19 DECISÕES E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Biagio Fernando Giannetti
Ângela Maria Neis
Silvia Helena Bonilla
Cecília Maria VIllas Bôas de Almeida

19.1 Introdução

Há somente uma decisão que se contrapõe à de sustentabilidade: a de não sustentabilidade.

Todas as civilizações, consciente ou inconscientemente, optaram pela sustentabilidade. Contudo, muitas delas não tiveram sucesso. Há muitos exemplos, na história da humanidade, de civilizações que sucumbiram por terem esgotado seus recursos naturais. Os danos ambientais, locais, determinavam a obsolescência de uma sociedade e eram prenúncios de uma nova sociedade. A diferença com o passado é que, atualmente, nossas decisões possuem conseqüências planetárias.

A sustentabilidade ambiental dificilmente será alcançada se a relação entre as decisões (sejam do consumidor ou do produtor) e a biosfera não for entendida. A implementação de melhorias ambientais locais não necessariamente é uma garantia de contribuição à sustentabilidade.

Os tomadores de decisão modernos podem estar ou não conscientes da importância da sustentabilidade ambiental. Porém, mesmo atentos para esta necessidade e agindo de forma bem-intencionada, podem não estar alcançando o objetivo de contribuir para a sustentabilidade global. A tomada de decisão que visa a sustentabilidade deve considerar que esta idéia implica demandas complexas, que só podem ser atendidas por um quadro inter e/ou multidisciplinar. Neste quadro, deverão ser considerados aspectos sociais, econômicos e ambientais que interagem em escala temporal e espacial. Desta forma, as tomadas de decisão poderão resultar em soluções em longo prazo (intergeracionais) e de alcance global (intrageracionais).

Este capítulo aborda este tema de grande importância: o das decisões ambientalmente sustentáveis, em que se destaca a estrutura das decisões e a necessidade de uma ferramenta que analise os sistemas de forma holística e permita o cálculo de indicadores sintéticos que auxiliem as tomadas de decisão.

Após estas considerações iniciais, cabe comentar brevemente a organização do texto:

- **O desafio do desenvolvimento sustentável**

  Inicialmente, apresentam-se o conceito de desenvolvimento ambientalmente sustentável e os modelos mentais dos diferentes graus de sustentabilidade.

- **A pirâmide das decisões e suas lições**

  Em seguida, apresenta-se a pirâmide das decisões para discutir a (inter)relação dinâmica que há entre as decisões efetuadas em diferentes níveis hierárquicos. Desta discussão são extraídas importantes lições que servem para melhorar a percepção do tomador de decisão e aumentar a eficácia de suas ações.

- **Questionamentos práticos**

  A partir dos modelos de sustentabilidade e da pirâmide de decisões, são feitos questionamentos práticos importantes para o tomador de decisões.

- **A necessidade**

  Dos questionamentos práticos surge claramente a necessidade de uma ferramenta de apoio, prática e com uma base metodológica rigorosa.

- **A ferramenta**

  Apresenta-se como ferramenta a contabilidade ambiental em emergia (chamada no texto de contabilidade em emergia). São descritos conceitos e os indicadores ambientais de sustentabilidade utilizados no diagnóstico ambiental de um sistema.

- **Um exemplo prático**

  Para ilustrar o uso da ferramenta, emprega-se como exemplo prático a produção de tomates em estufa, usando a contabilidade em emergia para apoio às decisões sustentáveis no setor agrícola.

- **O diagnóstico ambiental**

  No diagnóstico da produção de tomates em estufa, a metodologia é apresentada passo a passo. Por motivação didática apresentam-se, nesta etapa, os dados de campo da produção de tomate em estufa, seu tratamento metodológico e os indicadores ambientais. O diagnóstico leva a importantes conclusões sobre a sustentabilidade deste tipo de produção e possíveis melhorias são discutidas.

- **Comentários finais e conclusões**

  Finalmente, é realizada uma síntese do capítulo, responde-se aos questionamentos práticos e são apresentadas as conclusões.

19.2 O desafio do desenvolvimento sustentável

Um dos grandes desafios atuais da humanidade é o de alcançar uma situação denominada de *desenvolvimento sustentável* e, para que uma sociedade seja ecologicamente sustentável, alguns fatores devem ser observados. Segundo Herman Daly

(1997), ideólogo da *Teoria da Sustentabilidade,* há dois princípios básicos a serem atendidos:

1° princípio da sustentabilidade ambiental

Os recursos naturais não devem ser consumidos a uma velocidade que impeça sua recuperação.

2° princípio da sustentabilidade ambiental

A produção de bens não deve gerar resíduos que não possam ser absorvidos pelo ambiente de forma rápida e eficaz.

A aplicação desses princípios em *nível global* direciona *ações locais* em prol da conservação dos sistemas de sustentação da vida e da biodiversidade, do aumento de uso de recursos renováveis, da minimização da utilização de recursos não-renováveis e do respeito aos limites da capacidade de suporte dos ecossistemas.

A Figura 19.1 mostra três modelos de interação dos sistemas humanos (econosfera e sociosfera) com o meio ambiente (ecosfera). Nestes modelos podem ser identificados os fluxos que se referem aos princípios da sustentabilidade de Herman Daly (1997). O primeiro modelo de interação (A) representa os sistemas humano e natural como compartimentos ilimitados em seu desenvolvimento. Neste tipo de sustentabilidade fraca, a soma de todos os capitais (ambiental, econômico e social) é mantida constante, sem diferenciação do tipo de capital. Admite-se a perfeita substituição entre os diferentes tipos de capitais. Por exemplo, uma planta de tratamento de efluentes líquidos substituiria perfeitamente o serviço ambiental de purificação de água realizado por uma floresta.

O segundo modelo de sustentabilidade média (B) considera os três compartimentos (eco, econo e sociosfera) como áreas de domínio comuns. Contudo, neste modelo há outras áreas que são independentes. As interações de troca entre os sistemas (humanos) social e econômico possuem áreas que não dependem fortemente do sistema natural. Neste tipo de sustentabilidade, a soma dos três tipos de capital (ecológico, econômico e social) é também mantida constante, porém a substituição entre os diferentes tipos de capital é parcial. Por exemplo, o plantio de um bosque substituiria parcialmente o capital natural de uma floresta natural.

No modelo de sustentabilidade ambiental forte (C), o meio ambiente contém os sistemas humanos, fornecendo recursos (como minérios e energia solar) e prestando serviços ambientais (como a dispersão de poluentes). Estes recursos e serviços ambientais são a base do desenvolvimento socioeconômico e são a fonte da real prosperidade humana. Os sistemas humanos estão contidos no sistema natural e a econosfera e a sociosfera não podem crescer além das limitações intrínsecas da biosfera.

Neste tipo de modelo (C), para alcançar a sustentabilidade é necessário manter o capital. Por exemplo, o esgotamento dos combustíveis fósseis é compensado pelo desenvolvimento de outra fonte de energia, como as fontes de energia renováveis.

Não há substituição do capital, como nos outros graus de sustentabilidade, mas uma relação de complementação. Este modelo é o mais adequado para alcançar a sustentabilidade ambiental forte, com a manutenção das atividades humanas de prosperidade econômica e desenvolvimento social por longo prazo.

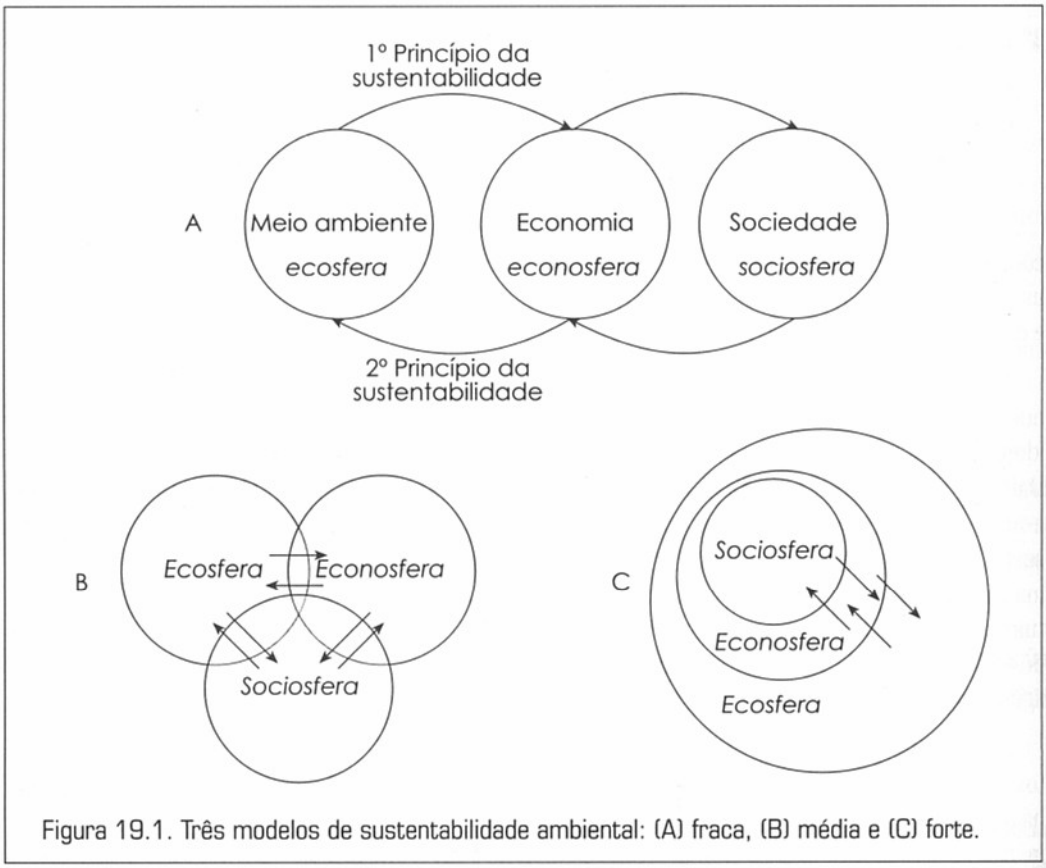


Figura 19.1. Três modelos de sustentabilidade ambiental: (A) fraca, (B) média e (C) forte.

Na Figura 19.1C observam-se os diferentes fluxos de troca entre os diferentes sistemas. A humanidade é usuária dos recursos naturais e controla estes fluxos. Os fluxos de troca entre os sistemas humanos têm maior qualidade, pois abragem a troca de recursos manufaturados (especialmente entre o sistema econômico e o social) e de informação (especialmente entre o sistema social e o econômico). Os sistemas humanos (a econosfera e a sociosfera) têm hierarquia mais alta que os sistemas naturais, pois as decisões tomadas nestes sistemas controlam os fluxos de troca entre o sistema natural e o humano.

Neste contexto, apresenta-se a pirâmide das decisões com seus diferentes níveis de hierarquia para complementar o modelo de sustentabilidade da Figura 19.1C e para auxiliar o entendimento da tomada de decisões em seus diversos níveis.

19.3 A pirâmide das decisões e suas lições

Por falta de um prego,
perdeu-se uma ferradura.

Por falta de uma ferradura
perdeu-se um cavalo.

Por falta de um cavalo
perdeu-se um cavaleiro.

Por causa de um cavaleiro
perdeu-se uma batalha.

E assim um reino
foi perdido.

Tudo por falta
de um prego.

George Herbert (1593-1633), "The Nail":

O poema de George Herbert (The Nail) ilustra de forma clara o impacto global como conseqüência das ações "simples", feitas individualmente e em uma base diária cumulativa:

(falta de um) **prego** → (perda de uma) **ferradura** → (perda de um) **cavalo** → (perda de um) **cavaleiro** → (perda da) **batalha** → (perda de um) **reino**.

Esta relação de ações causais e de efeitos que, por sua vez, são causas de novos efeitos pode ser representada na pirâmide da Figura 19.2.

A pirâmide possibilita analisar também a situação inversa, quando é necessário o desmembramento das escolhas globais em escolhas individuais, como no caso hipotético de o rei ter tomado a decisão de reduzir custos afetando o fornecimento de pregos aos ferreiros do reino. Certamente, a decisão da batalha foi de responsabilidade do rei.

A representação na forma de pirâmide auxilia a compreensão das relações entre os diferentes níveis hierárquicos nas tomadas de decisão. Na base da pirâmide encontram-se os níveis individuais e em seu topo pode-se visualizar os níveis globais. Entre estes extremos, estão alinhados níveis intermediários ordenados em ordem crescente de abrangência das decisões e de influência dos tomadores de decisão.

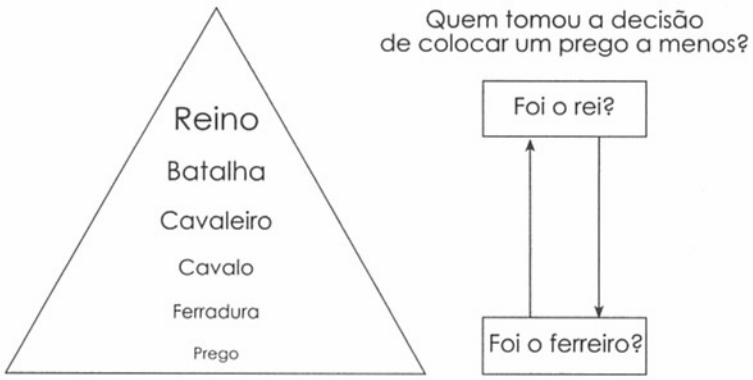


Figura 19.2. Representação na forma de "pirâmide" dos elementos que compõem a poesia de George Herbert. O poema não esclarece de quem foi a decisão de ter colocado um prego a menos (em uma única ferradura ou em todas as ferraduras) ou se foi apenas descuido.

No caso de uma empresa, em sentido descendente, encontra-se a organização hierárquica: presidente, diretores, gerentes, etc. Na pirâmide também podem ser visualizadas outras estruturas hierárquicas que estão além dos limites da organização empresarial, como, por exemplo, a comunidade, o estado, o país e o mundo. Para cada um destes níveis de hierarquia, há diferentes estruturas de decisão, como os governos, secretarias, agências locais e câmaras de comércio, que podem pertencer a um nível local (como a cidade). O nível nacional envolve, entre outras estruturas, ministérios e agências nacionais. Neste nível, é comum observar um comprometimento dos governos com fóruns internacionais e o encaminhamento de políticas globais em diretrizes e programas nacionais.

As estruturas organizacionais, em determinado nível hierárquico, podem ser observadas na pirâmide da Figura 19.3. Cabe ressaltar que informações requeridas para a tomada de decisão em níveis de menor hierarquia são menos abrangentes. As informações são mais focalizadas e restritas que no nível global.

Na pirâmide de decisões, podem ser observados caminhos a seguir no processo de tomada de decisão Figura 19.3). A percepção destes caminhos permite dois tipos de abordagem. A mais "simples" e reducionista visa o desmembramento de um problema de maior alcance (por exemplo, global ou nacional) em seus componentes individuais, localizados nos níveis inferiores na pirâmide. A outra abordagem, embora menos familiar, apresenta características de interdisciplinaridade, integração e comparação. Em lugar de desmembrar as partes na procura de diagnóstico, soluções e auxílio na tomada de decisão, procura a "integração" das partes.

A pirâmide das decisões não se restringe a visualizar as partes, mas também as representa de forma *contínua*, gerando uma visão integrada da dinâmica do processo de tomada de decisão.

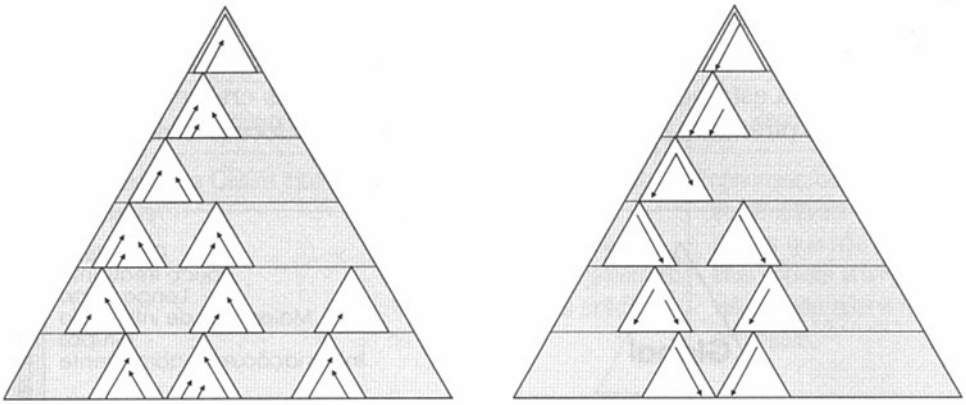


Figura 19.3. Duas pirâmides de decisões e a representação do fluxo de decisões na estrutura hierárquica de menor nível para maior (pirâmide da esquerda) ou de maior nível hierárquico para menor nível (pirâmide da direita).

Na pirâmide da Figura 19.3, analisada da base até o topo, se observa que, enquanto a base representa as decisões tomadas diariamente com informações mais focalizadas e às vezes restritas, o topo representa as decisões complexas, que envolvem vários aspectos, mas tomadas menos freqüentemente.

É importante ressaltar que o conceito de interação *tempo-espaço* está presente na pirâmide das decisões. Este conceito poderá ser compreendido a partir do padrão dinâmico da retroalimentação entre os diferentes níveis da pirâmide. A retroalimentação ocorre entre os diferentes níveis, entre as decisões tomadas individualmente e aquelas em grupo. Entretanto, essa retroalimentação apresenta algumas restrições, pois não ocorre de forma instantânea, mas respeitando o tempo de renovação (*turnover*) de cada tipo de processo localizado em cada nível. Desta forma, todos os processos se dão em um período de tempo próprio de sua natureza. Assim, à medida que se ascende na escala da pirâmide, as constantes de tempo características para os processos correspondentes aumentam. Geralmente, observa-se que o domínio espacial de alcance relativo da tomada de decisão cresce da mesma forma. O aumento da complexidade das decisões e da amplitude na abordagem dos aspectos é outra característica que se apresenta entre níveis crescentes. Como conseqüência, a qualidade e a quantidade de informações necessárias para uma tomada de decisão e a relevância e alcance das decisões também aumentam ou diminuem segundo o sentido percorrido entre os níveis da pirâmide, conforme visto na Figura 19.4.

As escolhas e preferências adotadas diariamente influenciam o desenvolvimento de *políticas globais*, fato que evidencia outra característica da pirâmide das decisões: a ligação entre os extremos da pirâmide é **cíclica** (de retroalimentação, Figuras 19.3 e 19.4). Desta forma, pode-se afirmar que decisões e acordos feitos globalmente influenciam as *ações* na base da pirâmide. Por exemplo, o Protocolo de

Montreal, preocupado com a degradação da camada de ozônio, influencia escolhas e produtos em níveis locais. Fechando o círculo no sentido decrescente, a percepção pública quanto a riscos acaba sendo influenciada pelas políticas públicas. A relação causa-efeito-causa está bem estabelecida, tanto para níveis crescentes quanto para decrescentes na pirâmide: *políticas globais* geram *ações locais* e vice-versa.

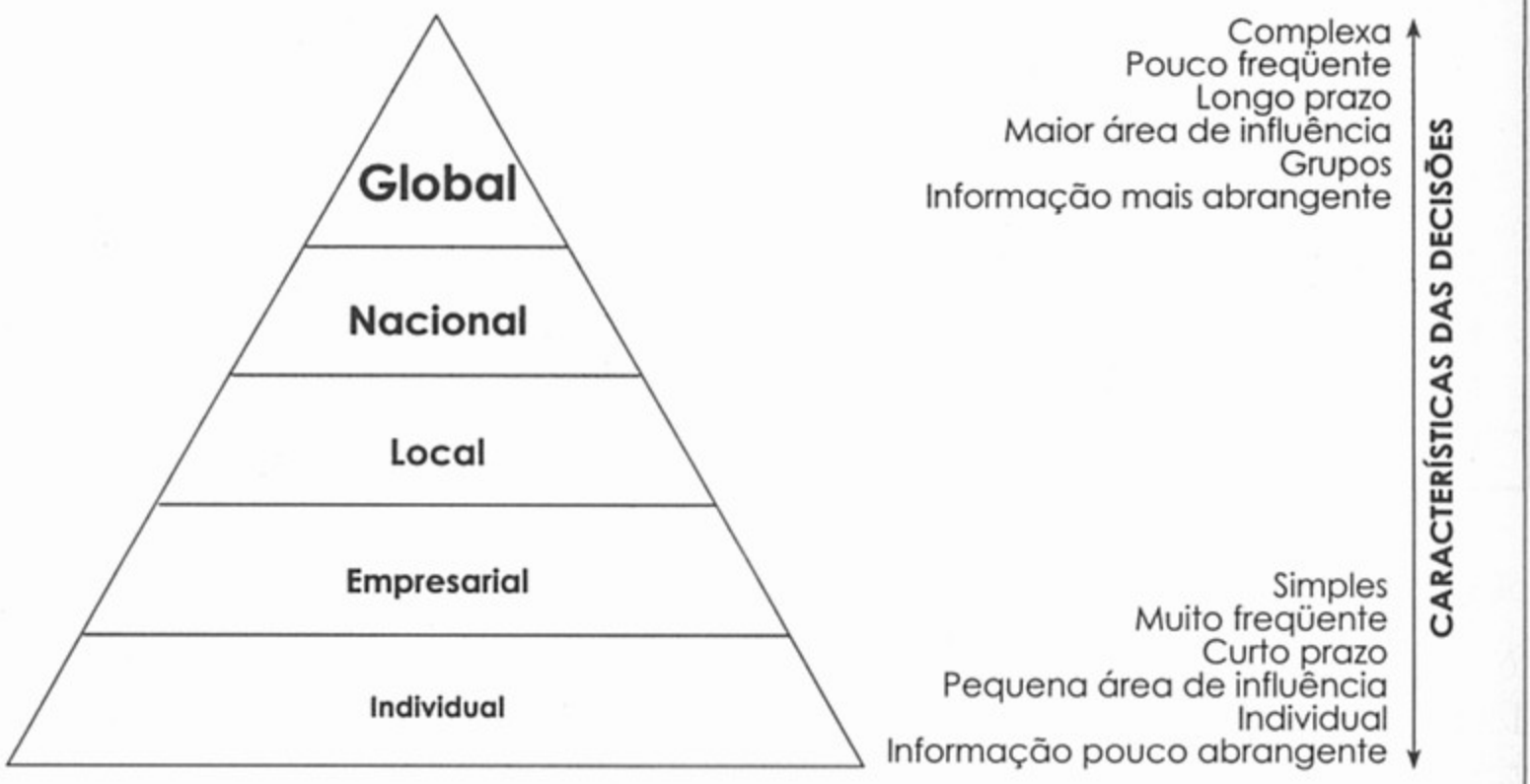


Figura 19.4. Pirâmide de decisões contendo níveis hierárquicos e as principais características das decisões feitas na base e no topo da pirâmide.

O Quadro 19.1 permite identificar os diferentes atores nos diferentes níveis hierárquicos da pirâmide de decisões e suas possíveis ações e reações, com relação à questão da meta global de redução dos níveis de CO_2, resultado da assinatura do Protocolo de Quioto. Observa-se, nesse quadro, como a meta global impacta os níveis inferiores da pirâmide e gera ações, iniciadas e realizadas pelas partes interessadas. Em contrapartida, a meta global também gera reações contrárias em diferentes níveis, alimentadas geralmente por interesses econômicos e sociais para manter o *status quo*.

Quadro 19.1. Níveis hierárquicos da pirâmide de decisões, possíveis ações e reações referente à meta global de redução dos níveis de CO_2 estabelecida pelo Protocolo de Quioto.

Nível	Partes interessadas	Ações	Reações contrárias
Global	Organizações e ONG's internacionais	Avaliação de causa e efeito em longo prazo Sugestão de políticas a seguir por governos nacionais Implementação dos créditos de carbono	Economias baseadas em combustíveis fósseis e países que não possuem alternativas energéticas viáveis não aderem ao protocolo.
Nacional	Ministérios, agências e departamentos nacionais Instituições tecnológicas, de pesquisa e universidades Associações de indústria e comércio; câmaras de comércio	Implementação de políticas e programas nacionais Incentivo à pesquisa Legislação para direcionar ações	Associações da indústria e do comércio relacionadas com a exploração, processamento e comercialização de combustíveis fósseis exercem pressão contrária: grupos lobistas agem no governo.
Cidades	Departamentos, agências e governos locais Associações comerciais e industriais; câmaras locais de comércio Instituições financeiras. ONG's e grupos comunitários Universidades e institutos locais de pesquisa	Implementação local das medidas tomadas nacionalmente Regulamentação de leis locais Campanhas de informação Inclusão de subsídios especiais para os colaboradores	Empresas que dependem fortemente dos combustíveis fósseis argumentam que haverá perdas de empregos e pleiteiam compensações.
Empresas	Usuários individuais, clubes ONG's Equipes de gerenciamento	Conversão das diretrizes, listas de verificação, regulamentações e especificações do planejamento e do projeto de redução das emissões de CO_2.	Investidores que temem possíveis perdas econômicas ameaçam diminuir os investimentos de capital. Departamentos de engenharia resistem às mudanças tecnológicas em processos e procedimentos industriais.
Individual	Usuários individuais, associações ONG's Equipes de gerenciamento	Implementação de medidas de redução/reutilização/reciclagem Emprego de conscientização Pressão nos órgãos pertinentes	Consumidores não dispostos a mudar seu *status quo* e não sensibilizados acreditam que a sua contribuição individual não é relevante para a mudança global.

Dos exemplos apresentados, empregando a pirâmide de decisões, pode-se retirar as seguintes lições:

1. Deve-se assegurar que as metas globais possam ser traduzidas em ações locais que, cumulativamente e em forma direcionada, ajudem a alcançar os objetivos.
2. Os envolvimentos diretos das partes interessadas e a inclusão de outros parceiros devem ser efetuados com o propósito de tomar a atitude certa no nível adequado.
3. A comunicação apropriada entre as partes interessadas, inter e intraníveis, são muito importantes.

19.3.1 *Questionamentos práticos*

Os conceitos abordados na pirâmide das decisões e os modelos de sustentabilidade ensejam os seguintes questionamentos práticos:

1. Qual seria a ferramenta que permite avaliar tanto os aspectos econômicos quanto os naturais num modelo de sustentabilidade forte?
2. Qual ação local seria a mais adequada para produzir o efeito global da sustentabilidade ambiental?
3. Como avaliar a melhor ou a mais urgente medida a tomar por uma empresa ou pelo poder público? Ou, qual seria o objetivo a ser atingido prioritariamente?

19.3.2 A necessidade

As decisões, conseqüentes de avaliações multimétricas ou do uso de indicadores limitados em plataformas extremamente complexas, não podem ser baseadas em critérios subjetivos ou apenas convenientes em curto prazo, pois geram ações inadequadas, incompletas e, na pior das opções, ineficientes.

Claramente, surge a necessidade de uma ferramenta de avaliação capaz de abranger as características próprias locais e as ações, evidenciando o perfil inédito geográfico e o sócio-cultural, mas sem perder o contexto global, no qual as ações estão inseridas.

Na busca desta ferramenta, não se pode fugir da aplicação de uma metodologia rigorosamente fundamentada, que permita o diagnóstico de problemas de forma transparente, que auxilie a evidenciar as soluções sustentáveis e que seja suficientemente abrangente e integradora para acompanhar a tomada de decisão em vários níveis da pirâmide.

19.4 A ferramenta

A contabilidade ambiental em emergia (escrita com M), conforme afirma Odum (1996), tem se mostrado de grande utilidade para avaliar as implicações ambientais dos sistemas humanos nos sistemas que fornecem a sustentação da vida no planeta. A contabilidade em emergia é uma ferramenta fundamentada na termodinâmica de sistemas abertos e na teoria de sistemas. O objetivo desta ferramenta é contabilizar, em uma "moeda" comum, a produção de um produto ou a geração de um serviço. Contabilizam-se, além dos recursos pagos, os recursos não-pagos pela economia que são fornecidos pelo meio ambiente. Estes últimos são conhecidos como recursos livres fornecidos pela ecosfera e não são considerados nos balanços tradicionais. O sistema econômico é considerado um sistema termodinâmico aberto contido num ecossistema, a biosfera, com o qual troca energia e matéria (Figura 19.1C).

A contabilidade em emergia é a ferramenta apropriada para avaliar e/ou comparar sistemas, pois permite converter todas as contribuições que o sistema produtivo recebe (materiais, energia, dinheiro, informação) na mesma base de medida: o joule de energia solar incorporada, representado por *sej*. Desta forma, os sistemas em estudo podem ser comparados quanto à eficiência no uso dos recursos, produtividade, carga ambiental e sustentabilidade global.

O procedimento requerido para avaliar um sistema, empregando a contabilidade em emergia, consiste em:

- conhecer o sistema em estudo e definir seus limites;
- conhecer o contexto em que o sistema está inserido;
- fazer um balanço de massa (os fluxos que entram no sistema, o que é transformado e o que sai em forma de produto e resíduos);
- elaborar o diagrama com os fluxos de energia;
- construir as tabelas com os dados do diagrama;
- selecionar adequadamente os valores das transformidades (Quadro 19.1) ou emergia por unidade (sej/g, sej/US$, etc).

Se valores de transformidade (ou de emergia por unidade) para processos semelhantes ou comparáveis não são encontrados na literatura, devem ser calculados. Quando o objetivo da análise é comparar processos, sistemas ou produtos, é importante conhecer os processos com os quais o sistema em estudo será comparado e tomar o cuidado de unificar critérios de avaliação e normalizar as informações. Desta forma, é útil empregar a mesma unidade funcional e o mesmo período de tempo.

Da contabilidade em emergia surgem indicadores de sustentabilidade inerentes à ferramenta, segundo Odum (1996), com o objetivo de quantificar os aspectos já indicados como fundamentais nos objetivos propostos pelo sistema: eficiência no uso dos recursos, produtividade, carga ambiental e sustentabilidade global. Para definir estes indicadores, é necessário classificar os fluxos de emergia segundo o critério de: renováveis, R, não-renováveis, N, e vindos da economia, F.

Quadro 19.2. Definições e conceitos relacionados com a contabilidade em emergia

Energia	Pode ser definida como tudo aquilo que pode ser convertido 100% em calor, sua unidade é representada por J (joule). Em engenharia costuma-se dividir os recursos em energia e materiais. Esta classificação é arbitrária. Por exemplo, madeira pode ser considerada um recurso material (na fabricação de papel), mas também pode ser considerada um recurso de energia (quando é queimada numa caldeira). Desta forma, todos os recursos podem ser convertidos no seu valor de energia.
Energia disponível	É o valor de energia potencial disponível para realizar trabalho.
Trabalho	O trabalho é energia que se manifesta durante uma transformação e resulta em uma mudança de concentração ou forma de manifestação da energia (por exemplo, energia solar em energia elétrica). Não há processo que envolva a realização de trabalho com 100% de eficiência; parte da energia é sempre degradada na forma de calor.
Emergia	A emergia é definida como sendo a energia disponível (em alguns casos, igual à exergia) de um determinado tipo previamente requerida direta ou indiretamente para obter um bem ou um serviço. A emergia não é energia, é uma contabilização de todo o trabalho empregado num determinado processo, incluindo o trabalho humano e o da natureza. Por este motivo, a grafia da palavra com M é atribuída ao significado de memória da energia (disponível) empregada. Quando a emergia é calculada em energia solar denomina-se emergia solar, ou simplesmente emergia, e sua unidade é representada por sej.
Transformidade	É a emergia por unidade de energia disponível de um determinado produto (por produto entende-se bem ou serviço). Quando se emprega a emergia solar denomina-se transformidade solar, ou simplesmente transformidade. Sua unidade é representada por sej/J. Em termos práticos, a transformidade serve para calcular a emergia de um recurso. Para isto deve-se multiplicar a energia disponível do recurso por sua transformidade. A transformidade é considerada uma medida da qualidade do produto. Quanto maior o valor da transformidade, maior foi o trabalho para obter o produto e, portanto, maior a sua qualidade. Exemplo: 1 kg de livro possui maior qualidade (transformidade) que um 1 kg de papel, que por sua vez possui maior qualidade (transformidade) que 1 kg de madeira. Em energia, as quantidades são próximas, mas em trabalho (da natureza e do homem, emergia) realizado para obter cada bem os valores são consideravelmente diferentes.

Entre os indicadores que podem ser calculados a partir da contabilidade em emergia, pode-se destacar o cálculo da transformidade, que mede a extensão da convergência dos materiais e emergia no processo e provê informação sobre sua eficiência. Desta forma, se um mesmo produto é obtido por diferentes processos, aquele que apresentar a menor transformidade será o produzido de forma mais eficiente.

O indicador de investimento em emergia EIR (sigla proveniente de *Emergy Investment Ratio)* calcula-se a partir da fração entre o fluxo de emergia vindo da economia e os valores dos fluxos do ambiente, sejam eles renováveis ou não-renováveis. Este indicador, que confronta as frações pagas e as livres vindas do ambiente, permite reconhecer as alternativas mais competitivas.

O indicador de rendimento em emergia EYR (*Emergy Yield Ratio*) é calculado a partir da emergia do produto dividida pela emergia dos recursos vindos do setor econômico. Este indicador é útil para comparar um processo e suas alternativas, já que valores maiores indicam um retorno superior por unidade de emergia investida. Valores próximos da unidade indicam sistemas incapazes de retornar emergia ao mercado, apenas devolvendo o que foi investido da economia.

O indicador de carga ambiental ELR (*Environmental Load Ratio*) permite distinguir as frações derivadas da economia e as não-renováveis da porção renovável. Ele indica a pressão que o processo de produção exerce no meio ambiente. É importante ter em mente que, com uma perspectiva de longo prazo, a economia do planeta depende para sua sobrevivência não só das fontes renováveis, mas também de um ambiente sadio que permita dar suporte às funções necessárias para a vida. Nessa direção, o emprego do ELR mostra-se de grande utilidade.

O índice de sustentabilidade ESI (*Emergy Sustainability Index*) é definido como a razão entre os indicadores de rendimento em emergia e de carga ambiental, estes últimos chaves no processo em direção ao desenvolvimento sustentável.

19.5 Um exemplo prático

Políticas públicas relativas ao setor agrícola deveriam encorajar a seleção de opções mais sustentáveis dentre as possíveis. A aplicação da teoria da economia liberal e a liberação do comércio têm direcionado o aumento da produtividade no setor agrícola. Em contrapartida, aumentou a dependência dos sistemas agrícolas em recursos externos e pagos.

Mostra-se, com o exemplo da produção de tomates em estufa na Suécia, segundo Lagerberg & Brown (1999), que o emprego da contabilidade em emergia e dos indicadores de sustentabilidade constitui uma ferramenta útil para avaliar tanto a implementação de políticas públicas quanto inovações ou alternativas nos procedimentos agrícolas. Particularmente, a ferramenta apresenta-se útil para diagnosticar quais as características do sistema agrícola são mais relevantes ou decisivas na busca da sustentabilidade e, como conseqüência, na tomada de decisões.

O uso de indicadores mostrará seu potencial no processo de tomada de decisão ambientalmente mais sustentável. Cabe salientar que a apresentação deste sistema é uma adaptação de um estudo de literatura, mas a representação dos dados não foi alterada, somente simplificada. Os dados completos referentes ao cultivo de tomates em estufa na Suécia podem ser encontrados na referência citada.

19.5.1 O diagnóstico ambiental

A primeira etapa do estudo compreende a descrição e a investigação do sistema, onde a produção está inserida e as suas interfaces (características da região, área que o sistema produtivo ocupa, quais são a fontes de energia e recursos utilizadas para o funcionamento do sistema, sua produtividade, dentre outras). Nesta fase, também são quantificados os recursos envolvidos no sistema (balanço de massa e energia) e os dados são normalizados.

A etapa seguinte compreende a representação do sistema na forma de *diagrama de fluxos de energia*. Para a construção destes diagramas, existe uma metodologia já determinada, em que cada elemento do diagrama é representado com um símbolo específico, conforme Odum (1996). O diagrama é usado tanto para organizar e integrar as partes que o constituem, quanto para conhecer as interações entre os fluxos e inventariar todos os recursos (energéticos, materiais e serviços humanos) que são necessários no processo.

O *diagrama de fluxos de energia* para o processo de produção de tomates em estufa é ilustrado na Figura 19.5. Os símbolos empregados e seus significados são apresentados no Quadro 19.3.

Todos os fluxos que cruzam as fronteiras do sistema são fontes de recursos externas ao sistema (veja, por exemplo, o fluxo da energia elétrica na Figura 19.5). No diagrama foram representadas três fontes de recursos renováveis, energia do vento, da chuva e solar, fornecidos pela natureza. Foram considerados três recursos oriundos da economia: o trabalho humano, a energia elétrica e o combustível. Os analistas consideram que a água de irrigação é um recurso não renovável na contabilidade em emergia do sistema, LAGERBERG & BROWN (1999).

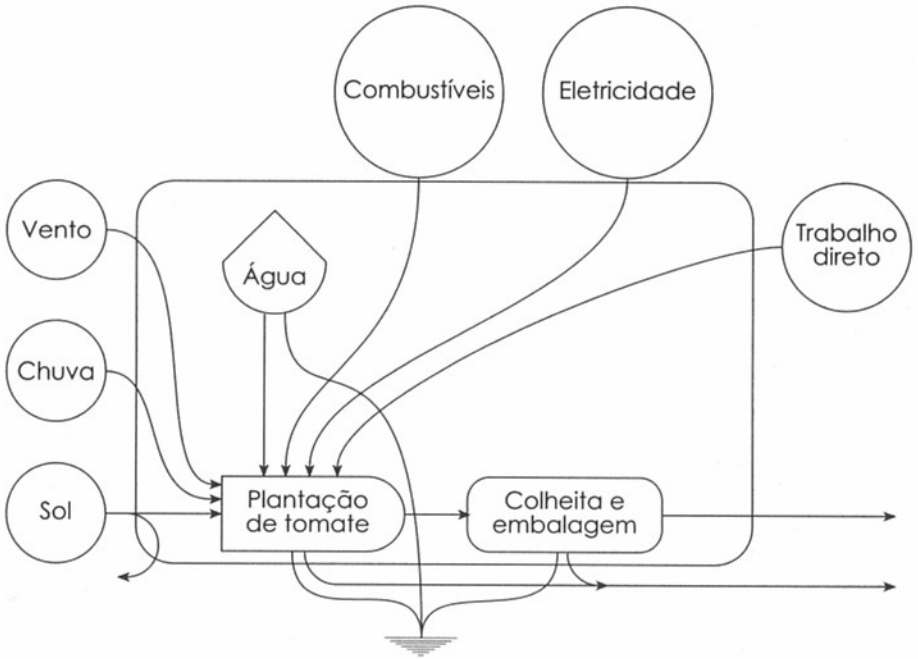
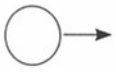
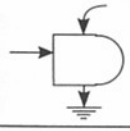
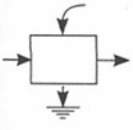
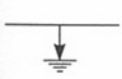


Figura 19.5. Diagrama de fluxos de energia do sistema de produção de tomates.

Quadro 19.3 – Principais símbolos empregados na construção de diagrama de fluxo de energia da Figura 19.5 e seu significado

	Símbolo que representa uma fonte, que é um recurso externo que fornece energia ao sistema. Na Figura 19.5 recursos provenientes da economia, com troca de dinheiro (combustíveis, eletricidade e mão-de-obra) e recursos renováveis gratuitos da natureza (vento, chuva e energia solar) são identificados empregando este símbolo.
	O produtor é uma unidade que coleta e transforma energia de baixa qualidade sob a interação de um fluxo de energia de alta qualidade. A plantação de tomate é identificada, na Figura 19.5, por este símbolo.
	Este símbolo representa um depósito de energia armazenada dentro do sistema. Na Figura 19.5, este símbolo representa o estoque de água local, que é consumido em uma taxa maior que a de sua reposição.
	O símbolo na forma de "caixa" tem uso múltiplo. A caixa pode ser preta (quando somente se conhecem os fluxos de entrada e saída), cinza (quando se conhecem os principais fluxos internos e os fluxos de entrada e de saída) e branca (quando se conhecem com detalhes todos os fluxos e suas interações). Na Figura 19.5, a colheita e a embalagem são representadas por uma caixa preta e todo o sistema é representado por uma caixa cinza.
	As setas representam os fluxos de energia, cuja vazão é proporcional ao volume do estoque ou à intensidade da fonte que o produz.
	O sumidouro de energia é representado por este símbolo. O sistema usa a energia potencial para produzir trabalho. O custo desta transformação é a degradação da energia, a qual abandona o sistema como energia de baixa qualidade. Todos os processos da biosfera dispersam energia.

Os fluxos de recursos renováveis são representados pela letra R, os não-renováveis pela letra N, os provenientes da economia pela letra F e o fluxo resultante do processo pela letra Y, na nomenclatura específica. Visando um melhor entendimento, os fluxos de entrada e saída da Figura 19.5 podem ser agrupados (respeitando a álgebra em emergia) gerando uma representação simplificada (Figura 19.6). Na álgebra em emergia (que é uma álgebra de memorização e não de conservação) o valor de Y é dado pelas soma dos fluxos de entrada (Y = F + I).

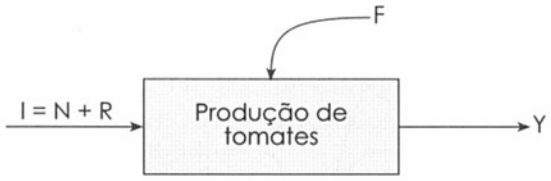


Figura 19.6. Diagrama com fluxos de energia da Figura 19.5 agregados. Os fluxos N, não-renováveis, e R, renováveis, são locais e gratuitos. O fluxo F é proveniente da economia, não é local e há troca de dinheiro. O fluxo Y é o produto do sistema que, neste caso, recebe dinheiro da economia principal.

Concluída a etapa de representação do sistema, inicia-se a construção de tabelas que permitem a organização dos dados. Na Tabela 19.1, são apresentados alguns dos dados do processo de produção de tomates em estufa, relativos aos fluxos apresentados na Figura 19.5. Os dados necessários para a construção das tabelas provêm de medidas, cálculos ou da literatura, segundo a disponibilidade dos mesmos.

Cada fluxo considerado recebe uma linha na tabela. Fluxos de energia, materiais e serviços já calculados em termos de suas unidades convencionais são convertidos em fluxos de emergia quando multiplicados pela transformidade (sej/J) ou pela emergia por unidade correspondente (sej/unidade).

Tabela 19.1 – Tabela que reúne os fluxos anuais de alguns dos recursos considerados na avaliação em emergia da produção de tomates em estufa na Suécia [3]

Item (*)	Recurso/ unidade	Tipo	Fluxo de energia/ (unidade/ano)	Emergia por unidade/ (sej/unidade)	Emergia solar/ (sej/ano)	% de Emergia total	Ref. da emergia p/unidade (*)
1	Sol/J	R	$2,88 \times 10^{13}$	$1,00 \times 10^{00}$	$2,88 \times 10^{13}$	<0,01	por definição [2]
2	Vento/J	R	$5,34 \times 10^{10}$	$1,50 \times 10^{03}$	$8,01 \times 10^{13}$	<0,01	[2]
3	Chuva/J	R	$1,10 \times 10^{10}$	$1,82 \times 10^{04}$	$2,00 \times 10^{14}$	0,01	[2]
4	Água de irrigação/J	N	$3,56 \times 10^{10}$	$1,10 \times 10^{05}$	$3,92 \times 10^{15}$	0,20	[2]
5	Trabalho humano direto/SEK	F	$1,17 \times 10^{06}$	$2,14 \times 10^{11}$	$2,51 \times 10^{01}$	12,68	Referência citada em [1]
6	Óleo combustível/J	F	$1,36 \times 10^{13}$	$5,61 \times 10^{14}$	$7,63 \times 10^{17}$	38,57	[2]
7	Eletricidade/J	F	$5,56 \times 10^{11}$	$1,28 \times 10^{05}$	$7,12 \times 10^{16}$	3,60	[2]

(*) Comentários:
Item 1, sol refere-se à energia solar absorvida pelo sistema, descontado o albedo local.
Item 2, vento refere-se à energia cinética do vento absorvido no local.
Item 3, chuva refere-se à energia química potencial absorvida. Os recursos dos itens 2 e 3 são provenientes da mesma fonte de energia, a energia solar. Para evitar dupla contagem, somente se considera na contabilidade em emergia o maior dos três recursos (itens 1, 2 e 3), no caso a energia química potencial da chuva.
Item 4, água de irrigação empregada no plantio.
Item 5, o trabalho humano foi contabilizado em SEK, coroas suecas. Em 1996, a taxa de câmbio era 6,70 SEK/US$.
Item 6 e 7 referem-se às fontes de energia provenientes da economia na forma de combustível e de energia elétrica.
A contabilidade inclui as estufas de vidro com uma área plantada de 8.000 m^2 e inclui também 1.000 m^2 de área não plantada e 4.500 m^2 de área externa. A produção foi de $3,36.10^5$ kg de tomate ($2,82.10^{11}$ J) e a emergia total estimada foi de $1,98.10^{18}$ sej/ano.
[1]: Lagerberg & Brown (1999) e [2]: Odum (1996).

Nas colunas da Tabela 1 os dados são representados da seguinte forma:

- Na *Coluna* 1, indica-se o número da linha onde são listados os itens avaliados. Cada um destes itens é acompanhado de um memorial de cálculo. Neste texto, por uma questão de espaço, os memoriais de cálculo não são apresentados, mas exemplos podem ser encontrados em Odum (1996).

- Na *Coluna* 2, o nome do item é escrito e também a unidade, por exemplo, gramas, joules ou a unidade de moeda.
- Na *Coluna* 3, os recursos são classificados segundo a sua natureza nas categorias renovável (R), não-renovável (N) e fonte oriunda da economia (F).
- Na *Coluna* 4, são representadas as quantidades de cada item. Cabe salientar que a unidade destas quantidades refere-se a um período de tempo, geralmente um ano. A contabilidade em emergia é uma ferramenta que avalia um processo em um determinado período de tempo.
- Na *Coluna* 5, são colocados os valores de emergia por unidade (sej/unidade) ou de transformidade (sej/J). Estes dados estão, na maioria das vezes, disponíveis na literatura, calculados previamente por outros pesquisadores. Se o valor da transformidade não estiver disponível, pode ser calculado a partir da avaliação de emergia envolvida no processo dividida pelo fluxo de saída.
- Na *Coluna* 6, dispõem-se os valores de emergia solar (sej/unidade de tempo). Para cada item o valor de emergia é calculado multiplicando-se os dados das colunas 4 e 5.
- Na *Coluna* 7, são apresentadas as porcentagens dos recursos avaliados com relação à emergia total. Os valores percentuais em emergia identificam quais são os recursos mais importantes para o sistema em estudo. A soma dos valores desta coluna deve representar 100% sej/sej. No exemplo apresentado, a soma dos valores não totaliza 100%, pois para a exemplificação da metodologia foram selecionados apenas alguns recursos do sistema.
- Na *Coluna* 8, são citadas as referências bibliográficas relativas às transformidades e aos valores de emergia/unidade. Quando os valores forem calculados, o memorial de cálculo deve ser apresentado no apêndice do trabalho.

Da observação da Tabela 19.1, conclui-se que o óleo combustível (recurso vindo da economia e, portanto, F) é o recurso presente em maior porcentagem de emergia, seguido pelo trabalho humano (recurso de natureza F). Neste exemplo, observa-se que os recursos naturais não têm participação efetiva no sistema produtivo, destacando-se que a chuva (recurso de natureza R) representa apenas 0,01% sej/sej e a água de irrigação 0,20% em emergia (recurso do tipo N). O domínio dos recursos vindos da economia se deve ao fato de o cultivo ocorrer em estufa, sendo que o calor gerado para o aquecimento do processo parte da queima do óleo.

Após a conclusão da etapa de elaboração e interpretação da tabela, são calculados os indicadores de sustentabilidade: transformidade (ou emergia por unidade), indicador de investimento (EIR = F/I), indicador de rendimento (EYR = Y/F), indicador de carga ambiental (ELR = (N + F)/R) e índice de sustentabilidade (ESI = EYR/ELR). A análise criteriosa dos indicadores auxilia na tomada de decisões. Por exemplo, a substituição do óleo combustível por resíduos de madeira reflorestada (considerados renováveis), muda o perfil dos indicadores de sustentabilidade, como é visto na Tabela 19.2.

Tabela 19.2. Indicadores de sustentabilidade calculados a partir da contabilidade em emergia da produção de tomates em estufa na Suécia. Valores retirados de Lagerberg & Brown (1999).

	Aquecimento da estufa empregando	
Indicadores	Óleo combustível	Pó de madeira reflorestada como combustível
Transformidade/(sej/J)	$7{,}01 \times 10^{06}$	$5{,}36 \times 10^{06}$
EIR	480	13,5
EYR	1,00	1,07
ELR	9.910	14,1
EIS	0,0001	0,08

A partir dos valores da Tabela 2 podem ser feitas as seguintes inferências:

- A transformidade oferece informação sobre a eficiência e, neste caso, o valor diminui quando se emprega pó de madeira de reflorestamento como combustível. O aumento da eficiência global foi de 24% sej/sej. Cabe lembrar que esta eficiência refere-se à da biosfera. Por este motivo, é denominada de eficiência global e não eficiência local do processo.
- Quando comparados os valores do indicador de investimento em emergia, (EIR) observa-se uma diminuição considerável no valor do índice com o uso do pó de madeira. Este índice é dado pela relação de recursos pagos por não-pagos (F/I) e a sua diminuição indica que para a mesma produção estão sendo empregados menos recursos econômicos. Esta mudança no índice indica um aumento da competitividade dos sistemas de produção de tomate em estufas que troquem o óleo combustível por pó de madeira reflorestada nos sistemas de aquecimento.
- O indicador de rendimento (EYR) mostrou uma resposta levemente favorável quando houve a troca do combustível. O fato de não ter havido uma mudança significativa no índice EYR, que é a relação entre o valor em emergia do produto e os recursos pagos (Y/F), é devido à elevada influência dos recursos econômicos no sistema. O valor próximo da unidade indica que, macroeconomicamente, o investimento econômico retorna na forma de produto e que, apesar da substituição do óleo combustível por um recurso renovável, a exploração dos recursos gratuitos locais é ainda muito pequena.
- A carga ambiental (ELR) diminui consideravelmente com a mudança do combustível para aquecer a estufa. A diminuição do estresse ambiental, quando há a troca de óleo combustível por pó de madeira reflorestada, deverá refletir-se na melhoria da sustentabilidade ambiental.

- O índice de sustentabilidade (EIS=EYR/ELR) aumenta em 800 vezes quando se deixa de utilizar combustível fóssil com o uso de pó de madeira.

O diagnóstico e as decisões que podem ser tomadas objetivando a sustentabilidade ambiental são apresentados a seguir:

- A troca de combustível se reflete numa melhoria do desempenho ambiental do sistema, tanto no que se refere à sua eficiência, como no que se refere à carga ambiental imposta à biosfera. O aumento do índice de sustentabilidade é considerável, porém o valor absoluto do indicador está abaixo do valor esperado para uma sustentabilidade de médio prazo (1<ESI<5) e muito aquém do valor esperado para um sistema de produção com sustentabilidade de longo prazo, ESI>5, conforme Brown & Ulgiati (2002). Este resultado leva a pensar que a produção de tomate em estufa, mesmo com a troca de combustível renovável, não tem possibilidade tecnológica para alcançar a sustentabilidade forte (Figura 19.1C).
- Para a obtenção de um valor maior deste índice, a solução possível seria adotar um sistema de compensação, em que os recursos renováveis de sistemas ambientais conservados seriam somados aos da produção de tomate em estufa. Certamente, isto implica em políticas públicas de estímulo à implantação de unidades de conservação particulares ou públicas. Neste caso, haveria duas possibilidades de creditar na contabilidade em emergia esta melhoria na sustentabilidade ambiental.
- O caso mais direto e simples seria o da propriedade que possui a produção de tomate em estufa e uma área preservada. Nesta situação, seria contabilizado o recurso renovável de maior valor e creditado ao sistema de produção. No caso de a propriedade não possuir uma área conservada e de o estado promover uma política de conservação, pode-se avaliar o percentual dos impostos pagos pelo estabelecimento e dirigi-lo para a manutenção das unidades de conservação pública. A partir do valor de imposto pago anualmente, a área média protegida ou conservada com esse montante poderia ser determinada. Este valor de recursos renováveis (capital natural) seria creditado na contabilidade ambiental do sistema produtivo e, desta forma, seria possível avaliar o índice de sustentabilidade num sistema de compensação.

19.6 Comentários finais e conclusões

Neste capítulo, foram apresentados e discutidos importantes conceitos para o tomador de decisões sustentáveis. Os modelos apresentados da pirâmide das decisões e de sustentabilidade dão uma percepção das implicações das decisões nos diferentes níveis hierárquicos. A sustentabilidade somente pode ser alcançada de forma planejada com estes modelos em mente.

Para tomar estas decisões sustentáveis é necessária uma ferramenta de apoio que seja prática e cientificamente rigorosa. O exemplo apresentado mostra que a contabilidade ambiental em emergia é uma ferramenta útil para este propósito. A contabilidade em emergia aborda sistemicamente a biosfera, incluindo os recursos da economia e os da natureza (geralmente não incluídos nas análises convencionais).

Outra conclusão importante, que se retira do exemplo mostrado, é que alguns sistemas de produção dificilmente serão sustentáveis. Neste caso, o texto propõe o emprego de uma estratégia de compensações. As iniciativas de compensação podem ser feitas pelo produtor ou pelo poder público. Em qualquer dos casos, é possível contabilizar os benefícios da compensação e creditá-los ao sistema de produção.

A contabilidade em emergia é uma ferramenta útil para os tomadores de decisões dos diferentes níveis na pirâmide de decisões. No nível individual, a ferramenta pode orientar o consumidor em seu consumo sustentável. Para as empresas, pode apoiar as decisões sustentáveis. A contabilização da contribuição que o sistema de produção agrega à sustentabilidade pode ser empregada para obter certificações e para alcançar mercados que possuem barreiras de comercialização "verdes". A empresa poderá pleitear benefícios fiscais e divulgar sua real contribuição ao meio ambiente entre seus consumidores. Para os tomadores de decisão públicos, a ferramenta pode orientar as políticas públicas nos diferentes níveis de administração. O uso da contabilidade em emergia pode auxiliar o terceiro setor a tomar decisões referentes às suas ações (de educação, de fiscalização, etc.), de forma transparente e objetiva.

Por meio do exemplo da plantação de tomates em estufa, pode-se mostrar como a contabilidade em emergia pode auxiliar na tomada de decisão e responder aos questionamentos práticos realizados anteriormente:

1. *Qual seria a ferramenta que permita avaliar tanto os aspectos econômicos quanto os naturais num modelo de sustentabilidade forte?*

   A contabilidade em emergia é uma ferramenta que permite avaliar aspectos econômicos e naturais dos sistemas e pode ser utilizada para direcionar os sistemas antropogênicos ao modelo de sustentabilidade forte.

2. *Qual ação local seria a mais adequada para produzir o efeito global da sustentabilidade ambiental?*

   No caso da plantação de tomates em estufa, a tabela de fluxos de energia deixa claro que a ação local a ser tomada deve ter como alvo a natureza do combustível utilizado para o aquecimento do processo. A substituição do combustível fóssil pelo pó de madeira de reflorestamento resultou valores mais favoráveis para os índices de carga ambiental, eficiência e de sustentabilidade.

3. *Como avaliar a melhor ou a mais urgente medida a tomar por uma empresa ou pelo poder público? Ou, qual seria o objetivo a ser atingido prioritariamente?*

   O exemplo mostra que sistemas humanos que visam grande produtividade em pequenos períodos de tempo dificilmente serão sustentáveis. No caso da plantação

de tomates, o índice EYR mostra ainda que o processo não contribui para a economia, apenas retorna o investimento econômico em forma de produto. Medidas, como os mecanismos de compensação, são prioritárias para atingir a sustentabilidade em nível global.

A configuração que as decisões terão no futuro e suas conseqüências com relação à sustentabilidade do planeta dependerão da habilidade dos administradores no uso da contabilidade em emergia.

Referências

- BROWN, M. T. & ULGIATI, S. – Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems – Journal of Cleaner Production, 10 (2002) 321-334.
- DALY, H. E. – Steady-State Economics – Freeman, São Francisco, 1977.
- LAGERBERG, C. & BROWN, T. M. – Improving agricultural sustainability: the case of Swedish greenhouse tomatoes – Journal of Cleaner Production, 7 (1999) 421 – 434.
- ODUM, H. T. – Environmental accounting: Emergy and environmental decision Making, – John Wiley & Sons Ltd, Nova Iorque, 1996.