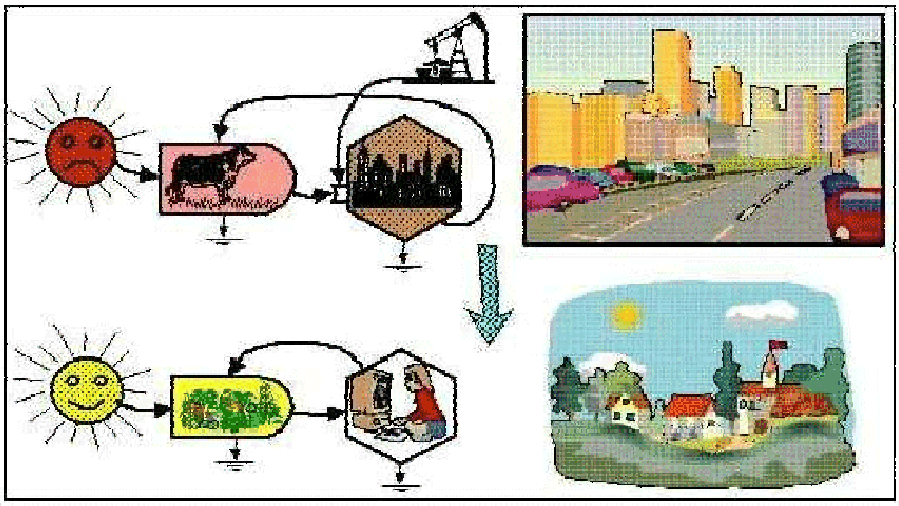
Este índice permite avaliar o intercâmbio internacional. Há uma grande falta de equidade no intercâmbio da riqueza real no comércio internacional.

Ao comprar matérias-primas de países menos desenvolvidos as nações industriais transferem um saldo de emergia, pois a emergia dos recursos monetários recebidos é muito menor que a contida nas matérias-primas vendidas.

Tendências dos índices ao mudar o modelo global.



As reflexões de H.T Odum e E.C. Odum sobre o futuro (após a era do crescimento) podem ser lidas no livro: "**Prosperous Way Down**", publicado em 2001

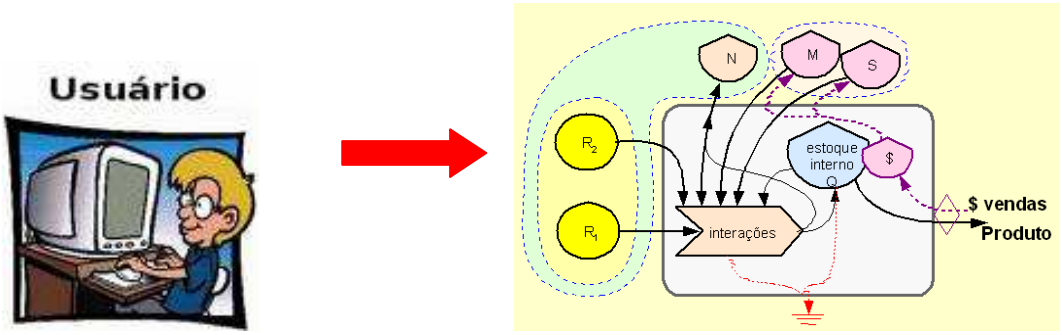


Software para a avaliação emergética

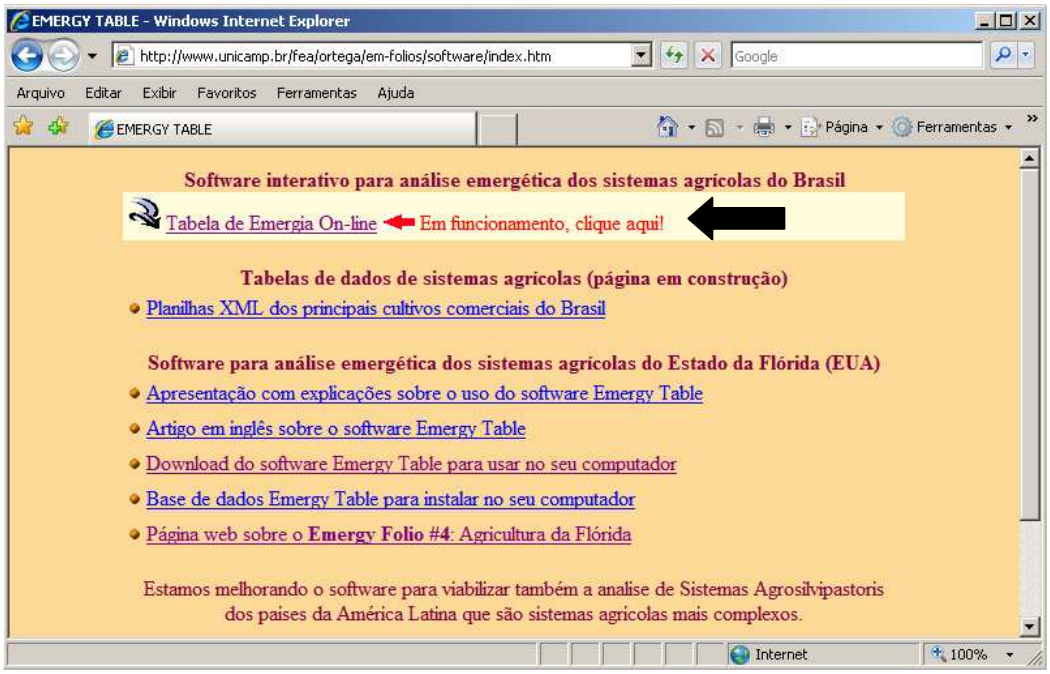
Hoje podemos utilizar o computador para facilitar nossa vida. É possível fazer compras pela internet, acessar a conta bancária, consultar informações, etc.

Na página web do Laboratório de Engenharia Ecológica podemos encontrar informações sobre a metodologia emergética. O endereço é www.unicamp.br/fea/ortega.

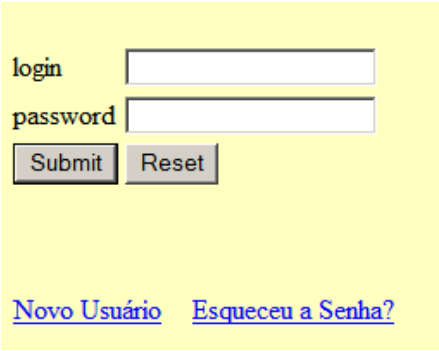
Aí pode acessar um sistema onde o usuário pode realizar a avaliação emergética on-line de sistemas agrícolas.



Para acessar o sistema, entre na página do laboratório e clique nos links como indicado nas figuras abaixo.



Você será redirecionado para a página do sistema, onde poderá se cadastrar e começar sua análise.



Sol	3954.51	kWh/m2/ano
Vento	5	m/s
Chuva	1.30	m3/m2/ano
Água de Rio.	0	m3/m2/ano
Água de Poço	0.00579	m3/m2/ano
Cálcio Solúvel	0	kg/ha/ano
Potássio Solúvel	0	kg/ha/ano
Fósforo Solúvel	0	kg/ha/ano
Nitrogênio Atmosférico	0	kg/ha/ano
Outros Nutrientes Solúveis	0	kg/ha/ano
Nutrientes da Rocha Mãe.	0	kg/ha/ano

Você poderá acessar modelos de alguns sistemas já estudados ou utilizar uma tabela geral que pode ser utilizada para qualquer sistema.

Com ela você poderá criar uma nova análise e preencher caixas de texto com os valores dos insumos utilizados no seu sistema.

Como resposta o programa mostra um gráfico com a porcentagem de recursos renováveis e não renováveis utilizados e os indicadores emergéticos.

Exemplo de um diagnóstico:

Sustentabilidade	Proporção de Recursos
Recursos Renováveis	55.4%
Recursos Não Renováveis da Natureza	2.5%
Recursos Não Renováveis da Economia	42.1%
ESI = EYR/ELR	2.94

Indices emergéticos	Equações	Valores	Indice Original
Transformidade (sej/J)	Tr=Y/E=Emergia/Energia	**178625**	---
Transformity (sej/kg)	Tr=Y/M=Emergia/Massa seca	**4.11** E12	---
% Renovabilidade	Ren=(100)*((R+Fr)/Y)	**55.36%**	**48.92%**
Taxa de Rendimento Emergético	EYR=Y/(Fn+IF + EMP)	**2.37**	**2.06**
Taxa de Investimento Emergético	EIR=(Fn+IF+EMP)/(R + Fr +N)	**0.76**	**0.99**
Taxa de Intercâmbio Emergético	EER=Y/EmS	**0.66**	---
Taxa de Carga Ambiental	ELR=(N+Fn+IF+EMP)/(R+Fr)	**0.81**	**1.04**
	R/F	**1.14**	**1.01**
	N/F	**0.05**	**0.05**

Desta forma podemos obter os índices emergéticos de uma forma fácil e rápida.

Qualquer pessoa pode acessar o sistema, modificar os valores existentes e verificar como a sustentabilidade é modificada com o aumento ou diminuição do uso de um insumo.

Acesse já e veja como é fácil!

Unicamp		Maça emdólar: 3.05 E12 sej/US$

Sustentabilidade	Proporção dos recursos utilizados
Recursos renováveis	30.5%
Recursos não renováveis da natureza	1.6%
Recursos não renováveis da economia urbana	67.9%

Obs.	Item	Fração renov.	Quantidade	Unidades	Transformidade dos fluxos (sej/unidade)	Emergia Total E12 sej/ha/ano
R1	Sol	1.0	**31000000000**	J/ha/ano	1	0.031
R2	Vento	1.0	**31600000**	J/ha/ano	2450	0.077
R3	Chuva	1.0	**63300000000**	J/ha/ano	31000	1962.300
R4	Água de Córrego	1.0	**47200000**	J/ha/ano	176000	8.307
R5	Fósforo atmosférico	1.0	**4.53**	kg/ha/ano	22000000000000	99.660
R6	Nitrogênio atmosférico	1.0	**3.4**	kg/ha/ano	24100000000000	81.940
N1	Perda do solo	0	**904000000**	J/ha/ano	124000	112.096
M1	Combustível Fóssil	0.01	**445047148**	J/ha/ano	110000	48.955
M2	Eletricidade	0.05	**815000000**	J/ha/ano	269000	219.235
M3	Cálcio queletizado	0.01	**0.765**	kg/ha/ano	380000000000	0.291
M4	Sulfato de Magnésio	0.01	**8.15**	kg/ha/ano	380000000000	3.097
M5	Calcário	0.01	**226.42**	kg/ha/ano	1000000000000	226.420
M6	Sementes	0.01	**2.11**	kg/ha/ano	1480000000000	3.123
M7	Concreto	0.01	**90**	kg/ha/ano	1540000000000	138.600
M8	Potássio	0.01	**45.28**	kg/ha/ano	1740000000000	78.787
M9	Aço	0.01	**19.2**	kg/ha/ano	2200000000000	42.240
M10	Mudas Frutíferas	0.01	**36.8**	US$/ha/ano	3110000000000	114.448
M11	Hormônios	0.01	**52.7**	US$/ha/ano	3110000000000	163.897
M12	Sulfato de Cobre	0.01	**0.86**	kg/ha/ano	6380000000000	5.487
M13	Fósforo	0.01	**45.28**	kg/ha/ano	22000000000000	996.160
M14	Nitrogênio	0.01	**33.96**	kg/ha/ano	24100000000000	818.436
M15	Fungicida	0.01	**17.92**	kg/ha/ano	24900000000000	446.208
M16	Herbicida	0.01	**2.51**	kg/ha/ano	24900000000000	62.499
M17	Inseticida	0.01	**1.584**	kg/ha/ano	24900000000000	39.442
S1	Mão de Obra	0.6	**75700000**	J/ha/ano	2800000	211.960
S2	Impostos	0.05	**66.9**	US$/ha/ano	3110000000000	208.059
S3	Externalidades	0	**360**	US$/ha/ano	3110000000000	1119.600

Produto	valor		Valor calórico	
Maça				
Massa	7188.68	kg/ha/ano		
Umidade	84.3	%		
Proteína	25	%	24000000	J/kg
Lipídios	25	%	39000000	J/kg
Carboidratos	7	%	17000000	J/kg
Preço	0.3	US$/kg		

Produto	Valor		Valor calórico	
Nectarina				
Massa	471.70	kg/ha/ano		
Umidade	87.6	%		
Proteína	8.5	%	24000000	J/kg
Lipídios	2.6	%	39000000	J/kg
Carboidratos	85	%	17000000	J/kg
Preço	0.4	US$/kg		

Produto	Valor		Valor Calórico	
Pêssego				
Massa	3.77	kg/ha/ano		
Umidade	87.87	%		
Proteína	8.2	%	24000000	J/kg
Lipídios	2.2	%	39000000	J/kg
Carboidratos	85.7	%	17000000	J/kg
Preço	0.43	US$/kg		

Produto	Valor		Valor calórico	
Ameixa				
Massa	7.55	kg/ha/ano		
Umidade	87.23	%		
Proteína	5.5	%	24000000	J/kg
Lipídios	2.2	%	39000000	J/kg
Carboidratos	89.4	%	17000000	J/kg
Preço	0.8	US$/kg		

Produto	Valor		Valor calórico	
Goiaba				
Massa	33.96	kg/ha/ano		
Umidade	80.8	%		
Proteína	13.3	%	24000000	J/kg
Lipídios	4.9	%	39000000	J/kg
Carboidratos	74.6	%	17000000	J/kg
Preço	1.25	US$/kg		

Produto	Valor		Valor calórico	
Pipoca				
Massa	0.94	kg/ha/ano		
Umidade	35	%		
Proteína	42	%	24000000	J/kg
Lipídios	23	%	39000000	J/kg
Carboidratos	7	%	17000000	J/kg
Preço	0.6	US$/kg		

Produto	Valor		Valor calórico	
Mandioca				
Massa	3.77	kg/ha/ano		
Umidade	61.8	%		
Proteína	2.9	%	24000000	J/kg
Lipídios	0.8	%	39000000	J/kg
Carboidratos	94.8	%	17000000	J/kg
Preço	0.05	US$/kg		

Produto	Valor		Valor calórico	
Batata				
Massa	2.83	kg/ha/ano		
Umidade	82.9	%		
Proteína	10.5	%	24000000	J/kg
Lipídios	0	%	39000000	J/kg
Carboidratos	86	%	17000000	J/kg
Preço	0.37	US$/kg		

Produto	Valor		Valor calórico	
Batata doce				
Massa	3.77	kg/ha/ano		
Umidade	69.5	%		
Proteína	4.3	%	24000000	J/kg
Lipídios	0.3	%	39000000	J/kg
Carboidratos	92.5	%	17000000	J/kg
Preço	0.4	US$/kg		

Produto	Valor		Valor calórico	
Amendoim				
Massa	1.51	kg/ha/ano		
Umidade	6.4	%		
Proteína	25.9	%	24000000	J/kg
Lipídios	46.9	%	39000000	J/kg
Carboidratos	21.7	%	17000000	J/kg
Preço	1	US$/kg		

Produto	Valor		Valor calórico	
Abóbora				
Massa	13.58	kg/ha/ano		
Umidade	95.7	%		
Proteína	14	%	24000000	J/kg
Lipídios	0	%	39000000	J/kg
Carboidratos	76.7	%	17000000	J/kg
Preço	0.2	US$/kg		

Produto	Valor		Valor calórico	
Pepino				
Massa	3.77	kg/ha/ano		
Umidade	96.8	%		
Proteína	28.1	%	24000000	J/kg
Lipídios	0	%	39000000	J/kg
Carboidratos	62.5	%	17000000	J/kg
Preço	0.34	US$/kg		

Produto	Valor		Valor calórico	
Cebola				
Massa	5.66	kg/ha/ano		
Umidade	88.9	%		
Proteína	15.3	%	24000000	J/kg
Lipídios	0.9	%	39000000	J/kg
Carboidratos	80.2	%	17000000	J/kg
Preço	0.37	US$/kg		

Classificação das entradas	Equação	Fluxos agregados x E13 sej/ha/ano
Recursos renováveis da natureza	R = Soma (Renováveis)	196.24
Recursos não renováveis da natureza	N = Soma (Não renováveis)	11.21
	I = R + N	207.45
Materiais da Economia	M = Soma (Materiais)	336.45
Serviços da Economia	S =Soma (Serviços)	140.20
	F = M + S	494.69
Emergy usada	Y = I + F	**702.14**

Sistema geral	Valores	Unidades
Área	**26.5**	ha
Massa seca total	**1354.68**	kg/ha/ano
Energia do produto	**2.08**	E10 J/ha/ano
Vendas	**66225.83**	US$/ano
Emergia recebida na venda	**7.62**	E13 sej/ha/yr
Valor real do produto	**2302.11**	em-US$/ha/yr

Índices de desempenho	Equação	Valor	Comentário
Transformidade (sej/J)	Tr=Y/E=Emergia/Energia	**337417**	**Bom**
Transformidade (sej/kg)	Tr=Y/M=Emergia/Massa seca	**5.18** E12	**-**
Renovabilidade	Ren=(100)*((R+Mr+Sr)/Y)	**30.52%**	**Baixa**
Taxa de rendimento	EYR=Y/(Mn + Sn)	**1.47**	**Razoável**
Taxa de investimento	EIR=(Mn+Sn)/(R + Mr +Sr +N)	**2.22**	**Razoável**
Taxa de intercâmbio	EER=Y/(Emergia recebida nas vendas)	**0.92**	**Quase no**
Taxa de carga ambiental	ELR=(N+Mn+Sn)/(R+Mr+Sr)	**2.28**	**Exige cuidados**

Avaliação do sistema analisado utilizando os índices emergéticos

A renovabilidade é baixa (30,5%) em comparação a sistemas agroecológicos e agrosilvopastoris que podem atingir valores entre 60 e 95%.

Os valores de taxa de rendimento e de investimento são razoáveis.

O produtor vende seus produtos a bom preço e quase atinge a igualdade entre a emergia do produto vendido e a emergia do dinheiro recebido.

Deve começar a se preocupar com o impacto ambiental dos insumos que usa, pois são do tipo não renovável (derivados do petróleo).