

“Energia, entropia e ... os termos do problema”

trechos selecionados (pags.36 a 63) da primeira parte do livro
“Pianeta in prestito . Energia, entropia, economia” de TRONCONI, P.A., VALOTA,
R., AGOSTINELLI, M. RAMPI, F., editora Macroedizioni, Poggio, 1991.

Tradução terminada em Março de 1996, por A.Oswaldo Sevá Filho
Professor Livre Docente do Depto. de Energia / Faculdade de Eng.Mecânica/ Unicamp

Índice

1. A colheita da energia

- a. O ciclo artificial
- b. O ciclo vital

2. Os princípios da termodinâmica

- a. Primeiro princípio
- b. Segundo princípio
- c. Intensidade das tecnologias energéticas e riscos associados
- d. Os sistemas como “acumuladores de energia”
- e. Os sistemas como “transdutores”
- f. A eficiência das transduções energéticas operadas pelos seres vivos
- g. Potência, rendimento e os princípios da termodinâmica
- h. Exemplos de rendimento de algumas máquinas

3. Os conceitos de entropia e de energia nas ciências e na sociedade

- a. O “super - conceito” em ação
- b. Entropia e transformações
- c. Entropia e “civilização do consumo”
- d. A água, a vida e a entropia dos planetas.
- e. Energia e cultura
- f. Energia, ciência e tecnologia

1. A colheita(*) da energia

(*) O termo italiano é “vendemmia”, literalmente significa a vindima, a colheita da uva; mas, “vendemmiare” pode ser também : fazer fortuna, ficar rico...

Todos os seres vivos, sejam vegetais e animais, retiram do ambiente a energia e as substâncias necessárias ao seu metabolismo. Mas, fazem-no de modos diversos e complementares:

- os vegetais processam diretamente a energia radiante do sol.

Através da fotossíntese clorofiliana, eles convertem a luz solar em energia química, utilizando a água , o anídrido carbônico (CO_2) , e alguns compostos presentes no solo, para sintetizar a celulose, os açúcares, os amidos, as proteínas graxas e todas demais substâncias necessárias ao seu desenvolvimento.

- os animais por sua vez obtêm a energia da matéria que processam sob a forma de alimento; isto é, das substâncias vegetais e de outros animais, algumas das quais são particularmente ricas em energia química.

Os processos metabólicos extraem dos alimentos a energia solar que está nêles armazenada, além das substâncias necessárias à vida dos animais. O que resta disto - matéria mais pobre em energia e em substâncias nutritivas - é restituído ao ambiente sob a forma de dejetos. Estes são posteriormente transformados, por meio da atividade dos micro-organismos, tornando assim tais matérias novamente disponíveis para o metabolismo dos vegetais.

Assim, nós seres vivos “colhemos energia “da natureza segundo um ciclo que não deixa restos, e que é alimentado pela luz do sol. Temos sido também, a espécie humana, um dos tantos anéis deste ciclo natural, desde centenas de milhares de anos atrás.

Mas, sobretudo no decurso dos últimos dois séculos, saímos deste ciclo natural, pelas mãos da necessidade, ou do desejo do supérfluo, que nos induziram a “espremer”, de qualquer maneira, e até a última gota, a energia da natureza.

Hoje, o aporte energético dos alimentos representa uma fração bem pequena das necessidades energéticas de quem vive numa região industrializada. Satisfazer esta demanda, sempre, cada vez mais insaciável, parecer superar a capacidade potencial dos processos naturais.

Assim, ao longo do desenvolvimento da civilização ocidental, a energia foi sendo obtida recorrendo-se a procedimentos cada vez mais artificiais:

- primeiro, desfrutando-se da energia cinética da água e do vento;

- depois, a energia gravitacional da água armazenada nos reservatórios de centrais hidrelétricas em zonas montanhosas;

- enfim, extraindo a energia, cada vez mais profundamente e difusamente a partir das energias de ligação da matéria (no início, por meio da combustão, e depois através de reações nucleares)

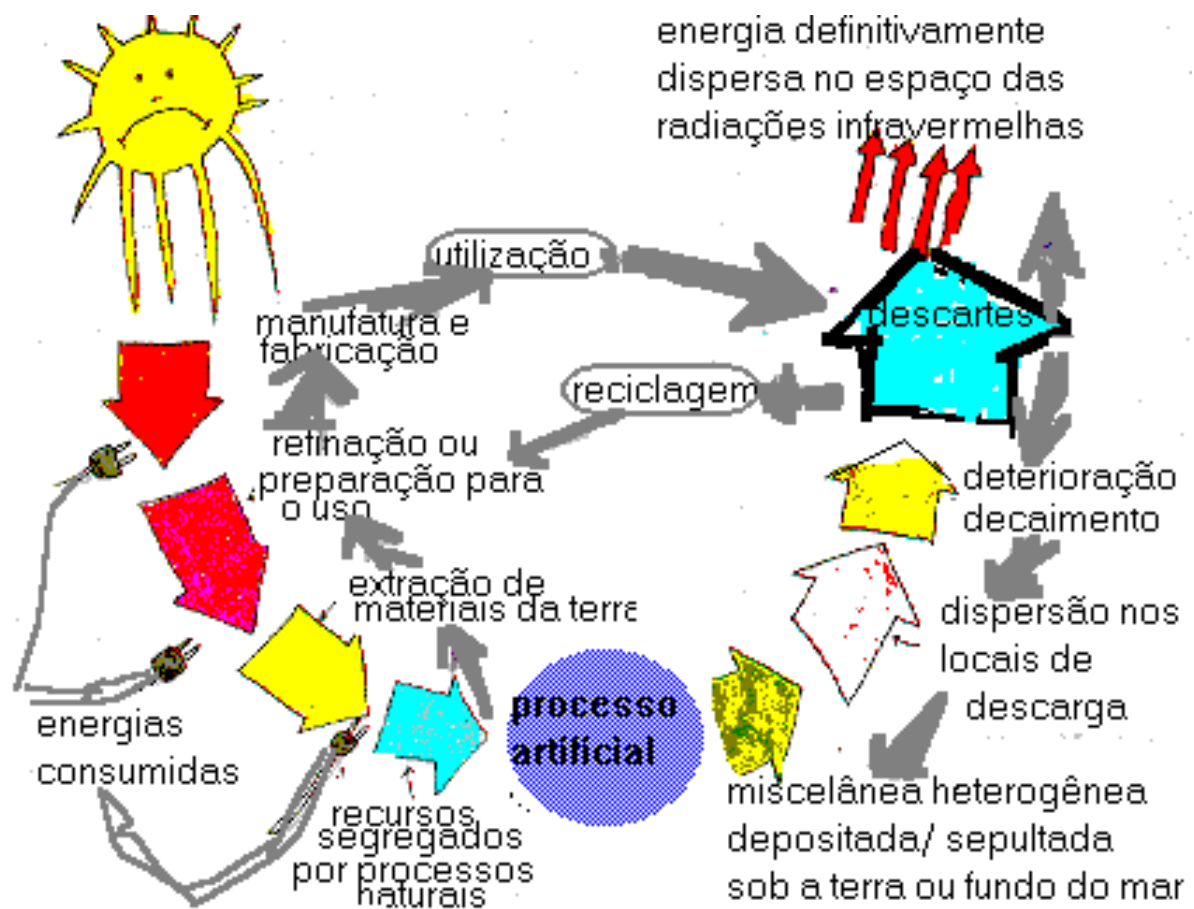
Por isto, não devemos nos espantar com o fato de que os subprodutos de tantas colheitas, conduzidas de modo frenético e desnaturado, sejam :

- as escórias que o meio ambiente não sabe , não consegue degradar;
- os gases que alteram a qualidade do ar e das chuvas;
- substâncias que transbordam nas descargas e nos atêrros;
- o lixo radiativo que se acumula nos depósitos ou vaga pelo mundo porque ninguém sabe como torná-lo inócuo.

1.a. O ciclo artificial

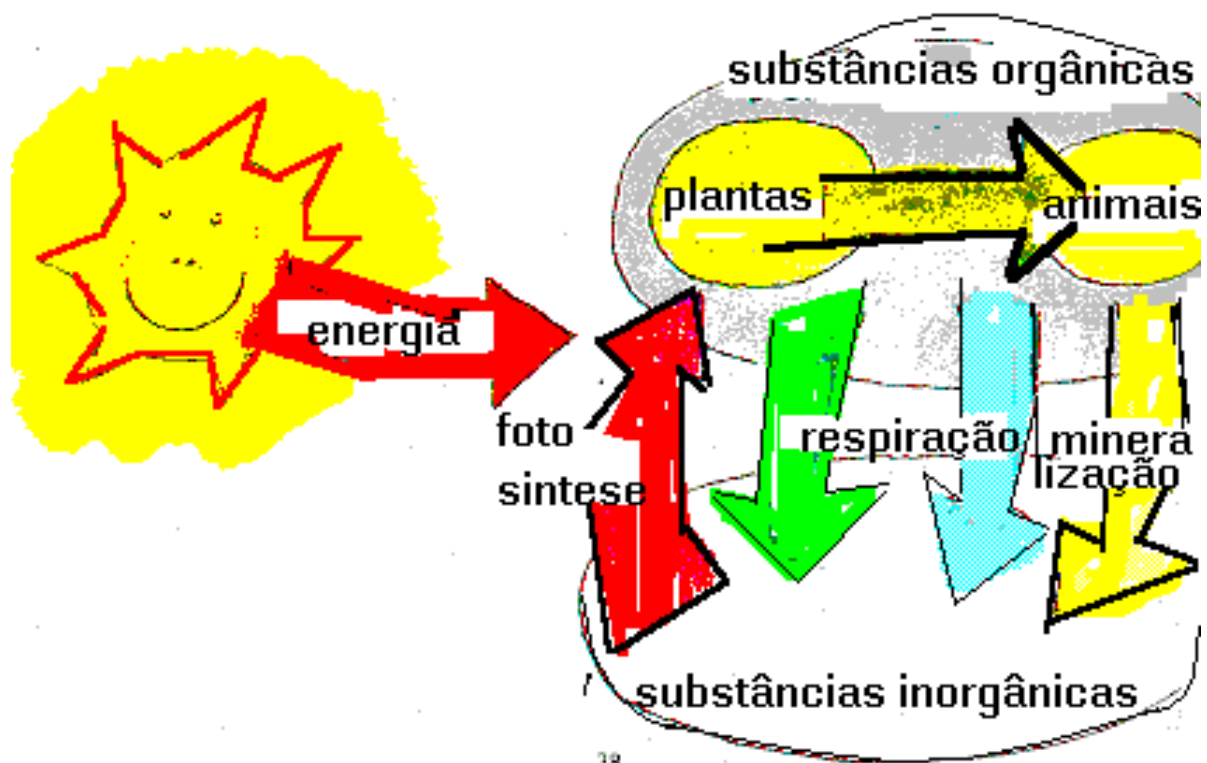
“No ciclo de extração, elaboração, utilização e descarte das matérias primas , um recurso segregado a partir dos processos naturais (por exemplo, uma jazida de minério de ferro) será extraído, passará por refinis e também por manufaturas, até ser enfim restituído à terra, sob forma de sucatas dispersas e heterogêneas.

Cada fase deste processo inclui um consumo de energia e a produção de escórias e de resíduos”



b. O ciclo vital

“A foto - síntese dá origem à matéria orgânica que vai sendo continuamente reciclada a partir dos seres vivos - ou – à que ficou sepultada após os eventos geológicos, e que veio se transformando até se tornar um produto “fossilizado” da própria foto - síntese (do passado) , ou seja, (hoje) um combustível fóssil.



2. Os princípios da Termodinâmica

A Termodinâmica é a ciência que resume o nosso conhecimento sobre as possibilidades de obter, converter e utilizar a energia. No atual estágio, esta ciência pode ser orientada por dois princípios fundamentais :

**** O PRIMEIRO PRINCIPIO
QUE AFIRMA A CONSERVAÇÃO DA ENERGIA.**

**** O SEGUNDO PRINCÍPIO
QUE FIXA OS LIMITES NATURAIS DA POSSIBILIDADE DE SE
CONVERTER CALOR EM TRABALHO.**

Todas as transformações que ocorrem na natureza, sejam dos tipos mecânico, elétrico, químico ou biológico, se desenvolvem respeitando estes dois princípios.

2.a) Primeiro princípio

**A energia, incluindo-se aquela parte “congelada” na matéria,
pode ser convertida de uma forma em outra,
mas não pode ser criada nem destruída.**

É o princípio mais conhecido e mais utilizado; porém, se fôr tomado isoladamente , poderia sugerir a idéia de uma possibilidade ilimitada de utilização dos recursos energéticos.

2.b) Segundo princípio

******(n.t. -a apresentação deste segundo princípio inicia com uma série de comentários sobre o primeiro princípio e alguns problemas práticos; os enunciados em sua forma sintética estão no final deste item 2.b.)

O primeiro princípio deixa de fato aberta a possibilidade de que existam processos tais que possam converter continuamente e completamente o trabalho em calor e vice-versa. Se assim fosse, seria possível construir-se, por exemplo, uma máquina capaz de “sugar”o calor dos oceanos para transformá-lo integralmente em energia elétrica, ou mecânica, ou , até, converter em calor mesmo, mas a uma temperatura mais alta.

Seria uma perspectiva alentadora que resolveria definitivamente o problema energético, mas que, já por princípio, estaria impedida de se concretizar, devido à profunda diferença que existe entre :

... receber energia sob forma de trabalho -

-e-

... recebê-la sob forma de calor.

****UM SISTEMA RECEBE ENERGIA SOB FORMA DE TRABALHO
SE FORÇAS EXTERNAS DESLOCAM ALGUMA PARTE MECÂNICA DO
SISTEMA(p.ex. uma alavanca, uma engrenagem)
OU ALGUM SEU COMPONENTE (p.ex. um fluido ou uma parte de seus
átomos ou de seus elétrons)
NUMA DADA DIREÇÃO.**

Isto é, se forças externas produzem um movimento de conjunto de uma parte da matéria que constitui o sistema.

**** UM SISTEMA RECEBE ENERGIA SOB FORMA DE CALOR
SE ALGUMA DE SUAS PARTES OU DE SEUS COMPONENTES
ABSORVE RADIAÇÃO OU É POSTO EM CONTATO COM UM CORPO
EM TEMPERATURA MAIS ALTA.**

Mas, neste caso, este aporte de energia implica, de qualquer maneira, em um “aquecimento” daquelas partes ou componente do sistema, e portanto, implica num movimento mais intenso de agitação térmica dos átomos de uma parte do mesmo sistema.

As conseqüências práticas destes dois tipos de aporte energético são evidentes:

caso a. Uma máquina alimentada pelo trabalho dispõe , desde a sua partida, de um movimento de conjunto ordenado.

Em princípio, nada impede que isto possa ser transmitido como tal,

- seja em forma de trabalho para um sistema externo,

ou, - seja convertido em movimento desordenado, isto é, agitação térmica, cuja energia possa ser cedida ao exterior sob forma de calor.

O quê pode ser notado em muitas situações práticas:

- uma roldana, uma lanca, uma engrenagem transformam um entrada de trabalho mecânico num outro tanto, ou quase tanto de saída de trabalho mecânico.

- os alternadores transformam a entrada de trabalho mecânico em outro tanto, ou quase, de saída de trabalho elétrico, enquanto os motores elétricos efetuam também eficazmente a transformação em sentido inverso.

- os freios convertem integralmente as forças do atrito em calor.

- as resistências elétricas convertem integralmente o trabalho elétrico em calor.

Vamos agora ao segundo caso :

caso b. Uma máquina alimentada pelo calor dispõe, de início, de um movimento de agitação térmica, por definição desordenado.

Nada impede que tal movimento possa ser integralmente transmitido a um sistema externo, comunicando aos átomos deste sistema uma agitação térmica de intensidade menor, ou no máximo igual.

Mas, em princípio, parece improvável que tal movimento desordenado possa ser integralmente transformado em movimento ordenado, ou, que possa ser transmitido a algum sistema externo comunicando aos seus átomos uma temperatura. Isto é, parece improvável que possa transmitir um nível de agitação térmica mais intenso do que o nível existente no ponto mais quente desta máquina.

Em termos mais conceituais, parece improvável a existência de processos autônomos cujo único resultado seja converter integralmente o calor em trabalho, e também, a existência de processos cujo resultado seja converter calor de baixa temperatura em calor de alta temperatura.

Tais suposições conceituais encontram ampla confirmação na experiência, visto que :

- dispositivos relativamente simples como os termosifões têm efetivamente condições de transformar calor de alta temperatura, por exemplo, de uma caldeira, em outro tanto de calor, mas... a uma temperatura mais baixa ;

- nem os maiores e mais modernos espelhos convergentes podem concentrar a luz solar obtendo-se neles uma temperatura maior do que a temperatura do sol;

- máquinas a vapor e motores a combustão interna conseguem converter em trabalho mecânico apenas uma parte do calor que entra , pois o restante devem perder, inevitavelmente, para o ambiente externo , na forma de calor em baixa temperatura.

- nenhuma célula foto - voltaica, nenhuma pilha termo - elétrica podem converter integralmente em trabalho elétrico o calor que recebam do sol ou de outra fonte térmica; assim, devem inevitavelmente dissipar uma parte da energia absorvida, para o ambiente externo, na forma de calor em baixa temperatura.

Estes dados concretos, sustentados por considerações de caráter teórico, estão na base do **segundo princípio da termodinâmica** (e que tem distintos enunciados, equivalentes no seu conteúdo):

a) o processo - cujo único resultado seja a conversão da mesma quantidade de calor fornecida por uma fonte quente, em trabalho - é irrealizável.

b) o processo - cujo único resultado seja a transferência de energia sob a forma de calor, de um corpo mais frio para um corpo mais quente - é também irrealizável.

O segundo princípio da termodinâmica mostra , em resumo, a diferença fundamental entre as duas formas de transmissão de energia : calor e trabalho. Deste princípio, decorre que -

- a transformação de movimento ordenado de um corpo no movimento desordenado das partículas que o compõem - é irreversível.

- o movimento ordenado pode evoluir para um movimento caótico sem qualquer processo compensatório, p.ex., no caso do atrito;

- enquanto que a passagem de movimento caótico para ordenado , ou como se diz “a transformação de calor em trabalho” não pode ser o único resultado de qualquer que seja o processo termodinâmico;

- o qual, em outras palavras, é sempre acompanhado de processos dissipativos.

2.c. Intensidade das tecnologias energéticas e riscos associados

Existe uma vasta gama de tecnologias energéticas, que diferem não apenas pelas fontes empregadas e pelo tipo de energia fornecida, mas também diferem pelos riscos que comportam, e pelas disposições de submeter-se o emprego de tais tecnologias mais ou menos ao controle social. Os reveses da tecnologia nuclear parecem indicar que

- QUANTO MAIS POTENTES SÃO OS FENÔMENOS SOBRE OS QUAIS SE
BASEIA UMA TECNOLOGIA,
TANTO MAIS GRAVES SÃO OS RISCOS QUE O SEU USO IMPLICA,
E TANTO MAIS DIFÍCIL É O CONTROLE DA SOCIEDADE SOBRE O SEU
EMPREGO.

2.d. Os sistemas como “acumuladores de energia”

Se um sistema é isolado (isto é, não troca energia nem matéria com o ambiente externo) a sua energia total permanece constante.

Mas, não há na natureza sistemas isolados, realmente : todo sistema interage com os demais , trocando energia e ou matéria. Assim, um sistema pode aumentar a sua energia interna às custas da energia dos outros. Mas, alcançará, ou conseguirá conservá-la toda para si, “ciumentamente”?

Esta é uma curiosidade legítima, porque existe um princípio fundamental pelo qual um sistema é tanto mais estável quanto menor a energia que contém.

Neste ponto, como muito homens o fazem, também os sistemas materiais consideram a estabilidade uma condição ideal. Por isto, todo sistema tende a desfazer-se do seu excesso de energia.

O que é muito fácil se se tratar de energia térmica, que, como sabemos, emana espontâneamente dos corpos sob forma de calor.

Mas é muito mais difícil se a energia que entra no sistema é energia cinética, ou potencial, ou sobretudo se é energia de ligação química. Pois estas energias de fato não se liberam espontâneamente mas somente “sob comando”, numa sequencia de eventos que “acionam”os processos, que tornam estas energias disponíveis para a troca com o exterior.

É no que consiste , em definitivo, a própria vida.

Graças à fotossíntese as plantas intrapolam (e antes que a radiação solar se perca como calor) esta radiação, armazenando a energia nas moléculas dos carboidratos.

Assim, a energia solar pode ser acumulada, conservada, ficar acessível para os animais (que retiram energia do seu alimento) , ou liberada, se fôr o caso, na combustão dos vegetais.

2.e. Os sistemas como “transdutores”

Um **TRANSDUTOR** é um dispositivo que converte energia de uma forma a outra. Normalmente este termo é reservado para denominar peças como o microfone , a agulha de um toca discos (nt - convertem vibração mecânica do som ambiente ou do som gravado nos sulcos de vinil em impulsos elétricos) e como os altos-falantes (nt - no caminho inverso, transforma impulsos eletromagnéticos em ondas mecânicas audíveis).

Mas nós aplicaremos a mesma noção em seu sentido amplo, lato, também para as máquinas, para os seres vivos e para certos processos naturais, nos quais estão em jôgo a troca e a conversão de energia.

Com isto, é oportuno classificar tais transdutores, reconhecendo-se alguma afinidade entre os sistemas, tão diversos entre si:

- alguns deles convertem **INTEGRALMENTE** uma forma de energia em outra,
- enquanto outros só podem fazê-lo parcialmente.

Pertencem à primeira categoria:

A)os transdutores CALOR---CALOR como os trocadores de calor, os termosifões, e no âmbito planetário, o conjunto dos fenômenos graças aos quais **OS OCEANOS E A ATMOSFERA TRANSFEREM ENERGIA SOLAR** ,das regiões mais ensolaradas para as mais frias, cumprindo a função de **TERMOREGULADORES DO CLIMA TERRESTRE**.

B)os transdutores TRABALHO --- CALOR , os **FREIOS** dos veículos que transformam as forças do atrito em calor, as **LÂMPADAS E RESISTÊNCIAS ELÉTRICAS** , que convertem o trabalho das forças que movem as cargas elétricas em calor, e também as **MAQUINAS FRIGORIFICAS** e as **BOMBAS DE CALOR**.

Com relação aos outros tipos de transdutores :

- a sua eficiência é limitada pelo fato inevitável da liberação de calor que acompanha toda transformação energética;
- os mais importantes deles são os que consomem energia sob forma de calor, ou a partir de uma substância com alto conteúdo energético -- para transformá-la em outra substância energética ou para produzir trabalho.

Pertencem a esta segunda categoria :

C)Os transdutores CALOR --- TRABALHO, como as máquinas térmicas a combustão externa, em particular as **MAQUINAS A VAPOR D'ÁGUA**, que convertem calor em trabalho.

Tais máquinas devem necessariamente operar de forma cíclica,

ABSORVENDO CALOR Q_1 DE UMA FONTE DE ALTA TEMPERATURA, por exemplo, a caldeira,

e **CEDENDO CALOR Q_2 A UMA FONTE EM TEMPERATURA MAIS BAIXA**, por exemplo, o condensador.

Como demonstrou o francês Carnot no século passado , ocorre que

O TRABALHO MECÂNICO FORNECIDO W É IGUAL À DIFERENÇA ENTRE ESTAS DUAS QUANTIDADES DE CALOR, e não pode superar um valor limite que, por sua vez, depende das temperaturas de entrada e de saída das duas fontes.

D)Os transdutores SUBSTÂNCIA ENERGÉTICA --- TRABALHO, como os próprios **ANIMAIS** e também os **MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA**. Em ambos os casos, os transdutores consomem matéria, alimento ou mistura combustível que contem elevado conteúdo de **ENERGIA QUÍMICA INTERNA**

e, através de reações químicas e biológicas, **LIBERAM PARTE DA ENERGIA INTERNA DA MATÉRIA CONSUMIDA, E A TRANSFORMAM EM TRABALHO**.

E também , nestes dois casos de transdutores “substância energética --- trabalho”, eles **RESTITUEM AO AMBIENTE O CALOR E A MATÉRIA COM BAIXO CONTEÚDO ENERGÉTICO** (os dejetos humanos e animais, os gases de descarga dos motores);
e os seus rendimentos estão na faixa de 40 POR CENTO, mas são obtidos através de processos radicalmente distintos :

D.1. O metabolismo dos animais permite **CONVERTER DIRETAMENTE A ENERGIA INTERNA DOS ALIMENTOS EM ATIVIDADE BIOELÉTRICA** (isto é, substancialmente em trabalho elétrico. Nt = trabalho neuromuscular), o que por si só não requer a existência de temperaturas elevadas no interior dos organismos;

D.2. Enquanto que os motores a combustão interna realizam a conversão desfrutando da **EXPANSÃO DOS GASES EM ALTÍSSIMA TEMPERATURA**, que são liberados pela combustão da mistura.

E)os transdutores CALOR --- SUBSTÂNCIAS ENERGÉTICAS, como são os vegetais, operando conforme o seguinte esquema:

- do ambiente ,consomem **RADIAÇÃO SOLAR, ÁGUA E ANIDRIDO CARBONICO(CO2)**;
- sintetizam, através da **FOTOSSÍNTESE CLOROFILIANA**, as substâncias químicas nas quais estará armazenada a energia solar sob forma de **ENERGIA QUÍMICA**;
- restituem matéria, principalmente **OXIGÊNIO**, ao ambiente externo.

É fundamental destacarmos que, assim,

**A FOTOSSÍNTESE É A JANELA PELA QUAL
A ENERGIA SOLAR ENTRA NO CICLO DA VIDA SOBRE A TERRA.**

2.f. A eficiência das transduções energéticas operadas pelos seres vivos

De tudo que se disse antes, parece evidente que existe uma estreita complementaridade entre as conversões energéticas operadas pelos vegetais e as operadas pelos animais. Mas, qual a eficiência destes processos?

Substancialmente, é muito baixa, conforme se pode deduzir a partir do “caso” da série de transformações pelas quais a energia solar chega até nós, através da cadeia alimentar.

As plantas armazenam como energia química cerca de UM POR CENTO da energia solar incidente sobre elas. Em seguida, o animal do pasto não come todo o capim, nem converte toda a energia química do capim comido em energia química acumulada em sua carne - pois

- uma parte dela serve para alimentar as funções vitais do animal (nt - reposição cotidiana e reprodução biológica),
- e outra parte não é assimilada, p.ex. as saídas de fezes e de urina.

Visto desta forma, um bovino armazena no máximo QUATRO POR CENTO da energia contida no capim, isto é, apenas 0,04 POR CENTO da energia solar incidente sobre o capinzal que ele pastou.

Se ainda considerarmos que somente metade do animal é comestível, é fácil verificar como, por meio de sua alimentação carnívora, o homem utiliza 0.02 POR CENTO OU MENOS , da energia solar que entra no início de sua cadeia alimentar. Uma alimentação vegetariana permite , naturalmente, dar um salto qualitativo, melhorando de dez a vinte vezes a eficiência de tal cadeia alimentar.

2.g. Potência, rendimento e os princípios da termodinâmica

O termo POTÊNCIA indica a energia ou o trabalho cedido ou absorvido por unidade de tempo. O RENDIMENTO de um processo ou de uma máquina exprime qual é a fração da energia fornecida que se converteu na energia requerida, para uso subsequente ou para uso final.

Estes conceitos entraram no conhecimento da Física durante a Revolução Industrial :

o de POTÊNCIA foi introduzido por Smeaton após os seus estudos sobre as rodas d'água e os moinhos;

e o de RENDIMENTO foi se tornando mais útil e rigoroso durante as sucessivas tentativas de se diminuir as quantidades de minério de carvão requeridas pelas máquinas a vapor.

Mas, os dois conceitos, filhos do mesmo período histórico, não receberam durante os últimos dois séculos a mesma atenção. Isto porque -

* tanto a presunção de uma disponibilidade ilimitada de energia -

* como a subvalorização das implicações ambientais -

levaram a privilegiar, até os dias de hoje, a potência mais do que o rendimento; ou ainda, a privilegiar mais a velocidade do que a parcimônia na exploração dos recursos.

Se formos enfatizar o primeiro princípio da termodinâmica sem a devida cautela (que seria exigida em meio à complexidade desta termodinâmica) criamos a ilusão de poder desfrutar impunemente dos recursos naturais, apesar de todas as escórias produzidas e desprezando-se os ritmos biológicos.

No passado recente, todo o desenvolvimento das técnicas esteve muito mais direcionado para POTENCIAS CADA VEZ MAIORES - isto associado a uma velocidade de consumo também crescente - do que direcionado para a MELHORIA DA EFICIÊNCIA DOS PROCESSOS DE CONVERSÃO DE ENERGIA.

Esta história recente causou o desperdício de recursos energéticos pois , na maior parte dos casos,

- somente é possível reduzir-se a influência do atrito e de outros processos dissipativos, e portanto

- só é possível aumentar-se o rendimento das máquinas e em geral, das transformações energéticas - -

- - reduzindo- se a velocidade de trabalho.

(Nt - E não como se tem feito, gastando-se proporcionalmente mais energia para se obter mais potência, mais velocidade...)

No âmbito social, este tipo de orientação favorece a instauração de uma gama de comportamentos característicos do “consumismo”.

A crescente consciência dos limites dos recursos energéticos e a emergência de uma maior sensibilidade para a problemática ambiental estão finalmente, determinando uma reavaliação da importância do RENDIMENTO - favorecendo-se assim o desenvolvimento de tecnologias baseadas em máquinas menos gigantescas e menos potentes mas, bem mais eficazes do que as empregadas até agora.

2.h. Exemplos de rendimento de algumas máquinas

MÁQUINAS TÉRMICAS	temperaturas de entrada	saída	rendimento efetivo
* motor a quatro tempos	2300 graus	600 graus	20 a 30 %
** motor ciclo Diesel	2600 graus	500 graus	30 a 40 %
*** turbina a vapor convencional	530 graus	50 graus	25 a 35 %
MÁQUINAS QUE TRANSFORMAM TRABALHO EM TRABALHO			
**** roda d'água	-----	-----	70 a 75 %
***** turbina hidráulica	-----	-----	90 a 95 %

3. Os conceitos de entropia e de energia nas ciências e na sociedade

3.a. O “super-conceito” em ação

O caráter mais ou menos ordenado das formas inertes e vivas assumidas pela matéria depende tanto do nível de agitação térmica dos seus constituintes, como de sua complexidade estrutural e funcional. Para caracterizar este aspecto da matéria, os físicos do século passado introduziram o conceito de ENTROPIA - uma grandeza que exprime exatamente o número de microestados correspondentes a um determinado estado de um sistema material. Por isto :

A ENTROPIA MENSURA A DESORDEM E A DESORGANIZAÇÃO DA MATÉRIA.

Assim, o valor da entropia é tanto mais baixo quanto menor for a agitação térmica da matéria e quanto mais ordenada e complexa for a configuração por ela assumida.

E viceversa, a entropia é tanto maior quanto maior for a agitação térmica da matéria e quanto mais elementares sejam os modos pelos quais se estruturam as moléculas, os átomos e os núcleos atômicos.

exemplo A. A entropia de um sólido, líquido ou gás cresce como aumento da temperatura e ainda mais rapidamente quando a substância se funde ou se vaporiza.

exemplo B. Se um sistema troca uma dada quantidade de calor com o exterior, a sua variação de entropia é tanto menor quanto mais alta for a sua temperatura.

exemplo C. Qualquer que seja a situação inicial, um sistema isolado tende a evoluir espontaneamente em direção a um estado de entropia máxima.

Este é um super-conceito porque permite expressar de modo muito sintético e eficaz os

fenômenos aqui tratados, por exemplo, o que se passa no microcosmo molecular de um corpo que está sendo aquecido (ex. A). Este conceito pode ser aplicado em seu sentido mais amplo, para além do âmbito da Ciência física:

Assim, nascimento e morte podem ser concebidos como processos nos quais a matéria, respectivamente reduz e aumenta a sua entropia.

Também, o modelo de desenvolvimento da atual civilização do desperdício pode ser representado como um processo altamente dissipativo, que consome muitíssima energia para manter níveis de complexidade injustificados.

3.b. Entropia e transformações

O estudo das reações químicas e das outras transformações dos sistemas materiais evidenciou, há tempos, a existência de duas tendências fundamentais:

*** a matéria tende a agregar-se em configurações mais estáveis e mais fortemente ligadas, ou interligadas.**

Já que um sistema material é tanto mais instável quanto mais elevado for o seu conteúdo de energia interna - esta tendência somente pode ser constatada se o sistema libera energia cedendo-a ao ambiente externo sob forma de calor ou de trabalho.

*** a matéria tende a evoluir no sentido dos estados de máxima entropia.**

- isto é, tende a assumir o estado que corresponde ao mais alto grau de desorganização estrutural e de dispersão espacial compatíveis com a sua temperatura e com as outras condições de contorno.

Trata-se ainda, de duas tendências distintas, independentes, que conforme o caso e as condições externas, podem agir em sintonia ou em desacordo entre si.

São essencialmente quatro as variedades de situações implicadas no curso de uma transformação:

1) liberação de energia e aumento da entropia

(combustão, digestão dos alimentos, fissão nuclear, explosão, expansão de uma mola)

2) liberação de energia e diminuição da entropia

(resfriamento, liquefação, solidificação, p.ex. da água)

3) absorção de energia e aumento de entropia

(aquecimento, liquefação e vaporização)

4) absorção de energia e diminuição da entropia

(metabolismo das plantas e dos animais, síntese dos polímeros)

A título de exemplo, vejamos o caso da *nitroglicerina*, no qual as tendências acima descritas operam com uma sintonia propriamente explosiva ! Neste composto, os átomos de carbono, oxigênio e nitrogênio estão organizados em moléculas complexas, por sua vez agregadas em um estado relativamente compacto (líquido).

Em tais condições uma parte notável da energia interna da *nitroglicerina* está “congelada” nas ligações moleculares não muito estáveis, e a outra parte, menor, está na agitação térmica das próprias moléculas.

É um estado químico-físico substancialmente precário, pois basta um mínimo estímulo externo, para que isto se torne uma detonação, passando a um outro estado onde os mesmos átomos se reagregam em número maior de moléculas, mais simples do que as moléculas do estado anterior, e com ligações mais intensas e estáveis.

A energia de ligação assim liberada se torna energia térmica que transforma os produtos da reação em gás a alta temperatura, nitidamente mais desordenado do que o líquido inicial.

3.c. Entropia e “civilização do consumo”

Qualquer sistema isolado evolui fatalmente no sentido do estado de máxima entropia. Porém, como já foi dito, na natureza não existem sistemas isolados : todos os componentes do universo trocam entre si matéria, ou pelo menos, energia.

O que não quer dizer que todos estes componentes devem atingir o mesmo nível ou patamar de entropia; alguns podem mantê-lo inalterado, outros podem até mesmo reduzir este patamar, como sucede por exemplo, com uma barra de cobre que sirva como “ponte” entre uma chama e um bloco de gelo.

Nisto os maiores especialistas são os seres vivos, verdadeiros “oportunistas entrópicos”, inclinados a dissociar o seu próprio destino individual do coletivo.

Os homens, por seu lado, foram levados a introduzir a política exatamente como um instrumento para contrabalançar o impulso oportunístico individual por meio da exigência de salvaguarda da sobrevivência do grupo ou da espécie (o que não é menos oportunista, mas tem um horizonte de tempo mais longo)

A termodinâmica não proíbe o oportunismo entrópico, mas adverte :

“Se quiser manter-se como um sistema altamente complexo e ordenado, deve-se reabastecê-lo de energia para vencer a tendência à degradação. Mas, de tal forma que a degradação será posta na conta do ambiente externo, e em maior grau do que a ordem assim obtida.”

O homem da civilização do consumo constitui um sistema altamente complexo, vivendo a um nível entrópico extremamente baixo, cercado de uma miríade de objetos que êle “metaboliza”, renovando-os continuamente, substituindo-os.

Este nível somente pode ser mantido graças a um intenso aporte de energia extraída do ambiente externo, e que provêm , a maior parte, de fontes não renováveis. Assim :

**do ponto de vista termodinâmico, e no longo prazo,
o preço da civilização do consumo só pode ser a exaustão dos recursos energéticos e a degradação do ambiente terrestre.**

3.d. A água, a vida e a entropia dos planetas

Cada planeta recebe energia luminosa, radiante do Sol e a degrada, convertendo-a em radiação infravermelha, parte dela emitida de volta para o espaço cósmico. E, como toda degradação de energia, também esta requer processos que “produzam entropia”.

A terra, que dispõe de atmosfera, de oceanos e de biosfera, degrada a energia por meio de uma multidão de processos diversos, alguns dos quais contribuem para “produzir entropia” - sem que isto requeira nem provoque a existência de grandes diferenças de temperatura sobre o planeta. Isto porquê :

* A **atmosfera** se comporta de fato como uma **enorme máquina térmica** que transforma parte da energia solar na **energia dos ventos**, que as turbulências por sua vez vão degradar, resultando apenas energia térmica de baixa temperatura.

* A existência dos **oceanos e mares** assegura que uma boa metade da energia solar incidente seja absorvida nos **processos de evaporação superficial das águas**, e seja transportada desde a faixa do Equador na direção dos polos
- sob a forma de “calor latente”, isto é, de ar úmido, ar com vapor d’água ,que não manifesta através da temperatura o seu elevado conteúdo de energia térmica.

* Para domesticar o clima da terra contribui também a **biosfera**, e isto de forma mais acentuada quando os organismos que constituem o ecossistema são mais variados, mais numerosos e interdependentes. Todos êles se comportam como transdutores especializados em degradar a energia solar, através de uma cadeia de pequenos saltos.

Assim, desde tempos imemoráveis, o ciclo da vida se garantiu por meio da **circulação atmosférica e dos ciclos meteorológicos** : tais processos “produzem a entropia”, o que é fundamental para manter o planeta num estado estacionário. (n. t - e também com a contribuição das correntes marinhas e do calor interno do planeta) Estes equilíbrios se encontram agora ameaçados :

pelo fato de que a humanidade recorre cada vez mais massivamente às fontes energéticas não renováveis,

e também pelo fato de ir substituindo o ecossistema natural por um ecossistema artificial, nos quais os anéis das cadeias de ligação entre os seres vivos são menos numerosos; e, resultante disto,

pelo fato de a degradação de energia se dar , nestes casos, por saltos maiores de temperaturas e de concentrações de elementos e compostos químicos (conforme a figura do “Ciclo artificial”no início desta apostila).

3.e. Energia e cultura

Como acontece com as pessoas, os conceitos também crescem e amadurecem por meio do trabalho intelectual e da prática. Desde o século XIX , dos anos mil e oitocentos até hoje, o conceito de **energia** evoluiu demonstrando uma potencialidade cultural que vai muito além de sua definição original e singela de **capacidade de realizar trabalho**.

Antes da introdução do conceito de energia, nenhum outro conceito físico, nem mesmo o de força, havia permitido expressar de modo tão eficaz , sintético , a interdependência dos fenômenos naturais, aí compreendidos também os fenômenos dos organismos vivos.

A aplicação dos conceitos de energia e de entropia revoluciona a concepção humana sobre a natureza , aperfeiçoa e reforça as teorias da física, que doravante lhes conferem papéis explicativos centrais: **traduzindo a dinâmica dos fenômenos** em termos de troca e transformação de energia, obtendo-se assim uma leitura unitária de tudo quanto se passa e pode se passar no mundo inanimado e no mundo das formas vivas.

Além disto, as leis que regulam as variações de entropia podem explicar razões para a vida, a morte, o transcorrer do tempo. Enfim, graças ao trabalho de Einstein, pode-se dar um caráter mais concreto ao **conceito unitário de energia**, conectando-o ao conceito de matéria (n.t. Energia igual à massa x velocidade da luz ao quadrado)

Mas , idéias tão fascinantes e inovadoras como as de energia e entropia não podem permanecer fechadas dentro de um disciplina científica, devem também despertar o interesse de outros ambientes culturais. Assim, desde a metade do século passado, os filósofos, os artistas, os escritores e os historiadores procuraram compreender e reelaborar a seu modo as implicações desta **nova chave de leitura do mundo** sobre a pintura, a poesia, o pensamento filosófico.

3.f. Energia, ciência e técnica

A humanidade tem poucas centenas de milhares de anos de existência, e só escreve há alguns milhares de anos. A ciência e a técnica somente há poucos séculos começaram a modificar consistentemente as condições do antigo “homem solar”, pois, até dois séculos e pouco atrás, a sociedade humana vivia quase exclusivamente da energia solar e dos sistemas biológicos, e convivía , com muita dificuldade, em meio aos parasitas de todo tipo, com guerras e doenças, com catástrofes naturais.

O sistema biológico se encarregava de realizar a conversão da energia microscópica, bioquímica e atômica em trabalho físico, basta pensar por exemplo, nos movimentos e esforços realizados pelos animais e na utilização dos animais e dos escravos para o trabalho pesado.

Desde sempre o mundo biológico desenvolveu, em conjunto com o **movimento**, a tecnologia da **informação** :

a planta é deixada no solo, e luta com as plantas vizinhas para para melhor captar a energia solar;

o animal cerca a presa ,tendo o seu movimento mecânico guiado pelo olho e pelo olfato e o olho utiliza os mesmos fótons solares, a luz!

Com a cultura das máquinas que nasceu nos anos mil e setecentos (seculo XVIII, as máquinas a vapor), o fato é que hoje, o movimento , os motores e a informação são colocados acima do proprio homem.

Seguindo-se os princípios da termodinâmica é possível converter o calor em movimento mecânico, sob duas condições : dispor de uma fonte de onde extrair a energia em alta temperatura e de um ambiente onde se possa descarregar o calor residual de baixa temperatura.

Os motores mecânicos invadem a Europa e o mundo nos séculos XIX e XX e transformam a sociedade solar agrícola e sociedade tecnológica.

Com o advento da corrente elétrica, vêm as máquinas de valor tecnológico ainda maior; as ondas eletromagnéticas permitem uma transmissão fácil da informação a longas distâncias; vários tipos de meios mecânicos permitem as viagens rápidas, os transportes de mercadoria, a otimização da produção, enfim o “desenvolvimento”.

Os limites mais graves para os sistemas tecnológicos do século XX são dois:

1- No estado atual, **o sistema é alimentado, na maior parte, por energias primárias fósseis: carvão mineral, petróleo e metano (gás natural).**

Os sistemas biológicos em geral não admitem refugos e descartes; tudo é reciclado e readmitido no sistema. Todavia, as alterações físicas do planeta em milhões de anos isolaram e sepultaram antigas florestas, sob o fundo de oceanos, o que bloqueou a sua conversão biológica, e deu origem às jazidas de materiais fósseis - e **o homem em poucas décadas está consumindo estes recursos.**

De fato o sistema tecnológico tem necessidade de energia extraída: uma estrada, uma cidade, uma indústria necessitam de energia extraída e consumida para que sejam construídas, e somente as energias mecânica e elétrica podem fazê-lo; não podemos construir um objeto simplesmente aquecendo-o. (n.t. embora a fundição de metais e a cerâmica tenham que passar por processos de alta temperatura).

Exaurindo-se os recursos como o petróleo, o metano e o carvão, o sistema tecnológico atual deve converter-se e modificar-se, e até mesmo muitos dos atuais processos produtivos devem desaparecer.

2- O segundo limite é formado pelos **rejeitos produzidos**. No sistema biológico, isto não existe: o sistema modifica o próprio ambiente a seu favor (a prova mais evidente é a atmosfera atual, bem diferente da original, composta de metano e amônia).

Também o homem tecnológico modifica seu próprio ambiente a seu favor. Mas deixa rejeitos não degradáveis, prejudicando irreversivelmente o ecossistema: os produtos da combustão (gases de enxofre, de nitrogênio, carbônicos) ameaçam os habitats, castigam as florestas e a fauna dos lagos. Ainda mais graves são os efeitos dos resíduos químicos e das sucatas radiativas.

Se bem que o homem disponha de tecnologias sofisticadas, permanece, em seu tempo de vida, **uma entidade biológica destinada a viver em um ambiente biológico.**

As alterações ambientais que hoje mais preocupam são determinadas por atividades que, **no curto prazo**, podem oferecer vantagens ao homem ou a uma parte da sociedade, mas que, **no longo prazo**, contêm o risco de minar a adaptabilidade do homem ao ambiente e de comprometer o destino da biosfera.

Diante destas evidências , e para assegurar um futuro também para as novas gerações vão surgindo tecnologias menos destrutivas, menos arriscadas ,e ocorre a revalorização das ciências naturais e da busca de recursos renováveis.

Entretanto, estes encaminhamentos, mesmo sendo bastante sensatos , se chocam **contra os interesses de um pensamento ainda dominante, que desconhece o futuro e que otimiza os seus próprios processos às custas dos demais**. Eis aí uma força política poderosa, mas que demonstra, pelos fatos, uma grande indiferença, ou uma suprema ignorância da situação quando confrontada às leis naturais.

.....final dos trechos traduzidos

Comentário do tradutor : Em quase toda a extensão do texto, foi mantida a forma construtiva e o estilo do original italiano. Poucas passagens foram re-escritas ,com acréscimos. Aceito sugestões e críticas no sentido de aperfeiçoar a apostila. a.oswaldo sevá filho

Anexar : sumário e tabelas selecionadas do original italiano
pags.15, 22,26, 27, 29 e 30 e 424 (indice generale) e a capa do livro.