PENSANDO

A ENERGIA

ALUISIO CAMPOS MACHADO

PENSANDO A ENERGIA

Depósito legal na Biblioteca Nacional, conforme Decreto nº 1852,
de 20 de dezembro de 1907.

EDIÇÃO
Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – ELETROBRÁS

EDITORAÇÃO
Centro da Memória da Eletricidade no Brasil – MEMÓRIA DA ELETRICIDADE

Eletrobrás. Diretoria de Operação de Sistemas

Machado, Campos Aluisio
Pensando a Energia / Aluisio Campos Machado –
Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1998.
xix, 358p.

1. Energia. II. Título

Eletrobrás

PROCEL

PENSANDO A ENERGIA

Aluisio Campos Machado

1998

Rio de Janeiro

EDIÇÃO
Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - ELETROBRÁS

PRODUÇÃO DO TEXTO
Aluisio Campos Machado

REVISÃO DE CONTEÚDO
Prof. Luiz Pinguelli Rosa
Prof. Roberto Schaeffer

DIGITAÇÃO
Elizabeth Motta Bacello

EDITORAÇÃO
Centro da Memória da Eletricidade no Brasil – MEMÓRIA DA ELETRICIDADE

Man has no Body distinct from his Soul;
for that called Body is a portion
of Soul
discerned by the five Senses
the chief
inlets of Soul in this age

Energy is the only life and is
from the Body;
and Reason is the bound or outward
circumference of Energy.

Energy is Eternal Delight[1]

William Blake

"The Marriage of Heaven and Hell", 1793

1 O Homem não tem um Corpo distinto da Alma; / pois o que chamamos Corpo é uma porção / da Alma / percebida pelos cinco Sentidos, / os principais / portões da Alma nesta era. / Energia é a única vida e / provém do Corpo; / e a Razão é o limite ou a circunferência externa da Energia. / Energia é o Eterno Encantamento.

Apresentação

Este livro é a feliz convergência de duas trajetórias originais: a do autor e a do PROCEL - o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica - onde ele trabalha. O autor é um sociólogo que percebeu a importância da energia para a sociedade humana. Ele vem estudando o tema desde a década de 1980, antes mesmo de vir a se dedicar profissionalmente ao planejamento energético.

Ser radical é tomar as coisas pela raiz. Foi isto que Campos Machado fez. Iniciou sua investigação pesquisando a origem e a evolução do conceito de energia na física e, em seguida, analisou o modo como este conceito veio a ser utilizado em várias disciplinas científicas. Isto foi intelectualmente necessário e útil ao planejamento energético. As atividades ligadas à eficiência energética e à política de energia envolvem a contribuição de diferentes áreas do conhecimento. As questões energéticas não são apenas tecnológicas. Elas exigem abordagem multidisciplinar. Cobrem um campo abrangente que inclui áreas variadas como a física e a engenharia, a biologia e a ecologia, a economia e outras ciências sociais.

O autor trabalhou em pesquisas na COPPE, hoje o maior centro de tecnologia da América Latina, e em várias empresas do setor energético. Depois esteve nos Estados Unidos onde se doutorou na Universidade da Pennsylvania com uma tese em que analisou a substituição de energia por informação e a contribuição da informação para a eficiência energética. Atualmente Campos Machado faz parte da equipe do PROCEL - um programa voltado para a eficiência energética do setor elétrico - do qual a ELETROBRÁS é a Secretária-Executiva. Isto nos leva à segunda trajetória original.

O PROCEL começou suas atividades em 1985 e desponta hoje como um dos mais bem sucedidos programas nacionais de eficiência energética no setor elétrico. Além de acompanhar e mesmo antecipar tendências de mudança no setor elétrico brasileiro, o PROCEL foi levado a cobrir um espectro de atividades cada vez mais amplo que também o lançou numa perspectiva multidisciplinar.

Hoje o PROCEL preocupa-se com problemas tão variados como a redução das perdas técnicas e comerciais do sistema elétrico, as atividades de gerência pelo lado da demanda, o

desenvolvimento de tecnologias eficientes de uso final de eletricidade, programas de educação para a conservação de energia, transformação de mercado, marketing e articulações institucionais. O êxito destes programas inscreveu a conservação de energia elétrica como uma política pública prioritária capaz de fornecer uma alternativa adicional para o atendimento da demanda de eletricidade.

Além disso o PROCEL vem realizando um grande número de pesquisas, através de estreita colaboração com as universidades brasileiras, contribuindo deste modo para a produção de novos conhecimentos sobre energia e eficiência energética. Estas pesquisas, assim como os programas de educação e a divulgação da conservação de energia elétrica, merecem ser destacados aqui. Inscrevem-se no mesmo esforço de geração e difusão de conhecimentos em que a Eletrobrás sempre se destacou. A autoria deste livro é mais um exemplo da contínua vitalidade intelectual de seus quadros.

Ambas as trajetórias, a do autor e a do PROCEL, são pois originais e convergem pela multidisciplinaridade essencial que implicam. O autor cobre áreas de conhecimento que vão desde as origens míticas e filosóficas da idéia de energia até questões tecnológicas e ecológicas. Fala em energia humana, em energia do meio ambiente e nas formas tecnológicas de controle e uso da energia. O PROCEL, através da extensa gama de atividades citadas contribui para difundir a preocupação com a eficiência energética, com a competitividade econômica, com a proteção ambiental, com a qualidade de vida e a cidadania. As intenções do livro casam-se com as intenções do PROCEL.

Até os benefícios da conservação de energia para o meio ambiente, para a renda pessoal e para o nível de emprego na economia brasileira tem recebido atenção do PROCEL. A abordagem dos problemas energéticos leva a defrontar questões políticas, sociais e econômicas, assim como questões técnicas e ecológicas. Daí a extrema atualidade deste livro que cobre uma lacuna na literatura científica pois mostra que a energia é um conceito central em várias áreas do conhecimento. O uso do conceito de energia nas diferentes disciplinas cria uma linguagem comum para os planejadores energéticos, os técnicos, os educadores, os empresários, e todos aqueles que se preocupam com a qualidade de vida e a eficiência energética.

Mario Santos

Diretor de Operações da Eletrobrás

Sumário

Prefácio

É uma honra, além de um prazer, fazer a apresentação deste livro de Aluisio Campos Machado com quem tive oportunidade de conviver intelectualmente na COPPE/UFRJ como supervisor de sua tese de mestrado em Planejamento Energético, posteriormente na Universidade da Pensilvânia em Filadélfia onde estive como professor visitante, por duas vezes, durante seu doutorado lá, e, agora, no PROCEL da Eletrobrás, através dos projetos da COPPE que ele coordena.

Sempre curioso e instigante nas suas incursões intelectuais, o autor espelha neste livro sua formação pluridisciplinar - da sociologia aos cursos de pós-graduação em ciências políticas e sociais no IUPERJ, à área de energia, envolvendo a economia e a tecnologia.

Este livro é apenas um mostruário do trabalho de Aluisio, refletindo sua pesquisa de tese de mestrado, complementada com tópicos que ele vem desenvolvendo sobre a história da ciência e a epistemologia, como professor colaborador da disciplina de Teoria do Conhecimento Científico na COPPE nos últimos dois anos. Sua incursão mais ousada, que deverá ser objeto de outro livro, centra-se na relação ou substituição entre energia, tema do presente livro, e informação, assunto que desenvolveu teoricamente na sua tese de doutorado na Pensilvânia. Deixando para o futuro esse livro ainda não editado, vou passar ao que tenho em mãos nos originais em fase de publicação pela Memória da Eletricidade da Eletrobrás.

Partindo de uma visão histórica e antropológica da evolução do conceito de energia, desde a fase pré-científica anterior à física, matematizada após a Revolução Científica do Século XVII, Aluisio chega aos aspectos mais atuais deste conceito que se consolidou com a termodinâmica no século XIX.

Trata-se, portanto, de um conceito relativamente novo mas cujas origens remontam a um passado remoto, como mostra o livro, e que ganha significados diferenciados ao longo do tempo ou ao ser usado nas diversas áreas do conhecimento. Aluisio sintetiza bem essa variação do conceito e do seu significado. Na linguagem comum um homem enérgico é um homem resoluto e firme nas suas convicções, enquanto uma pessoa é dita ter muita energia quando

trabalha muito, é muito atuante. Este é um mero exemplo da variação do significado do termo energia, que o livro aborda muito melhor e mais amplamente do que neste exemplo.

Embora associada no formalismo atual à mecânica, a energia jamais foi definida por Newton, sendo dispensável na sua teoria, expressa nos "Principia". Estava implícita na "força viva" de Leibniz, hoje associada à energia cinética, mas somente no desenvolvimento teórico da física o conceito de energia ganhou a importância de hoje. Contraditoriamente no século passado a energia chegou a se tornar uma espécie de paradigma exportável para outras ciências. Foi o caso do "energetismo" de Ostwald, um positivista do século XIX, muito bem abordado por Aluisio.

O livro chega a tocar nos aspectos contemporâneos do conceito de energia na mecânica quântica e na teoria da relatividade restrita - mais complicadas para o senso comum. Aborda ainda os aspectos tecnológicos e econômicos de grande atualidade. Enfim, além de tratar-se de obra de referência, merece ser lido com atenção pelo seu conteúdo e pela forma agradável do texto.

Luiz Pinguelli Rosa
Diretor da COPPE/UFRJ

Agradecimentos

A

Elizabeth Motta Bacello que, com amor, datilografou a primeira versão do livro;

Sidney Letichevsky, engenheiro químico do PROCEL, pelo entusiasmo demonstrado e pela revisão da parte inicial do livro;

Marcos Luiz Rodrigues Cordeiro engenheiro eletricista, também do PROCEL, pela leitura do texto, sugestões, e pelo incentivo à publicação.

Agradeço também ao Professor Luiz Pinguelli Rosa da COPPE, pelas inúmeras contribuições, e pela revisão do texto, especialmente no capítulo dedicado à física, além do enorme estímulo à publicação; ao Professor Roberto Schaeffer, também da COPPE, pela meticulosa e dedicada revisão do texto inteiro.

Agradeço aos muitos amigos do PROCEL, especialmente ao nosso diretor Mario Santos, a Paulo Cezar Coelho Tavares e a Geraldo Pimentel, pelas várias formas de apoio.

E não poderia deixar de agradecer, ainda, a Marília O'Donnel e Belmiro Salles, por razões pessoais.

Introdução

Este não é apenas mais um livro sobre a energia. Não é um livro sobre a crise do petróleo ou sobre as implicações ambientais do uso da energia e suas conseqüências para o desenvolvimento sustentável das economias. Ainda que toque nestes assuntos, o faz sob uma ótica diferente. Este é um livro sobre o conceito de energia, sobre o modo como as diferentes disciplinas do conhecimento usaram a idéia de energia em seus esquemas explanatórios. Ele examina a capacidade do conceito de energia explicar a realidade em que vivemos. Discute a energia, aborda o problema energético, toca nas questões ambientais e explora as possibilidades do desenvolvimento humano superar os limites atuais de nosso planeta e de nossa civilização. Mas seu objetivo último é discutir a utilidade do conceito de energia como ferramenta de conhecimento.

A tendência científica predominante em relação ao uso do conceito de energia é considerá-lo mais próprio para a compreensão do mundo físico e, talvez, do mundo biológico, do que da realidade humana individual, social e econômica. Este livro defende uma tese diferente. Mostra que o conceito de energia é extremamente útil para compreender e aproximar vários ramos do conhecimento, que vão desde as ciências da natureza até as disciplinas que tratam da psicologia e da cultura humanas.

Este conceito tem significados diferentes nas diversas áreas do conhecimento consideradas neste livro. Pode-se entretanto buscar o que há de comum nestas diferentes versões. Aqui se proporá a visão de que a energia, uma das mais intrigantes entidades do cosmos, ou uma das mais bem sucedidas criações do espírito humano, lança pontes entre estas áreas.

As idéias sobre a energia que nasceram na mitologia, e se organizaram e encontraram expressão na teologia e na filosofia, evoluíram, redefinindo-se progressivamente na física, e se espraiaram por muitos outros campos de conhecimento. Estas idéias foram sempre muito gerais, a tal ponto que os princípios desenvolvidos para explicar o papel da energia estão entre os mais abstratos da ciência. Embora o conceito de energia tenha tido sua formulação mais rigorosa, e sua aplicação mais comum na física, outras ciências tem utilizado amplamente este conceito como um elemento auxiliar, como uma variável básica ou até como uma verdadeira

categoria intelectual em suas formulações teóricas. Este livro explora várias dimensões da energia em diferentes disciplinas, demonstra a utilidade do conceito de energia para a compreensão de alguns aspectos da vida social e fornece bases conceituais para uma visão integrada do planejamento energético.

Duas décadas atrás a "crise energética" atraiu a atenção dos planejadores para os rumos globais da evolução social. Era preciso prever as necessidades futuras de energia para garantir o abastecimento de energéticos, mitigar os impactos econômicos da escassez e os impactos ambientais do uso de energia. Para isso tornou-se necessário saber para onde caminhavam as sociedades humanas, ou decidir para onde deveriam caminhar para evitar crises catastróficas. A questão do meio ambiente, intimamente associada à questão energética, levou cidadãos comuns, políticos e governantes a procurar atenuar os impactos ambientais das economias baseadas no uso intensivo de energia.

Mas sem energia não se faz nada. Muitos pesquisadores questionaram a possibilidade do avanço social contínuo da humanidade baseado na expansão ilimitada da produção econômica. Temeu-se, e teme-se ainda, que a expansão da produção econômica, dependente da utilização intensa de energia, viesse a se defrontar com dois limites: de um lado a escassez de recursos naturais, inclusive recursos energéticos; de outro o incremento da poluição e dos danos ao meio ambiente. Alguns teóricos supõem hoje que o desenvolvimento tecnológico possa gerar soluções para estes problemas. Outros argumentam que estes problemas remetem, em última instância, à leis naturais: às implicações do segundo princípio da termodinâmica que estabelece limites para a eficiência de muitos processos de conversão de energia na natureza.

A preocupação com a eficiência abrange vários aspectos das questões energéticas, desde a conservação de recursos energéticos (erroneamente denominada conservação de energia - pois a energia, de acordo com a primeira lei da termodinâmica necessariamente se conserva), até a informatização das sociedades e das economias, e a proteção ao meio ambiente. Estes fatos fizeram com que os problemas práticos e teóricos, tecnológicos e conceituais, das relações entre a energia e as sociedades humanas voltassem a ser debatidos.

Até as ciências sociais, que, malgrado a idéia revolucionária que as vezes tem de si mesmas, parecem caminhar à reboque da história, voltaram a debater, embora parcimoniosamente, o papel da energia tal como alguns de seus precursores já o haviam feito. Neste livro discutem-se vários aspectos destes problemas tendo sempre como foco a reflexão sobre o

conceito de energia e seu papel como ferramenta de conhecimento. Antes de detalhar a organização do livro é interessante dizer algo sobre sua origem.

Meu interesse pelo tema

Meu interesse pela energia é antigo e tem várias fontes. Às vezes, correndo a pé pelas ruas e estradas e lutando contra o cansaço, eu me indagava sobre o que seria a força humana. Após certo tempo de prática um corredor aprende a atingir um estado constante no qual a respiração se torna ritmada, os movimentos compassados e os próprios pensamentos se harmonizam. Há então um equilíbrio entre o esforço na corrida e o resultado. Neste estado "constante", o fornecimento e o consumo de energia se mantêm mais ou menos estacionários e em equilíbrio.

Mas se tento conversar com outro corredor a meu lado, o esforço da conversa quebra a estabilidade da respiração, parte da energia é drenada para o diálogo e, caso outro nível estacionário, em ritmo mais lento e que inclua o papo, não seja atingido, a situação se torna difícil. Ou a conversa não flui direito ou a corrida é prejudicada. Não só a comunicação externa, como os próprios pensamentos podem alterar o fluxo da energia no corpo, pensamentos sombrios podem perturbar seu ritmo. Nestes momentos eu queria entender o que seria a energia, como ela se ligava à vida, à comunicação, ao pensamento.

Outra vez, anos depois, tive um "insight". Eu observava a água de uma bica encher um pequeno lago que estava construindo. Vi folhas e flores, trazidas pelo vento, moverem-se na tona, para um lado e para outro, enquanto a água fluía para recantos profundos, para as reentrâncias. Enquanto o lago enchia, tudo nele se movia, exceto duas ou três manilhas, de tamanhos diferentes deitadas sobre o fundo, postas ali para abrigar juncos e outras plantas. Cheias de terra, funcionariam como ilhas, mas agora, ainda vazias, se enchiam de água que, ao alcançar suas bordas, precipitava-se para dentro, carreando com ela as folhas e flores. Estas, então, se concentravam no interior das manilhas à medida que o nível da água subia.

Quando, por fim, a manilha ficou cheia, a enorme concentração de folhas e flores novamente se espalhou pela tona do lago. Espraiou-se, movendo-se ordenadamente no rumo do vento ou na direção da outra manilha que agora começava a encher. O fluxo da água, o sopro do vento, comandavam o processo. Eram as forças predominantes, por trás da diversidade dos fenômenos.

No meu trabalho como sociólogo eu lidava com as migrações humanas, o crescimento das cidades, a abertura de fronteiras agrícolas, o desenvolvimento industrial e a modernização tecnológica. Vi no movimento das folhas e flores o movimento da sociedade, as pessoas e os recursos econômicos, tudo ocorrendo no espaço do lago que se transformava. Moviam-se primeiro em direção aos nichos - os buracos, as frestas - que eram como as pequenas fazendas ou vilas. Depois concentravam-se nas grandes manilhas - as cidades - que cresciam até a saturação. Em seguida migravam para outros centros enquanto todo o lago - um espaço social - se povoava e enchia.

Interpretei a água que fluía para o lago como a energia, uma variável básica que acionava todo o processo. O vento poderia ser visto como a informação, aquilo que traz o conhecimento - uma vez que o vento é como o espírito - e auxilia a estruturar a transformação. Mas o vento é também outra manifestação da energia, uma perspectiva mais apropriada a este livro que só superficialmente tocará nas questões do conhecimento e da informação, reservadas para obra posterior.

Neste livro tudo é focalizado pelo prisma da energia. A energia é enfatizada como uma entidade unificadora na explicação de processos sociais, útil para entender o movimento global da sociedade. Naquele lago eu visualizara as pessoas como folhas caídas movendo-se ao sabor dos ventos externos. Mas e as folhas vivas, as pessoas que vi arrastadas nas torrentes sociais? Não possuiriam elas uma alma, um espírito, capaz de dar direção própria aos acontecimentos de suas vidas? Não seriam elas, em esforços semelhantes aos meus correndo pelas ruas e estradas, dramas vivos, dosando forças, escutando os ventos, buscando a energia, na acepção mais ampla do termo, capazes de usá-la com liberdade?

Faltou na metáfora do lago esta ânsia humana pela energia, pela autonomia no seu controle, pelas fontes desta energia, e pelo vento do espírito. Enquanto as folhas do lago movem-se irremediavelmente num processo cego, abre-se, para as sociedades humanas, o vislumbre da liberdade, alguma possibilidade de escolha.

Os objetivos do livro

Esta obra surgiu de uma dissertação de mestrado. Nasceu do que, inicialmente, seria apenas o primeiro capítulo de um trabalho sobre as relações entre a energia e a sociedade humana. Haveria neste capítulo uma resenha dos múltiplos usos e dimensões do conceito de

energia. Mas o capítulo cresceu tanto que se tornou uma reflexão sobre a energia, uma entidade tão importante na vida das civilizações e uma idéia tão poderosa no campo do conhecimento. Meu objetivo inicial - uma reflexão sobre a evolução social enfatizando o papel da energia e subsidiariamente o da informação - deslocou-se para uma reflexão sobre o próprio conceito de energia. Isto acabou sendo o objeto da dissertação e dá, agora, origem a um livro. Este livro pode ser visto como a primeira parte de um projeto maior de investigação que envolve a discussão das relações entre a energia e a informação e a busca posterior de uma visão integrada da eficiência energética.

A importância da energia nos assuntos sociais e econômicos impõe ver o planejamento energético e a busca da eficiência energética como uma das mais relevantes atividades dos governos, embora os atuais governos ainda não se dêem conta disto. O planejamento energético envolve desde aspectos tecnológicos, econômicos, sociais e políticos até questões biológicas e ecológicas referentes à saúde do ser humano e de seu meio ambiente, por exemplo. É, essencialmente, atividades multidisciplinar. A busca da eficiência energética é um dos objetivos básicos do planejamento energético e participa da mesma necessidade de multidisciplinaridade.

Isto supõe a formação de grupos de trabalho heterogêneos, sujeitos a dificuldades de comunicação, derivadas das diferentes abordagens teóricas envolvidas. Implica também que a solução dos problemas energéticos passa por construções teóricas que constituem um arranjo, uma colagem, das diferentes abordagens empregadas, carecendo, freqüentemente, de consistência interna. Soluções macroeconômicas, por exemplo, nem sempre convergem para a mesma direção que os interesses das firmas ou que as soluções sociológicas ou ecológicas.

A inconsistência interna das abordagens do planejamento energético não é sempre um mal. Ela pode ser paralela, no plano teórico, às diferentes soluções empíricas dadas pelos diferentes grupos sociais às suas reivindicações específicas. Isto é, a combinação de diferentes abordagens teóricas particulares pode, ocasionalmente, refletir diferentes perspectivas sociais e diferentes interesses econômicos.

As soluções de planejamento, assim obtidas, podem, pois, algumas vezes, espelhar situações de conflito, negociação e acordo entre os diferentes grupos de interesse participantes da política energética. Mas, muito freqüentemente, nem todos os grupos sociais sujeitos às conseqüências do planejamento estão representados na elaboração dos planos, nem as diferentes perspectivas teóricas representam necessariamente interesses sociais específicos.

Além disso, também freqüentemente, nem todos os aspectos relevantes dos problemas de planejamento energético, e da busca da eficiência energética, são considerados pelos especialistas, por causa da complexidade dos problemas envolvidos, ou por falta de ferramentas conceituais adequadas. Os planejadores tendem a privilegiar os problemas e áreas de conhecimento aos quais se habituaram, para os quais as abordagens teóricas que dominam, os habilitam a prover soluções já testadas. Assim, soluções pseudo-teóricas, ou pseudo-técnicas, do tipo "colcha de retalhos" - são comuns nas análises e propostas de planejamento energético e nos programas de efciência energética. Elas costumam ser bastante insatisfatórias do ponto de vista teórico, e isto se espelha nos freqüentes erros de previsão e no confronto entre as metas e a real avaliação dos resultados de um programa. É ilustrativo ver, por exemplo, a este respeito os erros na previsão dos preços futuros do petróleo ou as estimativas erradas da demanda futura de eletricidade.

As dificuldades de comunicação entre especialistas de diferentes áreas nos grupos "multidisciplinares" podem somar-se aos problemas mencionados. Tais dificuldades são agravadas por uma formação profissional calcada em tradições intelectuais e acadêmicas estanques, profundamente enraizadas na instituição universitária, e por uma tendência para visões setorializadas, próprias do universo dos especialistas. Resultam disso planos e propostas que constituem verdadeiros mosaicos ou colagens de recortes das diferentes visões técnico-científicas arroladas. Estes trabalhos padecem da falta de uma visão macroscópica, holista e de um suporte teórico unificado.

A energia é uma realidade onipresente e de extrema relevância. Nada ocorre, em nosso universo, sem sua participação. Seu conceito pode ser uma ferramenta teórica unificadora, não só no campo do planejamento energético, mas também em muitos outros campos do conhecimento, como se demonstra neste livro. Embora no planejamento energético o conceito de energia devesse ocupar uma posição central, muitas vezes sua importância é erroneamente minimizada, cedendo lugar a visões meramente econômicas ou tecnológicas incapazes de apoiar teoricamente toda a gama de problemas com que o planejamento energético e a busca da eficiência energética se defrontam.

Nestas visões a energia é, equivocada ou estreitamente vista, apenas como uma mercadoria ou como um recurso natural. Os vetores energéticos ("energy carriers" em inglês) e serviços energéticos são mercadorias oriundas da transformação econômica e técnica de recursos naturais. Mas a energia, enquanto conceito e realidade, é mais que isto, é uma entidade da

natureza e também uma categoria intelectual. A busca de uma visão integrada da eficiência energética, na qual se incluam os energéticos comerciais e também a energia humana e a energia do meio ambiente demandam uma visão ampla da realidade e do conceito de energia.

Também nos assuntos biológicos, ecológicos, psicológicos e sociais, como se mostra neste livro, o conceito de energia desempenha importante papel explanatório. Na verdade, a idéia de energia tem sido amplamente utilizada em diferentes disciplinas científicas, como demonstro neste livro. Seu uso poderá ainda se estender a outras. Disciplinas como a geografia e campos como o planejamento urbano e regional poderiam vir também a se beneficiar com a aplicação do conceito de energia às suas esferas de atuação.

Explorando os usos do conceito de energia este livro contribui para a unificação de abordagens teóricas, para a criação de uma visão macroscópica dos problemas da energia, ou, o que dá no mesmo, para uma linguagem comum entre os especialistas em áreas multidisciplinares, como o planejamento energético e a conservação da energia. Este é o objetivo principal da obra. Entre seus objetivos secundários há a intenção de propor uma visão abrangente do planejamento energético e da conservação da energia, difundir uma visão energética da sociedade e comentar a abordagem termodinâmica da economia.

A razão final para publicar o livro, entretanto, foi meu trabalho no PROCEL - o Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica da Eletrobrás. Senti a necessidade de dotar os técnicos da Eletrobrás e do PROCEL, os pesquisadores das universidades e o público em geral de um manual sobre os fundamentos conceituais da energia. Uma visão ampla do conceito de energia auxilia a concepção dos planos energéticos e a busca da eficiência energética, aproximando e integrando áreas de conhecimento.

O PROCEL desencadeou ações de conservação de energia elétrica numa extensa faixa de atuação que envolve as empresas concessionárias de eletricidade, o Governo, universidades e centros de pesquisa, associações de classe de empresários, industriais, e o comércio de produtos ligados à produção, transmissão, distribuição e uso final eficiente de energia, gerando público para o livro. Além disso, o PROCEL iniciou um amplo programa de educação para a conservação de energia nas escolas de primeiro, segundo grau e nas universidades, expandindo ainda mais este público potencial para uma obra que explora as ligações da energia com a sociedade humana.

A ordem da exposição

A ordem expositiva adotada nesta obra para discutir o uso do conceito de energia nos diferentes campos do conhecimento tem a ver com a importância atribuída à idéia da energia em cada disciplina científica considerada. Inicialmente focalizo a mitologia e a filosofia apenas porque nestas áreas nasceram muitos conceitos científicos importantes.

Os mitos sobre a conquista do fogo podem ser considerados, sem muita imprecisão, como mitos relacionados com o controle humano sobre a energia. Idéias filosóficas sobre a energia, por outro lado, estiveram na origem do desenvolvimento científico do conceito de energia e serão brevemente consideradas em seguida.

Com as idéias teológicas relacionadas com a energia fato similar pode ter ocorrido. Por exemplo, a visão de um Deus único, supremo motor do cosmos e cuja potência continuamente se desdobra - baseada em Aristóteles e sistematizada na Idade Média - pode ser vista como uma precursora da idéia de conservação da energia. Todavia as idéias teológicas não serão consideradas neste livro.

Esta é uma omissão grave porque ao deixar de lado a teologia em nome de uma tentativa de tratamento sistemático de algumas disciplinas ditas científicas, deixei de lado também as importantes contribuições do pensamento oriental para as idéias sobre a energia. Mas se já é difícil ser competente em áreas diversas do conhecimento científico, mais difícil ainda é transbordar destas áreas para uma visão ampla das noções de energia na teologia, na filosofia perene e no pensamento oriental.

Estas contribuições são importantes porque existe uma noção leiga de energia que se inspirou nelas e se popularizou nas medicinas e terapias alternativas, e que alegadamente provêm da tradição espiritual oriental. Além disso alguns físicos contemporâneos, como Fritjof Capra em o "*Tao da Física*", por exemplo, ao procurar paralelismos entre as visões orientais e a física quântica têm fornecido um controvertido reconhecimento acadêmico a estas idéias leigas sobre a energia. Embora eu faça menção a tais usos da palavra energia, estes temas não são objeto deste livro, que se concentra na ciência acadêmica ocidental, deixando a outros o esforço de vasculhar a influência da teologia na evolução do conceito de energia e resenhar as idéias orientais sobre a energia.

Neste livro a física vem em primeiro lugar porque foi nela que se desenvolveu e formalizou o conceito científico de energia. A química será brevemente mencionada, em seqüência,

não só porque mantém estreitas relações com a física, onde a energia ocupa lugar central, mas também porque alguns desenvolvimentos recentes na termodinâmica de processos irreversíveis lançam luz sobre o uso do segundo princípio da termodinâmica como ferramenta explanatória nos processos químicos e biológicos (com possível extensão a processos sociais).

A biologia vem em seguida porque seria impensável sua formulação atual sem o conceito de energia e sem o apoio da física e da química. A ecologia foi colocada próxima da biologia porque depende estreitamente dos conceitos desta última, mesmo quando algumas visões ecológicas incluam em seu campo aspectos sociais e epistemológicos, como no caso da chamada ecologia profunda. Além disso o conceito de energia é básico para a visão unificada dos processos ecológicos.

Na psicologia diversos autores importantes dedicaram atenção ao conceito de energia. Decidi focalizar sua contribuição imediatamente após a parte dedicada à biologia e à ecologia, mas esta colocação envolveu alguns problemas. Ela se justifica porque os autores e posições que focalizei provinham da tradição biomédica e parte de sua fundamentação teórica originava-se da biologia, e, em particular da fisiologia, mas não toda. O pensamento de autores como Freud, Jung ou Reich levou-os a defrontar questões sociais, antropológicas e religiosas que terminam por adquirir extrema centralidade em suas formulações teóricas.

Neste sentido, teria sido possível colocar a psicologia depois das ciências sociais na ordem expositiva que adotei. Isto teria também a vantagem de propiciar melhor colocação para explorar contribuições psicológicas de índole culturalista e para a psicologia social, mas nestas últimas o conceito de energia parece não ter recebido grande importância e não foram portanto contempladas aqui. Assim não foi esta a ordem que adotei.

As ciências sociais e especialmente a economia vêm, pois, em último lugar não só porque nelas o conceito de energia foi parcamente utilizado, como também porque nelas desemboca meu interesse final. A idéia de energia foi esparsamente utilizada nas ciências sociais se considerarmos o volume total de sua contribuição teórica. Isto não significa que a energia seja uma idéia irrelevante para estas ciências. Autores clássicos importantes como Spencer, Morgan e, mesmo, Marx destacaram a importância da energia.

Boa parte da ciência social clássica foi influenciada pela visão de mundo da física newtoniana, seja quando se apoiava em paradigmas mecanicistas, seja quando lutava contra estes tentando firmar a autonomia e a especificidade das ciências sociais face às ciências da

natureza. Ora, o conceito de energia era relativamente pouco importante na física newtoniana e, assim, não é de espantar que tenha sido pouco usado nas ciências sociais.

Houve, contudo, várias e importantes exceções, e recentemente avanços teóricos e situações concretas forçaram as ciências sociais a romper seu conservadorismo acadêmico. A cibernética, a teoria da informação e a teoria geral dos sistemas, entre os avanços teóricos, forneceram ferramentas novas aos cientistas sociais, algumas criticadas e outras ainda não viabilizadas, mas que certamente causaram impactos.

Estas abordagens usaram conceitos como energia, informação, controle e retroalimentação (*feedback*) numa acepção rigorosa, e eles se tornaram parte do jargão das ciências sociais. No plano concreto a "crise energética" e a irrupção dos problemas ambientais em escala global colocaram em questão o projeto do progresso contínuo, alertando para os limites naturais que regulam a vida das civilizações e a existência social.

O desmoronamento dos sistemas econômicos de planejamento centralizado e o avanço da chamada "sociedade da informação" também mostraram a muitos cientistas sociais a fragilidade de antigos esquemas teóricos, e geraram a necessidade de um novo diálogo com as ciências da natureza e a tecnologia. Alguns trabalhos importantes como os de Georgescu-Roegen (1971) e Richard Adams (1975, 1988) denotam esta preocupação e enfatizam o papel preponderante da energia.

Teria sido possível discutir a energia na psicologia após sua discussão nas ciências sociais pois sem a contribuição energética de indivíduos humanos - uma parcela - não haveria energia "social". Mas a idéia de energia da psicologia desempenhou um fraco papel nas ciências sociais. Teria sido possível passar diretamente da discussão da energia na biologia e na ecologia para a energia nas ciências sociais porque, de um modo geral, a visão que os cientistas sociais têm da energia é muito restrita, não explorando, por exemplo as implicações da energia humana.

O tema da energia humana tal como abordado na psicologia leva à consideração da energia psíquica. A rigor, também na sociedade não é possível discutir o papel da energia humana sem considerar a existência de uma dimensão psíquica da energia, porque os seres humanos quando atuam em sociedade usam todas as suas energias. Não seria possível abarcar integralmente o papel da energia nas sociedades humanas sem incluir a energia humana, e não seria sensato excluir "a priori" da parcela de energia humana o componente psíquico, pois este, se existe, faz parte da ação humana. A energia humana, além de seu componente de

trabalho físico, pode ter papeis afetivos, expressivos e organizacionais. Estes podem ser atribuídos à dimensão psíquica. Seria pois incorreto incluir a energia humana sem discutir esta possibilidade. Daí ter sido a psicologia enfocada antes das ciências sociais.

Dos autores resenhados nas ciências sociais, entretanto, apenas aqueles voltados para questões econômicas mencionam um conteúdo cognitivo ou informacional como parte do trabalho humano e portanto como aspecto da energia humana. Os trabalhos de Adams (op. cit.) no entanto, em antropologia, são uma notável exceção.

A estrutura deste livro não se deve pois a pressupostos positivistas ou reducionistas de progredir do geral para o particular, das ciências físicas para as sociais e humanas, ou de reduzir fatos sociais a explicações físicas, embora tais pressupostos pudessem ajudar como artefatos expositivos. Discute-se aqui a possibilidade de que o conceito de energia possa servir como elemento unificador de áreas do conhecimento, e não a de apenas contribuir para abordagens reducionistas. A melhor ordem expositiva, do ponto de vista metodológico, seria talvez a que pudesse simultaneamente discutir a contribuição das diferentes disciplinas científicas. Isto, na prática, seria impossível devido à natureza linear do discurso e ao fato básico de que o conceito de energia se desenvolveu na física, de onde foi exportado para as outras ciências.

Num trabalho tão amplo é difícil ser igualmente competente em todas as áreas. O tratamento dado à energia na física pode não satisfazer a alguns físicos, do mesmo modo que o questionamento da energia psíquica pode parecer insatisfatório aos psicólogos. Meu propósito, porém, não é ser exaustivo em cada área e sim contribuir para a discussão de problemas abrangentes e controversos, cujas soluções certamente dependerão de avanços conceituais e pesquisa empírica no âmbito de cada disciplina.

O número de autores e áreas importantes que deveriam ser arrolados é enorme. Espero ter feito boa varredura, contudo permanecem lacunas, que penso, não afetam decisivamente o resultado.

O roteiro intelectual

Parto da conceituação convencional de energia para, em seguida, mergulhar na evolução prévia deste conceito. Buscando suas raízes no passado intelectual do ocidente e considerando a mitologia como uma forma de apreensão e construção da realidade, descrevo alguns mitos relacionados com a conquista do fogo, tomado como metáfora da energia. Em

seguida analiso brevemente a evolução do conceito de energia da Antigüidade até a Idade Moderna. A partir da Idade Moderna descrevo o uso do conceito de energia na mecânica, na termodinâmica clássica e na mecânica estatística, e passo, um tanto quanto superficialmente, sobre a extensão do conceito de energia ao eletromagnetismo, à mecânica quântica e à teoria da relatividade. Alguns problemas relacionados com a termodinâmica de processos irreversíveis são também rapidamente considerados, especialmente em sua conexão com a biologia.

O conceito físico de energia, embora, por vezes, com dificuldades crescentes, pôde ser estendido respectivamente à química, à biologia e à ecologia. Faço menção a isso. Também nas ciências humanas e sociais - psicologia, antropologia, sociologia, economia e ciência política - o conceito de energia é usado e, assim, o passo seguinte é traçar, através de alguns autores selecionados, um esboço do uso da noção de energia nestas ciências. Embora o uso do conceito de energia nestas áreas apresente dificuldades, vale a pena transcrever as idéias de vários autores, não só pelo interesse especulativo que possuem em si mesmas, como pela evidência que trazem da complexidade das questões conceituais ligadas aos problemas energéticos com os quais as sociedades atuais se defrontam.

A descrição dos processos sociais e econômicos em termos de uma abordagem energética é rica e promissora, mas ainda difícil. Quanto ao conceito de energia na psicologia, é necessária uma formulação mais clara para que se possa, por exemplo, vir a entender os processos psicológicos individuais e os processos psicossociais em termos de fluxos energéticos. Há muito por desvendar neste assunto.

O livro finaliza com algumas considerações sobre a energia humana e a proposta da introdução da idéia de informação, associada à energia, como um modo de superar algumas dificuldades no uso do conceito de energia como ferramenta de conhecimento. O propósito, repito, é mostrar a utilidade do conceito de energia como ferramenta unificadora do conhecimento em diferentes áreas, e fornecer bases teóricas mais claras para a discussão do papel da energia nas sociedades humanas.

No fim de cada capítulo, há notas bibliográficas referentes às obras dos autores mais citados. Estas notas remetem à Bibliografia completa, no final do livro.

Aluisio Campos Machado

Março de 1996

CAPÍTULO I

A VISÃO LEIGA E AS RAÍZES MÍTICAS DO CONCEITO DE ENERGIA

A Energia no Cotidiano

A energia pervade nosso cotidiano. Qualquer homem, desde que acorda, está em contato, de muitos modos, com diferentes formas de energia. Ele desperta, sente-se mais ou menos cansado da rotina diária, e pode dizer de si próprio que está com mais ou menos energia. Estira os músculos e boceja antes de levantar e, já aí, "gasta" energia. Na verdade, e se for um homem informado ele o sabe, mesmo dormindo sua vida estava ligada a processos biológicos cuja explicação depende do conceito de energia. Seu metabolismo envolve um conjunto de fluxos de energia, nutrientes, rejeitos, etc, em que o oxigênio e os alimentos se combinam para produzir os materiais constituintes do organismo e para fornecer a energia usada na vida diária. Até seus sonhos, durante o sono, envolvem processos energéticos.

Instintivamente nosso homem comum "sabe" disso. Ele tem fome, levanta-se, respira fundo e ingere o café da manhã. Assim inicia seu abastecimento diário de energia fornecendo ao organismo o suprimento das calorias necessárias à vida e ao trabalho. Em seguida, notando o frio do inverno, veste um agasalho e, assim, controla parte dos fluxos de calor (energia) entre seu corpo e o ambiente. Antes de sair de casa, apaga as luzes, chama o elevador e, novamente, se relaciona com a energia, agora elétrica, que acende as lâmpadas e aciona o elevador. Na rua, liga o carro ou toma um ônibus e, usando a energia da queima do combustível, vai trabalhar.

No trabalho executa várias atividades. Fala, preenche papéis, ri, conversa, briga. Em todos estes atos, gestos, e emoções há um componente energético. Além disso ele controla máquinas e dispositivos que usam energia e que auxiliam a produzir coisas das quais a energia é um dos componentes principais.

Talvez por ser pervasiva, onipresente, a energia seja difícil de ser entendida, difícil de conceituar. Na verdade, a palavra energia é usada numa multiplicidade de sentidos diferentes. Diz-se que um indivíduo ativo é energético. Ou que uma pessoa muito honesta tem "energia moral". Um amante apaixonado imagina que o beijo da amada lhe dá energia para um dia inteiro de dissabores. O operário sabe que o prato de arroz, feijão e farinha mata sua fome e confere energia para o trabalho diário. O agricultor sabe que a energia do sol faz crescer, ou

pode secar, as plantas. Um surfista sente na pele esta energia do sol e, nem sempre, sabe que é ela que aciona os ventos e as ondas nas quais desliza. Um incêndio libera a energia do fogo e, do ímpeto da multidão espavorida que corre, diz-se também que é a energia da massa humana em pânico.

As máquinas, obviamente, usam energia, e todo o sistema industrial (ou qualquer outro sistema social) dela depende em grande escala. Em nome da necessidade de energia os recursos do nosso planeta são violentamente explorados e, junto com eles, é também freqüentemente explorada a energia humana usada no trabalho, em todas as sociedades.

Normalmente a energia é vista como ligada à ação e às transformações, e, curiosamente, o místico, em estado de contemplação passiva, diz perceber que o mundo é pura energia e "repousa em atividade". Alguns destes usos da palavra energia seriam considerados legítimos pelos físicos, outros não, e, em outros, ainda, isto não seria claro. Por quê? O que vem a ser energia? E, especialmente, o que é a energia para os físicos, já que é na física que a palavra energia encontra seu uso mais amplo e sua acepção melhor definida?

A energia na física é usualmente definida como o equivalente de trabalho, ou a capacidade de realização de trabalho (físico). O trabalho é igual ao deslocamento de uma massa por uma certa distância através do emprego de uma força. A energia pode ser associada tanto aos corpos materiais, como uma mola comprimida ou um objeto suspenso, quanto ao movimento e às transformações destes corpos materiais, quanto ainda, independentemente destes, pode ser interpretada como luz e outras formas de radiação eletromagnética atravessando o vácuo. Embora ligada à capacidade de realização de trabalho físico, a energia num sistema pode ser apenas parcialmente disponível para o uso, apenas parcialmente disponível para realização de trabalho. Ao considerar a segunda lei da termodinâmica, no Capítulo II, isto será melhor explicado.

As dimensões da energia são aquelas do trabalho W, que, na mecânica clássica pode ser formalmente definido como o produto da massa M pelo quadrado da razão entre

o comprimento L e o tempo T:

$$[W]=[M]\frac{[L^2]}{[T^2]}$$

Isto significa que quanto maior a massa ou a distância através da qual ela é movida, ou menor o tempo usado para movê-la, maior será o trabalho realizado e, portanto, maior será a energia "despendida"2. Usualmente a energia é expressa em unidades tais como o Joule (J), a caloria (cal) , o erg, a unidade térmica britânica (BTU - British Thermal Units), o kilowatt-hora (kWh), a tonelada equivalente de petróleo (TEP) ou a tonelada de TNT, através das quais se mede a energia tal como é definida em diferentes contextos físicos. Mas até se chegar a estas definições particulares um longo caminho intelectual teve que ser percorrido.

As etapas iniciais da fase "racional" deste caminho podem ser visualizadas na filosofia e na ciência antigas, mas sua fase mais arcaica tem que ser desencavada nas raízes míticas da idéia de energia.

2 Existe uma formulação alternativa mais comum. O trabalho físico (W) ocorre, por exemplo, quando usamos uma força (F) para mover um corpo (massa) através de uma certa distância (d), sendo a força medida na direção do deslocamento da massa (numa forma simplificada, W = F.d). Esta maneira de ver o trabalho relaciona-se matemática e fisicamente à formulação exibida no texto acima.

As Raízes Míticas do Conceito de Energia

A palavra energia tem uma série de significados, mas é possível buscar um núcleo comum, tal como, por exemplo, se intentou na conceituação física da energia. Durante a evolução do conceito científico de energia, muito dos sentidos prévios do termo foram sendo redefinidos em proveito de uma maior precisão. Mas nos mitos antigos ou primitivos (não necessariamente antigos) sobre a energia, muitos dos sentidos do termo parecem se fundir. Embora eu inicie a exploração teórica do conceito de energia abordando mitos antigos e primitivos, ressalvo que os mitos não são privilégio da Antigüidade, nem dos povos primitivos. Mesmo nossa sociedade tecnológica apoia-se em mitos que se renovam ou se repetem. Além disso, os mitos não são sintoma de atraso intelectual. Eles manifestam, em sua estrutura quase onírica, expressões da sabedoria humana sintetizando num só relato uma plêiade de diferentes vivências. Os mitos primitivos e antigos sobre a energia são na realidade mitos sobre o fogo. Neste livro, adoto o ponto de vista questionável, mas razoável, de ver o fogo como uma espécie de metáfora da energia3. Tal ponto de vista não é inteiramente rigoroso, mas é procedente para meus propósitos. Bachelard (1949) mostra que a riquíssima fenomenologia do fogo deu origem a uma imensa série de lendas, mitos e verdadeiros "complexos" (no sentido psicanalítico do termo) sobre esta manifestação da energia, que gerariam, segundo ele, a necessidade de uma verdadeira psicanálise do fogo, útil para o entendimento dos processos epistemológicos que diversas ciências empregaram para a compreensão racional dos fenômenos ligados ao fogo.

Bachelard mostra como o fogo, tanto na realidade quanto em nossos devaneios, está associado não só às transformações da matéria e das substâncias, mas também às emoções que o vinculam ao amor e à morte. Neste sentido o fogo é uma expressão radical dos siginificados da energia, uma expressão dos conteúdos emotivos e intelectuais dela. Focalizar o fogo como metáfora da energia é acentuar o poder evocativo deste termo. Uso portanto os mitos

3 A Luz (que traz o conhecimento) e a Potência (que realiza coisas) também podem ser vistas como metáforas da energia. Luz é uma forma de energia, potência é a taxa de uso da energia no tempo. O público traduzia o nome inglês das companhias de energia - Light and Power - como Luz e Força. Isto já foi, aliás, uma expressão comum para designar as companhias de eletricidade.

sobre o fogo para explicitar uma série de significados conotados pela noção de energia. Poderia ter usado estórias sobre a luz ou a força, também metáforas possíveis da energia, mas os mitos sobre o fogo parecem ser de conhecimento mais geral. Além disso, têm uma relevância especial para as sociedades baseadas no industrialismo, evocam o poder transformador dos combustíveis fósseis que acionam as indústrias e os transportes.

Inicio por um mito primitivo: o mito da conquista do fogo dos Kuikuru - uma sociedade tribal do Xingu, tal como relatado aos irmãos Villas Boas (Villas Boas, 1974). Há várias versões deste mito e aqui forneço um resumo. Tudo começa quando o jovem guerreiro Kanassa inicia uma espécie de caçada ou jornada aventureira, levando um vaga-lume preso na mão. Kanassa se depara, ao longo do caminho, com vários animais, aos quais consegue iludir, tirando sempre alguma vantagem. Mas, ao iludi-los, e dotado de um poder mágico, Kanassa simultaneamente os transforma. Mas ele os transforma em si mesmos, recriando na verdade as espécies por eles representadas, dando-lhes nome.

Em certo momento Kanassa desenha uma arraia na areia da margem de um rio mas, distraído, é por ela picado. Ele culpa o vaga-lume porque este fornece pouca luz e assim, muito irritado, decide que terá que obter o fogo. Quem tem a posse do fogo é o urubu-rei e, para atraí-lo, Kanassa se esconde sob a carcaça de um veado abatido. Espera que os urubus venham e comecem a comer e, quando o urubu-rei se aproxima, Kanassa o aprisiona. A libertação é, então, oferecida em troca do fogo. O urubu-rei concorda; manda que um pássaro voe ao céu e traga de lá o fogo.

Isto é feito mas, quando o fogo é entregue a Kanassa, um grupo de sapos, que até então observava a cena passivamente, se rebela contra a entrega do fogo e nele sopra água. O fogo quase se apaga, mas, devido a seu engenho, Kanassa protege uma brasa e soprando-a reaviva a chama. O herói passa, então, a ter o domínio do fogo, o que possibilitará aos seus companheiros humanos realizar uma série de outros ardis e peripécias em que, claramente, eles também superam os animais em engenho e habilidade.

Ressalta no mito a inteligência de Kanassa, sua capacidade de enganar os animais. De defronta-los, recriando-os, e ao mesmo tempo reconstruindo o mundo e obtendo dos animais novas habilidades. Para obter o fogo Kanassa usa o artifício da carniça, do animal morto, putrefato, sob o qual se esconde, numa situação similar a de Prometeu, como se verá a seguir. O proprietário do fogo é uma ave, não uma ave qualquer, e sim o urubu-rei, o "rei" de uma classe de aves. Talvez o urubu-rei seja apenas um guardião, um emissário do fogo, aquele que tem o

poder de trazê-lo do céu, onde o fogo habita. De posse do fogo os humanos, companheiros de Kanassa, tornam-se tão poderosos ou hábeis como o herói e, assim, o fogo parece conferir o poder de engendrar a civilização, ou pelo menos a supremacia da cultura humana sobre o reino da animalidade, tal como ocorre também no mito de Prometeu.

O mito clássico de Prometeu é o que relatarei em seguida. Há também muitas versões deste mito. Aqui usarei a versão de Ésquilo na tragédia "Prometeu Acorrentado". Prometeu era um Deus, e portanto imortal, que roubou o fogo a Zeus - "rei" dos Deuses - para fornecê-lo aos homens, libertando-os assim da servidão. Prometeu era primo de Zeus, mas já o havia ludibriado uma vez, durante um banquete. Na ocasião escondera a parte nobre da carne de um veado, amontoando restos, ossos e gordura sob a pele do animal e levando, assim, Zeus a escolher a parte imprópria para consumo. Este foi seu primeiro "crime". A tragédia de Ésquilo principia muito depois disso, com Prometeu já acorrentado a um rochedo no Cáucaso, condenado por Zeus por seu segundo crime - o roubo do fogo. Prometeu furtara o fogo aos deuses para entregá-lo aos humanos.

Segundo Prometeu, Zeus, insatisfeito com a Humanidade, pretendia aniquilá-la, criando em seu lugar uma nova raça. Alertado, Prometeu rouba o fogo aos deuses e o entrega aos humanos, permitindo o progresso da civilização. Por este crime Prometeu é condenado a ficar acorrentado ao rochedo, por toda a eternidade, uma vez que é imortal. Prometeu, cujo nome quer dizer "aquele que prevê", conhecia todo o futuro, embora nem por isso pudesse modificá-lo. A ele fora oferecido o perdão em troca do arrependimento. Mas era um Deus orgulhoso e jamais se arrependia.

Em outra versão do mito diz-se que o fogo fora subtraído por Prometeu do carro de Apolo - o Sol. Diz-se, ainda, que, não se tendo arrependido, Prometeu teve uma segunda condenação imposta sobre a primeira. Teria o seu fígado eternamente comido por uma águia4, pois como era imortal, seu fígado sempre se recuperava, para ser de novo comido. Na verdade, mas isto não está em Ésquilo, Prometeu será libertado por Hércules - um semideus, filho de um deus com um humano.

O mito de Prometeu é um dos mitos arquetípicos da civilização ocidental, especialmente importante para a compreensão do "inconsciente" das sociedades industriais onde o controle da energia química dos combustíveis fósseis desempenhou um papel básico para o

4 Note-se que o fígado é um órgao intimamente ligado ao metabolismo e, portanto, aos fluxos básicos da energia no corpo humano.

avanço econômico. Com o conhecimento do fogo, isto é, com o domínio da energia, a Humanidade - e não apenas as sociedades industriais - pode realizar uma infinidade de conquistas, escapando às próprias limitações de seu destino.

Este não é um trabalho voltado para a análise de mitos. Mas importa aqui sinalizar alguns aspectos dos mitos mencionados, uma vez que tais aspectos reaparecerão transfigurados ao empreender a análise do papel da energia nas sociedades industriais. Os mitos, já o disse, são formas de apreensão globalizante da realidade e, neste sentido, não é estranho que em dois mitos tão distantes no espaço e no tempo, como os mitos de Kanassa e de Prometeu, surjam algumas analogias.

Em ambos há uma figura ardilosa e dotada de poderes incomuns. Kanassa e Prometeu destacam-se pela astúcia e engenho. Kanassa pode transformar animais além de enganá-los. Prometeu conhece o futuro. Em segundo lugar, em ambos os mitos a posse do fogo - o controle da energia, em minha interpretação - confere poderes especiais aos seus novos detentores. E, por isso, em terceiro lugar, o fogo é surrupiado aos antigos donos no Céu e trazido para a Terra, libertando os humanos de um estado de inferioridade.

Há também, nos dois mitos, referência a uma ave importante, embora isto possa ser mera coincidência: o urubu-rei, num caso, e a águia, no outro. E, ainda, em ambos os mitos há o recurso ao embuste: um ardil ligado à carniça (Kanassa se esconde debaixo do animal morto) ou ao banquete (Prometeu esconde a parte boa da carne e Zeus escolhe a parte ruim). A crer nos mitos, a posse do fogo, ou o controle da energia, significa obter, através do engenho humano, um novo poder, que coloca os humanos acima da animalidade, mas que inclui um embuste ligado à morte de um animal. Seria a morte da animalidade o preço da civilização? Fica a pergunta.

O fogo está também associado ao conhecimento, como numa versão arcaica do dito "Scientia potesta est" (o conhecimento é poder), atribuído a Bacon. O poder, no caso, tem uma dimensão política, mas isto é um detalhe, porque poder é também potência, uma quantidade associada à energia. O conhecimento - a ciência - leva à conquista do fogo - da energia - e esta confere poder ou potência, o poder de controlar condições naturais e sociais e propiciar o progresso da cultura humana e da ciência.

Nos mitos o poder e a ciência estão inextricavelmente ligados. Embora no dito latino o poder tenha uma conotação política, pode-se, sem grandes violações, interpretá-lo também como potência, e potência, no presente contexto, é a taxa de liberação da energia no tempo.

Assim, o que ambos os mitos também assinalam é a íntima ligação entre o conhecimento e a energia.

Haveria talvez outros aspectos a explorar nestes mitos. Contudo meu propósito é outro. Trata-se, em primeiro lugar, de fornecer uma visão sintética, totalizante, do prospecto humano de controlar o uso da energia e, em segundo lugar, de perceber os mitos atuais sobre a energia, incluídos os presentes embustes. Isto será discutido em capítulos posteriores. Por isso, antes de encerrar a fase da mitologia arcaica, é importante mencionar o mito de Sísifo, um estranho contraponto aos mitos anteriores.

Sísifo é um herói lendário, que todos os dias realiza o extenuante esforço de rolar penhasco acima um enorme carga. Durante a noite, o peso rola penhasco abaixo e, assim, no dia seguinte, Sísifo tem que reeditar seu eterno esforço. Por que menciono este mito? Bem, Sísifo é o herói que realiza um trabalho de algum modo necessário, mas seu esforço é inútil. Usa sua energia, realiza um trabalho, gera uma configuração necessária, mas as forças naturais desfazem tudo. O mito de Sísifo é pois um contraponto do mito de Prometeu. O esforço de Prometeu, ainda que punido, permite aos humanos construírem a civilização, enquanto Sísifo simboliza a realização de um esforço inútil, um trabalho perdido.

Como se verá adiante, no domínio da energia, o esforço inútil é similar àquele registrado no contexto da segunda lei da termodinâmica, onde se definem limites naturais para a eficiência máxima dos processos energéticos em que se realiza trabalho. Aquilo que nós construímos pode ser desfeito pelos processos espontâneos da natureza, devido ao efeito da entropia (ver Capítulos II e III). Por outro lado, é do próprio caos (desordem) que a ordem pode nascer. A questão não é puramente acadêmica, nem puramente tecnológica. Ela aparecerá, em sua plenitude, ao se considerar, mais à frente, os problemas da escassez de energia livre, dos impactos ambientais do uso da energia e das necessidades de conservar a energia nas sociedades industriais. A temática de Prometeu e Sísifo então retornará.

Heráclito e o Fogo

Enquanto os mitos sugerem uma visão não meramente racional da realidade, o nascimento da filosofia ocidental, por outro lado, representa a passagem para a idade da razão. Nesta passagem mito e razão acham-se, ainda, combinados e é útil focalizar esta combinação.

Uma das grandes questões iniciais da filosofia ocidental, na Grécia Antiga, foi a questão do ser. A polêmica clássica da época é entre Parmênides e Heráclito. Para Parmênides, numa visão esquemática "o ser é, e o não-ser não é". Há, assim uma espécie de imutabilidade no mundo. O que é, continua a ser e o que não é, continua a não ser, sendo a mudança apenas ilusão. Para Heráclito, ao contrário, "não podemos nos banhar duas vezes no mesmo rio, ou o rio não é o mesmo, ou nós é que mudamos" e assim a realidade essencial é o "sendo". Heráclito é o filósofo do fluir contínuo das coisas e, neste sentido, aproxima-se das tradições orientais do Taoísmo. Mas se a realidade é um contínuo fluir, há, neste fluir, algo de essencial, que Heráclito expressa como sendo o fogo.

Heráclito é, talvez, o primeiro energetista, vendo a energia, no caso representada pelo fogo, como sendo a realidade última das coisas. Transcrevo a seguir alguns aforismas de sua autoria, datados do século VI A.C., para que o leitor conclua por si próprio. Neles o fogo é claramente uma metáfora legítima da energia. Dizia ele: "Este mundo, o mesmo de todos os seres, nenhum Deus, nenhum homem o fez, mas era, é e será um fogo sempre vivo, acendendo-se em medidas e apagando-se em medidas".

O fogo aparece, portanto, como a substância ou essência mesma do mundo, de um mundo de transformações incessantes. "O sol não apenas, como Heráclito diz, é novo a cada dia, mas sempre novo continuamente", reportava Aristóteles em sua "Meteorologia". O fogo, por vezes, aparece transmudado em outros fenômenos. "De todas as coisas o raio fulgurante dirige o curso", dizia Heráclito. Surgem também os aspectos contraditórios típicos do seu pensamento. "E chama (ao fogo) de fartura e indigência". Mas ao lado da contradição e dos opostos, o pensador nos mostra também a unidade fundamental. "Pois todas (as coisas) o fogo sobrevindo discernirá e empolgará".

Heráclito, citado por Plotino (Eneades IV), coloca o fogo também no interior do organismo humano. "Transmudando, repousa (o fogo etéreo) no corpo humano". Este fogo - energia não? - está na verdade em todos os lugares. "Por fogo se trocam todas (as coisas) e fogo por todas, tal como ouro por mercadorias e por mercadorias, ouro". Estaria Heráclito aqui, metaforicamente, antecipando uma concepção moderna na qual se veio a idealizar a energia como possível fundamento de uma moeda universal, à maneira de Welles5? E, por fim, incluo provocativamente esta antecipação poética da segunda lei da termodinâmica: "As (coisas) frias esquentam, o quente esfria, o úmido seca e o seco umedece". Ou seja, as coisas tendem para uma equalização de estados, de intensidades, de temperatura, como no caso da tendência universal para o aumento da entropia. Voltarei ao assunto adiante.

Se em Heráclito, como em outros pré-socráticos, as noções elementares de terra, água, ar e fogo estavam ainda impregnadas de sentido mítico e poético, além, evidentemente, de seu conteúdo ontológico, na filosofia grega posterior outros conceitos de generalidade similar foram ganhando progressivamente definições mais restritas. Assim se deu, por exemplo, com noções como a de physis (substância), ápeiron6 e outras, que receberam definições formais ou foram, por vezes, descartadas na ciência posterior. Assim se deu também, com os termos gregos energeia e dinamis, versões arcaicas do termo atual energia, que para nossas presentes mentes científicas tem significado bem pouco preciso. Tratarei disso no capítulo seguinte.

5 Este tema é focalizado no capítulo V.
6 O ápeiron, de Anaximandro, é o indeterminado, o que não tem fronteiras, nem divisões internas.

Apêndice: Prometeu[7]

Prometeu era filho de um Titã chamado Iápetus. Atlas, que carregava o mundo nas costas, e Epimeteu eram seus irmãos. Zeus, o Deus dos Deuses, seu primo. Suas relações com o primo, o Senhor do Universo, eram tão más que Prometeu, diz a tradição ocidental, transformou-se no símbolo da revolta humana contra os deuses. Na verdade, nem sempre os gregos antigos atribuíam significado tão profundo à figura de Prometeu, mais freqüentemente visto como a encarnação da astúcia e do engenho humanos.

Zeus fora por duas vezes logrado por Prometeu. Um dia, durante um sacrifício ritual em que um animal seria servido como refeição, Prometeu pedira a ele que escolhesse a parte que preferisse e o restante seria dado aos homens. Zeus escolheu o que lhe parecia o melhor pedaço, descobrindo porém que se tratava de ossos e gordura, inteligentemente disfarçados sob a pele do animal.

Outra ocasião Prometeu roubou uma fagulha da carruagem de Apolo (o Sol), ou das forjas de Hefestos (Senhor do Hades - o equivalente dos infernos), segundo outra versão. Prometeu queria dar o fogo aos mortais, porque Zeus os tinha privado dele para se vingar do engodo da escolha da carne no banquete. Desta vez a punição foi terrível. Zeus acorrentou Prometeu a uma rocha no Cáucaso e enviou uma águia para devorar eternamente seu fígado, que, por ser Prometeu imortal, sempre tornava a crescer.

A tragédia "Prometeu Acorrentado", de Ésquilo, uma das principais fontes de nosso conhecimento deste mito, começa aí, com Prometeu aprisionado à rocha. Este tormento que deveria durar toda a Eternidade, conforme a punição de Zeus determinava, foi interrompido por Herácles (Hércules) que matou a águia com uma flecha e libertou Prometeu.

De acordo com algumas tradições teria sido o próprio Prometeu, e não Hefestos, quem moldou os homens do barro.

7 Adaptado do verbete Prometeu do "Dictionary of Anciente Greek Civilization", Ed. Methuen & Co Ltd., 1964, London, pp. 383.

Notas Bibliográficas

1. Bachelard, G., 1949 - Sobre as possíveis origens da conquista do fogo ver p.10 e pp. 44-45; sobre a simbologia da capacidade do atrito gerar o fogo ver pp. 46-48;
2. Villas Boas, O. e C. - Para a versão completa do mito Kuikuru da conquista do fogo ver pp. 96-100;
3. Grimal, G., 1982 - Sobre Prometeu ver pp. 37-38;
4. Kirk, G.S. e Raven U.E., 1971 - Para a noção de Ápeiron em Anaximandro ver pp. 104-108.
5. Bornheim, G.A. - Sobre os aforismas de Heráclito ver Os Filósofos Pré-Socráticos, São Paulo, Cultrix, 1967, pp. 35-46.

CAPÍTULO II

A EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE ENERGIA NA FÍSICA

Introdução

Mesmo na física, a palavra energia foi usada, durante centenas de anos, com diversos significados e de forma imprecisa. Durante aquele período, a evolução das teorias e dos experimentos físicos permitiu a progressiva depuração dos diferentes sentidos do termo, e uma série de definições operacionais emergiu paulatinamente. Embora estas definições sejam hoje precisas, o conceito de energia guarda ainda certa obscuridade. Por exemplo, a energia é conceituada como a capacidade de realização de trabalho. Mas, nas circunstâncias mais comuns, só parte da energia pode ser transformada em trabalho, sendo que, para que isto ocorra, outra parte deve ser dissipada como calor[8]. Além disso, sabe-se melhor como a energia se manifesta do que o que ela é.

O uso da palavra energia, em seu sentido atual, para descrever uma qualidade fugidia de uma ampla variedade de materiais e regularidades num enorme conjunto de processos através dos quais se realiza trabalho físico, difundiu-se e foi codificado durante o período de descoberta e formulação das leis da termodinâmica - a ciência do calor - na primeira metade do século XIX. A palavra energia em seu sentido atual, na verdade, foi usada pela primeira vez por Young, em 1807. Antes disso, a idéia de energia tinha sido usada na mecânica, onde um princípio de conservação da energia já tinha sido enunciado, mas ainda havia um grande entrecruzamento de significados entre as noções de energia, potência e força.

Embora não houvesse um conceito unificado de energia, e talvez ainda não o haja, havia grande discussão dos fenômenos relacionados com a energia já bem antes do século XIX. Na Antigüidade, a energia foi muitas vezes associada com o elemento fogo e, de acordo com a divisão dos elementos em terra, ar, fogo e água, o calor foi freqüentemente visto como uma substância real, o calórico, em cuja existência se acreditou até o século XIX. O calórico não tinha peso, mas podia, de certo modo, ser manipulado. Martelando-se um objeto, por exemplo, supunha-se que o calórico vinha à superfície. Esta idéia do calor permaneceu até o tempo de Lavoisier, que identificou a natureza da combustão química e descreveu suas leis no fim do

8 Este fato cria uma contradição. A parte da energia capaz de realizar trabalho pode ser denominada exergia, ou, em termos quase equivalentes, energia livre de Gibbs, energia disponível, etc. Assim, a parte acaba recebendo a mesma definição que o todo.

século XVIII, mas em sua lista de substâncias no *"Traité Elementaire de Chimie"* (1780) ainda figurava o calórico.

A descoberta da equivalência entre calor e trabalho mecânico, em meados do século seguinte, veio a permitir que o conceito de energia estabelecesse uma ponte teórica entre campos tão diferentes como a mecânica e a termodinâmica. Isto era o início de um amplo processo de unificação teórica que veio a incluir muitas outras áreas de conhecimento. Mais ou menos na mesma época, Herschel, em seu *"Outlines of Astronomy* "(1833), afirmava que "os raios do sol são a fonte básica de quase todos os movimentos que ocorrem na superfície de nosso planeta".

Isto é uma importante visão unificadora, pois liga a luz do sol - através da idéia de energia - à uma enorme gama de processos ocorrendo na superfície da Terra. Mostra ainda como ao mesmo tempo em que surgiam as primeiras enunciações precisas das leis de energia, aplicadas a fenômenos empíricos e a campos específicos, o conceito mais amplo permitiu unificar a compreensão científica de uma série cada vez mais abrangente de fenômenos.

As descobertas de Faraday e a teoria de Maxwell, pouco mais tarde, estenderam as formulações precisas da energia ao campo do eletromagnetismo e, na virada do século XX, as propostas teóricas de Planck e Einstein acrescentaram novas dimensões ao conceito de energia na física. Nos tópicos seguintes descrevo as linhas gerais desta evolução.

O Conceito de Energia na Antigüidade e na Idade Média

A palavra energia vem do grego "*energeia*", que quer dizer eficácia, força, energia, ação. Etimologicamente, "*energeia*" é igual a "*en* + *ergon*", ou seja, "em trabalho" (Figura 2.1). Mas a palavra energia foi também usada para traduzir o termo grego "*dínamis*", que significa potência, poder, força, força armada, tropas, faculdade, talento, e que veio na atualidade a originar o termo dinâmica, ciência das forças e movimentos[9].

Destas considerações semânticas e etimológicas pode-se derivar duas conclusões provisórias. Primeiro: as noções gregas antigas de energeia e dínamis possuíam um conjunto mais amplo de significados que a noção científica atual de energia, embora grande parte destes significados seja ainda conotado pelo atual uso leigo da palavra energia. Segundo: se tomarmos como parâmetros as noções físicas atuais de força, energia e potência, bem definidas, perceberemos que havia na Antigüidade uma confusão, ou um certo entrelaçamento e sobreposição de sentidos. Isto se torna ainda mais evidente ao aduzirmos a palavra latina "*vis*", usualmente traduzida por força, mas que também foi, com freqüência, traduzida como energia.

Na história antiga da noção de energia deparamos com o entrecruzamento freqüente de todos estes significados. Ao esforço lingüístico de superar a confusão desta mistura de sentidos, soma-se a dificuldade epistemológica de interpretá-los. Não vou delinear a evolução da idéia de energia atentando para todas as suas acepções, seguindo todos os ramos desta "árvore", nem pesquisar as condições históricas ou histórico-intelectuais em que as diferentes acepções foram produzidas. Ambos os temas são legítimos e necessários, mas fogem ao meu objetivo. Aqui se visa apenas esboçar a evolução do tronco principal e das ramificações mais importantes, na física primeiro, em outras ciências depois. Isto, evidentemente, envolve um risco pois significados aparentemente secundários e relegados num certo período histórico podem retornar mais tarde ao "main stream" da ciência.

Vimos que o vocábulo energia foi empregado para traduzir os termos gregos *energeia* e *dinamis* e o termo latino *vis*, que possuíam ampla gama de significados. Do ponto de vista de

9 Chassang, A., Léxique Grec-Français.

uma história das idéias científicas, esta tradução nem sempre é satisfatória. "Cabe verter também, e sobretudo "*energeia*" por ato e "*dinamis*" por potência, do mesmo modo que ambos e ainda "*vis*" por força" (Ferrater Mora, 1962). A possibilidade de traduzir os três termos por força parece indicar que este significado seja o mais primitivo. Contudo, "é recomendável usar ato como tradução de "energeia" para evitar confundir o conceito antigo de energia com o conceito moderno" (Ferrater Mora, op. cit.).

Na Física de Aristóteles a energia (energeia) não "é apenas um processo dinâmico no qual se conserva, por exemplo, uma força, mas é também um estado de imobilidade e perfeição de uma entidade". (Ferrater Mora, op. cit..). É uma espécie de estado de equilíbrio, como indica Bréhier[10]: "Em Aristóteles, e, num sentido justamente oposto ao da Física Moderna, a conservação da energia é idêntica à conservação de um valor, ao direito que tem a perfeição de existir pelo fato de ser perfeita e explicar todo o demais"... "O imutável não se acha em movimento, mas é o fim ou finalidade do movimento" (Ferrater Mora, op.cit.).

Estas citações, embora um tanto obscuras, resguardam o sabor filosófico da época e evidenciam a visão do movimento como a restauração de um certo estado de equilíbrio, a ação reequilibrando a harmonia do Todo. Isto corresponderia à concepção passiva, ou "passivista", da energia nos aristotélicos, aí incluindo muitos tomistas clássicos. À ela se oporia a concepção "ativista" moderna, segundo a qual a energia num processo de transformação adquire um valor físico determinado enquanto "força" que se conserva. Na noção de energia como energeia já se insinua uma idéia de força, porém se trata de uma força baseada na noção de possibilidade e "potência de ser", não de uma força física determinada, pois para que a potência passe a ato é preciso que concorram causas eficientes.

Para mim há uma contradição nesta maneira de ver. Pois se "energeia" deve ser preferencialmente traduzida por ato, como incluir aí potência? A coisa é complicada. Segundo Chung-Hwan Chen (citado por Ferrater Mora, op. cit.), o termo energia tinha vários significados em Aristóteles. Entendia-se em dois sentidos: quase-modal e não-modal. No sentido quase-modal, energia podia eqüivaler à atualidade (e, neste caso, contrastava com potência), referia-se ao ser atual ou perfeito ou a um princípio da forma e da alma. No sentido não-modal, a energia podia entender-se como atualização (a qual incluía potência, se bem que em grau continuamente decrescente), ou como elemento aplicado à sensação e ao conhecimento

10 Bréhier, Émile; citado por Ferrater Mora em seu "Dicionário de Filosofia" no qual baseei várias passagens deste tópico.

intelectual, como atividade contemplativa do intelecto humano ou como atividade pura (e, às vezes, como o entendimento ativo). Estes sentidos não estão claramente separados nos escritos de Aristóteles, mas predominam uns sobre outros em diferentes ocasiões.

As concepções aristotélicas de ato e potência marcaram profundamente o pensamento ocidental. Foram talvez o mais importante legado de Aristóteles à conceituação moderna da energia. Quando hoje falamos, por exemplo, em energia cinética (de movimento) e energia potencial (de posição) há visível influência da contribuição original de Aristóteles.

Foi a ênfase científica moderna na experimentação que permitiu a depuração gradual do conceito de energia. Para compararmos o conceito antigo e o conceito moderno de energia num sentido estritamente físico seria preciso considerar os termos "energeia", "dinamis" e "vis", despindo-os de outras conotações. "Isto é assunto de convenção, pois não é justo cindir a ontologia da Natureza desenvolvida pelos antigos (aristotélicos, estóicos, etc) em uma parte claramente metafísica e uma parte claramente física" (Ferrater Mora, op. cit.). Os pressupostos metafísicos ou ideológicos sempre acompanharam as formulações científicas. É curioso observar como mesmo em plena Modernidade trabalhos como os de Newton contêm, em muitas passagens, trechos que hoje consideramos completamente metafísicos. No futuro, igualmente, teremos perspectiva para distinguir formulações ideológicas de formulações puramente científicas nos trabalhos contemporâneos. É importante compreender que a ciência de uma época guarda necessariamente traços não-científicos da visão de mundo daquele período.

Voltando à energia quero assinalar que em diversos períodos da Antigüidade e Idade Média enfatizaram-se idéias de caráter mais ativista que as anteriores. Empédocles já havia distinguido entre matéria e força, sendo esta última de caráter ativo e "energético". Platão e muitos neoplatônicos admitiram que a força - enquanto energia ativa - esta ínsita na matéria. Na mesma linha pode-se citar a idéia estóica de tensão, considerada como um campo de força cósmico cuja energia se mantém continuamente.

Há, finalmente, as críticas das concepções cosmológicas aristotélicas como as contidas no curioso tratado de Plutarco *"De Facie in Orbe Lunae"*, no qual se explica que a Lua não cai na Terra não por estar em seu lugar natural, como queria Aristóteles, mas por causa da força que a mantém em movimento e neutraliza a atração terrestre. Ao aduzir estes casos não se estaria tendo em consideração mais a noção de força que a de energia? Será legítimo falar como se tivessem o mesmo significado ou um significado muito próximo os termos *energeia* e

dinamis, por um lado, e o vocábulo *vis* - por outro? Não se estaria ainda confundindo as noções de força e energia?

A concepção da energia e a idéia de uma certa conservação dela apareceram antes da Idade Moderna em uma série de especulações e análises sobre os conceitos de movimento, força, energia em sentido próprio e outros similares. As diversas teorias do "ímpeto" podem, por exemplo, ser consideradas a este respeito[11]. Em alguns autores que elaboraram tais teorias se acha a idéia da conservação do movimento pelo projetil; estima-se por certo que a energia diminui e que, ao final, se dissipa inteiramente, mas parece estar-se longe das noções conotadas pela energeia e dinamis aristotélicas.

O conceito de energia, como se entende atualmente, só viria a se desenvolver plenamente na Idade Moderna e especialmente a partir de Kepler e Galileu. Em muitos textos de língua latina, da época, usa-se o vocábulo vis - que usualmente se traduz por força. Assim o veremos, por exemplo, nas discussões sobre a chamada "conservação da força viva". O termo vis vai, por exemplo, aparecer no trabalho de Newton *"Philosophia Naturalis Principia Mathematica"*, no qual se lê que a expressão *"vis insita"* é equivalente a *"vis inertiae"* que deveríamos traduzir por força inercial e não energia inercial.

11 As teorias do ímpeto remontam também a Aristóteles. "Aristóteles, e, depois dele, os Escolásticos referiam-se ao "lugar natural" e ao "movimento natural" dos corpos. Os planetas e as estrelas (que supunham evoluir em torno da Terra) moviam-se eternamente nos céus, em círculos. Eram pois distintos dos objetos terrestres, as pedras por exemplo, cujo lugar natural era a superfície da Terra e cujo movimento natural era para baixo. O movimento violento "não natural" que caracterizava uma pedra lançada para cima decorria da aplicação de uma força violenta" (Lagemann, 1963). O "ímpeto" que movia a pedra para cima continuamente, antes que começasse a cair era explicado do seguinte modo: quando a pedra pressionava o ar em sua trajetória para diante, ele fluía para trás dela pressionando-a assim, por sua vez, para a frente. "Quando ela terminava de subir o movimento natural prevalecia trazendo-a de volta para a Terra" (Lagemann, op. cit.).

O Desenvolvimento Moderno do Conceito de Energia na Física

O termo energia, como uma medida da capacidade de realização de trabalho - sua definição atual mais comum - só foi aplicado numa fase tardia do desenvolvimento da mecânica. Antes era comum ver a energia como uma propriedade das massas em movimento. Na verdade, a mecânica clássica, na formulação de Newton, podia dispensar o conceito de energia.

A idéia de conservação da energia na mecânica, entretanto, é anterior a Newton, remontando a Galileu, no século XVII. Galileu realizou uma série de estudos sobre o movimento de pêndulos, a queda de corpos, a aceleração em planos inclinados e ainda com pesos em roldanas. Uma noção de conservação de energia começa a aparecer nestes estudos. Quando um peso é levantado num sistema de roldanas, reconhecia Galileu, a força aplicada multiplicada pela distancia percorrida (ou, por definição, o trabalho) gerava um produto constante, mesmo quando cada fator variava.

O conceito de "vis viva", ou força viva, "uma quantidade variando em função da massa (m) multiplicada pelo quadrado da velocidade (v)", inventado por Leibniz, fora introduzido no século XVII. Muito depois, no século XIX, o termo energia viria a ser aplicado ao conceito de vis viva.

A primeira lei do movimento de Newton apresenta a força (F) como associada com a aceleração (a) de uma massa (m); $F = ma$. Era pois inevitável que o efeito integrado da força agindo na massa fosse interessante. Isto levava, entretanto, a dois tipos de integrais. Uma, a integral da força, atuando ao longo da linha de ação da força, ou seja a integral espacial da força. A outra seria a integral da força no tempo de duração de sua atuação sobre a massa, ou seja, sua integral temporal. O cálculo da integral espacial conduz a uma quantidade que, atualmente, entendemos como a

mudança na energia de movimento da massa, resultante da atuação da força. Esta energia representa exatamente metade da "vis viva".

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

O cálculo da integral temporal, por outro lado, conduz à avaliação da mudança no "momentum" da massa, que resulta da ação da força. Durante um certo tempo discutiu-se qual das duas integrações representava a medida correta da força. Leibniz considerava a integração espacial como a única verdadeira, enquanto Déscartes, anteriormente, defendia a integração temporal. No século XVIII, D'Alembert demonstrou a legitimidade das duas abordagens. A controvérsia era apenas de nomenclatura.

A "Vis Viva" e a segunda Lei de Newton

Newton nunca discutiu, de forma explícita ao menos, a conservação da "vis viva" nos *"Principia"* (*Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*), sua obra mais importante. Mas é interessante notar que há uma relação entre a quantidade mv^2 e a segunda lei da mecânica newtoniana ($F = ma$). Indiquei, no tópico anterior, que a integral espacial da força, definida esta pela segunda lei de Newton, conduz à variação da energia cinética. Reproduzo adiante, primeiro de forma simplificada, depois usando o cálculo, esta demonstração. O leitor que achá-las complicadas, pode pular para o tópico seguinte sem prejuízo.

Se, da equação para movimento acelerado, com aceleração constante,

$$v_2^2 - v_1^2 = 2as$$

onde v_2 é a velocidade final e v_1 é a velocidade inicial, a é a aceleração e s a distância, extraímos o valor da aceleração,

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2s}$$

e substituímos na expressão da segunda lei,

$$F = m\frac{v_2^2 - v_1^2}{2s}$$

esta, rearranjada, se torna

(1) $$Fs = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

Um outro modo, mais rigoroso, usando o cálculo[12], de chegar à esta equação é:

$$\int Fdx = m\int_{x1}^{x2} adx$$

$$\int Fdx = m\int_{x1}^{x2} \frac{dv}{dt}dx$$

$$\int Fdx = m\int_{v1}^{v2} \frac{dx}{dt}dv$$

$$\int Fdx = m\int_{v1}^{v2} vdv$$

$$\int Fdx = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

Se F for constante, então:

$$Fx = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

Este é outro modo de chegar à equação (1). Esta equação possui dois pontos da maior significação para a análise da absorção histórica do conceito de vis viva pelo conceito de energia. Ela diz que se uma força *F* age numa massa *m* sobre uma distância *s*, a velocidade muda de v_1 para v_2; e as cinco variáveis são conectadas do modo expresso pela igualdade. Diz também que uma força agindo sobre um objeto ao longo de uma distância produz uma

12 Pinguelli Rosa, comunicação pessoal, 1996)

diferença na entidade $\frac{1}{2} mv^2$ - energia cinética - que, como sabemos, é a metade da vis viva do objeto, uma quantidade que ocorre na mecânica muito mais freqüentemente que a própria vis viva.

Esta entidade recebeu o nome de energia cinética, é a energia associada ao movimento. Diz-se que um objeto ou partícula em movimento possui energia cinética pelo simples fato de estar em movimento. Sabe-se atualmente que o conceito de energia cinética é um dos mais significativos na ciência. A vis viva ficou fora de uso, substituída pela energia cinética. Observando novamente a equação 1, vê-se que a aplicação de uma força, ao longo de uma distância, causa uma diferença de ½ da vis viva.

Considere-se agora o lado esquerdo da equação. Aí está o produto da força pela distância através da qual a força atua. Ela é medida ao longo da direção da força. Também nesse caso depara-se com uma entidade que ocorre muito freqüentemente na física. Esta entidade, ao que tudo indica, foi primeiramente reconhecida por Leibniz, que via que uma força *F*, agindo através da distância *s*, era equivalente a forca *F/2* agindo sobre a distancia *2d*. A esta entidade chamamos trabalho *W* (do inglês work), que pode portanto ser escrito

$$W = F.s$$

As unidades de medida do trabalho são o produto das unidades da força pelas unidades da distância. No sistema *mks* a unidade de trabalho é o Newton. metro, que recebeu o nome Joule. Um dos modos pelos quais o trabalho pode ser realizado sobre ou por um objeto ocorre ao se alterar sua posição na direção vertical. Este é um modo particularmente importante em nosso universo energético cotidiano onde os objetos, sujeitos à atração gravitacional da Terra, têm peso. Se este objeto permanece próximo à superfície da Terra, podemos assumir que uma força constante *mg* - massa m do objeto atraída pela gravitação terrestre *g* - age sobre ele. Esta força corresponde ao peso do objeto. Então, se a altura é aumentada pela distancia *h*, o trabalho realizado sobre a massa é mostrado na equação abaixo.

$$W = mgh$$

Esta, embora seja uma equação trivial para os físicos e engenheiros, se revela uma ferramenta extremamente útil, particularmente para todos que lidam com questões energéticas,

porque é uma medida da energia de posição (energia potencial) de um objeto num campo gravitacional, e serve, por exemplo, para o cálculo da energia gerada por uma queda d'água.

Outro modo pelo qual o trabalho mecânico pode ser realizado é quando uma força age através de uma distancia e acelera (ou desacelera) um objeto. Este trabalho implica uma mudança no estado de movimento - velocidade - do objeto e ocorre, por exemplo, quando se atira uma flecha. O trabalho requerido para a obtenção de mudança na velocidade da flecha é dado pela equação (1):

$$Fs = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

O lado esquerdo da equação, já se viu antes, representa o trabalho e o lado direito representa a mudança de energia cinética, causada pela força (do arco) agindo sobre o objeto (a flecha).

Uma vez lançada, a flecha sobe, perdendo gradativamente velocidade, até uma certa altura, quando então, por um momento, sua velocidade vertical torna-se zero. Neste ponto, sua energia potencial *mgh* é máxima. A flecha, então, começa a cair. Quando um objeto cai de uma certa altura e, num certo intervalo sua velocidade aumenta, há um ganho de energia cinética. Há também, simultaneamente, uma diminuição de sua energia potencial, devida à queda, que diminui a altura *h*. Isso faz entrever a idéia da conservação da energia mecânica. O trabalho realizado no objeto que cai, pela força da gravitação terrestre é exatamente igual ao ganho de energia cinética (negligenciando as perdas por atrito, por exemplo, a fricção do ar). Esta interconversibilidade da energia cinética em potencial permite a solução de muitos problemas em mecânica.

A lei da conservação da energia na mecânica

No caso da flecha lançada verticalmente (e caindo na vertical), a força que a retarda na subida, até parar, e depois a puxa para baixo é a de gravitação, formulada por Newton

como proporcional à massa, e, próxima à Terra, a aceleração *g* é constante, então:

$$mg = m\frac{dv}{dt}$$

$$mg\int_{h1}^{h2} dy = m\int \frac{dv}{dt}dy$$

$$mgh_2 - mgh_1 = \frac{m}{2}v_2^2 - \frac{m}{2}v_1^2$$

Esta é a relação de conservação da energia, $mgh + \frac{1}{2}mv^2 = constante$, na mecânica.

A partir daí, fica claro que a energia cinética e a energia potencial são, ambas, manifestações diferentes da mesma entidade: a energia. Estão relacionadas, podem ser medidas nas mesmas unidades, e convertidas uma na outra. Mais ainda, a soma de ambas, num sistema conservativo, isto é, quando não há dissipação, como no caso da gravitação, é uma constante. Assim, por um teorema da mecânica, num sistema deste tipo, a energia é conservada.

Num sistema conservativo não há fricção. Por isto a soma da energia cinética com a potencial se conserva, como no exemplo idealizado da flecha. Uma flecha no mundo real comporta-se de modo um tanto diverso. No mundo real há atrito, e, neste caso, há dissipação de energia, e a energia mecânica não é conservada. Com o advento da primeira lei da termodinâmica e da equivalência entre calor e trabalho, consideradas adiante no texto, a conservação da energia transforma-se numa lei ou postulado.

Pode-se, no entanto, aplicar o modelo mecânico ao mundo real, considerando que a energia mecânica pode ser convertida de potencial para cinética, de cinética para potencial, e de ambas para trabalho contra atrito (fricção). Neste caso, o atrito está sendo apenas considerado como força, e não como dissipação de energia mecânica em calor. A soma de todas

as formas de energia mecânica é continuamente a mesma num sistema isolado; ela é conservada. Esta é outra formulação da lei da conservação da energia mecânica.

Se algum trabalho é realizado num sistema, este trabalho será convertido em uma das três formas de energia mecânica. Uma forma alternativa da lei de conservação da energia mecânica é portanto: o trabalho mecânico fornecido a um sistema isolado é igual às mudanças nas energias cinética, potencial, e ao trabalho realizado contra fricção. Com o avanço do conhecimento físico e o surgimento da termodinâmica, esta visão da energia será bastante ampliada. Disto trato no tópico seguinte.

A Visão Contemporânea da Energia

Os primórdios

A história contemporânea do conceito de energia iniciou-se no século XIX, com o desenvolvimento do sistema industrial. Thomas Young usou a palavra energia em seu sentido atual em 1807. As leis da termodinâmica foram formuladas na primeira metade do século XIX, e assim por volta de 1850 as formulações científicas da energia já abarcavam os campos da mecânica e da termodinâmica, com algumas penetrações no campo da eletricidade e do magnetismo.

A tentação de vincular o conceito da energia como (um equivalente de) trabalho ao desenvolvimento do sistema industrial é grande, pois foram as máquinas e, especialmente a máquina a vapor, que possibilitaram a formulação das leis da energia. A revolução industrial foi também o período em que se tornou necessário atrelar grandes contingentes de trabalhadores - os operários - às máquinas. Ela tornou importante compreender como o trabalho humano e o trabalho das máquinas se acoplam. É pois tentador relacionar a definição da energia como trabalho físico, com o trabalho humano e com o sistema industrial. Contudo, arriscar fazer sociologia da ciência, para justificar a evolução do conceito de energia, ou fazer uma tentativa de definir as condições históricas da produção do conceito de energia, são empresas arriscadas. As idéias de trabalho, rendimento e eficiência caíam como uma luva para a justificação ideológica do industrialismo emergente, mas não são sempre animadoras para uma perspectiva industrialista, como se verá adiante.

Poder-se-ia adotar simplesmente a postura internalista de fazer uma história puramente intelectual da evolução da idéia de energia. Mas isto, além de complicado, pois quase nunca é fácil rastrear a evolução das idéias das pessoas, deixaria uma lacuna num trabalho que pretende relacionar energia e sociedade humana. Preferi então adotar uma perspectiva mista, histórico-teórica, registrando momentos intelectualmente, ou historicamente, importantes na evolução contemporânea do conceito de energia, sem pretender interpretar historicamente o conjunto desta temática ou fornecer um quadro teórico e intelectual completo.

Iniciarei a explanação pela teoria do calórico - uma teoria antiga sobre a natureza do calor. A teoria do calórico, historicamente, é uma das mais importantes fontes da discussão das relações entre o calor e o trabalho, formas básicas (e também metáforas) da energia. Prosseguirei dando uma notícia dos experimentos de Rumford, Maier e Joule, que levaram à definição da relação quantitativa entre o calor e o trabalho. Situarei, em seguida, estes avanços no contexto mais amplo da formulação da primeira e da segunda leis da termodinâmica. Estas leis são consideradas um avanço tão importante na história da ciência, são leis tão básicas, que são também denominadas princípios da energia. Concluirei o tópico com a extensão do conceito de energia ao eletromagnetismo.

O calórico

Durante longo tempo pensou-se que o calor era uma substância. Esta idéia, possivelmente, tem suas raízes longínquas na doutrina dos quatro elementos - terra, ar, fogo e água - na qual o calor era identificado com o fogo. A teoria do "calórico" baseava-se na visão do calor como uma substância. O uso da palavra "calórico", como durante muito tempo foi denominado o calor, inclusive por Lavoisier em 1787, em si mesmo nada acrescentava a nosso conhecimento, era apenas outra palavra para designar o calor. Fazia-se necessário postular certas propriedades do calórico, confrontá-las com a experiência, tanto para explicar observações, quanto para predizer novas ocorrências. Eis alguns destes postulados:

1. O calórico é um fluido. Dado que flui para todas as partes de uma substância, seus componentes devem repelir-se entre si.
2. As partículas do calórico são atraídas pela matéria.
3. O calórico não pode ser criado nem destruído. Ele simplesmente flui de um objeto para outro. A perda do calórico em um, significa ganho em outro.
4. calórico pode aumentar a temperatura de um objeto e, neste caso, ele é sensível; ou pode ser latente, e se combinar com a substância para formar um líquido ou vapor.

Com base nestes postulados a teoria era capaz de adaptar-se a muitas observações e explicar uma grande gama de fenômenos. O que é extremamente curioso é como uma teoria fictícia pode ser capaz disso. É verdade que havia problemas com o calórico. Ele era concebido como uma substância material. Ora, os corpos se expandem em volume quando calor

(calórico) é a eles transferido. Mas, se é assim, o calórico deveria ter alguma massa que explicasse o aumento do volume e portanto apresentar a propriedade do peso. Entretanto, dizia Black já em 1760, "... nunca foi provado por qualquer experimento que o peso dos corpos seja aumentado pelo aquecimento ou pela presença de calor neles...".

Durante o século XVIII foram feitas diversas tentativas para determinar o peso do calórico. Rumford, depois de várias mensurações detalhadas, todas sem êxito, escreveu: "Houvesse qualquer diferença de peso, mesmo de uma parte em um milhão,..., eu a teria descoberto" e "...Penso que podemos concluir seguramente que todas as tentativas de descobrir o efeito do calor sobre o peso aparente dos corpos serão infrutíferas" (citado por Lagemann, 1963). Havia, portanto, um problema com a teoria do calórico e, para mantê-la, o calórico tinha que ser idealizado como uma substância sem peso.

Muitos eventos comuns indicavam que havia alguma relação entre trabalho mecânico e calor. Os ferreiros acendiam freqüentemente suas fornalhas martelando rapidamente um pedaço de ferro que ficava tão quente que acendia o carvão. A perda da energia cinética do martelo, no ato de martelar, era acompanhada pelo aparecimento de calor. O trabalho contra a fricção, realizado pelos freios de uma carruagem, invariavelmente se associava com o aquecimento dos freios. Inversamente, era possível demonstrar que o trabalho podia ser realizado concomitantemente com a perda de calor como, por exemplo, numa máquina a vapor. Que havia uma relação já se sabia há muito tempo. Mas a expressão numérica precisa desta relação só foi descoberta em meados do século XIX com os experimentos de Rumford, Maier e Joule, que permitiram a formulação do primeiro princípio da termodinâmica e contribuíram para liquidar a teoria do calórico.

Os experimentos de Rumford, Maier e Joule

Os primeiros experimentos para tornar clara a quantidade de calor liberada quando trabalho mecânico é realizado contra fricção foram feitos por Rumford. Seu interesse na relação entre calor e trabalho apareceu quando notou a grande quantidade calor produzida durante a perfuração de um cano de canhão. Quando a broca girava, fagulhas e limalha eram produzidas no processo da perfuração, e todo o material se aquecia. Era pois possível imaginar que o calórico, delas extraído pela ação da broca, fosse a causa do aquecimento. Mas, se isto fosse

verdade, deveria haver então menos atração entre o calórico e a limalha do que entre o calórico e o metal ordinário. Desta forma o calórico fluiria da limalha arrancada para o restante do cano do canhão. Todavia, medindo o calor específico da limalha e do metal, Rumford encontrou valores iguais. O resultado, embora não conclusivo, apontava na direção da falsidade da hipótese do calórico.

Rumford aperfeiçoou estes experimentos a tal ponto que chegou a impressionar as pessoas fazendo ferver água depois de girar uma perfuratriz num cano de canhão durante duas horas e meia. O experimento teve duas implicações de longo alcance. Por um lado forneceu evidencia crucial sobre a natureza do calor pois, sendo o torno girado por dois cavalos, toda vez que estes andavam o calor aparecia na superfície interna do cano. Assim, nas palavras de Rumford, "... a fonte do calor gerado por fricção parecia inexaurível" e "... qualquer coisa que um corpo isolado ou um sistema de corpos continue a fornecer, sem limitação, não pode ser, possivelmente, uma substância material" (citado por Lagemann, op. cit.).

Ao mostrar que o calor não era conservado, Rumford colocou dúvidas a respeito de sua condição de substância, pois o calórico não podia ser criado nem destruído. Isto se somou ao fato da sua imponderabilidade, também demonstrada, como mais uma evidencia da impropriedade da hipótese do calórico. Hoje em dia diríamos que Rumford refutou a hipótese do calórico, mas em seu tempo não foi bem assim. A teoria calorista ainda durou algum tempo. Era possível, por exemplo, a seus defensores alegar erros de medida nos experimentos ou modificar o postulado de conservação do calórico.

Estes comportamentos são bastante comuns na tentativa de manter velhas teorias contra evidências novas e crescentes. Uma das forças decisivas de novas teorias, no entanto, é sua capacidade de gerar hipóteses novas e frutíferas. No processo de suas investigações, Rumford legou uma hipótese importante: "parece a mim extremamente difícil, se não impossível, formar idéia distinta de algo capaz de ser excitado ou comunicado, do modo pelo qual o calor foi excitado e comunicado nestes experimentos, a não ser que se trate de... movimento" (citado por Lagemann, op. cit.).

A segunda implicação importante das experiências de Rumford foi a demonstração da conexão entre trabalho e calor. Ele calculou a quantidade de calor gerada por unidade de tempo de trabalho dos cavalos. Conquanto não tenha determinado simultaneamente o trabalho realizado e o calor obtido, seu resultado implicava uma proporcionalidade entre a quantidade de calor e o tempo de trabalho. Assumindo um desempenho constante dos cavalos po-

der-se-ia dizer que o calor era proporcional ao trabalho realizado. O valor numérico do trabalho de um cavalo já tinha sido estimado por Watt. Isto acabou permitindo o calculo da relação entre trabalho e calor, uma razão que passaria a ser chamada de equivalente mecânico do calor. Este calculo forneceu um valor 25% mais alto que o atual. Não foi Rumford que o fez, todavia. Ele foi realizado por Joule, em 1850.

Enquanto Rumford estava mais interessado em derrubar a teoria do calórico do que em determinar a razão entre trabalho e calor, foi este último tema que interessou a Maier, Joule e outros. Maier publicara, em 1842, artigo que descrevia de modo qualitativo a interconversão de trabalho e calor em grande número de situações. Neste artigo foi pela primeira vez expressa a lei da conservação da energia. Ele dizia que a energia, da qual o calor é uma forma, "uma vez existente não pode ser aniquilada, pode apenas mudar de forma". No fim do artigo, Maier fornecia um exemplo quantitativo da conservação da energia baseado em experimentos alheios. O exemplo prendia-se aos diferentes valores para o calor específico de um gás, obtidos de diferentes maneiras. Embora Maier - um médico - não fosse bom em matemática, seus cálculos do calor e do trabalho forneceram um valor numérico para o equivalente mecânico do calor apenas 11% mais baixos do que o valor atualmente aceito.

Ao mesmo tempo que Maier estudava a conversão mútua entre calor e trabalho na Alemanha, Joule - um cervejeiro - pesquisava o tema na Inglaterra. Durante 38 anos ele procurou determinar o valor do equivalente mecânico do calor com maior e maior precisão. Para isto utilizou um sem número de modos de obter calor a partir de trabalho, e grande número de substâncias diferentes como meios para o processo de conversão até chegar ao seu experimento clássico, de 1843.

Neste experimento a queda (mensurada) de pesos conhecidos fazia girar uma roda de pás dentro d'água, a uma temperatura controlada, num recipiente termicamente isolado. O recipiente, cheio de água e completamente isolado, tinha uma roda de pás no seu interior, conectada a cordas, que, através de polias, sustentavam pesos. Quando os pesos caíam de uma altura conhecida, puxavam as cordas numa certa distância, fazendo a roda de pás girar dentro da água. No fim do experimento, quando os pesos atingiam o chão (e realizavam um trabalho mensurável), verificava-se que a temperatura da água subira. Assim Joule

pode medir a quantidade de calor produzida por uma certa quantidade de trabalho. A experiência foi repetida 16 vezes e o trabalho total realizado foi calculado da seguinte forma:

Número de repetições	x	Massa dos pesos	x	Constante gravitacional	x	Distância percorrida pelos pesos

Enquanto o calor gerado era calculado assim:

Massa do líquido no calorímetro	x	Calor específico do líquido	x	Mudança na temperatura

A razão entre estas duas quantidades, experimentalmente determinadas e medidas simultaneamente, forneceu o valor desejado do equivalente mecânico do calor. Em 1878, após sucessivas medições, o resultado final de Joule era de 4.150 Joules por kilocaloria, bem próximo do valor atualmente aceito (4.185,8 Joules/kcal).

O reconhecimento de que calor e trabalho são mutuamente conversíveis permitiu a formulação da lei da conservação de energia. O reconhecimento de que a energia possui várias formas e, ao desaparecer em uma reaparece em outra, em proporções determinadas, foi básico para a formulação desta lei. Mas, até então, pelo menos à nível de confirmação experimental, a lei da conservação de energia estava restrita aos campos da mecânica e da termodinâmica. Quando a energia desaparece como trabalho reaparece como calor. Quando trabalho é realizado contra forças de atrito a energia é transformada em calor, sempre de acordo com a relação atualmente aceita:

Trabalho em Joules = 4.185,8 Joules/kcal x calor em kcal

A formulação da lei da conservação de energia, da qual o equivalente mecânico do calor é apenas um caso particular, é um esplêndido exemplo dos chamados descobrimentos simultâneos. "Entre 1842 e 1847 a hipótese da conservação da energia foi formulada publicamente por quatro cientistas trabalhando independentemente: Maier, Joule, Golding e Helmholtz"... "Outros oito cientistas, no entanto, merecem também ser recordados por haverem expressado uns que calor e trabalho são intercambiáveis (Carnot, Séguin, Holtzmann e Hirn, entre

1830 e 1854) e os outros (Möhr, Grove, Faraday e Liebig, entre 1837 e 1844) que o mundo dos fenômenos manifesta uma só "força" que aparece sob várias formas: elétrica, térmica, dinâmica e muitas mais" (Robers, op. cit.).

Por que tantas descobertas convergentes ocorreram entre 1830 e 1850? Isto é o que se perguntam Kuhn (1969) e Robers (op.cit.). Kuhn supõe ter identificado três fatores historicamente importantes, ou três caminhos que levaram a estes descobrimentos:

1. a existência dos processos de conversão;
2. o interesse pelas máquinas;
3. uma certa filosofia da natureza.
4. Focalizarei cada um deles.

Os processos de conversão

O invento da bateria elétrica por Volta, em 1800, havia dado origem à uma cadeia de descobrimentos. Segundo as teorias da época, a corrente elétrica se produzia por causa de forças de afinidade química. Esta conversão de forças químicas em eletricidade era, porém, apenas o primeiro elo de uma cadeia de processos de conversão de energia reconhecidos, diz Robers (op. cit.). A corrente elétrica podia, por sua vez, produzir calor, luz e, também, através de eletrólise, vencer as forças de afinidade química, fechando o ciclo de transformações. "Outro círculo completo de conversões se manifestou depois do descobrimento dos efeitos magnéticos da corrente elétrica: a eletricidade produz magnetismo; este produz movimento e que o movimento pode, por sua vez, produzir eletricidade por fricção era um fato conhecido desde os gregos" (Robers, op. cit.).

Alguns processos de conversão de energia eram conhecidos antes de 1800. Já se usara o movimento para produzir cargas eletrostáticas, cujas atrações e repulsões, por sua vez, produziram movimento. Nas máquinas à vapor, o calor havia produzido movimento, que por fricção produzirá calor. No século XVIII estes fenômenos pareciam isolados uns dos outros. Mas no século XIX as conexões entre todos estes fenômenos se tornaram evidentes. Muitos cientistas derivaram (ou intuíram) a idéia da conservação de energia a partir das observações destas conexões entre os fenômenos. Outros encontraram nelas confirmações empíricas de uma idéia metafísica prévia de conservação.

"Em resumo, foi porque os novos descobrimentos do século XIX formam uma rede de conexão entre domínios científicos anteriormente distintos... que os trabalhos dos pioneiros, apesar de uma variedade de pontos de partida, convergem para um resultado comum" (Robers, op.cit.).

O interesse pelas máquinas

Diz-se em relação às máquinas à vapor do período da revolução industrial que elas fizeram muito mais pela termodinâmica do que a termodinâmica jamais fez por elas. O conhecimento prático derivado da experiência com tais máquinas contribuiu muito mais para o desenvolvimento do edifício teórico da termodinâmica do que as leis da ciência do calor nortearam o desenvolvimento destas máquinas. Vários pesquisadores da época interessaram-se intensamente pelos motores. Joule tentou, durante anos, avaliar os motores em termos de trabalho e rendimento, que eram os dois conceitos básicos sob escrutínio.

A noção de trabalho foi a fonte principal das idéias necessárias para a formulação da conservação de energia, embora a conservação da *"vis viva"* tenha sido também fonte importante (Robers, op. cit.). Mas, o conceito de trabalho mecânico permitiu mais do que avaliar o funcionamento das máquinas. Permitiu também obter uma medida comum do funcionamento destas e do rendimento do trabalho humano que elas substituíam ou ajudavam a controlar. Foi, neste sentido, um conceito relacionado à emergência da sociedade capitalista industrial em que os trabalhadores eram, muitas vezes, tratados como peças de uma grande máquina. Mas, na esfera científica, as máquinas foram fonte de tão grande número de experimentos e de concepções que formam um segundo caminho para a formulação da idéia de conservação da energia.

A idéia de conservação da *vis viva* possui a fama de ter sido a primeira formulação quantitativa dos processos de conversão. De fato, o teorema da conservação da vis viva é um caso particular da conservação da energia. Mas, segundo Robers (op. cit.), a idéia de que tenha servido como modelo é enganosa. Uma tradição distinta: a da engenharia da água, do vento e do vapor havia inspirado cinco dos pioneiros que deram uma versão quantitativa da conservação de energia. Quanto à *vis viva*, ela só aparece nos trabalhos de Carnot, Maier e Helmholtz. Os outros - ao menos quando a vis viva aparece, esporádica e tardiamente em seus

trabalhos, usaram a dimensão trabalho (W=f.d) independentemente da vis viva e de sua conservação (Robers, op. cit.).

"Entre 1819 e 1839 o conceito de trabalho...(tinha sido)... plenamente expresso em muitas obras que tratavam da análise das máquinas em movimento. O termo trabalho substituiu definitivamente os outros termos e...apareceram... as primeiras unidades para sua mensuração"... "A vis viva se tornou congruente com o conceito de trabalho e, se se a redefiniu como ½ mv^2 foi precisamente para dar prioridade ao conceito de trabalho" (Robers, op. cit.). A partir daí, a lei de conservação foi formulada já como igualdade entre trabalho realizado e energia cinética criada.

Uma certa filosofia da natureza

Alguns dos autores mencionados haviam partido da noção de uma "força metafísica" subjacente, indestrutível no universo. A constância do valor de uma entidade - a energia - nos processos de conversão e a noção de trabalho apenas concretizaram suas crenças prévias. Há várias fontes desta idéia de uma força indestrutível. O primeiro motor de Aristóteles é uma delas e, durante a Idade Média, muitos teólogos cogitaram sobre a noção de primeiro motor ou sobre a potência "divina" inicial cujo desdobramento acionava os processos do mundo.

Há ainda uma fonte mais recente da idéia de força indestrutível no movimento filosófico alemão conhecido como Naturphilosophie. Os "naturphilosophen" buscavam uma ciência universal, cuja metáfora fundamental era o organismo vivo. Buscavam um princípio unificador para explicar todos os fenômenos naturais. Schelling, um dos integrantes do grupo, afirmava que os fenômenos magnéticos, elétricos, químicos e até orgânicos chegariam a ser entrelaçados em uma grande associação... que se estenderia ao conjunto da natureza (citado por Robers, op. cit.). Muitos cientistas e pensadores buscavam a confirmação deste princípio unificador nos processos de conversão.

A segunda lei da termodinâmica

As perspectivas de unificação conceitual das diversas ciências não eram, contudo, tão simples; outras pedras apareceram neste caminho. A conservação da energia em todos os processos de conversão era um fenômeno geral da natureza, mas parecia haver direções preferenciais para estas conversões. O trabalho pode ser facilmente transformado em calor. Mas por que o calor nos processos "espontâneos" da natureza não pode ser tão facilmente transformado em trabalho?

Qualquer pessoa atenta ao seu meio ambiente observará que, na natureza, certas coisas ocorrem espontaneamente. A maior parte dos processos naturais tem uma direção própria. A água flui naturalmente de um nível mais alto para um nível mais baixo. O calor flui de um corpo quente para um corpo frio. Nunca se observa estes fatos ocorrerem, de forma espontânea, na direção contrária. Pode-se bombear a água ladeira acima. Pode-se, com uma geladeira, tirar calor do interior dela - frio - e jogá-lo para o exterior dela - quente. Mas, ao fazer isto, se descobrirá que tais processos requerem consideravelmente mais energia do que fornecem quando ocorrem espontaneamente na direção "natural".

A primeira relação quantitativa a respeito destes fatos foi formulada por Carnot. Seu teorema - mais tarde provado por Kelvin e Clausius - estabelecia que a quantidade máxima de trabalho que se pode obter de uma dada quantidade de calor dependia somente da temperatura do calor e da temperatura do meio ambiente. Nada tinha a ver com a tecnologia, ou as substâncias usadas para obter ou transportar o calor.

A fração da quantidade de calor Q que pode ser transformada em trabalho *W* é dada por:

$$W = \frac{T - T_0}{T} Q$$

onde *T* é a temperatura da fonte de calor e *To* a temperatura do sumidouro (ou poço) de calor, isto é, a temperatura do meio ambiente, todas em temperaturas absolutas, ou graus Kelvin. Esta relação tem importância considerável para a engenharia mas é também importante para a economia pois indica a quantidade máxima de trabalho físico passível de ser ex-

traída de um processo. Como se pode ver esta quantidade máxima não depende da natureza das substâncias envolvidas, nem das características do processo tecnológico em questão. Depende apenas das temperaturas em que a conversão se processa.

Muitos economistas, tecnólogos, os "otimistas tecnológicos" e os defensores do progresso técnico costumam visualizar um mundo continuamente aperfeiçoável pela tecnologia. O princípio de Carnot parece negar esta possibilidade, pelo menos no que tange às máquinas térmicas às quais se aplica, pois aponta para limites naturais na eficiência deste tipo de processos tecnológicos. Como os sistemas industriais estão fortemente baseados em máquinas térmicas o teorema de Carnot tem um certo impacto nos prospectos de sua evolução futura.

Alguns economistas de orientação ecológica, como Georgescu-Roegen (1971) e seus discípulos acreditam que a extensão da segunda lei da termodinâmica, introduzida por Carnot tem consequências para a análise das relações entre a economia e o meio ambiente, sugerindo também que há limites naturais ao crescimento econômico (ver Capítulo VI). Mas a intenção de Carnot não era de ataque ao sistema industrial. Ele estava mais interessado no aperfeiçoamento das máquinas a vapor do que na crítica ao progresso tecnológico. As implicações de seu princípio, no entanto, fundamentam várias objeções de índole ecológica ao projeto da sociedade industrial. Sustentam que o desenvolvimento dos sistemas industriais só se pode dar às custas da dilapidação do patrimônio dos recursos naturais, entre eles os estoques de energia terrestre e o meio ambiente.

Devido às limitações prescritas pelo segundo princípio da termodinâmica, também conhecido como lei da entropia, que preclude o aumento contínuo da eficiência, para manter o progresso seria necessário injetar quantidades crescentes de energia no sistema econômico, acarretando com isto o esgotamento dos recursos naturais, a poluição e o desequilíbrio ambiental. Em resposta àqueles que alegam que recentemente os países ditos desenvolvidos obtiveram acréscimos da produção sem aumentos correspondentes do consumo de energia estes ambientalistas argumentariam que tais ganhos são apenas temporários, decorrentes de redução das perdas por desperdício, e que teriam horizonte curto. Voltarei ao assunto.

O teorema de Carnot foi publicado em 1824 em uma obra clássica intitulada *"Reflexions sur la Puissance Motrice du Feu et sur les Machines propres a devéloper cette Puissance"*. Ele se constitui - viu-se mais tarde - num caso particular do princípio de degradação da energia, ou segunda lei da termodinâmica. Assim, a segunda lei, pelo menos em uma de suas versões particulares, teria sido formulada antes da enunciação rigorosa da primeira, a qual é assim de-

nominada porque constitui um antecedente teórico da segunda. Sabe-se, entretanto, que as idéias de conservação eram bem mais antigas.

Atribui-se à Maier, em 1842, a primeira enunciação precisa do princípio de conservação, em um dos seus vários trabalhos sobre o assunto. Mas seu "insight" mais penetrante foi posterior. Recolhendo amostras de sangue venoso de habitantes dos mares do sul, em uma viagem à Java, Maier notou que seu sangue era mais vermelho que o dos alemães e conjecturou que isto se devia a um menor dispêndio de energia para manter o organismo em condições de trabalho num clima quente, o que acarretava menor consumo do oxigênio transportado pela hemoglobina, deixando o sangue mais rubro.

Na verdade, vários fatores concorreram para a intuição de Maier. Primeiro uma revelação feita a ele por marinheiros que diziam que "a água do mar ficava mais quente quando ventava". Maier teria interpretado isto como trabalho do vento e das ondas, por ele geradas, degradando-se, por atrito, em calor no mar. Em segundo lugar, ele, Maier, estando doente e com febre, meditava sobre a capacidade humana de esforço. Terceiro, havia as observações sobre o clima e o sangue dos javaneses. O conjunto destes fatos teria fornecido à Maier evidencias para confirmação de sua crença na conservação da energia em suas diversas formas. Embora Maier tenha antecedido Joule, coube ao último o mérito de aperfeiçoar continuamente em suas experiências o valor do equivalente mecânico do calor.

Já em 1850 era possível à Clausius sintetizar ambos os princípios da termodinâmica em sua frase clássica: "A energia do mundo é constante, a entropia do mundo tende para um máximo" (citado por White, 1959). Esta formulação permaneceu válida, embora se substitua a expressão mundo (ou cosmos) por sistema isolado. Hoje em dia se colocam algumas dúvidas sobre o aumento da entropia dos cosmos como um todo. Reeves (1978), um cosmologista, por exemplo acha que embora tenha havido um pequeno aumento da entropia no universo, este é compatível com o aumento de sua complexidade.

A primeira formulação particular do segundo princípio da termodinâmica antecedera a formulação do primeiro; Carnot, em 1824, afirmava que o calor sempre flui de um corpo quente para um corpo frio. O fluxo inverso seria impossível. Numa perspectiva mais recente, quando se passou a interpretar estatisticamente estes fenômenos, dir-se-ia que seria extremamente improvável, mas não impossível. Carnot, segundo Robers (op.cit.), fez explicitamente uso do teorema da "vis viva". Fez também uso da idéia do calórico, que acreditava fluir da fonte quente para a fonte fria, à maneira da água numa queda d'água.

A asserção de Carnot introduz a questão da irreversibilidade, ausente das formulações da mecânica clássica. Na mecânica clássica, para determinar as posições futuras de um ponto no espaço basta conhecer a posição deste ponto, sua velocidade e aceleração. Com isto é possível conhecer todas as posições futuras do ponto neste sistema mecânico, desde que não se introduzam novas forças. Como as equações da mecânica são reversíveis no tempo, isto é, como o tempo, num universo meramente mecânico, é reversível, é também possível conhecer as situações passadas.

Já "o segundo princípio se formulara como impossibilidade de reversibilidade total nos processos de conversão; qualquer que seja o aperfeiçoamento técnico das máquinas, uma certa quantidade de energia se "perde", preferiria dizer se degrada nas conversões" (Robers, op. cit.). Quando Robers usa o termo "perde" para se referir à energia há uma certa imprecisão, reconhecida por ele, ao colocá-lo entre aspas. Na verdade a energia se degrada, isto é perde parte de sua capacidade de se transformar em trabalho. E, ao se degradar, introduzindo a irreversibilidade, perde-se a possibilidade de retorno às situações passadas. Esta formulação de Carnot representa portanto uma ruptura com o paradigma mecanicista.

Embora permanecesse dominante, o paradigma mecanicista da física newtoniana era colocado em questão. Além disso, ao se basear na vis viva, Carnot foi levado a crer que o calor poderia se encarado como vis viva molecular. Este é um avanço que se complementará mais tarde nas formulações da mecânica estatística, e que, de certo modo, havia sido antecipado também por Rumford ao conjeturar que o calor poderia ser movimento. "Desta convicção se depreende que o aumento de calor provocado, por exemplo, por fricção deve ser igual (ou pelo menos proporcional) ao trabalho mecânico efetuado" (Robers, op.cit.). Já estava, pois, embutida no pensamento de Carnot uma visão prévia do equivalente mecânico do calor. Exames recentes dos seus papéis não publicados revelam que ele havia antecipado também uma formulação do princípio de conservação de energia.

Carnot parece ter sido o primeiro a produzir uma formulação da irreversibilidade nos processos de conversão. Numa máquina à vapor, por exemplo, o líquido fervente representa o estado inicial de uma substância capaz de trabalho. É a fonte quente, de onde o calor, ao fluir para a fonte fria, gera a possibilidade de realização de trabalho. Como se viu só parte deste calor pode originar trabalho. E para fazer o calor retornar à fonte quente é necessário trabalho suplementar, que para ser gerado envolve também uma perda necessária.

Há, portanto, uma perda crescente, ao longo dos processos de conversão, de uma certa qualidade da energia: da sua disponibilidade para realizar trabalho. Esta qualidade foi medida através da noção de entropia. Daí porque a segunda lei é, às vezes, chamada lei da entropia, ou princípio de degradação da energia. O estado de entropia máxima ocorre quando já não se pode mais realizar trabalho. A quantidade de energia no sistema permanece constante, mas não é mais possível a realização de trabalho pois a qualidade da energia atinge um mínimo.

Numa perspectiva histórica, enquanto o primeiro princípio, segundo Robers, fazia convergir três ordens de preocupações: os processos de conversão, o interesse pelas máquinas e um postulado de unificação, o segundo princípio introduz outra preocupação na história da física, a da irreversibilidade. Até então o paradigma científico predominante - o mecanicismo - admitia a reversibilidade na explicação dos processos da natureza. Agora a irreversibilidade torna-se um dos desafios teóricos.

Robers cede à tentação de uma sociologia da ciência, ou , dito de outro modo, à tentação de uma investigação das condições históricas de produção dos princípios da energia, procurando mostrar as ligações entre as idéias científicas e as condições sociais. É uma tentativa complexa e que apresenta dificuldades no caso. Se, por um lado, é fácil relacionar as idéias de trabalho (energia) e de eficiência com as exigências dos processos fabris e do sistema industrial, é, por outro lado, difícil compatibilizar ideologicamente as implicações do segundo princípio com certas pressuposições do industrialismo.

O segundo princípio mostra que as limitações fundamentais para a obtenção do trabalho, a partir do calor, não são de natureza tecnológica e, por isso, não são passíveis de aperfeiçoamento, além de um certo ponto. Decorrem da própria natureza das coisas. Como mencionei antes, o sistema industrial, se visto como uma imensa máquina térmica que usa combustíveis fósseis, produzindo os bens e serviços típicos da sociedade industrial e secretando rejeitos e calor dissipado, encontraria limitações naturais ao seu desenvolvimento contínuo. Há autores que visualizam nas crises de energia, de materiais, e na questão da poluição ambiental, indícios da atuação do princípio de Carnot. Voltarei ao assunto no Capítulo VI.

Sadi Carnot

Nicholás Léonard Sadi Carnot foi o membro mais famoso de uma família incomum. Seu pai fora Ministro da Guerra de Napoleão e escrevera vários tratados sobre estratégia militar, mecânica e fundamentos do cálculo. Em um destes estudos tratara da teoria das máquinas. O filho entrou para a história, como o que, na época chamar-se-ia um filósofo natural e hoje se consideraria um físico generalista, por ter praticamente fundado a termodinâmica em 1824 com seu opúsculo clássico ("*Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu et sur les Machines propres a devéloper cette Puissance*").

Carnot definiu, nesta obra, o ciclo ideal de operação de uma máquina térmica (categoria da qual fazem parte os motores à combustão que comumente usamos), ou seja, suas condições de operação à eficiência máxima. A relação entre o trabalho realizado pela máquina e o calor nela fluindo é expressa em termos da temperatura absoluta da fonte de calor e da temperatura absoluta do componente da máquina que rejeita o calor. Isto é, pela relação entre a temperatura absoluta do que Carnot chamava de fonte quente e a temperatura absoluta do que chamava de fonte fria.

Carnot acreditava no calórico e imaginava a operação de uma máquina térmica à semelhança do funcionamento de uma roda d'água. O calórico, um fluido, passando da fonte quente para a fonte fria, fazia a máquina funcionar do mesmo modo que a água faz a roda girar. Assim como a água perde energia de movimento ao acionar a roda, o calórico perdia temperatura ao acionar a máquina. Este é um exemplo curioso de um fato relativamente freqüente em ciência, o fato de que mesmo partindo de concepções falsas - no caso o calórico - é possível chegar a conclusões verdadeiras - o princípio de eficiência máxima de Carnot.

A visão de que a pesquisa da eficiência máxima fosse o principal interesse de Carnot é, contudo, enganosa (Wilson, 1981). Os principais interesses de Carnot não recaíam no domínio do que atualmente chamaríamos de física teórica, mas sim no que era visto por ele como um trabalho popular para promover o desenvolvimento e a ampliação do uso da máquina a vapor na França, atrasada em relação à Inglaterra. Carnot, nesta visão, era um entusiasta das máquinas e do industrialismo nascente. Isto surpreenderia alguns de seus seguidores atuais que ado-

taram as implicações do princípio de Carnot como postulações críticas em relação ao sistema industrial.

O objetivo das "*Réflexions*" era dar ao público francês uma noção sobre o potencial da máquina a vapor para a melhoria do padrão de vida na França. "O estudo destas máquinas é do máximo interesse, sua importância é enorme, seu uso está crescendo continuamente, e elas parecem destinadas a produzir uma grande revolução no mundo civilizado. As máquinas à vapor já trabalham em nossas minas, propelem nossos navios, escavam nossos portos e nossos rios, forjam o ferro, modelam a madeira, moem os grãos, tecem e costuram nossas roupas, transportam cargas pesadas, etc. Parece que elas servirão, algum dia, como motores universais e substituirão a potência animal, as quedas d'água e as correntes de ar. Sobre o primeiro destes motores elas têm a vantagem da economia, sobre os outros dois a vantagem inestimável de que podem ser usadas em todos os tempos e lugares, sem interrupção" (Carnot, 1824).

A Extensão do Conceito de Energia ao Eletromagnetismo

Com o conceito de trabalho (ou energia) oriundo da mecânica e estendido à termodinâmica foi possível unificar a explicação de uma ampla gama de fenômenos. Um rio que flui, um arco retesado, o vento que sopra, uma mola que impele um relógio, a caldeira de uma máquina, o rendimento da máquina à vapor, a água represada numa barragem, o potencial de trabalho de um cavalo e o de um homem, todos são exemplos da capacidade de realização de trabalho físico, de emprego de energia. Isto é aquilo que os ideólogos da revolução industrial tanto procuravam; trabalho que pode ser medido e expresso em unidades precisas, isto é, pode ser controlado.

O conceito de energia., no entanto, poderia ser ampliado ainda mais. Em 1831, Faraday demonstrara que uma corrente elétrica poderia ser gerada movendo-se um magneto próximo a um fio condutor, o trabalho realizado pelo magneto induzia uma corrente elétrica no fio, assim relacionando trabalho mecânico e energia elétrica. O próprio Joule já mostrara que a taxa de produção de calor, liberado quando uma corrente fluía num condutor, era proporcional ao produto do quadrado da corrente pela resistência do condutor - o chamado efeito Joule, dos engenheiros eletricistas. E assim também o calor era relacionado à eletricidade. James Clerk Maxwell, com sua teoria eletromagnética da luz, unificou as teorias da eletricidade, do magnetismo e da luz numa só formulação matemática. Nas palavras de J. D. Bernal: "A teoria eletromagnética foi o coroamento do sonho de Faraday de que todas as forças da natureza poderiam ser relacionadas" (Foley, 1976).

"Havia assim agora um fator comum, a energia, quantificável em todos os fenômenos que concerniam às ciências físicas, desde as ondas invisíveis de radiação eletromagnética até o movimento dos planetas" (Foley, op. cit.). No plano da vida cotidiana agora os motores elétricos, a geração de eletricidade, a produção de luz, as comunicações via eletricidade, o rádio e toda uma série de outros avanços técnicos tinham sua produção facilitada e sua compreensão viabilizada pela extensão das leis da energia a suas áreas tecnológicas específicas.

O conceito de energia por sua generalidade, seu poder explicativo e unificador invadiu ainda outros campos: "até o metabolismo dos seres vivos podia ser medido no mesmo sistema". Priestley tinha descoberto o oxigênio em 1774 e mostrara como ele se consumia na combustão e na ... respiração (Foley, op. cit.). Mais tarde Lavoisier fora capaz de quantificar o comportamento metabólico das criaturas vivas mostrando que elas se comportavam como um fogo, queimando os materiais que absorviam como alimento, pela combinação deles com o oxigênio e liberando sua energia.

"Quando o século XIX chegou ao fim parecia que as fronteiras da ciência tinham finalmente sido delineadas; faltavam ser preenchidos somente detalhes. O conceito newtoniano do universo, apesar de algumas fissuras, tinha vingado[13]. A ciência repousava seguramente nos princípios gêmeos da conservação de matéria e da conservação de energia. A busca da pedra filosofal que transmutaria os elementos em ouro tinha sido abandonada há muito. Os elementos tinham sido identificados e alocados em seus lugares próprios de acordo com suas propriedades, no esquema do universo.

Foi fundamental para a teoria química que, ao fim de uma reação química, fosse possível contabilizar todos os elementos que haviam entrado e saído dela. Em outras palavras, a matéria não poderia ser criada nem destruída. De modo similar, a energia não poderia ser criada nem perdida. Em qualquer sistema fechado, a quantidade total de energia antes e depois de um evento era a mesma. Sua distribuição entre as diferentes partes de um sistema poderia mudar e ela poderia aparecer em diferentes formas, mas a quantidade total não poderia variar (Foley, op. cit.).

Então, em 1895, Roentgen descobriu os raios X. Observou que quando estava usando um tubo catódico, raios invisíveis, capazes de penetrar objetos sólidos, escapavam do aparato. A excitação da descoberta desencadeou experimentos por toda parte. Em poucos meses Becquerel tinha descoberto a radiatividade do urânio. Os Curies descobriram o elemento rádio e descreveram suas propriedades. Rutherford, trabalhando na Universidade McGill, em Montreal, com Soddy, desenvolveu trabalho pioneiro na elucidação do misterioso fenômeno da radiatividade. "Da febre de investigações científicas resultante, emergiram duas conclusões que minaram as fundações da ciência de então: os elementos se transmutavam um em outro e a energia aparentemente estava sendo gerada espontaneamente do nada" (Foley, op. cit.).

---

13 Uma destas fissuras - a dificuldade na extensão da entropia aos fenômenos da vida - de que tratarei no capítulo III - abriu-se profundamente, só sendo progressivamente sanada mais tarde.

Einstein, mais tarde, resolveria muitos destes paradoxos mostrando que uma síntese ainda mais ampla das teorias existentes era possível. De acordo com sua teoria especial da relatividade, também chamada teoria da relatividade restrita, massa e energia eram equivalentes. Esta relação podia ser expressa em termos quantitativos:

$$E = mc^2$$

A energia E, medida em ergs, é igual (equivalente) à massa m, medida em gramas, multiplicada pelo quadrado da velocidade da luz c, medida em centímetros por segundo. Dado que a velocidade da luz é representada por um número relativamente grande, decorre que uma pequena quantidade de matéria pode conter o equivalente a uma enorme quantidade de energia.

A liberação de energia, observada na radiatividade, era o resultado de uma transmutação genuína dos elementos e de uma conversão de parte de sua massa em energia. Na verdade, considerando os graus de liberdade internos dos núcleos atômicos, hoje vistos como compostos de partículas, a emissão de radiatividade pode ser compreendida sem necessidade de usar a relatividade restrita. Mas, no caso, por exemplo, da emissão de raios beta pelos neutrons ou protons, isoladamente, aplica-se a teoria.

A matéria não era, portanto, uma entidade conservada e a energia podia ser "criada" a partir dela. Com isto, Einstein podia transcender a concepção newtoniana do universo físico e fazê-la parte de uma percepção mais ampla da natureza da realidade. Em vez de princípios separados de conservação de matéria e conservação de energia, a unificação proposta pela teoria da relatividade apontava na direção de um princípio único de conservação. Falarei do assunto com um pouco mais de detalhe logo em seguida.

Antes de falar disso, observe-se como a tabela 2.1 dá uma idéia da amplificação do poder unificador do conceito de energia. Unidades comumente usadas nas disciplinas separadas da eletricidade, física atômica, dietética e engenharia podem não somente ser expressas umas em termos das outras, mas também ser todas reduzidas a unidades de massa.

Tabela 2.1: Equivalentes de várias unidades de energia

Unidades	Joule	Eletronvolt	Kilocaloria	Kilowatt	Kilograma Massa
Joule	1	6.242×10^{18}	2.389×10^{-4}	2.778×10^{-7}	1.113×10^{-17}
Eletronvolt	1.602×10^{-19}	1	3.822×10^{-23}	4.450×10^{-26}	1.783×10^{-36}
Kilocaloria	4.186×10^{3}	2.613×10^{22}	1	1.163×10^{-3}	4.658×10^{-14}
Kilowatt.hora	3.600×10^{6}	2.247×10^{25}	8.598×10^{2}	1	4.007×10^{-11}
Kilograma massa	8.988×10^{16}	5.610×10^{35}	2.147×10^{13}	2.497×10^{10}	1

Fonte: Foley, G., The Energy Question

Destaque-se em tudo isto que, na física contemporânea, não só a teoria da relatividade, mas também a teoria quântica da radiação, trouxeram importante contribuição ao novo entendimento dos fenômenos energéticos. Não vou considerar detalhadamente estas contribuições, mas uma resenha do conceito de energia ficaria incompleta sem breve referência a elas.

A equivalência de massa e energia na relatividade restrita[14]

Em 1905, discutindo sua teoria especial da relatividade, Einstein escrevia: "Se um corpo cede a energia ΔE na forma de radiação, sua massa diminui $\Delta E / c^2$."... A massa de um corpo é uma medida de seu conteúdo energético: se a energia se modifica em ΔE a massa se modifica no mesmo sentido em $\Delta E / c^2$ ".

Examinando isto matematicamente temos:

$$\Delta E = \Delta m c^2,$$

onde E é expresso em Joules se m está em kilogramas e c (a velocidade da luz no vácuo) está em metros/segundo. Assim, se um objeto move-se mais rapidamente pela aplica

14 Neste tópico, em vários techos, segui de perto o texto de Lagemann (op.cit.).

ção de uma força e, portanto, adquire energia cinética adicional E, a massa efetiva do objeto é acrescida por uma quantidade

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}.$$

A massa resultante, em altas velocidades (próximas da velocidade da luz), é chamada massa relativística ou massa efetiva, e pode ser determinada usando-se um campo magnético para aplicar uma força conhecida F, medindo o raio de curvatura R da trajetória do objeto e calculando m a partir da relação $F = {mv^2}/{R}$.

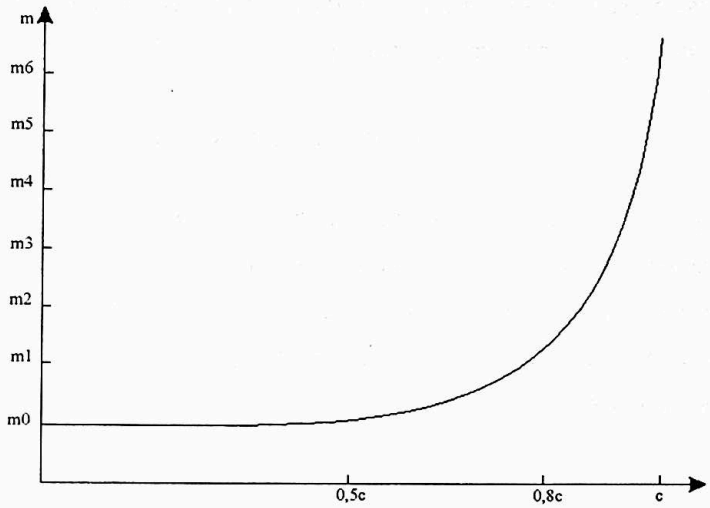
Einstein predisse que a massa efetiva m estaria relacionada à "massa de repouso", m_0 (massa do objeto em repouso em relação ao observador), pela relação

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\left(v^2/c^2\right)}}.$$

Em velocidades ordinárias, nas quais v é muito menor que c, o denominador está muito próximo de 1, e m é aproximadamente igual a m_0 : quando v é metade da velocidade da luz (0,5c), a massa m aumenta cerca de 15%; e quando v aumenta acima de 0,8c, a massa efetiva cresce muito rapidamente, como se pode ver na Figura 2.1, abaixo.

Thomson mostrou que a relação entre a carga e a massa dos elétrons tinha um valor menor, devido ao aumento da massa associada com sua alta velocidade, e A. H. Buchern (1908) obteve uma confirmação experimental da predição de Einstein usando partículas de alta velocidade de fontes radiativas. Presentemente, elétrons têm sido acelerados até 99% da velocidade da luz e seu enorme incremento de massa tem que ser considerado no desenho dos aceleradores de elétrons.

Figura 2.1



Fonte: Lagemann (1963)

O aumento de massa ocorre às custas da energia cinética acrescentada ao objeto. Se uma partícula subatômica é desacelerada ela se torna mais leve; se é acelerada ela ganha massa. Se um núcleo atômico emite um fóton raio gama, o núcleo passa a ter menos massa que antes. Dizemos alternativamente que a energia foi convertida em massa, ou que a energia aparece como massa, ou que energia é massa. É tudo uma questão de palavras. O que é importante é que energia e massa são interconversíveis; quando uma diminuição na energia resulta num aumento de massa, ou uma diminuição de massa resulta num acréscimo de energia, a conversão segue a regra $\Delta E = \Delta mc^2$.

Como conseqüência de muitas observações de conversão da massa em energia cinética, calor e fótons de luz, e por causa das observações da conversão de fótons e de energia cinética de partículas em massa, é possível estabelecer uma lei indutiva da conservação da massa-energia. Num sistema fechado, a quantidade total de energia, ou seja a energia de repouso (a soma dos m_0c^2) que é atribuível à massa, mais todas as outras formas de energia, é constante.

Na física clássica, Lavoisier e outros tinham chegado à lei da conservação de massa. Rumford, Joule e Maier, nos primórdios da termodinâmica, haviam enunciado a lei da conservação da energia. As variações de massa e energia nas condições em que eles as pesquisa-

vam eram imperceptíveis. Atualmente é necessário admitir que cada uma destas formulações é parcial. Como o próprio Einstein proclamou: "através da teoria da relatividade elas se fundem num único princípio: a lei de conservação da matéria-energia".

A "Quantização" da energia

O nome de Einstein, ligado à idéia da equivalência entre massa e energia, veio a se ligar também a outro descobrimento teórico bastante inquietante na época em que ocorreu: a idéia da "quantização" da energia. Vou introduzi-la neste tópico através do efeito fotoelétrico, cujo estudo levou a descoberta dos "quanta" de radiação eletromagnética por Einstein, na esteira da hipótese de Planck de que a energia assumia valores discretos, isto é, variava por saltos e não de forma contínua.

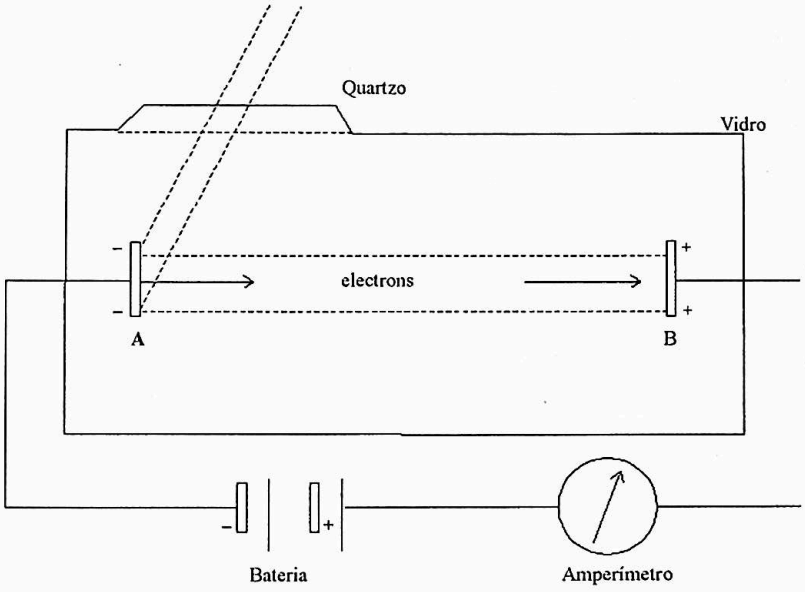
O nome efeito fotoelétrico designa, em geral, qualquer efeito decorrente de uma transferência de energia da luz incidente sobre uma substância para os elétrons da substância. O termo foi usado, em sentido mais restrito, para designar especialmente a emissão de elétrons por substâncias irradiadas por luz de uma frequência de onda maior que um certo limiar. Elétrons liberados desta forma são chamados fotoelétrons, e constituem uma corrente fotoelétrica quando o sistema está incluído num circuito adequado.

Para exemplificar, imagine-se um equipamento que consiste em um tubo de vidro no qual se produziu vácuo e no qual estão selados dois eletrodos *A* e *B* (Figura 2.2). Na superfície do eletrodo *A* existe uma camada de metal (por exemplo: sódio ou zinco). A natureza do outro eletrodo é menos importante no caso, basta que seja um bom condutor. Com a bateria conectada, como é mostrado na figura abaixo, quando a luz ultravioleta incide sobre o eletrodo *A*, este libera uma corrente de elétrons para *B*. A magnitude da corrente pode ser lida no medidor. Os elétrons assim emitidos são os chamados fotoelétrons e o efeito produzido é o chamado efeito fotoelétrico. Quando luz ultravioleta de uma faixa estreita de comprimentos de onda incide em *A*, a corrente através do medidor é diretamente proporcional à intensidade da luz. Isto significa que o número de elétrons passando no tubo, e presumivelmente emitidos por A, é diretamente proporcional à intensidade da luz incidente.

O fato é bastante plausível do ponto de vista da lei de conservação da energia. Quanto maior a energia da luz incidente atingindo o eletrodo por unidade de tempo, maior a energia absorvida pela superfície, e maior o número de elétrons ejetados por unidade de tempo. Mas

enquanto a energia da luz poderia, à primeira vista, ser uma quantidade continuamente variável, os elétrons, considerados como partículas, eram emitidos em quantidades discretas. Faltava algo na explanação completa do fenômeno. A explicação do efeito fotoelétrico originou-se numa hipótese sugerida por Planck quando estudava a intensidade e a distribuição dos comprimentos de onda da luz emitida por objetos quentes.

Figura 2.2: O Efeito Fotoelétrico



Fonte: Lagemann (1963)

Planck conjecturou que os pequenos "osciladores" que emitem radiação no corpo quente possuem somente certos níveis energéticos definidos. Estas energias são múltiplos inteiros de quantidades unitárias de energia: um oscilador poderia possuir 0, 1, 2, ou 3 (e assim por diante) unidades desta quantidade básica, mas nunca um terço ou metade, por exemplo, de uma unidade. Ele assumiu, também, que estes osciladores poderiam ganhar ou perder energia, apenas nas mesmas proporções múltiplas desta unidade.

Quando a luz é emitida por um gás quente ou um metal incandescente, por exemplo, ela é fornecida ou absorvida em quantidades discretas e não de um modo continuamente variável. Estas quantidades são chamadas "*quanta*" (plural latino de "*quantum*") de energia.

Einstein levou esta idéia além, quando, em 1905, propôs que a luz atravessaria o espaço sob forma de *quanta* - os *quanta* de luz, ou fótons. O tamanho do *quantum*, ou seja, a quantidade de energia possuída por cada pacote, depende diretamente da frequência da luz. A energia do quantum é dada pela fórmula:

$$E = h\nu,$$

onde se a energia E é expressa em Joules e a frequência ν em seg^{-1}, h é uma constante cujo valor numérico é 6,63 x 10^{-34} J.s. É a famosa constante de Planck. Dado que a frequência da luz ultravioleta é maior que a da luz vermelha, um quantum de luz ultravioleta transporta mais energia do que um quantum de luz infravermelha.

Para dar uma idéia da aplicação prática disto a um campo mais próximo de nossas preocupações cotidianas, pode-se exemplificar. A reação de fotossíntese nas plantas, através da qual elas podem se desenvolver, é causada por fótons de luz, absorvidos nas folhas verdes, que iniciam várias reações químicas. A luz de comprimento de onda de 4300 angstroms (1 angstrom = $10^{-10} m$) é bastante efetiva para o crescimento das plantas. Usando-se a fórmula acima pode-se, por exemplo, calcular a quantidade de energia contida num único fóton de luz desta cor, e portanto a quantidade total de energia luminosa desta frequência, utilizada no crescimento da planta.

$$E = h\nu = h\left(\frac{c}{\lambda}\right) \qquad c = 3.00x10^{8}\, m/s$$

$$E = \frac{6{,}63x10^{-34}\, J.s.3{,}00x10^{8} m/s}{4300x10^{-19}}$$

$$E = 4{,}63x10^{-19}\, J$$

Conclusão

Ao longo de sua evolução na física, o conceito de energia confundiu-se, durante muito tempo, com as idéias de "força" e "impulso". Posteriormente, o conceito de energia foi sendo progressivamente redefinido com mais rigor e a energia tornou-se sucessivamente uma "propriedade das massas em movimento", uma "quantidade conservada em sistemas mecânicos isolados" (sem atrito), um "equivalente do trabalho mecânico", e uma "entidade que se conserva, porém se degrada ao longo de suas transformações". A esta altura os campos da mecânica, da termodinâmica, do eletromagnetismo e da química quantitativa podiam ser unificados através do conceito de energia. Com a teoria da relatividade, "massa e energia foram relacionadas passando a ser equivalentes" e, com a teoria quântica, exibiram-se os "valores discretos da energia: os quanta". Nesta época, Planck redefiniu a energia como a "capacidade de um sistema realizar ações externas"[15].

Concebida de todos estes modos a energia tornou-se uma das principais categorias da física, suas leis aplicando-se a todos os ramos desta ciência. A confiança nos princípios da energia é tão grande que quando os cientistas defrontam-se com um experimento no qual estas leis parecem não funcionar, a atitude mais comum é achar que algo está errado, ou algo está faltando, no experimento, e que a lei está certa.

Quando, em alguns experimentos com partículas subatômicas, os pesquisadores contabilizaram as massas e energias envolvidas e as contas não fecharam, em vez de acreditar que o princípio de conservação não estava valendo, eles preferiram acreditar na existência de fatores desconhecidos para que as contas fechassem. Postularam, então, a existência de partículas desconhecidas, que, mais tarde, vieram a ser descobertas, e a lei de conservação continuou a valer.

Coisa similar aconteceu com o segundo princípio da termodinâmica. Ele aponta a tendência para o equilíbrio térmico e a desorganização dos sistemas isolados. Quando isto pareceu estar em desacordo com fenômenos físicos, químicos e biológicos que tendiam para o desequilíbrio e para a organização, foi preciso desenvolver novas teorias sobre os processos de

15 O termo ação foi definido por Planck como o produto da energia pelo tempo.

auto-organização, mas a confiança na lei de entropia, embora muitas vezes abalada, se manteve. Tratarei disto no capítulo seguinte.

Embora preferencialmente conceituada nos livros texto como a capacidade de realização de trabalho, a energia permanece sendo uma entidade misteriosa, onipresente, apenas clara e precisa em suas definições operacionais. Contudo, embora vago, o conceito de energia revelou-se sempre extremamente poderoso, transbordando sempre destas definições, cada vez que se abre um novo campo de aplicações. Creio que a maioria dos físicos acha que novos aspectos da energia podem ser descobertos e que as leis da energia valem para todos os campos de conhecimento.

Apêndice: o Energetismo

A esta altura é interessante mencionar o "energetismo". Como posição filosófica o energetismo esteve em voga no final do século passado e início do atual. Opunha-se ao "mecanicismo" e ao "atomismo". Era um monismo da energia. Os energetistas viam a energia como sendo a substância última da realidade, enquanto para os atomistas a realidade última seria constituída de partículas materiais. Enquanto os atomistas tendiam para explicações reducionistas e mecanicistas, os energetistas tendiam para explicações holistas e finalistas. O energetismo foi sustentado por Helmholtz, mas Ostwald foi uma das maiores expressões desta posição. Rankine, como os dois autores já citados, foi outro dos pioneiros da termodinâmica a crer no energetismo, que difundiu na Inglaterra.

Ostwald era um positivista extremado. Para ele tudo se reduzia a energia, inclusive a vida que "seria uma especificação da energia" (Abbagnano, 1982). À energia correspondia também, segundo ele, no campo das ciências formais, a idéia de função. Com a ampliação do conceito de energia devida às revoluções intelectuais da teoria da relatividade e da teoria quântica, e com a redução da matéria à densidade de campo (energético) e o consequente desaparecimento da oposição entre matéria e energia, o dualismo entre as duas substâncias da física clássica perdeu seu sentido.

"De um lado, portanto, parece ter sido acolhido na ciência o princípio do energetismo, porque a matéria cessou de ser uma substância em si mesma. Mas, por outro lado, pode-se dizer que o próprio energetismo foi posto fora de jogo porque o conceito fundamental já não é o de energia mas o de campo e toda distinção qualitativa entre matéria e energia ou matéria e campo perdeu interesse" (Einstein e Infeld, citado por Abbagnano, op. cit.).

Notas Bibliográficas

1. Ferrater Mora, J., 1962 - Para a origem da idéia de energia e as noções de energeia e dínamis, ver verbete Energia.
2. Lagemann, R. T., 1963 - Para o "movimento em Aristóteles", pp. 78-79; para a conservação da energia na mecânica, pp. 178-187; para a equivalência entre calor e trabalho mecânico, as pesquisas de Rumford, Maier, Joule e a lei de conservação da energia, pp. 201-213; para a quantização da energia pp. 332-336; e para a equivalência de massa e energia, pp. 398-400.
3. Robers, J., - Energia y Paradigma Económico - Sobre a origem do conceito moderno de energia, a descoberta do primeiro princípio da termodinâmica e dos processos de conversão, o interesse pelas máquinas, a filosofia da natureza, o segundo princípio e suas relações com a teoria da informação, numa perspectiva histórica, ver pp. 8-24.
4. Uvarov, E.B., 1976 - Para uma definição clara de entropia ver verbete Entropy.
5. Guillaumaud, J., 1965 - Sobre entropia, informação e demônio de Maxwell, ver pp. 117-168.
6. Commoner, B., 1977 - Para uma introdução não técnica à termodinâmica, ver pp. 6-29.
7. Calabi, A. S. et alii, 1983 - Sobre o conceito de energia, p. 3.
8. Newcombe, K., 1976 - Para a emergência das idéias sobre a energia a partir do século XIX, pp. 18-23; mas especialmente sobre a confusão entre energia e força, p. 19; e sobre o calórico, p. 19; cita o livro de Herschel "Outlines of Astronomy", de 1833, o qual segundo Spencer (1860, p. 204) foi o primeiro a reconhecer o Sol como a fonte última de toda a energia usada pelo homem, p. 20; sobre as leis da termodinâmica, pp. 20-21 e sobre a definição de entropia, pp. 21-22.
9. Abbagnano, N., 1982 - Sobre o Energetismo, ver o verbete de mesmo nome.
10. Foley, G., 1976 - Sobre a energia como um princípio unificador das ciências, pp. 66-73; inclui ainda uma visão breve da evolução do conceito de energia na física.
11. Slesser, M., 1978 - O capítulo II, "What is Energy", pp. 13-25, contém uma apresentação esquemática da primeira e segunda leis da termodinâmica e algumas definições claras de energia, energia útil, trabalho, etc., escritas para economistas.
12. Wilson, S.S., 1981 - Apresenta uma biografia e um esquema dos trabalhos de Sadi Carnot, Scientific American, August, pp. 102-114.

13. Ostwald, W., - Sobre sua obra, ver Enciclopaedia Brittanica, verbete Ostwald.

14. Morowitz, H. J., 1979 - Sobre o conceito de energia, pp. 38-41; inclui a famosa citação de Thomas Young em 1807 "o termo energia pode ser aplicado com grande propriedade ao produto da massa ou peso de um corpo pelo quadrado do número que expressa sua velocidade", o que antes designava a "vis viva".

CAPÍTULO III

A ENERGIA NA BIOLOGIA E NA ECOLOGIA

Introdução

O uso da idéia de energia na biologia tem talvez história tão longa, e quase tão complicada, quanto na física. Suas raízes mergulham no alvorecer da filosofia natural, onde as diversas ciências ainda se achavam fundidas. A energia com que se preocupava a biologia arcaica era provavelmente aquilo que dá movimento e vida aos seres, algo ligado ao esforço da vida, à "*anima*", alma, que constitue o sôpro da vida.

A energia da biologia teria,assim, sido, desde o princípio, simultaneamente mais restrita e mais ampla que a da física. Mais restrita porque se voltava apenas aos seres vivos e não ao universo dito inanimado, e mais ampla por que se colocava a questão da vida e não apenas as questões do movimento, da transformação e da eficácia. Mas tudo isto são meras conjecturas, carentes de pesquisa histórica.

O conceito de energia foi operacionalizado na física, e a visão predominante da energia na biologia terminou por ser tributária da visão física. Isto acarretou um certo número de problemas teóricos para a biologia, como a questão da especificidade da energia vital, a questão de se saber se haveria ou não uma energia própria da vida. Esta era a questão do vitalismo, que considerarei a seguir.

Não tive muitos dados à mão para traçar uma evolução do uso da idéia de energia na biologia, para historiar a versão biológica do conceito de energia. Obtive apenas alguns traços que ecoam na biologia a evolução do conceito físico de energia. Mas não será estranho se, algum dia, um historiador da ciência conseguir traçar a evolução histórica antiga de um correspondente biológico da idéia de energia.

Foi a evolução física deste conceito que fixou sua história recente e determinou seu uso científico atual. Não faria, portanto, sentido para este trabalho tentar rastrear as origens históricas da energia na biologia. Meu objetivo é outro. Quero descrever o uso recente do conceito da energia em diferentes disciplinas, levantar suas múltiplas dimensões para uma discussão geral das relações entre a energia e a sociedade humana, para uma análise energética da sociedade.

Neste capítulo trato da biologia e, como foi o sentido físico do termo energia que predominou na própria biologia, discutirei seu uso geral e as principais dificuldades que suscitou: a questão da energia vital e a aplicação do segundo princípio da termodinâmica aos seres vivos. Ao discutir este último ponto mencionarei a termodinâmica de processos irreversíveis e os fenômenos de auto-organização, importantes na física, na química e na biologia.

A química parecerá, erroneamente, aqui, apenas um domínio intermediário. Mas foi entre os químicos que surgiram soluções para alguns destes problemas. O capítulo discutirá ainda os processos energéticos nos seres vivos e os principais fluxos de energia nos sistemas ecológicos.

A Questão da Energia Vital

Desde a revolução científica dos séculos XVI e XVII, as questões relacionadas às idéias de "propósito", e "função" nas ciências biológicas mudaram bastante. Antes, predominavam as idéias de Aristóteles, para quem todos os fatos naturais possuiam uma causa final - um propósito. A maioria dos biólogos modernos descartou esta visão considerando-a desnecessária ou não fundamental. Mas se para eles não havia propósito, no sentido de causa final, necessário à explicação dos processos vivos, apesar disso muitos fenômenos biológicos têm uma direção específica e uma inserção muito particular no todo de que fazem parte[16]. Isto os levou a recolocar a questão do uso do conceito de "função".

A utilização da palavra função, designando a "contribuição da parte na estruturação e funcionamento do todo", esteve no centro de um debate meta-científico que, embora tivesse raízes antigas, ligadas ao velho problema da especificidade dos sistemas vivos, agitou a biologia no século XIX: o debate entre os vitalistas e os mecanistas ou mecanicistas.

Os vitalistas argumentavam que a vida tem características próprias entre os sistemas naturais, irredutíveis aos fenômenos físicos e químicos. Muitos vitalistas acreditavam numa espécie de princípio vital ou energia vital. Os mecanicistas, por outro lado, sustentavam que todos os processos vivos são basicamente processos físico-químicos. Muitos progressos decorreram da perspectiva mecanicista que pôde estender avanços teóricos e metodológicos da física a muitas outras ciências, embora com dificuldades crescentes. O mecanicismo dominou com êxito, durante muito tempo, grande parte da ciência e, de certo modo, predomina ainda hoje como método, embora com fissuras que aumentam em muitas áreas de conhecimento.

Borelli, aluno de Galileu, sugeriu, por exemplo, que a contração muscular poderia ser explicada em termos fisiológicos e químicos. Galvani, fisiologista italiano, demonstrou, no fim do século XVIII, que o nervos podiam ser estimulados por descargas elétricas e que uma corrente elétrica estava associada à transmissão de impulsos nervosos.

16 Muitos biólogos recusaram a noção de propósito apenas como explicação científica. A idéia de um propósito para os fenômenos vivos seria, para eles, metafísica ou religiosa. Nestes planos a idéia poderia até ser aceitável para alguns. No plano científico, entretanto, foi possível explicar de outro modo - por exemplo, através de seleção natural - muitos processos que antes eram explicados recorrendo-se a uma causa final.

Na segunda metade do século XIX, Helmholtz, fisiologista alemão também ligado à conservação de energia, mediu a velocidade do impulso nervoso e mostrou que havia atividade química envolvida no processo. A famosa generalização do francês Claude Bérnard, outro fisiologista do século XIX, de que: "a invariabilidade do meio interno é a condição essencial da vida livre e independente", refletia a convicção de que a constância do meio interno, nos sistemas vivos, era mantida por regulação fisiológica.

Na primeira metade do século XX, o americano Herbert Spencer Jennings, em seus estudos sobre protozoários, mostrou que eles respondem, de forma predizível, a estímulos tais como luz e produtos químicos de um modo coerente com as leis da física e da química. Conquanto a perspectiva mecanicista tenha sido suportada por estudos fisiológicos extensivos sobre animais, pouca coisa fora feita com plantas, isto é, na área de fisiologia vegetal.

Em 1727, Stephen Hales tentou explicar alguns processos nas plantas vivas em termos de leis físicas. Relacionou a quantidade de água absorvida pelas raízes à quantidade de água liberada pelas folhas. Percebeu que a nutrição das plantas envolvia alguns constituintes necessários que as plantas, provavelmente, obtinham do ar.

Na França, em 1760, Lavoisier descobriu que o ar consistia de gases separáveis e demonstrou que as plantas, imersas na água, liberam oxigênio que é utilizado pelos animais. Mostrou também a importância da água, oxigênio e dióxido de carbono na respiração. Mais tarde se descobriu que as plantas retiram o dióxido de carbono do ar e usam a luz como fonte de energia, e, em 1837, se demonstrou que só as células que contém a clorofila podem combinar o dióxido de carbono com outras substâncias para formar os nutrientes das plantas verdes.

Apesar dos avanços decorrentes da abordagem mecanicista, a disputa entre vitalistas e mecanicistas ainda persistiu, fôsse na sua forma clássica, fôsse transmutada em termos de outras questões igualmente importantes, tal como a questão da explicação dos fenômenos biológicos pela redução do todo às partes versus a explicação pela inserção da parte no todo. Contudo, a maioria dos biólogos atuais parece ser mecanicista, pelo menos do ponto de vista metodológico. Empregando a química e a física em áreas tais como a genética, a bioquímica e a biologia molecular, estes biólogos conseguiram grande sucesso na análise de processos biológicos básicos, tal como na descoberta do código genético.

Os vitalistas, entretanto, ainda sugerem que, mesmo a nível molecular, o problema da função permanece. Dizem que duas coisas são necessárias para descrever completamente um processo biológico: a análise da estrutura, decompondo-a até seus componentes molecu-

lares, e a função desta estrutura no todo de que é parte. Deste modo, o antigo debate entre vitalismo e mecanicismo cedeu, em parte, a relevância para um confronto mais moderno entre posições holistas, que privilegiam o todo, e posições reducionistas, que enfatizam o papel das partes componentes. Este confronto, todavia, é uma questão de ênfase, pois as posições não são excludentes.

A idéia da energia vital foi sendo esquecida à medida em que as áreas em que ela poderia funcionar foram sendo explicadas em termos das formas de energia comumente reconhecidas na física. Grande parte da polêmica entre vitalismo e mecanicismo pode, por exemplo, ser reinterpretada à luz da visão sistêmica dos processos biológicos, e talvez possa ser reapresentada como uma questão de perspectivas complementares entre a visão do todo - holista - e a visão das partes constituintes - reducionista. A perspectiva reducionista, repito, tenta explicar o todo por sua redução às partes que o constituem. Na perspectiva holista, tenta-se o oposto: explicar o comportamento das partes por sua inserção na totalidade. Na visão contemporânea há complementaridade e não apenas oposição entre as duas perspectivas.

Considerados como sistemas, os processos biológicos podem, numa perspectiva reducionista, ser explicados por leis da física e da química. Por outro lado, numa visão holista, apresentam propriedades emergentes, próprias das configurações sistêmicas específicas que assumem e que podem exigir explicação para além das fronteiras tradicionais da física e da química, tal como no caso da psicologia do comportamento animal e da linguagem. É como o caso de uma melodia que pode ser reduzida às notas básicas de que se compõe, mas que não pode ser plenamente entendida sem o recurso ao estilo e à tradição musical e cultural própria de sua época.

Os sistemas vivos, como outros sistemas materiais dinâmicos, dependem de fluxos de energia para se manterem organizados. Os seres vivos podem ser vistos como sistemas altamente organizados que sobrevivem graças ao uso da energia, necessária tanto para mantê-los funcionando quanto para assegurar seu crescimento, desenvolvimento e reprodução. Lehninger, em 1970, conceituou a célula viva como um sistema. "A célula viva é um sistema aberto, isotérmico, auto-montável e auto-ajustável e que (tende a) se perpetua®. Consiste de muitas reações orgânicas, promovidas por catalisadores produzidos pela própria célula e opera segundo o princípio da máxima economia de partes e processos".

Embora certamente esta questão da contradição e complementaridade entre a visão holista e a visão reducionista possa ter interesse epistemológico e teórico em si mesma, não é

isto que a traz aqui agora. O que me interessa, no momento, é seu rebatimento no uso do conceito de energia. A partir de uma visão holista talvez seja aceitável, por exemplo, falar de algum tipo de bioenergia não inteiramente redutível às formas de energia atualmente conhecidas na física. Já a partir de uma posição reducionista isto parece menos provável, e, ao falar de bioenergia, estar-se-ia referindo à forma peculiar em que aparecem combinadas nos seres vivos as manifestações da energia aceitas pela física atual. A questão da existência de formas de energia próprias do mundo vivo não se esgota aí. Ela ultrapassou as fronteiras da biologia, enraizando-se na psicologia e na psicanálise, como se verá no capítulo IV.

A Segunda Lei da Termodinâmica e os Seres Vivos

Uma característica específica dos seres vivos em particular e da vida em geral é que formam um sistema organizado, capaz de evoluir gerando mais ordem e diferenciação a partir de menos ordem e diferenciação. Isto parece contrariar a tendência geral para a desordem sugerida pela segunda lei da termodinâmica. A questão de saber se o fato constituiria ou não exceção a uma lei geral da natureza gerou grande polêmica. Aplicada ao cosmos como um todo, a lei da entropia previa a morte térmica do universo, a paralização progressiva dos processos no cosmos. Como conciliar o fenômeno da evolução biológica e do aumento da ordem na Terra com esta tendência universal? Seriam a vida e a evolução biológica, por exemplo, uma exceção ou uma contra corrente local à tendência desagregadora do cosmos? Assinalarei alguns marcos desta polêmica clássica.

Em 1866, o físico Ludwig Boltzmann escrevia: "a luta geral dos seres vivos pela existência não é (portanto) uma luta nem por materiais, nem por energia (que está presente em todo o corpo e em grande quantidade como calor, infelizmente não sendo intercambiável), mas uma luta pela (baixa) entropia, que se torna disponível durante a transição da energia do sol quente para a terra fria. Para explorar ao máximo esta transição, as plantas espalham as áreas incomensuráveis de suas folhas e, por meios ainda inexplorados, fazem com que a energia solar leve a cabo sínteses químicas das quais, em nossos laboratórios, não fazemos idéia". Boltzmann mostrava a ligação entre vida e (baixa) entropia e antecipava, em mais de um século, a correção de um engano teórico comumente cometido até hoje.

A chamada crise energética dos anos 70 - que do ponto de vista econômico foi uma crise do mercado e do fornecimento de petróleo - do ponto de vista energético foi, na realidade, uma crise por energia livre, ou melhor, uma crise por energia de baixa entropia, prontamente disponível. O petróleo, outros combustíveis fósseis, a eletricidade, a energia nuclear e as fontes de energia são todos fontes de baixa entropia se comparados com a energia em torno. O petróleo, particularmente, é uma das mais baratas fontes de baixa entropia.

A energia, enquanto tal, é indestrutível e onipresente, não podendo pois faltar, de acordo com a primeira lei da termodinâmica. Por outro lado, de acordo com a segunda lei, a qualidade da energia decai (em termos da sua capacidade de realização de trabalho) a cada vez que ela participa de um processo de transformação envolvendo uma conversão termodinâmica. A falta de petróleo, a baixo preço, significou escassez econômica de uma fonte básica de baixa entropia, na medida que outros energéticos de baixa entropia não eram economicamente disponíveis aos mesmos preços na oportunidade.

Voltando à biologia, já em 1944, Schrödinger afirmou que: "um organismo vivo continuamente aumenta sua entropia - ou, como se poderia dizer, produz entropia positiva - e assim tende a se aproximar do perigoso estado de entropia máxima. Ele só se pode manter distante deste estado, isto é, vivo, extraindo continuamente entropia negativa de seu ambiente"[17]. O que Schrödinger queria dizer é que os organismos extraem energia de alta qualidade - baixa entropia - do seu meio ambiente, para com ela acionarem seu metabolismo, e assim manterem ou desenvolverem seu estado de organização. Neste processo dissipam energia, produzindo internamente alta entropia que, para não gerar a desorganização do organismo, precisa ser continuamente compensada pela absorção de baixa entropia do meio.

Esta visão deixava claro que a segunda lei se aplicava aos processos vivos, mas parece não ter sido bem entendida. Na verdade, muitos autores haviam interpretado a vida e os processos evolutivos como constituindo uma contra corrente local em relação à tendência universal, então aceita, para a entropia máxima. Leslie White, por exemplo, um antropólogo cujas idéias discutirei no capítulo IV, assim se refere ao tema:

"A segunda Lei da Termodinâmica nos mostra que o cosmos como um todo está se desfazendo estruturalmente e decaindo dinamicamente; a matéria está se tornando menos organizada, e a energia mais uniformemente difundida. Porém, num setor mínimo do cosmos, ou seja, nos sistemas materiais vivos, a direção do processo cósmico está revertida: a matéria se torna mais altamente organizada e a energia mais concentrada. A vida é um processo de construção, mas, na tentativa de correr contra a corrente cósmica, os organismos biológicos precisam extrair energia livre dos sistemas não vivos, capturá-la e colocá-la a trabalhar para a manutenção do processo vital. Toda a vida é uma luta pela energia livre. A evolução biológica é simplesmente uma expressão do processo termodinâmico que se move numa direção

17 Schrödinger estava parcialmente errado. A morte pode ser o estado de entropia máxima para o organismo vivo, mas não é o estado de entropia máxima para o corpo, pois os processos de decaimento orgânico, até à mineralização continuam após a ocorrência da morte.

oposta àquela especificada para o cosmos como um todo pela segunda Lei. É um movimento em direção à maior organização, à maior diferenciação de estrutura, à crescente especialização de função, a níveis mais altos de integração e maiores graus de concentração de energia" (White, 1949).

White expressa, de forma sintética, uma maneira de entender o problema, que se encontra, em parte, salvaguardadas as diferenças de contexto, também nas obras de Teihard de Chardin, e que se irradia até hoje. A respeito deste tipo de interpretação, cuja origem atribui a Schrödinger, diz Newcombe (1976): "Esta interpretação, conquanto amplamente citada, causou alguma confusão. White, por exemplo, cita Schrödinger sobre entropia e vida, mas é levado a concluir que os sistemas vivos são parte de "um pequeno setor do universo...onde ...encontramos um movimento numa direção oposta àquela especificada pela lei da entropia"[18].

Prossegue Newcombe: "Claramente não é consistente com a segunda Lei da Termodinâmica, sugerir que a lei vale para uma parte do universo, e não para outra. Os sistemas vivos não geram baixa entropia a partir de alta entropia, ao invés disso pode ser dito que eles aceleram a degradação da baixa entropia em alta entropia (Adams 1975). Se os sistemas vivos fossem capazes de gerar baixa entropia a partir da alta, então seria possível sustentar que o homem ...também... poderia gerar baixa entropia. Isto levaria a um grande engano, porque o homem é atualmente um dos principais agentes no processo global de degradação de baixa entropia" (Newcombe, 1976).

Adams diz que os sistemas vivos aceleram a degradação da baixa entropia porque extraem energia de baixa entropia do meio. Não há dificuldade para entender isto nos termos de Schrödinger: a entropia *So* do organismo pode dimuir às custas do aumento da entropia *Sm* do meio. A soma *So* + *Sm* aumenta, "acelerando" a degradação do meio. Os seres humanos, segundo Newcombe, atuariam no mesmo sentido. Isto não impede, entretanto, em teoria, que os seres humanos, usando conhecimento e respeitando os limites naturais do meio ambiente terrestre, possam atuar quase como verdadeiros Demônios de Maxwell, organizando a seu favor o meio ambiente terrestre pelo consumo do fluxo de baixa entropia do Sol para a Terra. Mas esta não é a realidade presente.

---

18 Contudo, observe-se que White diz: "oposta àquela especificada para o cosmos como um todo".

O tema é polêmico. Os físicos questionam se o cosmos como um todo apresenta um aumento irreversível da entropia. Reeves (1976), um astrofísico, por exemplo, sustenta que o Universo, desde suas origens, teria experimentado apenas um ligeiro acréscimo de sua entropia, devido à disseminação de fótons de radiação estelar no espaço. Além disso, a lei da entropia foi formulada para sistemas isolados e não é claro significado da visão do Cosmos como um sistema isolado.

Em sistemas biológicos, a termodinâmica de processos irreversíveis, que abordo adiante, esclarece um pouco mais, seguindo a sugestão de Schrödinger, de que modo é possível conciliar o aumento total da entropia do sistema "organismo + meio ambiente" com a sua manutenção em nível constante, ou mesmo com seu decréscimo ao nível do organismo. Para isto divide a entropia em duas partes: uma que é gerada internamente no organismo, e outra que é trocada com o ambiente externo.

À nível da Terra como um todo, diz Morowitz (1986), um químico famoso, que os processos de organização levam ligeira vantagem sobre os processos de desorganização. Isto se deve ao contínuo fluxo de baixa entropia da energia solar que alimenta o funcionamento da biosfera.

Como a citação de Newcombe indica, esta polêmica extravasou o campo biológico, espraiando-se pela ecologia, e transbordando para o campo social e econômico. Ao longo deste livro, num misto de resenha teórica e reflexão, volto repetidamente a todos estes temas. Mas, para reforçar estes pontos, assinalarei como a teoria dos sistemas abertos de Bertalanffy e a termodinâmica dos processos irreversíveis de Prigogine retomam o tema dos seres vivos como sistemas, e sua relação com a entropia.

A Teoria dos Sistemas Abertos[19]

Bertalanffy é um dos autores clássicos na Teoria Geral dos Sistemas. Vejamos como ele aborda a questão dos sistemas vivos. "Do ponto de vista físico, o estado característico do organismo vivo é o de um sistema aberto. Um sistema é fechado se não há entrada ou saída de materiais, e aberto se há importação e exportação e, portanto, mudança nos componentes. Sistemas vivos são sistemas abertos, mantendo-se a si próprios em troca de materiais com o meio, e em contínua construção e destruição de seus componentes"..."Um sistema fechado deve, de acordo com a segunda lei da Termodinâmica, eventualmente atingir um estado de equilíbrio independente do tempo, com entropia máxima e mínima energia livre onde a razão entre suas fases permanece constante".

"Quando um sistema aberto atinge (pressupostas certas condições) um estado, independente do tempo em que permanece estacionário no todo e em suas fases, apesar de haver um fluxo contínuo de seus componentes materiais, este é chamado um estado constante. O equilíbrio químico está baseado em reações reversíveis. Estados constantes são irreversíveis como um todo e as reações individuais concernentes podem ser irreversíveis também.

Um sistema fechado em equilíbrio não necessita energia para sua preservação, nem energia pode ser obtida dele. Para realizar trabalho, entretanto, o sistema precisa estar não em equilíbrio, mas tendendo a alcançá-lo. E para permanecer nesta direção o sistema deve manter um estado constante. Portanto, o caráter de um sistema aberto é a condição necessária para a contínua capacidade de trabalho do organismo".

"Mesmo a célula em repouso, não realizando trabalho perceptível, necessita contínuo suprimento de energia, como é demonstrado pelo fato de que uma privação de oxigênio faz cessar a vida na célula (aeróbica). Este trabalho de manutenção da célula é, na verdade, parcialmente físico-químico, como na manutenção da pressão osmótica e das concentrações de íons diferentes daquelas do meio. Mas o lado químico precisa também ser levado em consideração. Além da fotossíntese, que necessita considerável energia fornecida pela radiação

19 Todo este tópico foi baseado em Bertalanffy (1950). Os trechos entre aspas são dele.

solar, o anabolismo dos materiais celulares consiste principalmente de processos de hidrossíntese, tais como a construção de proteínas a partir de aminoácidos, e de polissacarídeos a partir de monossacarídeos"... para os quais é necessário o fornecimento de energia. "Parece que temos que levar em consideração no balanço de trabalho da célula não somente o trabalho efetivo, mas também a energia de conservação, isto é, a energia necessária para a manutenção do estado constante".

A Termodinâmica dos Sistemas Abertos e a Vida

Algumas vezes tem sido mantido que a segunda lei da termodinâmica não se aplica à natureza viva. Lembro, por exemplo, o demônio de Maxwell (ver bloco no fim deste tópico) e a doutrina da ectropia de Auerbach. O demônio de Maxwell foi um desafio intelectual imaginado pelo grande físico escocês. Maxwell desejava apontar para as dificuldades teóricas suscitadas pela interpretação estatística da entropia. Na interpretação da termodinâmica clássica a variação da entropia era uma quantidade obtida dividindo-se a soma dos incrementos de calor dQ, num sistema reversível, pela temperatura absoluta do sistema ,$Tabs$, que varia à medida que tais incrementos se dão:

$$\Delta S = \Sigma \frac{dQ}{Tabs} .$$

Para compreender melhor as consequências práticas de um conceito tão obscuro imagine-se um sistema dividido em duas partes com temperaturaa desiguais. Se uma quantidade de calor muito pequena passa da parte quente para a parte fria do sistema, ela abaixa levemente a temperatura da parte quente (de onde o calor foi extraído) e eleva ligeiramente a temperatura da parte fria (onde o calor é acrescentado).

A entropia é uma quantidade aditiva (isto é, pode-se somar duas entropias), e é calculada dividindo os pequenos incrementos de calor (reversíveis) pela temperatura. Disso resulta que a cada passagem de calor a entropia aumenta, pois o quociente é menor na parte mais quente do que na parte mais fria. A cada passagem de calor o quociente da parte mais quente cresce, e cresce mais do que o quociente da parte mais fria diminui. Quando as temperaturas se equalizam a entropia atinge um máximo. O calor não flui mais.

A entropia total do sistema é a soma de suas entropias particulares e, neste momento, portanto, a soma das entropias é máxima. Resulta que quando um sistema tende para o equilíbrio térmico sua entropia cresce até atingir um valor máximo, onde por causa da situação de

equilíbrio não é mais possível extrair trabalho neste sistema. Esta é a interpretação clássica da entropia.

A tendência para o aumento da entropia configura uma situação de irreversibilidade nos processos de transformação da energia, pois indica uma direção preferencial nos processos da natureza. A entropia faz, portanto, o papel de uma flecha do tempo. Assinala a direção em que os processos da natureza tendem a ocorrer. Esta descoberta teórica gerou um conflito com o paradigma dominante na física de então: o mecanicismo. Nas equações da mecânica - a cristalização maior do pensamento mecanicista - o tempo era reversível.

Dadas a posição e as velocidades das partículas num sistema, seria possível, em princípio, conhecer seus estados futuros. E como, nas equações da mecânica, é válido trocar o sinal do tempo $+T$ por $-T$, gera-se uma situação de reversibilidade. Se o tempo, na mecânica, é reversível, seria possível também, usando o paradigma mecanicista, conhecer os estados passados. Esta condição permitira a Laplace conceber uma inteligência superior, capaz de conhecer as posições e estados de movimento de todas as partículas no universo. Tal inteligência teria a faculdade de conhecer todos os estados passados e futuros do cosmos. Isto foi a expressão máxima do poder explanatório do pensamento mecanicista.

A irreversibilidade apontada pela entropia causava um sério problema. Indicava que o tempo dos fenômenos naturais não era reversível e pois que o tão bem sucedido paradigma mecanicista era limitado. Havia uma direção preferencial na natureza. Tentando, entre outras coisas, conciliar os fenômenos termodinâmicos clássicos com a interpretação mecânica da natureza, Boltzmann e outros desenvolveram a chamada mecânica estatística.

Enquanto na termodinâmica clássica a abordagem era fenomenológica e macroscópica, na mecânica estatística a abordagem buscava reduzir os fenômenos a seus constituintes microscópicos: as moléculas. Para isto o calor foi interpretado em termos de energia cinética das moléculas, isto é, movimento desordenado delas, tal como indicado pelo efeito browniano: aquele movimento caótico de partículas de nanquim suspensas num líquido observado ao microscópio. Se o calor era energia cinética como fora antecipado por alguns precursores da termodinâmica, a temperatura era um fenômeno gerado pela intensidade do movimento das moléculas. Quanto mais alta a velocidade média das moléculas de uma substância, tanto mais alta sua temperatura.

Retornemos ao nosso sistema termodinâmico energéticamente isolado e dividido em duas partes. Se as temperaturas médias das duas partes são diferentes isto se deve ao fato de

que as velocidades médias de suas moléculas são também diferentes. Num tal sistema seria possível extrair trabalho porque há uma diferença de temperaturas entre suas partes. Se, agora abrimos uma portinhola pondo em contato estas duas partes, algumas moléculas mais rápidas do lado A passarão para o lado B e algumas moléculas mais lentas do lado B passarão para o lado A. Com o tempo a velocidade média das moléculas dos dois lados tenderá a ser igual e as temperaturas se equalizarão. As duas partes do sistema estarão em equilíbrio térmico. Por este caminho seria possível dar uma explicação mecânica, estatística e microscópica aos fenômenos macroscópicos da termodinâmica clássica. Mas e o demônio de Maxwell?

Na sua *"Teoria do Calor"*, em 1872[20], Maxwell propôs colocar um ser fictício, diminuto e imponderável, operando uma portinhola num sistema termodinâmico tal como o descrito antes. Mas agora o sistema está em equilíbrio térmico, sendo a velocidade média de suas moléculas igual dos dois lados. O pequeno demônio era capaz de perceber o estado de movimento das moléculas. Assim, quando ele via uma molécula rápida - "quente" - movendo-se do lado A para o lado B ele abria a portinhola, que, em seguida, era fechada. Quando, ao contrário, via uma molécula lenta - "fria" - movendo-se do lado B para o lado A, o demônio abria de novo a portinhola, logo fechada.

Com o correr do tempo, sem realizar esforço algum, pois era um ser imponderável operando uma portinhola diminuta e sem atrito, o demônio ia acumulando todas as moléculas rápidas de um lado e todas as lentas de outro. Usando apenas sua percepção e "inteligência" o demônio de Maxwell gerava uma diferença de temperaturas, e portanto, capacidade de realizar trabalho, a partir de uma situação na qual nenhum trabalho podia ser realizado. O demônio de Maxwell diminuia a entropia do sistema, e ... violava a segunda lei da termodinâmica...

Maxwell, sugerindo a possibilidade teórica de um tal demônio, estava desafiando a interpretação estatística da segunda lei. O enigma intelectual gerado por seu demônio, apesar dos sucessivos exorcismos que recebeu, perdura até hoje[21]. O demônio de Maxwell foi interpretado de muitas maneiras. Foi visto alternativamente como encarnando o poder dos sêres vivos, ou da inteligência humana, de pela sua capacidade "perceptiva" ou "organizadora" gerar energia livre a partir de situações onde ela não era anteriormente disponível. O demônio de Maxwell foi também interpretado como a capacidade da informação gerar energia livre.

---

20 Numa carta, em 1871, Maxwell já havia mencionado seu demônio.
21 A este respeito ver a interessante compilação "Maxwell's Demon: Entropy, Information, Computing" de Leff & Rex. eds. (1990).

Brillouin, em 1962, isto é 90 anos depois, exorcisou o demônio de Maxwell. Mostrou que para realizar seu "trabalho", usando, por exemplo, feixes de luz para identificar as moléculas o demônio, para ter existência real teria que consumir uma quantidade de energia livre do sistema pelo menos igual, senão maior que, a que ele conseguia acumular com seu esforço de organização. Aparentemente a segunda lei estava salva. Ao fazer isto, Brillouin usou o conceito de entropia negativa, proposto por Schrödinger e fez da "informação" usada pelo demônio um equivalente da entropia negativa. De fato a informação permitia organizar a matéria e gerar energia livre. Ela "produzia" entropia negativa, mas para obter a informação era necessário um aumento da entropia em outra parte do sistema. A informação tinha um custo energético. O conhecimento estava, de alguma forma, ligado às transformações da energia. São evidentes as implicações filosóficas desta visão. Explorarei algumas delas, de forma breve, adiante nesta obra.

Nem todos aceitam definitivamente o exorcismo de Brillouin. Há ainda hoje muita polêmica em torno da possibilidade teórica e prática de um demônio de Maxwell. A questão é de enorme atualidade pois concerne não só a validade teórica da segunda lei em alguns domínios de conhecimento, como tem atualidade prática para os problemas de computação que lidam cotidianamente com os problemas do uso eficiente da energia para processar grandes massas de informação.

A polêmica envolve ainda os problemas suscitados pelas chamadas sociedades e economias da informação e do conhecimento nas quais, segundo alguns autores recentes, a informação (e o conhecimento) poderia e estaria sendo usada para substituir a energia[22]. Usando informação para reduzir o uso de energia para processar materiais e conduzir processos, os impactos das economias sobre o meio ambiente seriam grandemente minimizados. Neste livro toco ligeiramente no assunto.

O demônio de Maxwell é um desafio ainda vivo, mas a ectropia de Auerbach, estabelecendo que a vida é uma organização criada para evitar a ameaçadora morte do universo por entropia, parece não existir. Há, contudo, especulações extremamente interessantes concernentes ao papel energético anti-entrópico da vida e da consciência humana no universo, como as de Teilhard de Chardin[23]. Voltarei ao assunto.

---

22 É especialmente importante ver a este respeito os trabalhos de Weinberg (1982), Spreng (1990), Chen (1994) e I Campos Machado (1994).

23 Ver a obra de Teilhard de Chardin "Activation of Energy".

A termodinâmica, em sua versão clássica, concernia somente aos sistemas fechados, e sua extensão para sistemas abertos conduz a resultados bastante inesperados. De acordo com a definição clássica, a segunda lei da termodinamica aplicava-se somente a sistemas fechados; ela não permitia definir o estado constante ou estado estacionário (steady state) e os estados de auto-organização em sistemas abertos. A extensão e generalização da teoria da termodinâmica foi realizada por Prigogine.

Como ele assevera, a "termodinâmica clássica é uma doutrina admirável porém fragmentária". Seu caráter fragmentário resulta do fato de que ela é aplicável somente aos estados de equilíbrio em sistemas fechados. Era necessário, portanto, estabelecer uma teoria mais ampla, compreendendo estados de não-equilíbrio, tanto quanto aqueles de equilíbrio. "A Termodinâmica dos processos irreversíveis e dos sistemas abertos leva à solução de muitos problemas, como os de eletroquímica, pressão osmótica, termodifusão, etc., onde a teoria clássica provou ser insuficiente" (Bertalanffy, 1950).

A entropia deve crescer em todos os processos irreversíveis. A mudança de entropia num sistema fechado precisa ser sempre positiva. Mas num sistema aberto, e especialmente num organismo vivo, não somente existe produção interna de entropia devido aos processos irreversíveis que ocorrem no organismo, como ocorre também importação de entropia externa, o que já foi mencionado antes. O organismo se alimenta de entropia negativa, para usar a expressão de Schrödinger, importando moléculas orgânicas complexas, usando a energia delas e devolvendo produtos finais mais simples ao meio. Assim, os sistemas vivos podem manter-se a si próprios num estado constante, ou mesmo aumentar seu nível de organização, pela importação de materiais ricos em energia livre.

De acordo com Prigogine, a mudança total de entropia num sistema aberto pode ser escrita como se segue:

$$dS = d_e S + d_i S$$

onde $d_e S$ denota a variação de entropia pela importação de entropia externa, e $d_i S$ é a produção de entropia devido aos processos irreversíveis no sistema, como reações químicas, difusão, transporte de calor, etc. O termo $d_i S$ é sempre positivo de acordo com a segunda lei; $d_e S$, entretanto, pode ser positivo ou negativo. Assim, a variação total de entropia num sistema aberto pode ser negativa ou positiva. Embora a segunda lei não seja violada ou, dito mais pre-

cisamente, embora ela se mantenha para o conjunto sistema-mais-seu-meio-ambiente, ela não se mantém para o sistema aberto ele próprio.

De acordo com Prigogine, podemos, portanto, estabelecer que: (a) os estados constantes em sistemas abertos não são definidos por entropia máxima, mas pela aproximação da produção mínima de entropia; (b) a entropia pode diminuir em tais sistemas; (c) os estados constantes com produção mínima de entropia são, em geral, estáveis. Se uma das variáveis do sistema é alterada, o sistema manifesta mudanças na direção oposta; (d) a consideração dos fenômenos irreversíveis conduz à concepção do tempo termodinâmico, como oposto ao tempo astronômico. O primeiro é não-métrico (isto é, não definível por medidas de comprimento), mas aritmético, pois está baseado sobre a entropia das reações químicas e, portanto, no número de partículas envolvidas; estatístico, porque baseado na segunda lei; e local, porque resulta de processos em certas regiões do espaço.

A significação da segunda lei pode ser expressa também de outro modo. Ela estabelece que a tendência geral é dirigida para estados de máxima desordem e para o nivelamento das diferenças; as mais elevadas formas de energia (energia de mais alta qualidade), tais como mecânica, química e energia da luz, sendo irreversivelmente degradadas em calor, e os gradientes de calor contínuamente desaparecendo. Clausius, em frase clássica, afirmou que "a energia do mundo é constante, e a entropia do mundo tende para um máximo". Assim, aplicada ao cosmos, a lei de entropia sugeriria que o universo tende para a morte entrópica, quando toda energia seria convertida em calor de baixa temperatura e os processos do mundo caminhariam para um fim. Mas a segunda lei se aplica a sistemas fechados, e não é inteiramente claro dizer que o cosmos é um sistema fechado. Por esta e outras razões tal interpretação é contestada por alguns físicos.

Existem muitas exceções à segunda lei tanto nas dimensões da microfísica quanto no macrocosmos, pois ela só se aplica a processos isolados (ou fechados, conforme a classificação que se adote). Há várias classificações de sistemas. Sistemas abertos trocam matéria, energia e informação com o meio; sistemas fechados trocariam apenas energia e informação; e sistemas isolados apenas informação. Mas alguns autores, não dando importância explícita à informação, não distinguem entre sistemas fechados e isolados. Para eles, os sistemas fechados, idealmente, não trocam matéria e energia com o meio ambiente.

Há múltiplas "exceções" à segunda lei. Ela só se aplica a transformações termodinâmicas, e o aumento - ou manutenção de estado constante - da entropia, que pode ocorrer em

sistemas abertos, só ocorre necessariamente em sistemas fechados. No interior das estrelas, em temperaturas extremamente altas, átomos maiores são construídos de átomos menores, especialmente hélio a partir de hidrogênio, gerando aumento de organização local (diminuição da entropia local), com emissão de fótons (aumento da entropia cósmica). Estes processos são a fonte da radiação solar. Tais sistemas não são, a rigor, fechados e, portanto, a segunda lei não se aplica inexoravelmente a eles. Também à nível quântico a segunda lei não se aplica. Mas no nível macrofísico, no universo macroscópico cotidiano em que habitamos normalmente, a direção espontânea dos eventos rumo à degradação parece ser a consequência necessária da segunda lei. Isto é, os processos que aí ocorrem, caso fossem considerados como sistemas fechados, seguiriam a segunda lei. Isto muitas vezes não ocorre porque os sistemas reais são abertos.

Muito já se disse sobre um contraste marcante entre a natureza animada e a inanimada no tocante às conseqüências da operação da segunda lei. No desenvolvimento e na evolução orgânica, a transição em direção a estados de maior ordenação e diferenciação parece ocorrer, mas, como assinalei, isto não contradiz necessariamente a lei da entropia. E, no universo dito inanimado, há também processos evolutivos em escala cósmica, como a formação de galáxias e estrelas, os quais, segundo o astrofísico Freeman Dyson (1971) de Princeton, estão associados a estrangulamentos temporários e locais, em escala astronômica, do aumento da entropia global.

A tendência em direção à complexidade crescente, não obstante, tem sido indicada como característica primária da natureza vivente, por oposição à natureza inanimada. Isto foi chamado, por Woltereck, de "anamorfose", e foi freqüentemente usado como um argumento vitalístico. A entropia pode decrescer nos sistemas abertos. Portanto, tais sistemas podem espontaneamente desenvolver-se em direção a estados de maior heterogeneidade e complexidade. Provavelmente, são as próprias características termodinâmicas dos organismos como sistemas abertos as bases do contraste aparente entre a catamorfose na natureza inanimada e a anamorfose na natureza viva. Isto é obviamente assim na transição rumo à maior complexidade no desenvolvimento, que é possível somente às custas de energia obtidas por oxidação e outros processos.

Afinal, o segundo princípio da termodinâmica é ou não refutado pela vida? Para Schrödinger e seguidores obviamente não. Mas, se considerarmos toda a polêmica envolvida a resposta poderia ser: sim, não e talvez.

Sim, se considerarmos que, durante um tempo limitado - ao fim do qual a entropia terminará por vencer - o organismo pode ser visto independentemente de seu meio. Neste período, e assim considerado, o organismo cresce e pode aumentar o seu grau de organização.

Não, se considerarmos o sistema mais amplo formado pelo organismo e seu meio ambiente. Neste último caso, a atividade estruturante do organismo é mais do que compensada pela desestruturação que causa ao meio, através da absorção de baixa entropia do meio e da devolução de rejeitos ao mesmo. Uma diminuição local da entropia, isto é um aumento da entropia negativa (negentropia) no organismo, só é possível ao preço de um aumento da entropia no meio ambiente.

Talvez, se considerarmos alguns autores, como Teilhard de Chardin, um teólogo e paleontologista. Ele assinala que a evolução cósmica têm conduzido à complexidade crescente, apesar da tendência ao aumento da entropia. Por isto especula que, devido ao poder ordenador da Vida e da Consciência a curva de probabilidade máxima para o aumento da entropia poderia, em algum ponto do tempo, ser defletida.

Fora do âmbito da metafísica altamente simpática de Chardin, com relação à vida e à evolução biológica, a suposta violação das leis físicas não existe, ou, mais estritamente falando, ela desaparece pela extensão da teoria física. Como enfatizou Prigogine, "a termodinâmica dos fenômenos irreversíveis é um complemento indispensável às grandes teorias da macrofísica, dando a elas uma unificação que anteriormente faltava".

A Termodinâmica dos Processos Irreversíveis

"Da termodinâmica dos processos irreversíveis decorre que:

1. Se um sistema recebe um fluxo de energia nulo ou inferior à sua produção de entropia, ele se desorganiza.
2. Se recebe tanta energia quanto elimina, ele se encontra em estado estacionário (constante) de não-equilíbrio e mantém sua estrutura.
3. Se ele recebe mais energia do que difunde (no meio), o excedente de que dispõe lhe permite não somente manter sua organização, mas também evoluir em direção a um estado de complexidade mais elevada" (Passet, op. cit.).

Passet não é inteiramente rigoroso nesta citação. Na verdade, como se viu antes, é o fluxo de entropia, e não o fluxo de energia, que importa. Mas a entropia é a dimensão qualitativa da energia. Se entendermos que Passet está se referindo a um fluxo de energia de baixa ou alta entropia, sendo importados e exportados, e a um balanço de entropia no sistema organismo-meio, seu texto torna-se correto. Estes fatos, embora num contexto diferente, lembram-nos do Demônio de Maxwell, já mencionado no capítulo anterior, e também capaz de gerar organização (ver Bloco abaixo).

Para Passet, a termodinâmica de processos irreversíveis é verdadeira para sistemas físicos, biológicos e para os sistemas sociais, na medida em que estes últimos constituem um subconjunto dos sistemas vivos. "A teoria das estruturas dissipativas de Prigogine mostra que a matéria inanimada submetida a aportes energéticos pode se organizar em estruturas coerentes e significativas. Por exemplo, um líquido oleoso convenientemente aquecido se constitui em colunas de forma alveolar (turbilhões de Benard), organização que corresponde a uma criação de negentropia compensada pelo aumento da quantidade de entropia dissipada pelo liquido, sob forma de calor. Mas se trata apenas de estruturas temporárias que desaparecem assim que o processo de reaquecimento é interrompido" (Passet, op.cit.).

Uma situação diferente ocorre com o princípio de ordem a partir do ruído de Von Föerster. "Ele mostra que de uma série de encontros puramente aleatórios (desordem, ruído)

pode surgir progressivamente uma estrutura organizada (ordem). Se colocamos pequenos cubos com três faces polarizadas positivamente e três negativamente numa caixa ampla e a sacudimos, os encontros entre as faces inversamente polarizadas soldarão gradualmente os cubos entre si, levando-os a constituir estruturas cada vez mais complexas. A ordem assim obtida depende de três séries de fatores:

- imantação inicial dos cubos: ordem;
- formas sucessivamente realizadas: história;
- sacudidelas aleatórias: desordem.

O DEMÔNIO DE MAXWELL

Em 1871, Maxwell sugeriu que um pequeno demônio por ele concebido operasse uma portinhola que separava dois recipientes cheios de um gás à mesma temperatura. O demônio agiria da seguinte maneira. Deixaria as moléculas rápidas do gás moverem-se através da portinhola unicamente numa direção, e as moléculas lentas unicament na outra. Gerar-se-ia, assim, uma diferença de temperatura e pressão entre os dois recipientes. Um ficaria cada vez mais quente e com pressão maior, e o outro cada vez mais frio e com pressão menor. Criar-se-ia uma diferença de potencial capaz de realizar trabalho. O processo teria se dado na direção oposta à que se esperaria devido à entropia... Teria havido uma diminuição da entropia do sistema e não o seu aumento. O Demônio de Maxwell tornou-se um desafio intelectual. Passou a simbolizar o papel organizador da informação, e gerou um suposto desafio à segunda lei da termodinâmica: seria o princípio do aumento da entropia nos processos espontâneos não-válido quando o conhecimento ou a inteligência intervém?

Brillouin, mais tarde (1962), demonstrou que o demônio para operar precisaria de informação, e "consumiria" energia para obtê-la, produzindo mais entropia do que aquela que lograria diminuir no conjunto dos dois recipientes. A segunda lei se manteria, portanto, para o sistema amplo constituído dos dois recipientes e incluindo o "gasto" energético do Demônio.

A importância do exemplo de Von Föerster em relação à evolução do universo é que ele ilustra o que se passa com os elementos dotados de afinidades químicas, que se combinam entre si, constituindo estruturas complexas" (Passet, op.cit.). Muitos autores (físicos, cosmologistas e filósofos) defendem o ponto de vista de que, ao longo deste processo de complexificação, as estruturas da matéria ordenada evoluem do inanimado para o vivente, e daí para o consciente até chegar à consciência dobrada sobre si mesma, ou seja, consciência da consciência. Este ponto de vista, curiosamente, não é defendido apenas por agnósticos. Religiosos, como Teilhard de Chardin, também parecem professá-lo. O que importa aqui é que ultrapassado um certo valor crítico, um sistema complexo pode adquirir a propriedade de aumentar, ele próprio, sua complexidade. Para isto ele depende da energia. Veremos como isto se dá, por exemplo, entre os seres vivos nos sistemas ecológicos e na biosfera como um todo.

A Energia na Ecologia

Forbes, em 1887, formulou o idéia de "cadeias alimentares" interligando os organismos. Suas pesquisas forneceram a base para a enunciação posterior dos conceitos de "nível trófico", "nicho ecológico" e "pirâmides de números", que explicarei um pouco adiante. Tais conceitos forneceram a estrutura teórica sobre a qual Lotka (1922, 1925) aplicou as leis da termodinâmica. Este casamento dos conceitos ecológicos e termodinâmicos levou naturalmente ao estudo dos "balanços energéticos" e da "produtividade energética" em comunidade de plantas e animais (Newcombe, 1976).

Juday, que, em 1940, estudou a produtividade energética, e Lindeman, que, em 1942, desenvolveu o conceito trófico-dinâmico de estrutura do ecossistema, promoveram esta integração. O essencial da análise de Lindeman a respeito das relações energéticas entre os níveis tróficos permanece, embora a precisão com que descreveu e definiu a energia em cada nível trofico tenha sido questionada (Odum, 1968). Excetuados alguns casos, a pesquisa sobre a energética de comunidades animais e vegetais foi infreqüente até que o trabalho dos Odums, Eugene e Howard, confirmasse sua utilidade na pesquisa ecológica.

Os Odums e outros desenvolveram o conceito de fluxo energético no ecossistema e, através de seu trabalho, formularam dois amplos princípios que se aplicam aos organismos e ao homem em todos os sistemas ecológicos: (a) o fluxo unidirecional da energia e (b) a circulação dos materiais. Odum (1968) descreveu a contribuição de Lotka (1925) sobre a importância das leis da termodinâmica para a teoria ecológica como uma efeméride. Chegou a denominar a lei de potência maxima de Lotka de "Lei de Darwin-Lotka", descrevendo-a mais recentemente (1976) como o terceiro principio da energética[24]. Uma segunda efeméride, entretanto, na opinião de Newcombe (op.cit.) foi o desenvolvimento dos diagramas de fluxo energético pelos próprios Odums. A idéia não somente facilitou a expressão simples de problemas fundamentais de teoria ecológica e da ecologia de sistemas, como também permitiu nova compreensão de problemas globais, tais como o da alimentação no mundo.

24 Não confundí-lo com a terceira lei, ou terceiro princípio da termodinâmica, já mencionado no Capítulo II.

O ponto importante, ao delinear aqui aspectos da aplicação da energética à ecologia, é mostrar que esta abordagem fornece construtos teóricos e regras básicas que podem ser aplicados ao estudo dos fluxos energéticos em comunidades humanas. Odum, em sua obra inovadora *"Environment, Power and Society"* (1971), exemplifica com vários aspectos da contribuição da ecologia energética para a análise de questões sócio-culturais. Esse trabalho contém uma interpretação ecológico-energética das sociedades e culturas humanas. Apresenta, inclusive, perspectivas de aplicação da energética ao campo da religião e dos sistemas políticos[25]. Estas são extrapolações ousadas, e sua viabilidade em termos de análise energética está ainda por ser verificada. Duas importantes áreas, nas quais a perspectiva energética demonstrou ter alguma utilidade foi na análise da produção de alimentos e na economia de recursos naturais e do meio ambiente. Esboçarei esta perspectiva no capítulo dedicado ao conceito de energia na produção econômica.

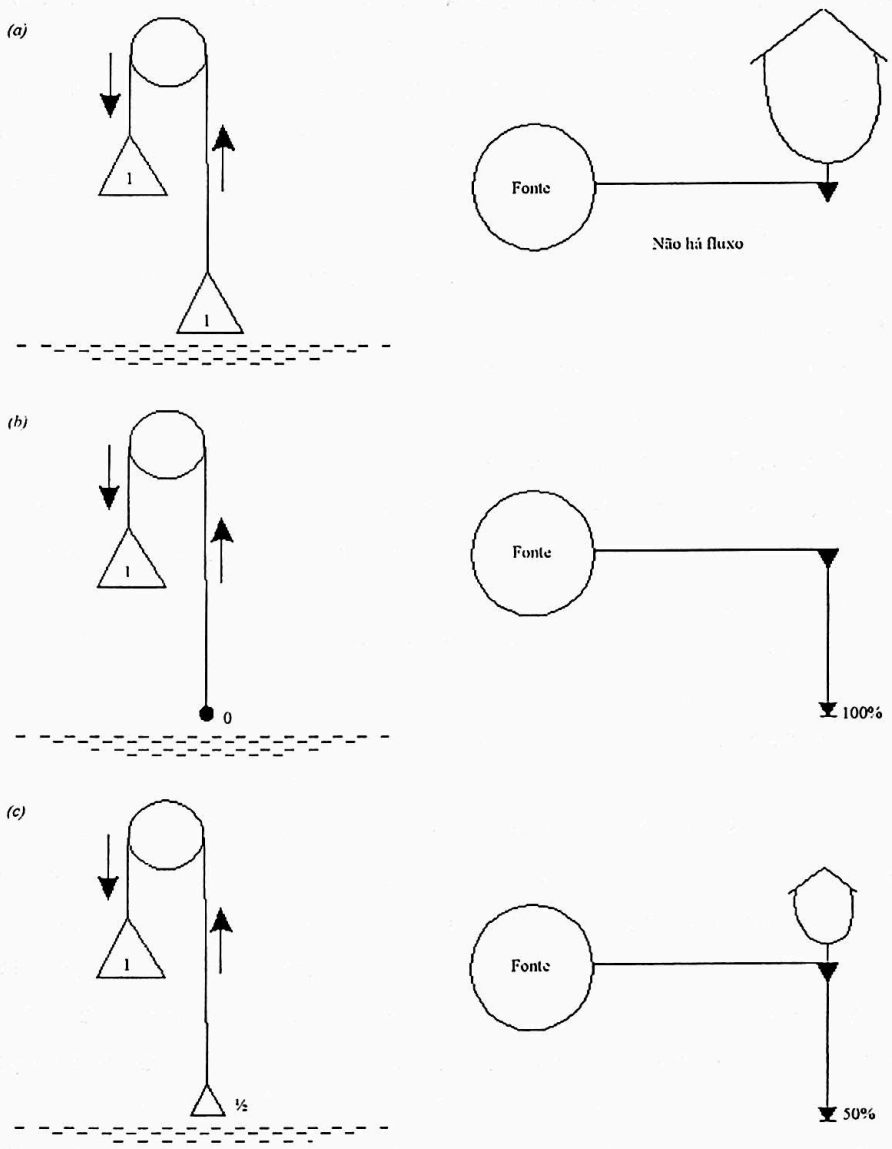
25 Os sistemas religiosos e os sistemas políticos são vistos nesta obra como possuindo um componente ideológico que atua como regulador dos processos sociais que, por sua vez, regulam os fluxos energéticos destinados a manter a sociedade em certa harmonia com seu meio ambiente natural.

A Lei de Lotka

Enquanto a energia é um equivalente de trabalho, a potência é definida, na física, como a taxa de uso de energia por unidade de tempo. É a quantidade de trabalho realizada em cada unidade de tempo. Para que um dado processo ocorra na natureza é necessário um fluxo de potência, drenada de alguma fonte, passando (a energia) do estado de disponibilidade (alta qualidade-baixa entropia) para o estado disperso (baixa qualidade-alta entropia), em forma indisponível. Este processo é unidirecional, porque não é possível usar e reutilizar indefinidamente a energia potencial nos processos que ocorrem na Terra. "A natureza unidirecional dos processos energéticos é refletida em expressões do tipo "não podemos obter alguma coisa em troca de nada e movimento perpétuo não é possível" (Odum, 1971). Quando nos perguntamos sobre que fração do fluxo de energia deve sofrer este imposto compulsório de drenagem, isto é, quanto deve ser perdido, estamos fazendo a mesma pergunta que Carnot fez. Mas Carnot levantou este problema ao estudar os limites da transformação do calor em trabalho mecânico, e aqui a questão é generalizada. Trata-se de saber qual é a energia disponível para uma série ampla de sistemas complexos, incluindo os sistemas vivos.

Colocando esta questão, Lotka aplicou a ela um raciocínio oriundo da mecânica. Considere-se o arranjo de pesos ilustrado na Figura 3.1. Nesta figura os dois pesos estão atados através de uma corda que passa por uma roldana. Se um dos pesos desce, o outro sobe. A roldana, hipoteticamente, não sofre atrito e, portanto, não há perdas nela. A queda de um dos pesos representa uma transformação de sua energia potencial em energia cinética, mas implica, ao mesmo tempo, a armazenagem de energia potencial no outro peso, que sobe.

Figura 3.1: A Lei de Lotka



Com os pesos iguais, se o sistema operasse, converteria toda a energia cinética da queda de um deles em energia potencial armazenada no outro e, portanto, ter-se-ia um novo estoque de energia disponível. Nas condições de ausência de atrito este arranjo poderia funcionar se um impulso infinitamente pequeno fosse dado a um dos pesos, e, neste caso, num tempo infinitamente grande, a energia potencial se acumularia no outro. Os pesos iguais representam a situação reversível. O processo poderia se repetir indefinidamente, numa direção e na outra. O senso comum e a experiência nos mostram, entretanto, que não é isto que acontece no mundo real, onde há perdas, há atrito, há dissipação.

No diagrama do meio, um dos pesos foi reduzido a zero. Neste caso o outro peso cai com violência, e toda sua energia potencial se dispersa no choque, pois, como o peso que sobe é zero, a armazenagem é zero. Não há armazenagem de energia potencial para um novo ciclo. O fluxo de potência é muito rápido, e não há energia útil estocada.

Já no diagrama de baixo, há um arranjo intermediário. Um peso é o dôbro do outro. Quando ele cai, a metade de sua energia potencial é armazenada no outro peso, que sobe. Assim, apenas metade da energia potencial do primeiro se perde no choque. Lotka demonstrou que este é o arranjo ótimo para transferir a maior quantidade possível de potência util à taxa mais rápida. Se o peso que representa a carga (onde a energia é armazenada) for maior que a metade do outro, o processo é muito lento. Se for menor, perde-se muita energia na dissipação decorrente do choque do peso com o solo. A curva de Lotka, apresentada abaixo, ilustra a situação.

Sempre que for necessário transferir e, ao mesmo tempo, armazenar a maior quantidade possível de energia à taxa mais rápida possivel, 50% dela devem ser perdidos. Tanto a natureza como a sociedade humana supôem uso e armazenamentos de energia como parte de seu funcionamento normal. Quando o uso máximo e a máxima armazenagem de potência são simultaneamente importantes, isto, segundo Lotka e Odum, é maximizado por um ajustamento das cargas[26]. Odum refere-se à esta situação como sendo expressa pela "lei da energia de Darwin-Lotka" ou "terceiro princípio da energética" (Odum, 1976). Darwin entra na história porque, segundo Lotka (Odum, 1976), a seleção natural obedeceria a este terceiro princípio da energética.

---

26 Referi-me a uso máximo e armazenagem máxima simultaneamente. Se o que interessa é apenas o uso máximo de potência, isto é apenas como usar um explosivo, uma bomba, toda a energia é liberada e, em seguida, se perde. Se o que interessa é apenas armazenamento máximo, num mundo onde há perdas necessárias, nada ocorre. O processo referido no terceiro diagrama refere-se à maximização combinada de uso e armazenamento de energia potencial.

Não se deve, entretanto, confundir esta conceituação de Lotka e Odum com a terceira lei da termodinâmica. Esta última trata de um fato correlato, que decorre do teorema de Carnot, mas situa-se num contexto intelectual diferente: o fato de que no zero absoluto todo o calor pode ser transformado em trabalho. Isto é uma consequência teórica da equação de Carnot, já explicada, $W = \frac{T - T_0}{T} Q$ no Capítulo II. Quando a temperatura da fonte fria é zero, $To = 0$, o numerador da equação torna-se igual ao denominador, e, assim, $W = Q$, isto é todo o calor pode ser transformado em trabalho.

No século passado, Darwin popularizara o conceito de evolução das espécies, através do mecanismo da seleção natural. Logo no início deste século, Lotka indicou que a maximização da potência para propósitos úteis parecia ser o critério da seleção natural. Os organismos evoluiriam no sentido de maximizar o uso de potência, porque aqueles que assim o fizessem teriam vantagens evolutivas. Mas, como se viu, é necessário maximizar o uso de potência, armazenando-a, ao mesmo tempo, para os ciclos seguintes, num processo de uso contínuo de energia. Assim, "a lei evolucionária de Darwin desenvolveu-se em uma lei geral da energia", segundo Odum (op.cit.).

Lotka aplicara a idéia de Boltzmann, derivada da segunda lei da termodinâmica, de que a vida é "uma luta pela energia livre". Segundo ele, a seleção natural tenderia a maximizar o fluxo de energia através dos organismos, tanto quanto isto seja compatível com as restrições a que o sistema está sujeito. Dada a existência de uma infinidade de organismos, que tornam muito amplas as possibilidades evolutivas, a seleção natural operaria no sentido de tornar o fluxo total de energia o maior possível, através do sistema, de forma compatível com as restrições do organismo e do ambiente.

"Lotka percebeu também que, quando a disponibilidade de energia é limitada, as vantagens vão para o organismo mais econômico ou mais eficiente na utilização desta energia para propósitos de manutenção" (Newcombe, op. cit.). Ao enunciar seu princípio de potência máxima, Lotka tinha em vista particularmente comunidades vegetais e animais, mas, segundo Newcombe, a inferência para as sociedades humanas é inevitável, e, no caso das sociedades contemporâneas tornar-se-ia sinistra. Na abundância de energia as sociedades competitivas tentariam abocanhar a maior fatia possível da energia disponível, drenando, para seu próprio uso, os recursos energéticos mundiais. Na escassez tentariam a eficiência energética, protegendo, ao mesmo tempo, seu meio ambiente.

Em ambos os casos os países desenvolvidos levam vantagens evidentes sobre os outros. São mais poderosos para se apossar das maiores fatias de energia, e mais desenvolvidos tecnologicamente para tornar seu uso mais eficiente. Os esforços de crescimento econômico dos países em desenvolvimento, no entanto, fazem com que, atualmente, a maior parte da demanda futura de energia esteja concentrada neles. Por outro lado, os impactos ambientais do crescimento do consumo mundial de energia no meio ambiente global, tais como as mudanças climáticas devidas ao efeito estufa, são preocupantes. Devido a isto, há um interesse mundial crescente na eficientização energética do mundo em desenvolvimento, o que pode atenuar as vantagens dos países ricos, acima mancionadas.

Ao utilizar o adjetivo sinistro, Newcombe, um economista de linha ambientalista do Banco Mundial, talvez tivesse em mente as consequências nefastas decorrentes da competição econômica e militar das grandes potências: o esgotamento das fontes de energia (energia livre), a poluição e o desequilíbrio ambiental decorrentes do uso indiscriminado da energia, ou o controle econômico e militar de fontes escassas. No caso específico das situações de escassez torna-se importante o controle das tecnologias do uso eficiente e a conservação de energia.

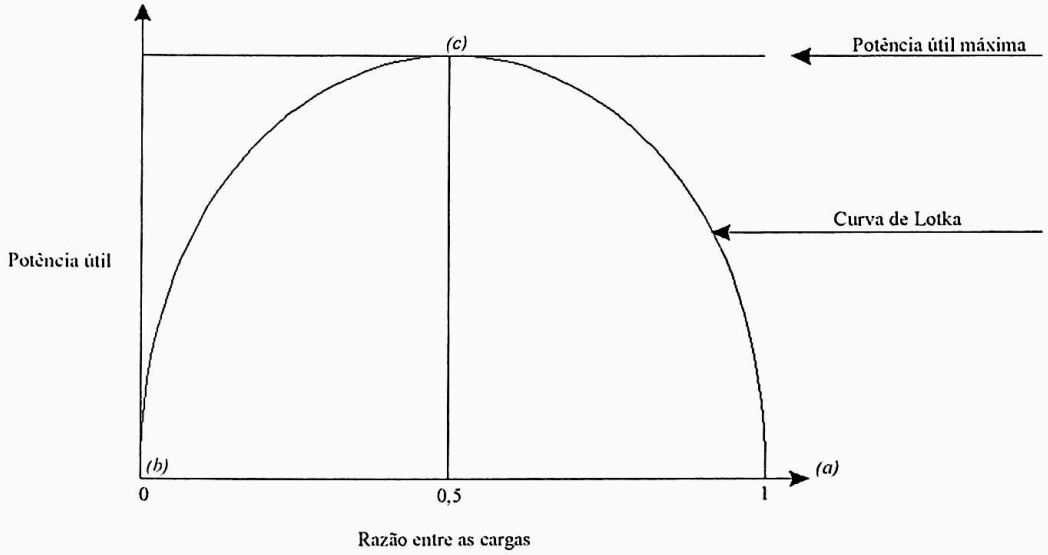
Do ponto de vista das sociedades humanas como um todo, contudo, o uso mais eficiente da energia pode ser aquele que conduza ao máximo equilíbrio ambiental compatível com as aspirações de desenvolvimento dos povos[27]. A partir de um certo nível de desenvolvimento é possível que as maiores taxas de crescimento da economia só sejam obtidas em harmonia com o meio ambiente devido à enorme importância dos fluxos de energia nos sistemas ecológicos para as economias humanas. Isto mostra a extrema atualidade das conjecturas de Lotka.

27 A palavra equilíbrio é usada aqui em seu sentido comum de harmonia e não no sentido termodinâmico do termo.

A Curva de Lotka

Para tornar mais claro o raciocínio de Lotka é interessante mostrar a curva da relação entre os pesos. Se realizarmos um grande número de experimentos variando amplamente a relação entre os pesos colocados nas pontas da corda, pendurados pela roldana, obteremos uma curva, a curva de Lotka, Figura 3.2, que mostra a relação entre a potência útil (a potência usada para realizar trabalho e armazenar energia no peso que sobe) e a razão entre as cargas.

Figura 3.2: A Curva de Lotka



Fonte: Campos Machado, 1987.

Observações:

A curva de Lotka aplica-se a sistemas acoplados. Ela mostra que a potência útil máxima, na transferência de energia acoplada ao armazenamento, obtém-se com rendimento de 50%. Este rendimento corresponde ao caso © da Figura 3.1, e ocorre quando um dos pesos é o dobro do outro. O caso (a), na Figura 3.1, quando os pesos são iguais, corresponde à eficiência máxima. Toda a energia potencial de um dos pesos seria transferida para o outro, mas isto (se

ocorresse) levaria um tempo infinito, pois teria que ser realizado à taxa zero. Por isto a potência útil é zero. O caso (b), ainda na Figura 3.1, ocorre quando um dos pesos é zero, e leva à perda máxima, pois toda a energia potencial do outro peso se perde. A potência útil é também zero, pois não havendo armazenamento de energia, toda ela se perde num ciclo apenas, nada restando do estoque inicial de energia potencial.

Os Fluxos da Energia na Biosfera

Segundo a "*Encyclopaedia Britannica*"[28]: "a vida ocorre na situação de um estado de equilíbrio no qual existe um fluxo de energia do Sol para a Terra e daí para o frio cósmico do espaço exterior"[29]. A energia da radiação solar que atinge diariamente a Terra (associada à energia gravitacional do sistema Terra-Lua e à energia térmica gerada no interior de nosso planeta) constitui a parte mais importante do conjunto de fluxos energéticos responsáveis pelas atividades e pela organização terrestres.

Há outras fontes de energia no cosmos que atingem o planeta: a radiação das estrelas e galáxias e a gravitação universal são exemplos. Há também evidências recentes de calor de atrito gerado no espaço pela colisão entre os astros e a poeira cósmicas, mas, para meus propósitos aqui, tais fontes são irrelevantes. Se considerarmos o uso atual dos combustíveis pela humanidade, teremos ainda uma outra fonte de energia que crescentemente dissipa calor na atmosfera, liberando a energia solar acumulada na biomassa há milhões de anos e estocada na superfície e no interior da crosta terrestre sob a forma de petróleo, carvão, gás natural e da própria biomassa viva. A contribuição da energia da lenha, por exemplo, não é desprezível.

O conjunto destas fontes, mas dentre elas, principalmente a radiação solar, aciona uma série enorme de processos na atmosfera, na superfície e no interior do planeta responsáveis pela vida, pela paisagem natural, pelos ecossistemas, pelas sociedades humanas, em suma pelos processos de organização e desorganização próprios da biosfera. A primeira lei da termodinâmica - a lei de conservação - nos diz que a energia não pode ser criada nem destruída. Assim, a quantidade total de energia que entra no sistema terrestre tem que ser igual à que sai dele (somada à que foi armazenada e subtraída a que foi liberada). Mas a primeira lei nada diz sobre como esta energia é transformada.

---

28 Verbete Biology (Edição de 1984).
29 O equilíbrio a que o verbete da Brittanica se refere é certamente o equilíbio instável da vida na biosfera. A situação de transição da energia do Sol para acionar os processos biogeoquímicos na Terra e daí para calor dissipado no espaço cósmico é um estado tendente ao equilíbrio.

A segunda lei diz que nos processos de conversão termodinâmica há degradação da energia. Ela perde gradativamente sua qualidade em cada conversão. Assim, o fluxo da energia no sistema Terra é unidirecional e irreversível, isto é, a energia entra, participa dos processos que aciona, e termina por se dissipar sob forma de energia de baixa qualidade, calor de baixa temperatura, espalhado no espaço cósmico.

Do conjunto da radiação solar que chega à Terra, uma parte é refletida pela atmosfera de volta para o espaço exterior. Isto faz com que os astronautas possam vê-la como um planeta azul. Outra parte é absorvida pela própria atmosfera que se aquece, contribuindo para acionar os ventos, e uma terceira parte chega à superfície do solo. Uma fração desta última parte atinge as folhas das plantas e as algas no mar, permitindo seu crescimento, manutenção e reprodução. As plantas verdes usam a energia solar para combinar carbono, hidrogênio, oxigênio e outras substâncias extraídas do ar, do solo e da água. Com estas substâncias as plantas constroem a matéria vegetal, isto é, crescem e se reproduzem.

Alimentando-se das plantas, os animais herbívoros apropriam-se, por sua vez, de uma parcela da energia armazenada pelas plantas, e, ao serem eventualmente comidos pelos carnívoros, passam-na adiante. Tanto carnívoros quanto herbívoros, e ainda as plantas, ao fim de algum tempo, devolvem sua energia ao meio, seja sob forma de ação sobre ele, seja através dos resíduos de sua atuação, ao calor dissipado, ao se reproduzirem, ou ao serem digeridos por outros seres - os organismos decompositores - que atuam no fim da cadeia alimentar, transformando a matéria orgânica nos minerais de que inicialmente se compunha. Ao fim do processo, tanto os restos mortais dos animais como os das plantas são pois assimilados pelos organismos decompositores que deles extraem energia, devolvendo ao ambiente (solo, ar e água) os materiais dele retirados pelas plantas.

Agora é mais fácil entender os conceitos mencionados no início deste tópico. A cadeia alimentar é o conjunto de elos, a rede de caminhos através dos quais a energia e os nutrientes circulam entre as espécies num ecossistema. O nível trófico é o nível ocupado por uma determinada espécie na cadeia alimentar: primeiro vem as plantas, depois os herbívoros, os carnívoros, e, por último, os decompositores. Os omnívoros - seres que digerem diferentes espécies de alimentos - como os seres humanos, ocupam um lugar privilegiado na cadeia alimentar, pois obtêm energia em vários níveis tróficos.

Um nicho ecológico é um dado lugar no espaço energético do ecossistema que pode ser ocupado por organismos, pois há nele sobra de nutrientes ou energia, suficiente para ali-

mentar aquela espécie ou conjunto de espécies. É como se fosse um local, ou multiplicidade de locais, similares do ponto de vista energético, onde se pode conectar uma tomada para realizar certas atividades, porque nele a energia está disponível num certo nível de organização.

Por fim a pirâmide de números expressa o fato de que cada nível da cadeia alimentar, das plantas aos carnívoros, permite a vida de um número progressivamente menor de indivíduos, pois cada nível da cadeia alimentar suporta o nível seguinte, através das transferências de energia, nas quais esta progressivamente se degrada. Há, pois enormes "perdas" tanto de energia quanto de energia livre, energia disponível para realização de trabalho, na transferência de um nível a outro.

A cada etapa do processo de transformação na cadeia alimentar, parte da energia se dissipa, enquanto outra parte pode ser concentrada, para ser de novo dissipada na fase seguinte do processo, até que toda a energia de alta qualidade que entrou no início da cadeia de transformações se dissipa sob forma de calor. Enquanto a energia flui unidirecionalmente ao longo de todo o processo, os materiais que dele participam são reciclados, podendo ser utilizados de novo. Neste sentido é possível ver a Terra como um sistema aberto em relação à energia, mas fechado com relação à materiais. Relativamente pouca quantidade de matéria é recebida do espaço exterior, basicamente sob forma de meteoritos, e uma pequena quantidade da atmosfera ou dos dispositivos lançados pelo homem, tais como satélites, perde-se no espaço cósmico. Na realidade, muitos materiais integrantes da biosfera são continuamente reciclados.

De acordo com a segunda lei, repito, em todo processo de conversão termodinâmica, há perdas de energia livre. A energia dita de alta qualidade ou de baixa entropia sofre degradação contínua ao longo de todo o conjunto de transformações de que participa. Esta é a principal razão que conduz ao imperativo energético atribuído a Ostwald. Enquanto o imperativo categórico de Kant, no plano ético, nos sugere realizar a ação moral de tal forma que ela possa se constituir numa máxima universal, o imperativo energético de Ostwald nos insta a usar a energia da forma mais eficiente possível, dado que o estoque de energia de alta qualidade estaria continuamente decaindo no universo. Mesmo que tal formulação não fosse verdadeira numa dimensão cósmica, esta seria, provavelmente, a justificativa mais profunda para a preocupação atual com a conservação dos recursos energéticos da humanidade.

As Eficiências Energéticas na Biosfera

A radiação solar atinge a superfície da Terra em freqüências harmoniosas com as ligações químicas próprias das moléculas orgânicas dos seres vivos. A radiação ultravioleta muito curta, os raios X e os raios gama são destrutivos para estas moléculas. A radiação infravermelha de onda longa é absorvida e dissipada como calor. Mas o ultravioleta próximo e a radiação visível interagem bem com a matéria orgânica, no sentido de estimular a formação de ligações e o arranjo das moléculas orgânicas.

A mais importante reação fotoquímica em nosso planeta é a fotossíntese, a união do dióxido de carbono e da água nas plantas, através da interação da luz solar e das moléculas de clorofila. Neste processo a energia luminosa é absorvida pela clorofila convertendo o dióxido de carbono e a água em carboidratos e oxigênio. Este fenômeno fotoquímico é um processo que ocorre passo a passo, através do qual os eletrons são energizados na molécula de clorofila pelos fotons de luz solar e elevados a níveis maiores de energia, com a formação de carboidratos. No processo, que é bastante complexo, ligações de fosfato, de alta energia, são formadas e resulta o ATP (do inglês Adenosine Tri-Phosphate), o energético básico das células vivas, cuja participação nos processos energéticos dos seres vivos é mencionado adiante. Os produtos finais, nas plantas verdes, são carboidratos e compostos ricos em energia, que se tornam alimentos para os organismos herbívoros e, através deles, para a sucessão de organismos que se alimentam destes últimos.

A intensidade e a composição da luz solar estão sintonizados com a vida. A enorme quantidade de radiação que atinge nosso planeta está desigualmente distribuída. A maior intensidade é encontrada nas regiões desérticas equatoriais e a menor atinge os polos. As regiões temperadas recebem uma quantidade intermediária desta radiação, mas parte dela é recebida no inverno, quando a temperatura baixa não favorece o crescimento das plantas. Quando o inverno intenso alcança a paisagem ártica, há pouca luminosidade e não há crescimento das plantas; só os organismos situados no alto da cadeia alimentar - pássaros e mamíferos - movem-se sobre o solo, graças sobretudo aos armazenamentos de energia que exploram. Nos

trópicos as temperaturas são altas e constantes durante todo o ano; a terra é mais igualmente irradiada durante o ano inteiro, e o crescimento da vegetação é abundante. Conquanto as regiões desérticas equatoriais recebam a maior intensidade de radiação, a falta de água limita a produtividade vegetal.

Só cerca de 25% da radiação solar que atinge o solo está em comprimentos de onda úteis para a fotossíntese e só uma fração desta luz útil está disponível para as plantas verdes. Para se compreender o desempenho da biosfera é necessária uma apreciação da eficiência do processo de produção primária - a produção de matéria vegetal a partir da energia solar e dos nutrientes do solo e do ar. A eficiência da conversão da energia da luz incidente em matéria orgânica raramente chega a 3%; usualmente é de 1% ou menos. Estimativas feitas para um campo de plantação de milho - uma planta relativamente eficiente - indicaram que apenas pouco mais de 1% da luz solar que o atingia terminava como parte do milho, 44% era usada na evaporação da água do solo e das plantas, 54% era refletido ou dissipado como calor e uma fração de 1% consumida pela respiração de plantas e animais no campo.

Nem todos estes processos que acompanham a produtividade primária são irrelevantes. Na verdade eles são necessários para o funcionamento da biosfera, mas somente pouco mais de 1% da energia total termina como material novo na planta. Os animais pastando convertem de 10 a 15% da energia armazenada na matéria vegetal em tecido animal, e o homem, comendo estes animais, converte cerca de 10% da energia armazenada no tecido animal em tecido humano. O processo total de conversão da luz solar para plantas, para animais e para o homem opera com uma eficiência global de cerca de 0,001%.

Os organismos utilizam a energia calorífica tanto quanto a luz. Todas as plantas e animais precisam permanecer num estado razoável de equilíbrio energético. A folha de uma planta tem uma temperatura que depende da temperatura ambiente e da quantidade de radiação absorvida, do fluxo de ar sobre sua superfície, e de sua taxa de transpiração ou troca gasosa. Esta temperatura é de grande importância para a planta, pois todas as reações químicas, incluindo a fotossíntese, são influenciadas pela temperatura.

Os animais de sangue quente permanecem em equilíbrio energético à temperaturas aproximadamente constantes. Eles se movem em seu meio ambiente de tal modo que a quantidade de radiação que absorvem, a quantidade de energia que trocam por aquecimento ou resfriamento por convecção, e a quantidade de energia que consomem pela perda de água na respiração e no resfriamento por evaporação, são tais que sua temperatura varia

dentro de uma faixa estreita. Um animal de sangue frio, por outro lado, tem muito menos controle sobre sua temperatura corporal. Ele, apesar disso, procura a combinação de radiação, temperatura do ar, velocidade do vento e umidade, que resultarão num fluxo energético compatível com seus limites fisiológicos de temperatura corporal.

Há, assim, uma conexão íntima entre condições energéticas e o comportamento animal. Esta conexão afeta grande parte do comportamento animal e, obviamente, afeta seu comportamento de obtenção do alimento que compensa a produção de entropia. Isto significa que parte relevante do comportamento animal (e das sociedades humanas, ver capítulo V) pode se explicar em termos da obtenção de energia e manutenção de equilíbrio energético. Os processos energéticos nos seres vivos em geral são geneticamente determinados, como se verá um pouco adiante. Mas os comportamentos animais ligados à manutenção do equilíbrio energético com o meio e à obtenção da energia para o desenvolvimento e reprodução, tal como a busca de alimentos, são em parte determinados por características genéticas e em parte por fatores ambientais que envolvem aprendizagem. Tanto as características genéticas como a aprendizagem são fenômenos informacionais e isto me leva a tocar brevemente aqui na questão da informação.

Energia e Informação na Biofísica

A biofísica é uma disciplina de interface entre a biologia e a física. Nela, as leis da física são aplicadas ao estudo dos processos biológicos. Um ponto de vista comum na biofísica é o de que todos os sistemas vivos podem ser estudados de dois pontos de vista principais: o energético e o informacional. Farei um breve paralelo com problemas energéticos da sociedade humana para instigar o leitor.

O consumo mundial de energia pela humanidade tem praticamente dobrado a cada 20 anos, causando degradação ambiental crescente. A maior parte deste consumo é baseada no uso de combustíveis fósseis, cuja queima introduz na atmosfera terrestre quantidades crescentes de gás carbônico, e outros gases, responsáveis, segundo a maioria dos cientistas pelo efeito estufa, de consequências ainda imprevisíveis sobre o clima terrestre. Todas as formas de energia comercial acarretam impactos ambientais danosos, mas o uso intensivo de combustíveis fósseis é uma das formas que acarreta maiores danos.

Uma das formas mais convenientes de distribuição e uso da energia nos sistemas sociais é a eletricidade, de alta qualidade, plenamente divisível e pouco poluidora. Contudo, esta energia não pode ainda ser facilmente armazenada em grandes quantidades. Precisa estar sendo constantemente produzida, e sua produção envolve danos ambientais seja nas usinas termoelétricas que queimam combustíveis fósseis, seja nas centrais nucleares que apresentam riscos de contaminação radiativa, seja nas hidrelétricas cujas barragens acarretam danos aos ecossistemas, e também podem contribuir para o aquecimento global porque podem produzir metano, outro dos gases do efeito estufa, além do próprio gás carbônico.

No mundo vivo, onde a energia elétrica tem também um papel importante, especialmente sob a forma de fenômenos eletroquímicos, a energia é armazenada sob forma de compostos químicos. Daí usar-se a expressão energia bioquímica. O uso da energia solar pelas plantas envolve processos químicos complexos. Os músculos dos animais são motores eletroquímicos. A luz, produzida por certos organismos (protozoários, cogumelos, vermes e alguns

peixes) é de origem química. Em cada caso, o processo é bastante eficiente se comparado com as máquinas térmicas.

Atualmente, começa-se a entender estas transformações e o papel nelas desempenhado por compostos orgânicos complexos e pelas membranas celulares. As moléculas vivas são extremamente complexas e relativamente frágeis. Se a reação química é muito violenta, o calor trocado pode danificar ou destruir as estruturas vivas ao invés de mantê-las. Talvez estas limitações possam ser superadas em máquinas à base de energia química, artificialmente produzidas.

O controle destes processos é, portanto, básico e nele a informação pode desempenhar importante papel. Nos processos biológicos, energia e informação podem estar intimamente ligadas. As moléculas complexas do DNA, que contêm a informação genética, por exemplo, governam a síntese do ATP, que controla processos energéticos no organismo. As reações comportamentais ligadas aos processos de manutenção do equilíbrio energético em animais, tais como deslocamentos, atividade, transpiração, alimentação, etc., por outro lado, estão ligadas a sensores que recebem e transportam informação sobre os estados do meio ambiente e do organismo.

Os presentes sistemas econômicos, embora ainda grandemente baseados no uso ineficiente de combustíveis fósseis também têm se apoiado crescentemente no uso do conhecimento e da informação para promover a conservação dos recursos energéticos e aumentar a eficiência na produção, distribuição e uso dos energéticos. Talvez o avanço da informatização das economias, e o melhor conhecimento dos processos biofísicos, sugira rumos mais eficientes e ambientalmente seguros para a utilização da energia nos sistemas sociais.

A Informação nos Seres Vivos

Pode-se conjecturar que "o ser vivo (... ao contrário da máquina, *que pode ser desligada*[30]...), não pode ser dissociado da energia que o alimenta. Cortado de sua fonte, ele perece e morre, enquanto que a máquina pára, esperando para funcionar novamente, logo que for alimentada" (Passet, 1979). É como se na máquina a informação (estrutura) estivesse congelada, podendo ressuscitar assim que a energia é religada, enquanto no ser vivo ela seria mais fluida. Mas, na verdade, há seres vivos que permanecem em estado de latência até serem reativados - como muitas sementes - e máquinas bastante sensíveis à paralisação - como os alto-fornos. Seres vivos e máquinas podem ser altamente sensíveis à informação, como pessoas e computadores exemplificam. Talvez o grau em que energia e informação estejam intimamente conectados num determinado processo é que permita uma diferenciação mais nítida entre seres vivos e máquinas, numa perspectiva biofísica.

Considerem-se alguns exemplos de como o ser vivo estrutura a energia através da informação:

a) organismo submete as substâncias absorvidas do meio a uma intensa atividade química controlada - o metabolismo, ao fim do qual elas se apresentam sob formas assimiláveis. Esta atividade estruturante tem uma importância fundamental, pois o universo é constituído por um número limitado de elementos combinados de diferentes maneiras. É a estrutura, ou seja, o conjunto de relações que os elementos dos diversos sistemas mantêm entre si e com seu meio ambiente que, mais freqüentemente, permite diferenciá-los. É ainda graças à estrutura que o ser vivo se distingue do inanimado: células, por exemplo, têm estrutura bem mais complexa que cristais;

b) código genético assegura a transmissão, através de gerações, da informação hereditária contida na molécula de ADN. Este código pode ser comparado a um alfabeto dotado de quatro letras - os quatro tipos de nucleotídeos que a constituem -

30 O trecho em itálico foi acrescentado por mim à citação de Passet.

cujos diversos arranjos permitem definir a informação bioquímica, que organiza a matéria e determina as características estruturais e metabólicas dos diversos organismos, inclusive o modo pelo qual eles produzirão o ATP, o que determinará sua inserção no sistema ecológico (Luria, 1973), como se verá em seguida.

A atividade estruturante depende de informação, e constitui informação no sentido de "dar uma forma", como a entendia Aristóteles. Seguindo Passet, a qualificarei aqui de "informação-estrutura". O organismo desenvolve suas atividades informacionais em vários níveis, como, por exemplo:

- o código genético;
- o controle dos processos metabólicos;
- o funcionamento do sistema nervoso.

A parte dos processos informacionais controlada pelo sistema nervoso é dotada de dois grandes ciclos de realimentação de informações destinadas a regulá-lo: um interno (homeostasia restrita) e outro externo (homeostasia generalizada). O conjunto das realimentações internas governa as reações internas, cujo objetivo é manter o organismo estável - temperatura central, tensão arterial, quantidades de diferentes substâncias, excreções, etc. Chamamos homeostasia ao jogo dos mecanismos auto-corretores tendentes a trazer cada uma destas variáveis a seus valores "normais", quando elas se afastam destes valores. Para isso, todas as partes dos sistemas envolvidos interagem em função de múltiplas indicações relativas à seus estados e às suas necessidades.

Aqui se está falando do que Passet (op. cit.) denomina de "informação-mensagem", no sentido de Shannon, um dos criadores da teoria da informação. Para Shannon, o recebimento de uma mensagem altera um estado de conhecimento. A quantidade de informação recebida é medida pelo grau em que este estado de conhecimento é alterado.

Esta noção de informação-mensagem usada por Passet (op. cit.) para qualificar a definição de informação de Shannon não é muito precisa. Serve, supostamente, para distinguí-la da informação-estrutura, que corresponde à idéia de organização. Mas, tanto a definição de informação de Shannon quanto a de Wiener, outro dos criadores da teoria da informação, muito próximas, podem ser usadas para definir organização. A quantidade de informação numa mensagem ou numa estrutura é definida por Shannon e Wiener de modo similar (Campos Machado, 1994). Wiener também achava que a quantidade de informação num sistema era proporcional ao seu grau de organização. Apesar disso, decidi usar a classificação de Passet,

apenas por sua utilidade provisória para expressar a distinção que quero explicitar aqui, num nível bastante superficial, entre mensagem e organização[31].

O conjunto das realimentações externas liga o organismo ao meio do qual ele obtém as substâncias necessárias à existência, no qual ele enfrenta perigos, onde encontra companheiros para se reproduzir, onde lança rejeitos da atividade metabólica e onde enfrenta condições climáticas e outras circunstâncias às quais deve se adaptar e que pode contribuir para transformar. Este conjunto de realimentações prolonga sobre o exterior a ação reguladora do ciclo precedente. A sensação de fome deslancha a procura do alimento. A necessidade sexual põe em ação a busca do companheiro e, reciprocamente, o encontro do companheiro desencadeia o processo do amor e do sexo. A variação da temperatura do meio ambiente estimula os mecanismos corretores que alteram funcionamentos e comportamentos, e mantêm a temperatura interna. Circulam simultaneamente múltiplas mensagens.

A informação circula apoiada em processos energéticos, os processos energéticos podem ser desencadeados por gatilhos informacionais e são controlados por transmissão de informações. Partes destes conjunto energético-informacional são conscientes: animais vêem a luz, ouvem o som, sentem o cheiro, experienciam o tato, etc. Outras partes situam-se num nível inconsciente, mas é possível imaginar possibilidades de expansão da consciência que trariam para ela aspectos dos processos inconscientes. Em ambos os casos, no entanto, energia e informação acham-se inextricavelmente ligados.

Os organismos, já o vimos, são sistemas abertos que mantêm seu equilíbrio (ou estabilidade) e podem mesmo evoluir rumo a estados de maior complexidade (aumento da informação-estrutura ou do grau de organização) graças à troca incessante de informação e energia com o meio ambiente (do qual fazem parte os outros organismos). "Se compreendemos que todo organismo, para sobreviver, deve não somente procurar as substâncias necessárias a seu metabolismo, mas também uma boa informação sobre o mundo em torno, veremos que comunicação e existência são conceitos inseparáveis. Subjetivamente o meio é vivido como um conjunto de instruções concernentes à existência do organismo" (Waslawick, citado por Passet, op. cit.). Numa tese de doutoramento (Campos Machado, 1994) focalizei mais detalhadamente a relação entre energia e informação na natureza e nas sociedades humanas. Por ora volto à energia.

---

31 Para uma discussão mais ampla do conceito de informação ver Campos Machado (1994).

Os processos Energéticos nos Organismos Vivos[32]

A forma mais conhecida pela qual muitos seres vivos usam a energia é realizando trabalho mecânico com seus músculos. No entanto, a maior parte da energia usada pelos organismos é "gasta" para realizar sínteses químicas, isto é, para fabricar os materiais de que o organismo é feito e que ele consome. "Quando uma célula usa uma mistura de cerca de vinte diferentes aminoácidos para sintetizar todas as proteínas de que necessita, ou uma mistura de moléculas precursoras para fazer ácidos nucleicos, ou de açúcares para obter polímeros, etc., ela os junta em cadeias, removendo uma molécula de água para cada unidade que acrescentar à cadeia" .. "O processo de junção requer energia. Se um grama de proteína é queimado, ele libera mais calor do que a queima de uma quantidade equivalente da mistura correspondente de aminoácidos. Isto significa que o polímero armazenou energia em suas ligações químicas; esta energia da biossíntese tem que ter vindo de algum lugar" (Luria, op. cit.).

As reações químicas tendem a operar na direção que reduz a quantidade total de energia disponível (energia livre), isto é, na direção do aumento da entropia. Seguindo ainda Luria, "as proteínas, portanto, deveriam quebrar-se em aminoácidos, e não o contrário. De fato é isto que ocorre. Se aminoácidos são colocados juntos, eles não se combinam para fazer proteínas. Já proteínas deixadas na água têm a tendência de originar aminoácidos. Isto, entretanto, acontece muito vagarosamente, tanto no tubo de ensaio, como nas células vivas. O bioquímico que trabalha com proteínas reduz a taxa de quebra congelando-as. Dado que as células não podem fazer isto, elas perdem pequenas percentagens de suas moléculas proteicas a cada dia".

É compreensível que, para montar grandes moléculas a partir de outras menores, se exija energia. A lei da entropia postula que as mudanças em um sistema tendem a aumentar a desordem do mesmo. Isto não ocorre sempre. Vimos que a entropia pode permanecer constante nas transformações reversíveis num sistema fechado ou até diminuir pela importação de baixa entropia em sistemas abertos. No caso que focalizo aqui, "o aumento da temperatura

32 Neste tópico sigo, quase textualmente, o trabalho de Luria (1973).

aumenta a desordem porque as moléculas agitam-se mais velozmente. A síntese de um polímero a partir de seus componentes representa um aumento local da ordem, que, portanto, necessita ser compensado por um aumento maior da desordem em qualquer outro local. O aumento global da desordem significa que parte da energia foi dissipada. Em moléculas como as proteínas e ácidos nucleicos, cuja seqüência de unidades é ditada por outra molécula atuando como "padrão", este padrão fornece parte da ordem obtida na síntese. Mas o padrão influencia apenas a seqüência específica de unidades e não o processo de juntá-las" (Luria, op.cit.). Este padrão pode ser visto como a informação que controla o processo, mas ele é apenas um fator.

A maior parte do aumento da ordem reside no fato de que os monômeros juntados não são tão livres para se mover, como eram quando não estavam combinados. Tanto energia de ligação como ordem são obtidas na polimerização. Os ganhos em energia provêm da energia química dos alimentos. Excetuada a energia da luz solar capturada pelas plantas, a energia química é praticamente a única forma de energia de que os organismos podem fazer uso. "O processo, em essência, é simples. A energia armazenada nas ligações químicas de uma molécula, como a do açúcar, por exemplo, é convertida, por uma série de reações químicas, em energia armazenada nas ligações das novas moléculas e polímeros obtidos nas células. Não com eficiência de 100%, de fato, mas com uma eficiência que se aproxima de 50%, maior portanto do que a da maioria das máquinas"[33]. Como em todas as máquinas, o resto da energia é dissipado sob forma de calor" (Luria, op. cit.). É interessante notar que a eficiência de aproximadamente 50% neste processo corresponde ao ponto ótimo da curva de Lotka.

Um exemplo sugerido por Luria ajudará a entender o processo. Os aminoácidos X, Y, Z, por si, não podem se combinar espontaneamente para gerar uma proteína, porque a reação $X + Y + Z \rightarrow XYZ$ requer energia. Eles precisam antes ser convertidos para uma forma química, tal como Xa, Ya, Za, para que a reação $Xa + Ya + Za \ldots \rightarrow XYZ \ldots + 3a$ possa liberar energia. Uma reação que libera energia, já o vimos, pode ocorrer espontaneamente; por este caminho a proteína XYZ poderá ser sintetizada. Mas, a energia liberada nesta síntese deve vir antes de algum lugar; ela vem da energia, obtida de nutrientes, dispendida nas reações que converteram X, Y, Z em Xa, Ya e Za (Luria, op.cit.).

33 Curiosamente, se pensarmos no princípio de Lotka, as células, com rendimento em torno de 50%, poderiam estar utilizando potência máxima no processo, se o estivessem, ao mesmo tempo, realizando com vistas a armazenar energia para processos futuros .

Xa representa a forma ativada de X. Esta forma é ativada através de uma série de reações químicas, das quais a reação crucial envolve a transferência para X de uma parte de uma molécula de tipo especial, uma molécula de alta energia ou, dito de modo mais preciso, uma molécula com alta tendência a doar alguns de seus átomos para outras moléculas. Existem várias moléculas deste tipo na estrutura química da célula viva, mas uma delas, chamada Trifosfato de Adenosina, em inglês ATP, é a básica. "A molécula de ATP pode agir como doadora de um grupo fosfato ou da porção contendo adenosina. Sempre que a ativação de moléculas é necessária para fazê-las participar em reações de síntese ou outras conversões químicas, o passo crítico é a reação com ATP. Este ATP é continuamente produzido e continuamente usado para ativar a maquinaria química das células. Ele é produzido às custas da energia dos alimentos, vinda de fora do organismo, como o açúcar de um suco de laranja ou da energia armazenada nas células, como gordura ou açúcar polimerizado. O ATP estoca esta energia e a libera reagindo com outras substâncias e tornando suas moléculas, por seu turno, mais reativas. O ATP é a verdadeira moeda corrente energética das células" (Luria, op. cit.).

A maneira como o ATP é produzido a partir dos alimentos varia. Os vários métodos que os organismos usam para produzir ATP ditam não somente seus processos químicos, mas todo o seu modo de vida. O ATP dita o destino biológico dos organismos vivos. Nas bactérias, o modo como o ATP é produzido determina se o organismo viverá no solo, no leite ou nos intestinos de um animal de sangue quente. Entre os animais, a produção de ATP exige coordenação específica entre a circulação do sangue e o acesso ao oxigênio. Nas plantas, ele implica a especialização de algumas células para a captação da energia solar necessária para alimentar as outras celulas do organismo. "Nada contribui mais para o destino ecológico dos organismos que seus modos especializados de obtenção de energia" (Luria, op. cit.).

Em todo o mundo vivo, existem apenas dois grandes processos pelos quais a energia química é liberada e tornada disponível: "fermentação" e "respiração". Quando o levêdo usa açúcar para fazer álcool e dióxido de carbono, isto é chamado fermentação. Na fermentação os eletrons são desviados e no processo cerca de um vigésimo da energia das moléculas do açúcar é liberada: metade disto vira calor. Por isso a fermentação precisa ser refrigerada: a outra metade torna-se disponível como ATP, duas moléculas dele para cada molécula de açúcar consumido.

As células de levêdo vivo podem usar este ATP para produzir mais material celular se todas as outras substâncias alimentares estiverem presentes. Num suco de frutas existe muito pou-

co destes outros alimentos para permitir ao levêdo crescer, mas grandes quantidades de álcool e dióxido de carbono acumulam-se com a fermentação. O ATP perde-se e esta parte da energia transforma-se em calor. Uma fermentação industrial, tal como a produção de vinho, coleta aquilo que para as células de levêdo é um rejeito - o álcool.

O que ocorre com o levêdo ocorre também em outras células. As fibras musculares necessitam de ATP para se contraírem e, usualmente, obtém-no fermentando açúcar armazenado. No processo produzem ácido lático, a mesma substância que aparece no leite quando as bactérias se reproduzem nele, fermentando seu açúcar. O ácido lático, uma espécie de rejeito, é retirado do músculo para o sangue, que o carrega para o fígado para ser eliminado. O fígado é um órgão importante no processo de regeneração energética do organismo. À título de ilustração, lembremo-nos que, já o mito de Prometeu insinuava este fato, quando asseverava que o abutre comia o fígado do herói, mas este órgão sempre se recompunha, mantendo Prometeu vivo. Se, em exercício intenso, o ácido lático é produzido mais rapidamente do que é retirado, o músculo se fatiga e as câimbras aparecem.

A fermentação, todavia, não é um processo eficiente. Quando o levêdo ou o músculo terminam a fermentação do açúcar, existe ainda energia química abundante, inutilizada. É aí que a respiração intervém. A respiração usa oxigênio para oxidar muitas substâncias químicas de modo mais completo, transferindo seus elétrons para o oxigênio para produzir dióxido de carbono e água. Neste processo muito mais ATP é produzido; cerca de 40 moléculas de ATP para cada uma de açúcar ao invés de 2 como na fermentação.

Quimicamente o processo global de conversão, digamos, do açúcar para dióxido de carbono e água é o mesmo que quando queimamos o açúcar numa chama. Mas nas células vivas este processo ocorre à temperatura normal, de uma forma controlada, os elétrons sendo transportados através de uma série ordenada de reações, antes de encontrarem o oxigênio, e estas reações geram grandes quantidades de ATP. Os músculos que requerem enorme quantidade de ATP para trabalho árduo, tais como os músculos de vôo de insetos e pássaros, não fermentam o açúcar; eles usam o oxigênio do sangue para oxidar completamente este açúcar. A fermentação seria bastante ineficiente para suas necessidades.

"A palavra respiração é usada pelos bioquímicos num sentido diferente do sentido comum. Ao invés de significar a troca de oxigênio e dióxido de carbono entre o sangue e o ar, dentro dos pulmões, respiração em sentido biológico significa a oxidação de um composto químico por meio do oxigênio. Em todas as oxidações existe liberação de energia e a utilidade

disto para a vida depende de quanto desta energia é aprisionada nas moléculas de ATP e tornada disponível para uso químico" (Luria, op. cit.).

Vale a pena continuar a citar Luria textualmente pela concisão de seu estilo. "A respiração bioquímica nas células das plantas e animais possui uma outra característica: suas enzimas estão concentradas em partículas celulares denominadas mitocôndrias, que são as "usinas de força" da célula. O ATP produzido nas mitocôndrias é liberado para o resto da célula, para todo tipo de usos. Presumivelmente a respiração com oxigênio atmosférico foi "inventada" primeiro pelas bactérias - a maior parte delas ainda a utiliza - e algumas destas bactérias contribuem com ela para as outras depois de serem ingeridas por elas. Tais células só puderam organizar-se para formar seres complexos, multicelulares, quando o sangue e sua circulação se desenvolveram para trazer oxigênio a cada parte do corpo".

A respiração, em qualquer escala em que a consideremos, deve ser uma invenção relativamente recente. A superfície primitiva da Terra, bastante depois do surgimento da vida, consistia basicamente de metais e rochas, mas devem ter estado presentes nela também grandes quantidades de matéria orgânica. Alguns experimentos mostraram que muitos compostos orgânicos podem ser produzidos a partir de substâncias simples, expondo-as à radiação ou à descargas elétricas, tais como as que certamente ocorreram nos estágios primitivos do nosso planêta. Mais importante ainda: não havia oxigênio livre. "Quando os primeiros organismos evoluíram, portanto, a fermentação deve ter sido o único mecanismo de fornecimento de energia disponível para eles" (Luria, op.cit.).

Acredita-se que quando o estoque de compostos fermentáveis de carbono exauriu-se na terra por causa da expansão da vida primitiva, o dióxido de carbono acumulou-se na atmosfera. Então, uma nova forma de obtenção de energia pode se desenvolver: a fotossíntese, isto é a captação da luz do Sol e a utilização de sua energia para produzir o ATP. Este ATP foi então usado para energizar uma serie de reações que capturam o dióxido de carbono, e assim trouxeram de volta os átomos de carbono de atmosfera para o ciclo da vida dos organismos (Luria, op.cit.).

Inicialmente a fotossíntese era prerrogativa de poucas espécies de bactérias. Mas um segundo desenvolvimento seguiu-se, provavelmente centenas de milhões de anos depois; a forma especial de fotossíntese que ocorre atualmente nas plantas verdes, tanto em terra como nas águas. A peculiaridade desta forma de fotossíntese é que enquanto ela captura dióxido de carbono libera oxigênio. O advento deste processo gerou o oxigênio, hoje presente na atmos-

fera, e mudou radicalmente o curso da vida na terra. Tornando a respiração possível, o oxigênio aumentou enormemente a quantidade de energia utilizável que os organismos podem extrair dos alimentos orgânicos. As plantas, por meio da fotossíntese, absorvem o dióxido de carbono e produzem as substâncias orgânicas que servem de alimento para todos os animais[34]. Ao mesmo tempo, fornecem o oxigênio necessário para a mais plena utilização da energia dos nutrientes através da respiração.

Em resumo: a fermentação deve ter aparecido em primeiro lugar. Então, por uma mudança na química da fermentação, algumas bactérias ou organismos assemelhados a bactérias começaram a produzir matéria orgânica - ou seja, substância celular - capturando dióxido de carbono, enquanto usavam a energia de uma variedade de compostos químicos. Em seguida, alguns destes organismos aprenderam (ou inventaram) o truque de usar a energia do Sol. A partir destes, desenvolveram-se os organismos fotossintéticos que liberam oxigênio. Estes, por sua vez, tornaram a respiração possível.

Mas se a fotossíntese e a respiração são tão eficientes na captação da energia solar para transformá-la em matéria orgânica e dela retirar um máximo de energia utilizável, porque outros modos de obtenção de energia, como a fermentação persistiram? A resposta, segundo Luria, não é simples. E como é usual em questões relacionadas à evolução, está sujeita a muita especulação. Mas, ao menos um aspecto disso é relevante para o papel atual dos processos biológicos: o funcionamento da fermentação no decaimento (deterioração) dos organismos. Organismos mortos ou partes de organismos, tal como as folhas das plantas, são continuamente depositados no solo ou na água. Aí eles se tornam uma presa para microorganismos, que os decompõem e os usam como alimento; são os decompositores, devolvendo ao solo e à água os rejeitos de sua atividade, completando um ciclo da natureza, até que por fim toda a matéria orgânica é convertida em substâncias novamente utilizáveis.

Alguns destes processos são acionados por micróbios que usam ar, mas é igualmente importante o trabalho dos organismos fermentativos, operando onde o oxigênio não alcança - nos intestinos dos animais, em tanques sépticos, em pântanos lodosos ou no solo não arado. A fermentação acontecendo nestes locais é uma parte essencial dos ciclos "biogeoquímicos", dos quais depende o êxito da vida na Terra. Uma situação similar existe no corpo humano. Por meio da fermentação, as células dos músculos e de outros órgãos, escondidos no interior do

34 Há, no fim deste capítulo, uma nota sobre a descoberta de uma possível exceção à esta regra.

corpo e dependentes do oxigênio do sangue, podem reter uma certa dose de independência energética em relação à presença de oxigênio, ao menos para trabalho de rotina, estocando um suprimento de açúcar fermentável.

"O oportunismo da seleção natural - atuando como processo evolutivo - parece ter preservado aquilo que provou ser consistentemente útil para a vida. Assim como é errado ver a evolução como um processo no qual os organismos "mais fortes" sobrevivem e os "mais fracos" perecem, não existe razão para acreditar que a seleção natural, tendo encontrado um esquema mais efetivo de mobilizar energia para os processos da vida, iria descartar todos os processos menos eficientes[35]. Na evolução, como nos negócios humanos, certamente a maior sabedoria está em preservar um balanço de formas mutuamente complementares de realizar uma tarefa" (Luria op. cit.).

A eficiência dos processos fermentativos, em torno de 50%, evoca a curva de Lotka. A maior eficiência da respiração, propiciando um rendimento acima dos 50%, liberaria maior energia, mas tenderia a baixar a potência máxima útil quando se tenta simultaneamente também armazenar energia potencial. O acoplamento fermentação-respiração parece de novo nos conduzir à sabedoria evolutiva do equilíbrio entre o máximo aproveitamento de potência disponível, ao mesmo tempo armazenando energia para processos posteriores. Isto é apenas uma conjectura, e foge à minha área de competência, mas vale a pena deixar o princípio de Lotka sob a luz dos refletores. Em algum momento ele pode voltar à cena.

Saltando, por um momento, da biologia para as questões sócio-culturais, deixo uma pergunta no ar. Até que ponto nos assuntos energéticos humanos em geral, e no planejamento energético em particular, estaríamos pondo em prática a sabedoria natural de manter sistemas energéticos que mutuamente se reforçam e, ao mesmo tempo, mantêm certa autonomia? Até que ponto estar-se-ia criando sistemas energéticos tão fortemente centralizados ou concentrados em poucas fontes, em nome de uma eficiência restrita, que se tornam incapazes de preservar os armazenamentos naturais e frágeis frente à mudanças inesperadas? Volto a estas questões no capítulo final.

---

35 O descarte de processos menos eficientes tende a ocorrer quando há competição. Isto não contradiz, entretanto, a afirmação acima pois o acoplamento de um processo mais eficiente com um menos eficiente pode resultar numa vantagem evolutiva.

Os Ciclos Biogeoquímicos

Toda a vida na Terra depende da reciclagem da matéria (nutrientes e água) e do fluxo unidirecional da energia. Nenhum organismo pode crescer, se propagar, e continuar sua espécie, por milhões de gerações, sem recuperar os elementos que a suportam. Assim como o nascimento e o crescimento, a morte e o decaimento são também regras na paisagem viva. Mesmo o mundo puramente físico tem seus processos cíclicos de evaporação e condensação de água e de formação e erosão de rochas.

Em contraste com o fluxo unidirecional da energia através dos ecossistemas, pelo qual a luz solar é absorvida pelas plantas e o calor é emitido para o espaço, em cada conversão de energia do "comido" para o "comedor" qualquer entidade viva e muitas entidades não vivas emergem na superfície da Terra, e na vida, somente para retornar a seu ponto de origem em uma forma ou outra. Tal movimento é chamado um ciclo biogeoquímico, em referência às fases biológicas e geológicas das substâncias químicas, impelidas pela energia do Sol. Os principais ciclos biogeoquímicos são o ciclo da água, do carbono, do oxigênio e do nitrogênio. Embora tais ciclos estejam intimamente ligados aos processos energéticos da biosfera, sua consideração detalhada foge aos objetivos deste livro. Aqui eles serão focalizados apenas em seus aspectos mais gerais, relacionados à participação da energia na organização da biosfera.

A Organização da Superfície da Terra

Situações paralelas e um tanto similares em sua estrutura geral, nas quais a energia flui unidirecionalmente enquanto os materiais são reciclados, ocorrem no ciclo da água, no ciclo do carbono, do oxigênio e do nitrogênio. Tais ciclos interagem na forma de uma organização extremamente complexa e dinâmica, da qual os seres vivos, em seu conjunto, participam diretamente. Interagem também com os processos geomorfológicos, de formação e destruição do relêvo da Terra, e com os processos climáticos, formando uma teia de interações em relativo equilíbrio. É quase fantástico que tantos e tão complexos processos pareçam se harmonizar tão delicadamente. Este é o quadro em que se desenvolve a existência humana no planêta. É a ele que se acrescentam os processos energéticos desencadeados pela humanidade.

A formulação "local" (e não necessariamente universal) contemporânea da segunda lei da termodinâmica reconhece que todo processo no mundo material possui uma tendência interna para a desorganização à nível molecular. Esta é uma maneira de se referir às perdas por energia dissipada sob forma de calor, que se originou da mecânica estatística. Tal desorganização ou estado de desordem é medido pela entropia. "Um ponto de vista alternativo sugere que a entropia, na verdade, mede nossa falta de informação acerca da configuração molecular detalhada de um sistema, causada pela tendência randomizadora universal" (Morowitz, 1981).

Se os fatores conducentes à entropia fossem os únicos operantes na Terra, a superfície do planeta já teria, há muito, se decomposto num estado uniforme, desinteressante e homogeneizado. Mas "existe outro princípio, que do nosso ponto de vista é menos bem compreendido, o qual indica que o trabalho pode agir contra a desorganização e causar a organização dos sistemas" (Morowitz, op. cit.). A segunda lei, no entanto, não cessa de operar e, deste modo, a ordenação de qualquer sistema permanece precária. É necessário desempenhar um trabalho constante para manter e permitir transformar a organização de um sistema.

A organização atualmente existente na superfície da Terra divide-se em dois tipos, segundo Morowitz: geológica e biológica. A estes acrescento um terceiro tipo referente à organização sócio-cultural. O trabalho necessário para desenvolver os dois primeiros tipos de organi-

zação proveio da energia gravitacional original de nosso sistema solar, seja diretamente na formação do planeta, seja indiretamente no fluxo da energia solar, que tem entre suas causas a contração gravitacional do sol, parcialmente responsável pela fusão nuclear que origina a a radiação solar. Sob influência da contração gravitacional do sol átomos leves de hidrogênio fundem-se, dando origem a átomos mais pesados. No processo há perda de massa, transformada em energia.

Na Terra, "processos geofísicos, tais como os fluxos vulcânicos ou a formação metamórfica de rochas, levam à produção de tipos distintos de crosta, que variam na sua composição química. Os processos biológicos são produzidos pela fotossíntese e conduziram a recifes de coral, depósitos de calcáreo, de enxôfre, combustíveis derivados de fósseis e uma grande variedade de outras estruturas. Tais fenômenos estão ocorrendo há muito tempo e levaram à organização que observamos atualmente em nosso planêta" (Morowitz, op.cit.).

Ao longo de todo este tempo, os processos ocorreram de tal maneira que a organização, impulsionada pelo trabalho, manteve um ligeiro predomínio sobre os fatores devidos à entropia. A Terra passou de um estado menos ordenado para um estado mais ordenado, como se ela fosse um sistema vivo aumentando seu grau de organização às custas de dissipação de energia no sistema mais amplo. A entropia do universo ou, dito de forma mais restrita, a entropia do sistema solar ainda aumenta, com a dissipação da energia do Sol e a perda do potencial gravitacional do planeta em contração. Mas, no processo, ordem local é gerada. A Terra consegue extrair ordem desta tendência geral à desordem, chegando a graus mais altos de organização.

A organização em biologia, prossegue Morowitz, "está basicamente enraizada em fatores ligados à entropia" (op. cit.). Na verdade, e Odum (1968, 1971) demonstrou isto à exaustão, todo o fluxo de potência (energia dividida por tempo) nos seres vivos depende diretamente da tendência ao aumento da entropia, que define a própria direção do fluxo da energia. Este fato foi claramente expressado por Boltzmann: "a luta geral dos seres vivos não é portanto uma luta nem por materiais nem por energia... mas uma luta pela baixa entropia..." (1866).

"O que Boltzmann chamou de luta pela baixa entropia, interpretaríamos agora como a luta pela organização contra tendências entrópicas. Oitenta anos mais tarde, outro físico, Schrödinger (1994), já o referimos, reiterava a afirmação de Boltzmann com a expressão poética

de que os organismos vivem porque ingerem negentropia[36] (entropia negativa). O que está implícito é que os organismos atingem a ordem possível, através do fluxo de energia solar. Esta luta local contra a entropia vem ocorrendo na superfície deste planeta por mais de quatro bilhões de anos" (Morowitz, op.cit.). É este grau de organização que se expressa no estado atual de funcionamento dos sistemas ecológicos e das sociedades humanas.

Segundo Morowitz (op. cit.) "a humanidade encontra-se desde o início da revolução industrial num acesso de entropia, misturando recursos preciosos, que haviam sido ordenados durante o longo e distante passado. Combustíveis originados de fósseis cuidadosamente separados, como carvão e petróleo, foram queimados, transformando-se de novo em dióxido de carbono e água, e misturados à atmosfera e aos mares. Óxidos de metal foram retirados de seus veios, reduzidos a metais puros (uma diminuição da entropia), que, então foram (e são) espalhados sobre a superfície da terra e reoxidados de volta ao estado inicial. A entropia resultante da queima de combustíveis, com o intuito de reduzir os óxidos (minérios), foi acrescentada à entropia resultante da dispersão dos metais, retirados das áreas de alta concentração nas quais foram achados".

"Enxôfre foi retirado dos depósitos construídos por incontáveis bilhões de bactérias, ou das áreas onde havia se cristalizado, a partir de fusões vulcânicas. Estes cristais puros foram incorporados a centenas de compostos industrialmente importantes, que terminaram nos rios, nos oceanos e na atmosfera. De novo uma mistura de componentes organizados leva-nos a um aumento de entropia"..."A lei da conservação da matéria assegura-nos que não há consumo líquido dos átomos preciosos de todas as raras substâncias químicas das quais temos necessidade. Entretanto, de acordo com a termodinâmica, quanto mais amplamente são dispersados os materiais, maior a energia que deve ser dispendida para recuperá-los. Sistemas de alta entropia exigem grandes quantidades de trabalho para voltar a um estado ordenado" (Morowitz, op,cit.).

O que Morowitz deixa de lado nesta preocupante visão da situação atual da biosfera é que na passagem da relativa organização do ponto de vista dos sistemas naturais para esta degradação entrópica causada pela ação humana foi construída uma civilização, que representa também um fator de ordenação da superfície do planeta. Cidades, estradas, usinas, portos, fábricas e fazendas constituem também um elemento de ordenação e diferenciação

36 Morowitz, transcrevendo Boltzmann usou o termo "exentropia". Preferi usar o termo negentropia, algumas vezes traduzido para o francês e o português como neguentropia, para não confundir o leitor com mais um conceito, no caso desnecessário.

da paisagem terrestre. Em grande parte, tal como as plantas e outros seres vivos, os seres humanos também geraram organização a partir do processo de degradação entrópica do Sol, cuja energia veio a permitir o desenvolvimento da agricultura e o aproveitamento das florestas e dos pesqueiros.

O argumento de Morowitz tem mais força no que se refere ao estado atual de sociedades cuja maior fonte de energia sejam os combustíveis fósseis e cujo funcionamento introduza danos irremediáveis à organização ecológica sobre a qual a própria vida social se apoia. Mas mesmo a participação dos combustíveis fósseis ainda representa parcela pequena dos fluxos totais de energia que interferem no funcionamento da biosfera. Além disso, não é possível ignorar o elemento de organização representado pela cultura da humanidade como um todo, nem o fato de que a humanidade, consciente de seu papel entrópico, possa buscar formas de desenvolvimento mais adequadas à preservação do ligeiro predomínio da organização sobre a desordem na superfície da Terra.

A atividade humana é transformadora da paisagem. Mesmo antes da fase industrial ela já tendia a reduzir a diversidade dos ecossistemas, eliminando plantas e animais cuja extinção veio a causar. Esta diversidade, no entanto, apesar de ser um provável fator da estabilidade dos ecossistemas, foi e ainda é compensada, ao menos parcialmente, pela diversidade e complexidade inerentes às estruturas sociais e econômicas desenvolvidas às custas do processamento dos recursos naturais. A presente organização da superfície da Terra deve ser focalizada como sendo natural-cultural e não apenas natural. O que está em questão é se a atividade humana se dá em horizontes sustentáveis, nesta luta contínua por energia livre (e materiais organizados), ou se está destinada a aparecer como efêmera chama de ordem num mundo destinado à desordem que ela própria acelera. Estes são os problemas que retomarei nos capítulos seguintes e que, embora não tenha a pretensão de resolver, pretendo discutir.

Apêndice : Vida Independente do Sol – a Energia das Profundezas

Recentemente uma exploração submarina a 2400m de profundidade no oceano Pacífico apoiou uma teoria de que nem todas as formas evoluídas de vida dependem da luz do Sol. Foram encontrados organismos marinhos que produzem seus próprios compostos orgânicos complexos, a matéria molecular altamente organizada, essencial para a vida, sem ajuda da luz solar. Estes organismos parecem usar o calor do centro da Terra e compostos de enxofre como fonte básica de energia.

"Os cientistas pensavam que todos os animais estavam ligados à superfície", comentou Kenneth Johnson da Universidade da California. Julgava-se que mesmo os seres abissais dependiam de detritos orgânicos gerados na superfície banhada pela radiação solar. "Não se imaginava que uma comunidade de seres com base química (independente) pudesse existir entre forma elevadas de vida, sem depender da fotossíntese".

O Sol, ativando a fotossíntese nas plantas verdes (incluindo as algas marinhas), produz os compostos orgânicos a partir dos quais, pensava-se, todas as formas complexas de vida (excetuadas algumas bactérias fermentativas) produzem proteínas. Depois da descoberta, em 1977, de formas abundantes de vida, nas proximidades das ilhas Galápagos, a milhares de metros de profundidade, os cientistas passaram a se perguntar como esses numerosos seres complexos poderiam viver na ausência completa de luz, na escuridão eterna do fundo dos oceanos. Antes supunha-se que os seres abissais nutriam-se da matéria orgânica em decomposição que se depositava no fundo do mar. Mas a equipe de pesquisadores encontrou comunidades de vermes, caranguejos, ostras e mexilhões associados com um tipo de bactéria, que se aglomera em torno de fendas, ricas em minerais, no fundo do oceano.

"Tais animais estão vivendo da energia química proveniente do centro da terra", explicou Johnson. "Estas fendas são conhecidas como fumarolas hidrotérmicas e são aberturas vulcânicas de onde brotam gases como o sulfato de hidrogênio e compostos de enxofre, provenientes do magma do interior da Terra, junto com calor". As bactérias combinam o sulfato com o oxigênio da água do mar, produzindo sulfetos e liberando energia. Os animais são aparente-

mente inoculados com estas bactérias, de um modo ainda não compreendido e, através deste relacionamento, são capazes de fabricar os aminoácidos necessários à montagem das proteínas[37].

37 Notícia publicada no "Jornal do Brasil" de 13/08/86 à p.16.

Notas Bibliográficas

1. Morowitz, H. J., 1979 - Sobre a relação entre a entropia e a organização atual da superfície da Terra, ver pp. 30-32; para a citação completa da famosa frase de Boltzmann, "a vida é uma luta pela energia livre...", ver pp. 31-32.
2. Bertalanffy, L. V., 1950 - Sobre a teoria dos sistemas abertos, ver pp. 23-29.
3. Odum, H. T., 1971 - Sobre a curva de Lotka, ver pp. 30-32; ver também Odum, H. T., 1976, sobre o chamado terceiro princípio da energética (Princípio de Darwin - Lotka), pp. 39-40.
4. Newcombe, K., 1976 - Sobre a relação entre entropia e vida, ver pp. 23-25; sobre Lotka, ver pp. 40-41; sobre fluxos de energia em sistemas ecológicos, ver pp. 42-44.
5. Luria, S.E., 1973 - Sobre os processos energéticos nos seres vivos, ver o capítulo "Energy", pp. 75-85.Passet, R., 1979 - Sobre as relações entre vida, energia e informação, ver pp. 97-106.
6. Amabis et alii - Sobre os fluxos da energia nos ecossistemas, ver Vol.III, pp. 202-206; sobre o ciclo dos materiais na biosfera, ver pp. 207-213.
7. As contribuições de Lotka mencionadas neste capítulo estão nos seus trabalhos de 1922 e 1925.

CAPÍTULO IV

A ENERGIA NA PSICOLOGIA

Introdução

A idéia de energia na psicologia e, por extensão, na psicanálise suscita a difícil questão da natureza da energia psíquica. A colocação do tema, nesta posição no livro, entre o estudo da energia na biologia e na ecologia e a análise da energia nas ciências sociais, envolveu uma dificuldade já referida no roteiro da exposição. O capítulo anterior (capítulo III) levaria a enfocar a energia humana sob o ponto de vista da biologia, pois o organismo humano é um organismo animal. O capítulo seguinte a este permitirá analisar a energia - incluindo a energia humana - em sua dimensão social e cultural. Ora, é razoável conceber a energia chamada psíquica (mental) como algo que encontra plena explicitação na interação do indivíduo biológico (animal) com o ser social (pessoa). Na verdade, a energia psíquica, se é que o termo faz sentido, existe também no reino biológico em geral, pois, entre os seres vivos, sabemos que pelo menos os animais sonham, comunicam-se e possuem comportamentos inteligentes. Alguns animais e comunidades de plantas possuem também formas primitivas de vida social, e há conjecturas sobre sensibilidade e comunicação de plantas.

O presente capítulo poderia, neste sentido, ser desenvolvido após a análise da energia nas ciências sociais. Mas três dos quatro autores que discutirei aqui identificam-se tão fortemente com a visão biológica, como ponto de partida, que julguei tornar mais claro meu roteiro intelectual colocando aqui a discussão da energia psíquica. Esta opção, além disso, tem a vantagem de enriquecer a discussão posterior da energia humana nas ciências sociais, já incorporando a dimensão psíquica.

A psicanálise e o behaviorismo foram provavelmente as duas mais importantes escolas da psicologia em nosso século. Restringir-me-ei, neste capítulo, a considerar as contribuições da psicanálise. Esta lacuna pode não ser irrelevante. Paralelamente à psicanálise, as pesquisas na linha behaviorista, ao enfatizarem a aprendizagem e o comportamento como resposta a estímulos, também ajudariam a combinar a descrição biológica do indivíduo humano com a sua visão como ser cultural. Ajudariam a entender a ligação entre a natureza eletroquímica dos impulsos nervosos, seu papel como informação controladora dos processos energéticos no organismo humano, e a dimensão simbólica da informação cultural.

A noção de energia foi bastante utilizada na psicologia, em ciências ou práticas afins, como a psicanálise, e em diversas formas de psicoterapia, aí incluindo as chamadas terapias corporais. Em todas estas disciplinas se faz referência às idéias de energia psíquica e de energia sexual ou libido. Discutirei o uso destas idéias em quatro autores: em Freud, o grande precursor, em Reich, o radical, na bioenergética de Lowen, na qual a visão reichiana perde radicalidade mas ganha legitimidade científica, e em Jung, onde a concepção de energia psíquica toca os limites da espiritualidade.

Antes, uma ressalva. Ao resenhar as idéias destes autores a respeito da energia psíquica defronta-se problemas de natureza metacientífica e filosófica, nos quais não posso me embrenhar por falta de competência e temor aos impasses que podem resultar. Houve a tentação de evitar este capítulo, devido à dificuldade da conceituação da energia psíquica. Estes problemas podem ser comparáveis às dificuldades que a evolução do conceito de energia deparou na física da Antiguidade e Idade Média, que agora parecem menos intrincadas por causa da superação das questões conceituais. Mas, mesmo as questões conceituais aparentemente superadas podem retornar quando se explora um conceito até seus limites. Evitar a questão da energia psíquica seria, pois, fugir a um desafio.

Na descrição da evolução do conceito físico de energia foi possível evitar os meandros filosóficos, próprios de uma ciência em formação, devido à capacidade crescente, ao longo do tempo, desta ciência precisar as definições operacionais da energia. Isto serviu como fio da meada dando uma aparência de linearidade. A evolução real segue caminhos tortuosos, envolve becos sem saída, e, algumas vezes, os velhos problemas retornam. As leis da termodinâmica são uma conquista unificadora, mas há ainda certa obscuridade em torno do conceito de energia e controvérsia sobre os limites de validade das leis da termodinâmica.

Na biologia a aplicação do conceito de energia é suscetível a controvérsias ligadas à questão do reducionismo. Há ainda a herança da polêmica clássica com as posições vitalistas que acreditavam na energia vital[38]. Esta polêmica parece parcialmente superada. As visões atuais do organismo vivo como um sistema dotado de propriedades emergentes solucionam questões anteriormente suscitadas.

Já na psicologia, especialmente nos autores que comentarei, é difícil eliminar as questões que circundam o uso do conceito de energia. A energia psíquica suscita problemas de

38A idéia da existência de uma energia vital guarda, aliás, certa analogia com as antigaa idéias como a do flogíston, substância que explicava a combustão e o calórico. Tais explicações tem acentuado aspecto verbal.

teoria do conhecimento das quais não tratarei. Ainda assim é melhor mencionar as perspectivas destes autores do que desconhecer os temas que eles colocam. Seria omissão discutir o uso do conceito de energia nas ciências sociais, e as relações entre a energia e a sociedade humana, um dos objetivos deste livro, sem mencionar as idéias à respeito da energia psíquica. Embora especulativas, tais idéias tem importância real e repercussões teóricas em uma série de práticas disciplinares como as terapias psicanalíticas. Mesmo que não se possa fazer uso prático da noção de energia psíquica ao discutir o papel da energia nas sociedades humanas, quero deixar registradas tais contribuições.

A obra de Freud será tratada com maior detalhe porque é dela que se originam as contribuições posteriores de Reich e Jung. Lowen parece ser um racionalizador de Reich. Os temas colocados por Reich serão brevemente discutidos. Quanto a Lowen, selecionamos alguns textos seus como tentativa de compatibilizar as idéias de Reich com o "mainstream" das ciências da natureza. Jung abre para nós a perplexidade diante das possíveis dimensões espirituais da energia psíquica.

O Ambiente Intelectual de Freud

Segundo Holtz (1974), o caminho para a revolta romântica, que caracterizou a vida intelectual européia no início do século XIX, foi aberto pela *Naturphilosophie*. Esta filosofia da natureza, à qual já me referi no capítulo II, era, para os espíritos pragmáticos, uma visão mística da natureza como palco de forças inconscientes em conflito, mas evoluindo de acordo com um propósito ou sentido.

As figuras mais destacadas nesta posição incluíam Kant, Marck, Goethe, Hegel, Schelling, Okun e Fechner. Esta filosofia da natureza encorajou a recrudescência do vitalismo na biologia (Capítulo III), e estimulou uma escola humanística de medicina romântica. A reação contra esta corrente nasceu de avanços na física e na química, que permitiram o aprofundamento de investigações fisiológicas numa linha compatível com o paradigma reducionista. Foi, por exemplo, fundado na época, um clube científico, cujo propósito era "constituir a fisiologia em bases físico-químicas e dar-lhe *status* similar ao da física". Embora nem sempre tais propósitos tivessem êxito em seu reducionismo, lograram, no entanto, promover a observação científica e o experimentalismo, e combater o vitalismo na fisiologia.

Dizia ainda o programa deste clube: "não há outras forças ativas no organismo senão as físico-químicas. Nos casos que não puderem ser explicados por estas forças, temos que encontrar o caminho específico ou a forma de sua ação pelo método físico-matemático, ou assumir (a existência de) novas forças iguais em dignidade às forças físico-químicas, inerentes à matéria, redutíveis a forças de atração ou repulsão" (du Bois Raymond, citado por Bernfeld, transcrito na Encyclopaedia Brittanica).

Este tipo de materialismo mecanicista aplicado à fisiologia tornou-se moda na Alemanha, expulsando gradualmente a medicina romântica e outros aspectos da *Naturphilosophie* do centro das atenções. Embora na psiquiatria tivesse havido correntes psíquicas, psicosomáticas e somáticas, estas últimas, na época, venceram. Meinert, por exemplo, concebia as desordens mentais como doenças cerebrais (Holtz, op.cit.). Assim, apesar dos recursos terapêuticos, o tratamento moral, como era chamada a psicoterapia daquele tempo, foi banido, jun-

tamente com suas teorias psicogênicas (frequentemente de índole sexual), em favor de perspectivas estritamente hereditárias e orgânicas.

A Escola Médica da Universidade de Viena, onde Sigmund Freud estudou, era um dos baluartes desta nova biologia hipercientífica. Irônicamente, no entanto, a decisão de Freud de estudar lá foi influenciada por uma conferência em que foi lida uma poesia de Goethe. Este poema, de 1780, era uma ode à natureza bem no espírito da *Naturphilosophie*. Não surpreende que tenha sido lido numa conferência sobre anatomia comparada. Esta disciplina fornecera algumas das evidências cruciais para a Origem das Espécies de Darwin, bíblia da época.

Encontramos, assim, Freud, desde o início de seus estudos, mergulhado num ambiente intelectual que se dividia entre o culto romântico da Natureza e as frias dissecações reducionistas. Este é o contexto no qual o conceito de energia e sua versão psicólogica - a energia psíquica - constituirão uma espécie de ponte entre tendências teóricas conflitantes.

Energia e evolução foram, talvez, os dois mais excitantes conceitos científicos do século XIX. Ambos influenciaram fortemente os professores de Freud na Escola Médica. Helmholtz lera para um grupo de 1847 seu *paper* sobre a conservação da energia - apresentado como uma contribuição à filosofia. Trinta anos depois, as conferências de Brucke estavam plenas dos conceitos relacionados, e ainda pobremente diferenciados, de força e energia. Usar estes conceitos dinâmicos era a marca registrada da abordagem científica. Brucke ensinava que "as causas reais são simbolizadas em ciência pela palavra força" (Bernfeld, 1974).

A primeira das três perspectivas metapsicológicas de Freud, a dinâmica - explanação em termos de "forças" psicológicas, parece ter se originado nesta tentativa de elevar o nível científico da fisiologia pela aplicação diligente da mecânica e especialmente da dinâmica, ramo da mecânica que lida com as forças e as leis do movimento. A ênfase quantitativa da escola de Helmholtz e sua insistência na energia são, por outro lado, os principais determinantes da metapsicologia agora vista na sua perspectiva econômica - explanação em termos de quantidades de energia. A perspectiva econômica teria, pois, uma origem "energética", que considerarei em maior detalhe a seguir.

A Energia do Psiquismo em Freud

Freud inicialmente descreveu um modelo teórico do sistema nervoso e, mais tarde, do aparelho psíquico, no quadro do que denominou metapsicologia. A metapsicologia, ou teoria da psicologia, foi conceituada em termos de três tipos de explanação que se completam: a dinâmica, a econômica e a topográfica. A topográfica - que envolve uma "geografia" do psiquismo - é a mais conhecida e visualiza o aparelho psíquico como constituído de três patamares: o inconsciente, o subconsciente e o consciente. Freud procurava uma localização no cérebro e no sistema neuronal para estudar estas áreas. Depois parece ter abandonado a idéia. Já sob o ponto de vista dinâmico, a explanação do funcionamento do aparelho psíquico é função das forças de que é sede ou controlador. A explanação do ponto de vista econômico, isto é, em termos de quantidades de energia, é a que mais interessa aqui.

Holt (op. cit.) considera que, na visão de Freud, o aparelho psíquico é visto como constituindo um modelo passivo e reflexo, não possuindo energias próprias. Ele reage tanto às energias geradas internamente no corpo - os impulsos e pulsões instintivos - quanto aos estímulos externos, excitações, que também podem ser vistos como de natureza energética. O objetivo básico do aparelho psíquico, nesta visão, é o de redução da tensão. A tensão é experimentada como desprazer ou desconforto. Já a redução dela, pela descarga de energia, ou liberação, é experimentada como alívio. Do ponto de vista econômico, é necessário conhecer o destino das quantidades de excitação e conseguir ao menos uma estimação relativa de sua magnitude. É a esta excitação, que inclui um componente consciente, que Freud vai dirigir o termo energia psíquica ou energia psicoemocional e que equivale a libido.

A exigência de incluir considerações econômicas se deve, no pensamento de Freud, por um lado, a seu espírito científico e a um aparato conceitual impregnado de noções energéticas, e, por outro, à experiência clínica que lhe impõe um certo número de fatos, que crê poder explicar utilizando uma linguagem econômica. Por exemplo: o caráter irreprimível do sintoma neurótico (que amiúde é expressado pelo paciente, como: "é mais forte do que eu"), o desencadeamento de transtornos neuróticos consecutivos à perturbações na descarga sexual

e, inversamente, o alívio e desaparição dos transtornos quando o paciente logra, durante a cura, liberar-se dos afetos nele estancados.

A hipótese econômica (a energia represada em um ponto necessariamente se expressa em outro) se acha constantemente presente na teoria freudiana. Ela se manifesta em um conjunto de idéias: a principal é a da existência de um aparelho (inicialmente qualificado de neuronal e, mais tarde definitivamente chamado de psíquico) cuja função consistiria em manter, ao nível mais baixo possível, a energia que por ele circula (principio de constância). Este aparelho realiza um certo trabalho, descrito por Freud de diversas formas: transformação de energia livre em energia ligada, elaboração psíquica das excitações.

O aparelho psíquico, como já se viu, recebe excitações de origem externa e interna. Estas últimas, as pulsões, exercem uma pressão constante que se constitui numa exigência de trabalho, mobilizando a energia. A hipótese econômica, que se refere às quantidades de energia no psiquismo, está em estreita relação com as duas outras orientações da metapsicologia: a topográfica e a dinâmica. Na verdade, Freud define cada uma das instâncias do aparelho psíquico por uma modalidade de circulação de energia. Assim, dentro de sua primeira teoria do aparelho psíquico, estabeleceu a existência de uma energia livre do sistema Ics (inconsciente), uma energia ligada do sistema Pcs (pré-consciente) e uma energia móvel de "sobre catexis" para a consciência.

O conceito dinâmico - correspondente à perspectiva dinâmica - de conflito psíquico implica, segundo Freud, tomar em consideração as relações entre as "forças" presentes ("força" das pulsões, do ego e do superego) no conflito. Nesta perspectiva, a "solução" do conflito é semelhante à resultante deste sistema de "forças". As aspas em "forças" servem aqui para reiterar a natureza psíquica, e não necessariamente física destas forças. O ponto de vista econômico sugere que as quantidades de energia responsáveis por estas forças se mantêm constantes. Esta perspectiva é frequentemente considerada como o aspecto mais hipotético da metapsicologia freudiana. Que energia seria esta constantemente invocada pelos analistas e outros terapeutas?

Sobre esta questão, de difícil solução, faço algumas observações provisórias:

1. As ciências físicas também não se pronunciam sobre a natureza última das grandezas cujas variações, transformações e equivalências estudam. Se contentam em defini-las por seus efeitos (por exemplo: "força é o que produz uma aceleração numa massa" ou "energia é a capacidade de realizar trabalho", o qual, por sua vez

"é o produto da força aplicada ao longo de uma distância, medida na direção da aplicação da força") e compará-las entre si (uma força se mede por meio de outra, ou melhor, se comparam seus efeitos).

2. Com relação ao assunto, Freud não é exceção: define o empuxo da pulsão como "a quantidade de exigência de trabalho que impõe ao psiquismo", e reconhece de bom grado que nada sabemos a respeito da natureza do processo de excitação (energética) nos elementos do sistema psíquico, e não estamos autorizados a estabelecer nenhuma hipótese a este respeito. Sempre operamos, pois, na visão freudiana, com um grande X que trasladamos a cada nova fórmula.
3. Apesar disto, Freud só recorre à hipótese da energia como substrato das transformações que parecem deduzir-se de numerosos fatos de experiência. A libido, ou energia das pulsões sexuais, interessa-lhe na medida em que pode explicar as modificações do desejo sexual em relação ao objeto, ou seja, à fonte de excitação. Um sintoma mobiliza certa quantidade de energia, o que tem como contrapartida um empobrecimento à nível de outras atividades. Freud chegou a pensar que esta magnitude poderia, à rigor, ser mensurada no futuro.
4. Se tentamos precisar o tipo de fatos que o ponto de vista econômico tenta explicar, pode-se pensar que aquilo que Freud interpreta com a linguagem da física, é, em verdade, o que se poderia descrever como o "mundo dos valores", numa perspectiva mais próxima da experiência cotidiana.

Lagache insiste na idéia, de inspiração fenomenológica, de que o organismo estrutura seu ambiente e sua perspectiva dos objetos em função de suas necessidades vitais, valorizando, no meio que o circunda, determinados objetos, campos ou experiências. Em todo o organismo se acha assim presente a dimensão axiológica - axiologia é a teoria dos valores - com a condição de não limitarmos o conceito de valor ao terreno moral, estético ou lógico. Na dimensão axiológica os valores se definem por sua irredutibilidade à ordem dos fatos, sua universalidade de direito, sua exigência categórica de realização.

No nível do psiquismo é como se o objeto "carregado", investido de afeto, por exemplo, pela pulsão oral, fosse visto como "devendo-ser-absorvido", como um valor-alimento. O objeto fóbico não somente causa a fuga mas é, em si próprio, um "devendo-ser-evitado", em torno do qual se organiza uma determinada estrutura espaço-temporal.

Nesta apresentação resumida das idéias de Freud não fica clara a natureza da energia psíquica. Não se entende como ela se distingue das energias convencionais da física, se é que se distingue, embora fique clara a importância por ele concedida ao conceito de energia. Da energia psíquica em Freud talvez se possa dizer é que ela tem basicamente origem sexual. Na medida em que o impulso sexual pode ser represado, ao contrário, por exemplo, da busca do alimento cujo impedimento gera a morte, sua energia pode ser dirigida para funções específicamente psíquicas, como o desejo, o pensamento, a vontade. A energia psíquica, nesta visão, identifica-se com o que se denomina de energia sexual ou libido, de que é uma manifestação elaborada.

Reich, nestes aspectos um sucessor de Freud, focalizou exatamente o problema da natureza da energia psíquica e voltou, como os antigos vitalistas, a trabalhar com a idéia de uma energia de caráter especial, objeto do tópico seguinte.

Reich e a Sexualidade

Wilhelm Reich viveu e trabalhou na primeira metade do século XX. Como Freud, estudou medicina e psicanálise em Viena, mas, diferentemente de Freud, teve grande influência marxista em seu pensamento. Quanto à psicanálise, pode ser considerado um discípulo das idéias de Freud, às quais, mais tarde, deu interpretação própria, introduzindo inovações importantes, criando inclusive uma técnica terapêutica que hoje se denomina "análise reichiana", e que envolve trabalho corporal.

Para Reich, a energia sexual era talvez a mais sublime ou importante manifestação da energia cósmica. Do ponto de vista político, a liberdade sexual era também para ele um objetivo primordial de luta. Uma anotação feita em seu diário em 1919 dizia: "talvez minha própria moralidade objete quanto a isto. No entanto, pela minha experiência pessoal e a partir de observações feitas comigo mesmo e com outras pessoas, tornei-me convicto de que a sexualidade é o centro em torno do qual circula a vida social" (Dychtwald, 1974).

Na opinião de Reich, a pessoa saudável era aquela capaz de regularmente se envolver na troca sexual amorosa e desinibida que conduzisse a um orgasmo completamente satisfatório. Já a pessoa "doente", devido a sintomas neuróticos e à traços rígidos de caráter, seria incapaz de se entregar inteiramente à intensidade do encontro sexual e, por conseqüência, seria incapaz de experimentar um orgasmo completo e uma liberação total da energia sexual. Na verdade, para Reich, todos os sintomas neuróticos estavam, de alguma forma, vinculados à energia sexual contida (Dychtwald, op.cit.).

Reich percebeu que as pessoas diferiam no modo pelo qual se entregavam ao fluxo orgástico. Descobriu, ainda, que aparentemente existiam graus qualitativamente diferentes de experiência do orgasmo. E denominou de potência orgástica a capacidade de liberar a energia por meio da experiência sexual, definindo-a como "a capacidade de se render ao fluxo da energia biológica, sem a menor inibição; capacidade para uma descarga completa de toda a excitação sexual contida, por intermédio de contrações involuntárias de prazer, por parte do corpo" (Dychtwald, op,cit.).

A ênfase na sexualidade já estava presente em Freud, mas Reich foi além: reiterou a importância da função orgástica, por considerar que, entre todos os mecanismos energéticos do organismo, o orgasmo era o mais eficiente na liberação da tensão e da ansiedade, através do encontro sexual e consequente descarga. A não liberação desta energia afetava a saúde e o comportamento do indivíduo. A energia sexual contida, na realidade, estimulava o comportamento neurótico, na medida em que tornava rígido o fluxo saudável de sentimentos e sensações.

A esta rigidez Reich denominou "couraça de caráter". A couraça é uma espécie de doença em si mesma, um congelamento da personalidade humana, antes espontânea, em padrões rígidos de comportamento. Sua teoria do caráter está assim associada à sua visão da sexualidade: "o caráter era algo que se desenvolvia a partir da sexualidade bloqueada; a personalidade genital (madura, para Freud), em pleno funcionamento, possuia uma fluidez à semelhança do Zen, e uma absoluta ausência de caráter" (Dychtwald, op.cit.)

Para entender a couraça de caráter, Reich girou a cadeira do consultório em relação ao divã, saindo da penumbra em que se ocultavam os analistas clássicos e passando a observar de frente os pacientes e suas reações. Ele queria descobrir as relações entre a couraça de caráter e a estrutura física de funcionamento (inclusive vegetativo) dos pacientes. Passou da análise de tipo verbal, mais sujeita às intelectualizações, para a observação atuante das formas e movimentos do corpo. Observou que a couraça de caráter e seu correspondente comportamento neurótico estavam diretamente relacionados a tensões musculares e aspectos rígidos do corpo. Chegou assim à descoberta "de que todos os conflitos e bloqueios psicoemocionais ocupavam um lugar no tecido muscular", formando aquilo que denominou "couraça corporal" (Dychtwald, op. cit.), contrapartida física da couraça psicológica.

Esta couraça muscular, como as funções protetoras do aparelho psíquico em Freud, serviria para encapsular a pessoa em sua própria concha muscular de proteção. Não só preveniria a entrada de estímulos dolorosos ou maléficos, como também serviria de limite a experiências emocionais dolorosas ou amedrontadoras. Quanto mais forte a couraça, menos livremente poderiam fluir sentimentos e emoções e, como conseqüência, diminuiria também o funcionamento sexual saudável. A couraça impediria o fluxo vital, aí sinônimo de fluxo energético.

Após esta introdução ao legado de Reich à psicanálise, chego ao tema que interessa aqui. Em que consistiria este fluxo energético que ele menciona? Ou melhor, como Reich conceituava ou definia esta energia? Ele afirmava que a energia psicoemocional, denominada por

Freud libido e vinculada a impulsos sexuais, se relacionava também à respiração e parecia se expressar numa substância concreta a que deu o nome de orgônio. Orgônio é, pois, o nome específico atribuído por Reich à bioenergia. Ou mais que isto, o orgônio, para ele, constituia tambem o estofo do universo, e era assim, simultaneamente, uma energia cósmica. Nos trechos seguintes acompanho a descrição, feita pelo próprio Reich, desta forma de energia.

A Energia do Orgônio Cósmico

Em "O Éter, Deus e o Diabo", Reich dedica todo um capítulo à definição da "energia do orgônio cósmico". O texto inicia com a declaração "não temos a intenção de provar a existência de um éter espalhado por todos os lugares, nem tampouco (provar) a identidade deste éter e da energia do orgônio cósmico". O éter era, em hipótese, uma substância universal que preenchia os vazios (de matéria) do universo e servia como substrato para a energia radiante. As ondas de luz no espaço, por exemplo, seriam ondas eletromagnéticas, de certas freqüências, movendo-se no éter. Elas se moveriam como ondas mecânicas transversais, fazendo vibrar o éter, tal como as ondas sonoras fazem vibrar as moléculas de ar longitudinalmente. A hipótese do éter foi descartada na física como desnecessária, no fim do século XIX e início do século XX pela teoria da relatividade restrita. Irônicamente, no entanto, o orgônio cósmico, mais do que preencher o vazio da matéria, parece preencher o vazio deixado pelo desaparecimento do éter.

A declaração de Reich de que não quer de provar a existência do éter nem a identidade deste com o orgônio é estranha. A teoria do orgônio cósmico é apresentada como uma alternativa ao éter, uma entidade já aposentada. Reich passa o resto do capítulo desenvolvendo sua noção de energia cósmica paralelamente, mas em relativa contraposição, à concepção do éter. Nesta época, o éter já era considerado um conceito não provado, teoricamente ultrapassado, e... desnecessário. Isto não é a única coisa estranha neste texto, de leitura e interpretação obscuras mas instigantes. Seja o que for que as idéias biofísicas de Reich signifiquem, elas merecem todavia ser discutidas.

"Nosso propósito é simplesmente colocar em evidência (a existência de) uma energia que penetra todas as coisas". Esta energia, cuja existência "pode ser demonstrada e observada", é uma "energia universal" (que) "preenche certas lacunas em nossa compreensão do universo, lacunas estas que gerações de físicos e filósofos têm tentado, em vão, remediar, recorrendo ao conceito de um éter onipresente, substratum original das funções fundamentais da natureza". Após algumas reflexões sobre o espaço e o vazio, Reich conclui que o vazio não

existe e que o espaço é dotado de propriedades físicas bem definidas que, novamente, "podem ser observadas e demonstradas". E há uma energia, também bem definida, responsável pelas propriedades físicas do espaço". Diz: "esta energia recebeu o nome de energia do orgônio cósmico".

Nesta linha, Reich criticou o experimento clássico de Michelson-Morley. Estes físicos queriam testar a existência do éter. Imaginaram que se o éter era o substrato da energia radiante, então a luz, uma forma de radiação, deveria mover-se mais rapidamente ou menos rapidamente para um observador conforme este observador se deslocasse em relação ao éter. A Terra, movendo-se no espaço geraria um "vento" de éter. Michelson e Morley conceberam um instrumento circular em que raios de luz eram emitidos em diferentes direções. Raciocinaram que quando os fachos de luz eram emitidos em direções contrárias ao vento de éter deveriam sofrer um atraso em relação a outras direções. Suas experiências, publicadas em 1887, não encontraram atraso na luz nem portanto evidência do éter.

Reich criticou a experiência. Analisou seu fracasso, não numa perspectiva relativística, tal como Einstein o fizera. Einstein, em sua teoria especial da relatividade, sugerira que a velocidade da luz é uma constante universal e que o espaço e o tempo eram variáveis. O experimento de Michelson-Morley teria que fracassar porque o espaço-tempo se contraía ou alongava na direção do movimento. Reich, diferentemente, atacou a experiência porque, segundo ele, se baseava em premissas falsas.

O primeiro erro consistia no fato de imaginar o éter como uma substância imóvel. O orgônio cósmico, que Reich coloca no lugar do éter, é, ao contrário, turbilhonante. Quanto à outra premissa falsa, foi difícil entender o argumento de Reich. Diz ele que a luz, que denomina "função luminosa", distingue-se em excitação e luminescência, sendo esta última imóvel e a outra não. Por isto seria impossível detectar defasagem nos raios luminosos. "As observações orgônicas exigem imperiosamente distinguir" que a excitação se desloca no espaço à "velocidade da luz". "A luz não se desloca totalmente, mas resulta de um efeito de luminescência do orgônio (grifado no texto).

Se a "luz" é devida à luminescência orgonômica local e não se desloca no espaço, compreendemos bem, diz Reich, que Michelson não tivesse podido constatar nenhuma diferença de fase nos "raios de luz" "enviados" (as aspas em todo este trecho são dele) no sentido da corrente de éter e perpendicularmente a esta corrente (Reich, op. cit.). "Se gerações de físicos e astrônomos jamais puderam demonstrar a existência do éter enquanto conjunto de

funções estritamente físicas, esta carência deve ter razões precisas. Estas razões se situam no funcionamento do observador e nos métodos de raciocínio humano (Reich, op.cit.). É possível, dir-se-ia, mas cabe ao cientista também uma hipótese alternativa. A existência do éter poderia nunca ter sido demonstrada por ele não existir, mas Reich não leva esta hipótese em consideração. Sua frase sugere que, com outros métodos, seria possível demonstrar a existência da evasiva substância. E, no entanto, diz ele que não é isto que pretende demonstrar.

O confuso texto prossegue. "Faremos, portanto, um resumo das funções principais que fizeram objeto de observação e demonstrações aquilo que chamei "a energia do orgônio cósmico", depois de sua descoberta na "matéria biônica" em 1936 e na atmosfera em 1940.

1. Algumas funções da energia do orgônio podem ser demonstradas em todo lugar onde o homem seja capaz de observar a natureza diretamente ou com a ajuda de instrumentos apropriados que reajam com as funções energéticas, tais como o termômetro, o eletroscópio, a câmara escura guarnecida de tela, ou mesmo os organismos vivos, sejam estes protozoários, camundongos cancerosos, pessoas anêmicas, proteus, etc. A energia do orgônio pode ser mostrada em todo lugar, pois em todo lugar ela se acha presente. Também ela penetra todas as matérias, se bem que em velocidades variáveis.
2. Até aqui não encontramos dispositivos permitindo separar nitidamente um domínio de funcionamento da energia do orgônio, desprovido de massa, do domínio vizinho. Por isto devemos considerar o organismo vivo como uma parte organizada do oceano de orgônio cósmico, parte dotada de propriedades particulares que chamamos "vida"; nós não compreenderemos este organismo de uma maneira bioenergética, se nos ativermos ao conceito mecânico de "potencial energético". Este potencial mecânico, seja ele um movimento térmico, elétrico ou mecânico, se escoa sempre do sistema superior para o inferior, do sistema mais forte para o mais fraco e jamais no outro sentido.

De outro modo um organismo vivo não seria somente incapaz de conservar um nível de energia mais elevado que o seu em torno, ele perderia em pouco tempo seu calor, sua mobilidade, sua energia em benefício de seu meio ambiente de nível energético mais baixo. Permaneceria sem resposta a questão de saber como tal organismo poderia inicialmente ter se constituído" (Reich, op. cit.).

Reich junta aqui dois problemas diferentes. O primeiro é a tradicional crítica à aplicação do segundo princípio da termodinâmica aos processos vivos, discutida no capítulo anterior. Já se viu como a teoria dos sistemas abertos e a termodinâmica dos processos irreversíveis sugerem soluções para este problema. O segundo remete à questão da origem dos seres vivos a partir da matéria inanimada. Embora este último problema possua, como quase tudo o mais, dimensões energéticas e informacionais, escapa ao objetivo deste livro[39]. Volto pois à questão energética.

A posição de Reich parece derivada do vitalismo e da filosofia da natureza. Os vitalistas acreditavam na energia vital, irredutível aos processos físico-químicos da matéria inerte. A filosofia da natureza romantizava a existência da energia cósmica pervadindo todos os processos da natureza e se expressando mais claramente no fenômeno da vida. A energia que Reich postula é uma energia física, ou melhor, biofísica. O potencial para a vida já estaria contido na natureza do orgônio. Entretanto, a solução dada por Reich às questões da ordem termodinâmica dos seres vivos (em relação ao seu ambiente) e do aparecimento da vida parece ser apenas verbal, pois o que faz é postular uma energia (poderia ser um princípio de organização) dotada da capacidade de se organizar em sistemas complexos. Várias outras hipóteses "verbais", como o calórico, a energia vital e o éter, foram aposentados por inadequação ou por desnecessários.

Conclui Reich na mesma obra: "Não podíamos pois elidir o fato de que existe na natureza uma outra função energética, que denominamos o POTENCIAL ORGONÔMICO INVERTIDO: a energia do orgônio se escoa do sistema fraco para o sistema mais forte, do sistema inferior para o sistema superior". Este fenômeno, segundo ele, pode também ser observado na natureza inanimada, na "função" de gravitação, por exemplo, ou nas nuvens no céu. Não fica claro, todavia, por que Reich o denomina potencial orgonômico "invertido" (aspas minhas), uma vez que já estabeleceu que o potencial orgonômico é, por definição, invertido em relação ao potencial mecânico!

"O potencial orgonômico não está em contradição com o antigo potencial mecânico", diz Reich. "Ele explica como um nível mais elevado de energia pode existir", continua. "É

39A questão da origem da vida é obviamente um problema complexo com dimensões religiosas, filosóficas e científicas. Tal como é discutida hoje em biologia molecular, a questão da origem da vida tem implicações termodinâmicas e informacionais precisas. Seres vivos são formados de moléculas complexas, que implicam organização termodinâmica (baixa entropia). Entre estas moléculas destacam-se os ácidos nucleicos como o DNA, portador da informação genética e responsável pela replicação dos seres vivos. O DNA, por sua vez, parece necessitar de seres vivos para ser produzido e isto gera uma situação tipo ovo e galinha ainda sujeita à controvérsia. Não se sabe que padrões informacionais poderiam guiar sínteses complexas e produzir moléculas capazes de extrair baixa entropia do meio para o aumento de organização típico da vida. Se em biologia molecular o problema já é extraordináriamente difícil, na ciência em geral e no pensamento filosófico e religioso a questão da origem da vida é complexa e misteriosa demais para que se a discuta aqui.

verdade que aceitando esta função quebramos o vidro do segundo princípio da termodinâmica, da formulação absoluta da entropia", conclui. Mas não é só ao segundo princípio que devemos renunciar, segundo ele. "Estamos por outro lado obrigados a renunciar a um grande número de crenças absolutas, quer se trate da "conservação da matéria" ou da inalterabilidade dos elementos químicos". Novamente são afirmações estranhas. Desde a descoberta da radiatividade e da publicação da teoria da relatividade especial se havia renunciado às crenças absolutas na conservação da matéria e na inalterabilidade dos elementos químicos.

Para finalizar, segue-se a definição da concepção orgonômica das funções energéticas, nas palavras de Reich:

1. "O organismo vivo, enquanto sistema energético de um alto nível de energia, retira sua energia de sistemas de nível energético mais baixo: isto é potencial orgonômico". Este princípio se aplicaria também ao núcleo da célula, que extrairia energia do protoplasma.
2. "Cada tipo de organismo tem um nível energético específico: tem uma capacidade orgonótica específica"[40].
3. "Todo excedente de energia é descarregado segundo o princípio do potencial mecânico (do nível superior para o inferior), por um movimento mecânico, convulsões orgásticas, liberação de calor, etc".
4. "Existe portanto um metabolismo da energia do orgônio, uma troca contínua de energia na unidade coesiva denominada 'organismo'".

O organismo, para Reich, tem como funções principais: a manutenção de um certo "nível de capacidade" pela <u>absorção</u> de energia proveniente do oceano de orgônio ambiente ou das matérias nutritivas e pela <u>descarga</u> de energia no oceano de energia ambiente (sublinhado por Reich). Quanto mais baixo o nível de capacidade, menor a capacidade de absorção, como na atrofia biopática. "O organismo moribundo perde pouco a pouco sua capacidade de absorção e sua capacidade de se manter em nível de funcionamento" (Reich, op. cit.).

Esta apresentação resumida das idéias de Reich sobre o orgônio cósmico não pretende ser uma avaliação crítica de sua contribuição. Sua obra, embora comporte visões biofísicas não aceitas pela maior parte dos cientistas, é muito ampla e importante. Reich certamente representa um avanço grande na psicoterapia por ter trazido o corpo, e não apenas a fala a partici-

---

40 Por que orgonótica e não orgonômica,como anteriormente? O texto não explica.

par dela. Além disso, sugeriu hipóteses psicossomáticas de natureza energética, interessantes para o entendimento dos males orgânicos e psíquicos. Boa parte de suas visões energéticas sobre o organismo pode ser formulada numa linguagem mais compatível com as formulações atuais. É o que faz Alexander Lowen, um seguidor de Reich.

A bioenergética de Alexander Lowen

Lowen usa uma linguagem mais compatível com o conjunto do conhecimento científico atual, e não necessita recorrer a afirmações físicas, biofísicas e biológicas não comprovadas experimentalmente. Em sua *"Bioenergética"*, preserva, a meu ver, o essencial da colaboração de Reich. Transcrevo a seguir trechos extraídos desta obra (1975), intercalando-os com comentários meus.

"A bioenergética, como venho enfatizando, é o estudo da personalidade humana em termos dos processos energéticos do corpo. O termo é igualmente utilizado na bioquímica para definir uma área de pesquisas que lida com os processos energéticos nos níveis molecular e submolecular. Como foi ressaltado por Albert Szent Gyorgyi, é preciso energia para movimentar a máquina vital. Na realidade, a energia está envolvida no movimento de todas as coisas, tanto vivas quanto inertes. No pensamento científico corrente, essa energia é tida como sendo de natureza elétrica. Existem, entretanto, outros pontos de vista a respeito de sua natureza, especialmente quando aplicada a organismos vivos. Reich afirmou que a energia cósmica por ele denominada de orgone não tinha natureza elétrica. A filosofia chinesa admite duas energias com relação de polaridade entre si, chamadas de yin e yang[41]. Essas energias formam a base da prática médica chinesa chamada acupuntura, cujos resultados têm surpreendido os médicos ocidentais".

Apesar da visão ampla com a qual contempla as formas de energia envolvidas nos processos da vida, Lowen fundamenta sua bioenergética sem postular nenhuma energia de natureza especial. "Não acredito que seja importante o estudo presente determinar com precisão o caráter real da energia da vida. Cada um desses pontos de vista tem sua validade e eu não consegui ajustar as diferenças existentes entre eles. Podemos, porém, aceitar a proposta fundamental de que a energia está envolvida em todos os processos da vida, nos movimentos, sentimentos e pensamentos, e que os mesmos chegariam ao fim se a fonte de energia para o

41 O yoga admite uma energia chamada prana, que existiria no meio ambiente e poderia ser absorvida através da respiração energizando o organismo. Admite também energias específicas circulando nos seres humanos, associadas a centros de consciência - os chakras.

organismo se esgotassse. Uma falta de alimentos, por exemplo, haveria de esgotar a energia do organismo de uma forma tão severa que poderia inclusive sobrevir a morte; um corte na entrada do oxigênio necessário ao organismo interfere no processo normal da respiração, conduzindo o indivíduo à morte. Os venenos que bloqueiam as atividades metabólicas do corpo, reduzindo assim sua energia, provocam o mesmo efeito".

Lowen refere-se então aos processos de obtenção de energia nos animais e nos vegetais. Compara o processo energético no organismo animal a um "fogo lento", o mesmo a que já faziam referência, em outros termos, Hipócrates, o "pai da medicina", e o filósofo Heráclito. "É um fato comumente aceito que a energia de um organismo animal advém da combustão dos alimentos. As plantas, por outro lado, possuem a capacidade de capturar e utilizar a energia do Sol nos seus processos vitais, assimilando-a e transformando-a nos tecidos da planta, ficando, desse modo, disponível como alimento para animais herbívoros. O processo de transformar o alimento em energia livre que o animal pode utilizar em suas necessidades vitais é um procedimento químico complexo, que envolve, em última instância, o uso do oxigênio. A combustão do alimento não é diferente da combustão que ocorre numa fogueira, pois ambas necessitam de oxigênio para manter seu processo. Em ambos os casos, o nível de combustão está ligado à quantidade de oxigênio disponível".

"Essa simples analogia não explica o complicado fenômeno da vida. As chamas do fogo apagam-se quando a fonte de combustível se esgota; além disso, a chama arde indiscriminadamente, sem levar em conta a energia liberada pela combustão. Em contrapartida, o organismo vivo é como um fogo autocontido, autoregulado e automantenedor. A forma utilizada para que este milagre ocorra -queimar sem que se destrua - é ainda um grande mistério. Enquanto não estivermos capacitados a solucionar este enigma, é importante que tentemos compreender alguns dos fatores nele envolvidos, dado que todos nós desejamos manter acesa a chama da vida, para que arda forte e ininterruptamente dentro de nós". Para compreender algumas facêtas do processo de autoregulação deste "fogo interno", Lowen passa a analisar aspectos da personalidade humana diretamente ligadas ao controle dos fluxos da energia no organismo.

"Não estamos acostumados a pensar na personalidade em termos de energia, mas a verdade é que ambas não podem existir isoladamente. A quantidade de energia que um indivíduo possui e como ele a usa irá determinar e refletir-se em sua personalidade. Algumas pessoas têm mais energia que outras; algumas são mais debilitadas. Uma pessoa impulsiva, por

exemplo, não consegue conter qualquer aumento no seu nível de excitação ou energia; deverá descarregá-lo o mais rápido possível. O indivíduo compulsivo emprega sua energia de modo diferente: sua excitação será descarregada também, mas segundo padrões de movimento e de comportamento rigidamente estruturados".

Esta visão fundamenta-se na análise de caráter reichiana. Vale a pena lembrar que Reich tem uma penetrante visão da relação entre o papel da energia no organismo e a personalidade humana, mostrando como a personalidade simultaneamente expressa e controla o nível de energia. "A relação da energia com a personalidade manifesta-se de modo inequívoco no indivíduo deprimido. Apesar de a reação e a tendência depressivas resultarem de uma interação de complicados fatores físicos e psicológicos, um ponto não admite dúvidas: a pessoa deprimida está também energeticamente deprimida".

"Estudos cinemáticos mostram que tal pessoa desempenha apenas cerca da metade dos movimentos espontâneos normais de um indivíduo não deprimido. Em alguns casos mais graves, é provável que a pessoa fique parada, sem mover-se de modo algum, como se não tivesse a energia necessária para fazê-lo. Seu estado subjetivo geralmente corresponde à sua imagem objetiva: é a pessoa que sempre sente faltar em si a energia para dar vida a qualquer movimento. Pode queixar-se de estar nervosa sem, contudo, estar cansada. A depressão em seu nível de energia pode ser vista no rebaixamento de todas as suas funções energéticas: a respiração está diminuída, o apetite e o impulso sexual debilitados. O indivíduo neste estado dificilmente irá reagir aos nossos conselhos de que procure algo em que se interesse; literalmente, não possui a energia para desenvolver qualquer interêsse".

Pode-se objetar quanto à última frase que talvez não seja a quantidade de energia o fator limitante, mas o bloqueio desta por uma possível situação de conflito. Neste caso não seria a quantidade de energia o fator básico, mas algo que, provisoriamente prefiro definir, de modo intencionalmente geral, como sendo a informação disponível para o indivíduo bloqueado. Estas duas interpretações guardam alguma relação com os pontos de vista econômico e dinâmico da metapsicologia freudiana.

Embora ainda não seja o momento de falar da energia humana em termos de sua capacidade de gerar trabalho físico, de participar da vida social e da produção econômica (o trabalho físico é um dos componentes essenciais da vida humana), fica clara aqui a relação entre o fluxo orgânico da energia, a estrutura da personalidade e a capacidade de trabalho do individuo. Isto mostra, que para falar da energia humana como fonte de energia para a socie-

dade, ter-se-á que levar em consideração seus aspectos psicológicos. Quando se falar da energia humana usada na vida social e no trabalho econômico, a dimensão informacional retornará. Por ora volto à energia.

Até aqui Lowen focalizou a energia dos indivíduos como um "estoque", uma quantidade. Em seguida, dirige a visão para a noção de fluxo da energia associada aos níveis de carga e descarga desta pelo organismo. "O conceito de carga de energia não pode ser discutido sem que se leve em conta a descarga energética. O organismo vivo só pode existir se houver um equilíbrio entre a carga e a descarga de energia. É necessário que mantenha o nível de energia coerente com suas necessidades e oportunidades. Uma criança em idade de crescimento terá sempre um maior influxo de energia do que uma descarga, utilizando essa energia extra no seu crescimento. O mesmo se dá com a convalescença ou com o desenvolvimento da personalidade. O crescimento consome energia. Além disso, geralmente a quantidade de energia absorvida por uma pessoa corresponde à quantidade de energia que tal pessoa pode descarregar em qualquer atividade".

No caso do trabalho humano, por exemplo, a saída energética guarda relação com o insumo alimentar. Um lenhador tende a necessitar, em geral, de um insumo calórico maior que um intelectual. Voltarei a considerar, em maior detalhe, a energia humana nos Capítulos V e VI. Antes disto, prosseguindo com Lowen, ver-se-á como todas as atividades humanas dispendem energia, e como o equilíbrio entre a carga e a descarga da energia se liga ao prazer e à saúde.

"Todas as atividades requerem e utilizam energia - das batidas do coração aos movimentos peristálticos dos intestinos, ao caminhar, falar, trabalhar e ao sexo. Contudo, nenhum organismo vivo é uma máquina. Suas atividades básicas não se desenvolvem mecanicamente, sendo, sim, expressões do seu ser. Uma pessoa se expressa em suas ações e movimentos e, quando sua auto-expressão é livre e apropriada à realidade da sua situação, experimentará uma sensação de satisfação e prazer produzida pela descarga da energia. Esse prazer e satisfação, por sua vez, estimulam o organismo a aumentar a sua atividade metabólica, que imediatamente se reflete em uma respiração mais profunda e plena. No estado de satisfação, as atividades rítmicas e involuntárias da vida funcionam no seu nível ótimo".

A fundamentação reichiana das idéias de Lowen fica evidente quando este mostra a relação entre o fluxo da energia e o prazer. "O prazer e a satisfação são, como tenho dito, o resultado imediato das experiências de auto-expressão. Limite o direito de uma pessoa à sua

auto-expressão e você estará limitando suas oportunidades de prazer e de vivência criativa. Justamente por esse motivo, se a capacidade de um indivíduo expressar suas idéias e sentimentos foi limitada por forças internas (inibições ou tensões musculares crônicas), sua capacidade de sentir prazer será também reduzida. Nesse caso, o indivíduo irá reduzir o seu influxo de energia (inconscientemente, é claro) para manter um equilíbrio energético no seu corpo".

É curioso pensar que o funcionamento saudável do organismo humano depende de um fluxo ótimo de energia e que este, por sua vez, está associado à liberdade de auto-expressão. Por isto as idéias de Reich e Lowen são socialmente liberadoras. Além disso, mostram que se desejamos uma sociedade que use eficientemente a energia humana, isto terá que ocorrer em condições de saúde física, de liberdade psicológica e de riqueza expressiva das pessoas. [42]

"O aumento do nível de energia de um indivíduo não pode ser alcançado simplesmente através da respiração. Os caminhos para a auto-expressão através dos movimentos, da fala e dos olhos devem estar igualmente desobstruídos de modo a permitir que ocorra uma maior descarga de energia. Não é raro isso ocorrer espontaneamente no decurso do influxo de energia. A respiração poderá se tornar mais profunda, de maneira espontânea, com o uso da cadeirinha de respiração. De repente, sem nenhuma intenção consciente, o indivíduo poderá começar a chorar. No momento ele não saberá ao certo o motivo pelo qual está chorando. A respiração mais profunda abriu sua garganta, recarregou o seu corpo e ativou emoções reprimidas, resultando em um sentimento de tristeza que flui para fora. Algumas vezes ocorre a raiva em lugar da tristeza. Muitas vezes, entretanto, nada acontece, pois a pessoa poderá estar com medo demais para permitir uma entrega e uma soltura dos seus sentimentos. Nesse caso haverá uma consciência da "retenção" e das tensões musculares da garganta e peito que bloqueiam a expressão do sentimento. Então será necessária a relaxação da retenção através de um trabalho físico direto nas tensões musculares crônicas" (Lowen, op. cit.).

O trabalho físico na terapia bioenergética ajuda a desbloquear a energia contida pela estrutura do caráter, permitindo recuperar em parte seu fluxo normal no organismo. Contudo o conceito de fluxo de energia, neste contexto, necessita uma certa elaboração. O fluxo da energia no organismo está, em grande parte, associado a fluxos materiais[43]. "A palavra fluxo

---

42 Será difícil exagerar a importância deste fato para o desenvolvimento social se se conseguir demonstrar que a energia humana é a forma de energia de mais alta qualidade à disposição da humanidade. É o que tentarei no próximo capítulo.

43 Para Lowen o fluxo de energia no organismo está associado a fluxos materiais; ponto final. No texto, preferi dizer que está, em grande parte, associado a fluxos materiais, porque há fluxos não materiais de energia no corpo tais, como o calor irradiado e

denota um movimento dentro do organismo, melhor exemplificado pelo fluxo sanguíneo. Na medida em que o sangue flui através do corpo, transporta metabólicos e oxigênio para os tecidos, fornecendo a eles energia e removendo os produtos residuais da combustão. Mas o sangue se constitui em mais do que um simples veículo; é, na verdade, o fluido energeticamente carregado do corpo. Sua chegada a qualquer parte do corpo significa vida, calor e excitação para aquela parte. É o representante e portador de Eros. Pense no que acontece com as zonas erógenas, sejam os lábios, mamilos ou orgãos genitais. Quando se enchem de sangue (cada um desses órgãos é ricamente dotado de grandes redes vasculares), o indivíduo se torna excitado, sente-se caloroso e carinhoso, buscando o contato com outra pessoa. A excitação sexual ocorre simultaneamente ao aumento do fluxo sanguíneo para a superfície do corpo, especialmente para as zonas erógenas, se é a excitação que traz sangue ou se é o sangue que transborda a excitação, é irrelevante. O fato é que os dois sempre estão juntos" (Lowen, op. cit.).

Ainda, segundo Lowen, o sangue não é o único meio material de transporte de energia. "Além do sangue, existem outros fluidos energéticos no corpo: a linfa, os fluidos intersticiais e os intracelulares. A corrente de excitação não se limita ao sangue, mas percorre o corpo através de todos os seus fluidos. Energeticamente falando, o corpo todo pode ser visto como uma célula única, tendo a pele como membrana. No interior dessa célula, a excitação pode se propagar em todas as direções ou mesmo fluir em direções específicas, de acordo com a natureza de nossa reação ao estímulo. Esta visão do corpo como célula única não nega o fato de que dentro do corpo existam diversos tecidos especializados, nervos, vasos sanguíneos, membranas, mucosas, músculos, glândulas, etc., colaborando juntos, como parte de um todo, para promover a vida do todo".

Esta mesma visão holista do organismo como "unidade energética" estava também presente em Reich (1986). Na explanação de seu conceito da energia biopsíquica, Reich usou os modelos de uma bexiga inflada e de uma bexiga esticada em forma de serpente para visualisar os processos de controle e liberação da energia no organismo. Na bexiga inflada como uma bola a energia estaria contida no interior, em estado de tensão, enquanto na bexiga esticada a energia se liberaria para o exterior.

A liberação de energia para o exterior é, de certo modo, experimentada pelo indivíduo até mesmo dentro dos limites de seu corpo. "Qualquer indivíduo pode experimentar o fluxo de

---

campos eletromagnéticos no cérebro, nos nervos, nos órgãos e músculos. Para aqueles que acreditam nas tradições espirituais haveria ainda o fluxo de energias mais sutis, independentes de fluxos materiais.

excitação como um sentimento ou uma sensação que, freqüentemente, desafia os limites anatômicos. Você nunca sentiu a raiva subir em seu corpo, carregando os braços, face e olhos? Esta pode variar de uma sensação de "calor na nuca" até uma obstrução apoplética da cabeça e do pescoço pelo sangue. Quando alguém está tão furioso que enxerga tudo vermelho, sei que sua retina tornou-se cheia de sangue. Por outro lado, o sentimento de raiva pode fazer com que o indivíduo fique com uma aparência branca e fria, devido a vasoconstrição periférica, que não deixa o sangue alcançar a superfície. Existe ainda o intenso furor no qual a raiva é encoberta por uma negra nuvem de ódio".

A visão energética do organismo e do psiquismo humanos realmente aponta para limites mais fluidos dos processos envolvidos do que uma perspectiva puramente "material". "Quando nos damos conta de que 90% (noventa por cento) do corpo é composto de água, parte da qual estruturada, sendo a maioria fluida, podemos imaginar sensações, sentimentos e emoções como sendo correntes ou ondas desse corpo líquido. "Mas isto numa perspectiva de que o ser humano é apenas corpo, ou que este "corpo" é apenas material" (Schaeffer, 1996, comunicação pessoal). Estas são percepções de movimentos internos do corpo relativamente fluido. Os nervos medeiam tais percepções e coordenam as reações, mas os impulsos e movimentos subjacentes são inerentes à carga energética do corpo, ao seu ritmo e pulsação naturais.

Esses movimentos internos representam a motilidade do corpo, distinguindo-se dos movimentos voluntários que estão sujeitos a um controle consciente. Eles são mais evidentes nos indivíduos mais jovens. Ao olhar para o corpo de um bebê, podemos ver o seu constante movimentar, assim como as ondas de um lago, movimentos estes provocados por forças internas. Na medida em que o indivíduo se torna mais velho, sua motilidade tende a diminuir, torna-se mais estruturada e rija, até que, finalmente, com a morte, toda a motilidade cessa".

É esta visão da emoção como energia em movimento (o inglês "emotion" poderia ser livremente interpretado como "e", de energia, + "motion", movimento)[44] que Lowen passa, em seguida, a enfatizar. "Em todos os nossos movimentos voluntários existe um componente involuntário, que representa a motilidade essencial do organismo. O componente involuntário, integrado à ação voluntária, responde pela vivacidade e espontaneidade de nossas ações e movimentos. Quando está ausente ou reduzido, os movimentos do corpo têm um caráter mecâni-

44 Ou no latim "e + movere", mover para fora.

co e sem vida. Os movimentos puramente voluntários ou conscientes dão lugar a poucas outras sensações que não a sensação cinestésica de deslocamento no espaço. O tom de sentimento dos movimentos expressivos advém do componente involuntário, componente esse que não está sujeito ao controle consciente. A fusão dos elementos conscientes e inconscientes ou dos componentes voluntários e involuntários faz surgir movimentos que têm uma ligação emocional e que se constituem em ações coordenadas e eficientes".

Estas ações se beneficiam provavelmente de um conhecimento hereditário e de aspectos inconscientes da mente, frutos da história passada do indivíduo ou da espécie em sua trajetória evolutiva. Tais conteúdos, que não estão usualmente à disposição da consciência, respondem pelo que denominamos, um tanto frouxamente, de intuição. Dão margem a ações coordenadas e eficientes, porque provêm de uma memória evolutiva, passível de adaptação, podendo ser, em grande parte, moldadas pelo contexto social. Entre estas ações coordenadas e eficientes estão aquelas que os indivíduos vão exercer no trabalho e no lazer. Elas representam a expressão do que denominamos energia humana, enquanto esta se manifesta num contexto social.

A energia humana pode ser vista como uma energia de alta qualidade em sua participação no processo social e no processo econômico. Isto porque, além de realizar meramente trabalho físico, atende também a uma enorme gama de outros objetivos que os seres humanos atribuem a suas atividades. Neste sentido, várias de suas expressões são signficativas do ponto de vista social e a medida de seu rendimento deveria incluí-las. O controle social e outros elementos psicossociais do sistema cultural, como os papéis sociais, e as atitudes e disposições individuais, constituem uma espécie de moldura organizacional (informacional) através da qual a energia humana se expressa. Mas o controle social desta energia, isto é, do comportamento humano individual, pode contribuir para impedir seu fluxo espontâneo. Está assim associado à formação dos bloqueios energéticos da personalidade nas couraças musculares e, portanto, às neuroses e outras perturbações psíquicas.

"A vida emocional de um indivíduo depende da motilidade do seu corpo, que por sua vez é uma função do fluxo de excitação através dele. Os distúrbios nesse fluxo ocorrem em forma de bloqueios, que se manifestam em áreas onde a motilidade do corpo é reduzida. Nessas áreas podemos facilmente apalpar e sentir com os nossos dedos a espasticidade da musculatura. Desse modo, os termos "bloqueio", "insensibilidade" e "tensão muscular crônica" se referem ao mesmo fenômeno. Geralmente pode-se inferir a existência de um bloqueio pela

constatação de uma área de insensibilidade ou por sentir a contração muscular que o mantém". Não deixa de ser curioso que a insensibilidade, isto é, a ausência de consciência, que é informação sensorial e conhecimento, esteja associada à "falta de liberdade, ou espontaneidade" no fluxo da energia.

Para Além de Freud, Reich e Lowen

O fato de Lowen reduzir a visão bioenergética de Reich a componentes "materiais" convencionais tem a vantagem de tornar sua linguagem mais compatível com o "mainstream" da ciência, isto é com o paradigma científico dominante. Por outro lado, ocasiona limitações. Reich acreditava numa energia especial - o orgônio cósmico - que, fictícia ou não, punha o ser humano em contato com as fontes cósmicas da vida, contribuindo para ampliar a visão dos processos energéticos para além da mera realidade individual. Lowen, ao se ater a aspectos puramente "materiais", acaba por fornecer um retrato excessivamente centrado no indivíduo biológico. Reich parece também padecer de um certo viés materialista, na medida que sua misteriosa energia biopsíquica se apoia numa entidade talvez material, de existência duvidosa. No entanto, usando meramente os conceitos da visão convencional da energia é possível ir além de Reich e Lowen. Para isto, é preciso incluir os fluxos "não-materiais" de energia no organismo e ir além da perspectiva individualista, considerando as trocas de energia entre o organismo e seu meio ambiente.

O transporte de cargas elétricas, através de reações eletroquímicas nos orgãos e nos músculos, responsável pelos estímulos nervosos e pelas contrações musculares, é também uma forma essencial de fluxo de energia no corpo humano e em outros seres vivos. O transporte destas cargas envolve o conceito de campos energéticos em geral e eletromagnéticos em particular. O organismo, deste modo, pode ser representado como uma unidade energética do ponto de vista do transporte de materiais energéticos e de outros fluxos de energia, não necessariamente apoiados em transporte de materiais em seu interior.

A esta visão do organismo como unidade energética pode-se acrescentar uma dimensão extrassomática, isto é, extracorpórea. Observe-se que, do ponto de vista biofísico, o organismo inclui um sistema externo de realimentações relacionado com suas relações com o meio ambiente (ver tópico sobre energia e informação na biofísica, no Capítulo III). Do ponto de vista dos fluxos "materiais" de energia, a pele pode ser vista como a fronteira que separa o organis-

mo, como unidade energética, de seu meio ambiente externo. Mas do ponto de vista dos fluxos "não-materiais" de energia, esta unidade energética pode transcender o corpo.

Indivíduos, por exemplo, recebem fluxos de energia (e mensagens) do meio exterior - o calor do sol, a luz da sala, etc. - ou de outros indivíduos - contatos físicos, trabalho conjunto, uma conversa ou uma interação social. Estes influxos são, e as mensagens apoiam-se em, transferências de energia, algumas vezes com suporte material, em outros casos pura energia radiante. Mas o fato é que estendem o "campo" (a unidade) energético do "organismo", da "personalidade" e, certamente, da consciência, bem além do que usualmente chamamos corpo. Ainda não é fácil incluir esta visão "energética" ampliada da pessoa humana (ou dos seres vivos) nos modelos teóricos mais comuns.

Lowen explicita, numa linguagem mais clara e convencional, parte do que Freud e Reich tentaram expressar. Uma parcela do que Lowen explicita é compatível com as idéias físicas e biológicas sobre a energia. Outra parcela menciona a energia como algo diretamente experienciado. A descarga de energia é associada ao prazer. Neste sentido, sua visão se afasta do conceito físico intelectualista de energia, no qual a energia é apenas uma idéia abstrata inventada pelos físicos para explicar constâncias (conservação ou simetrias) nos processos de transformação na natureza.

A visão da energia como algo real, não apenas como uma idéia, e, mais que isto, não apenas se expressando no mundo dos fenômenos, mas dotada de alguma realidade essencial, é simpática mas não isenta de controvérsia. É um modo de caracterizar a energia como entidade substancial, assemelhado à concepção que dela faziam os energetistas. Esta perspectiva se aparenta aos usos leigos da palavra energia e não é totalmente destituída de sentido. Todas as formas de energia reconhecidas pela física são experimentadas empiricamente. Muitas manifestações da energia podem ser experienciadas através dos sentidos. A luz é vista, o calor é sentido, etc. As leis da energia de um modo geral valem para todas as suas manifestações. Além disso, pode-se argumentar que mesmo a visão intelectual da energia como entidade abstrata pode ser experienciada como necessidade lógica pelo intelecto humano em confronto com fatos reais. Todos estes seriam argumentos a favor de uma visão realista, as vezes substancialista, da energia, mas esta é uma questão epistemológica em aberto. Veremos, por exemplo, adiante, que Jung coloca a questão diferentemente dos outros psicólogos mencionados.

Os autores considerados aqui - Freud, Reich e Lowen - focalizam os comportamentos de "controle" da quantidade de energia através de sua descarga. Dão pouca atenção aos comportamentos humanos destinados a garantir influxos de energia, tais como os processos de busca, produção e obtenção de alimento, e a geração de inovações que asseguram maior controle humano sobre as fontes de energia como fogo, o vento, os combustíveis, etc. Para complementar uma visão energética, suas análises deveriam incluir os comportamentos que visam a obtenção da energia. Este tipo de análise tem sido realizado fora do campo da psicologia, entre as ciências biológicas e no campo da ecologia e das ciências sociais. No campo da psicologia ele poderia derivar de uma análise energética do desejo, da motivação e da sublimação, mas desconheço estes assuntos e, portanto, isto é mera especulação.

Assim, ao se tentar uma visão unificada da energia humana, ficamos com vários discursos em níveis diferentes. Uma visão biológica, que vê o ser humano obtendo energia do alimento, usando-a para processos metabólicos de auto-manutenção e a descarregando no meio ambiente, entre outras coisas, através de trabalho físico externo. E, por outro lado, uma visão psicológica, que analisa as emoções, os sentimentos e tenta lançar luz sobre o relacionamento sexual, o prazer e talvez a sublimação no trabalho, considerando-os associados a descargas energéticas.

Permanecem também como lacunas na descrição que fiz destas abordagens os fenômenos da memória, do conhecimento, do pensamento e da consciência, enquanto objetos de uma tentativa de interpretação em termos energéticos, assim como a natureza dos relacionamentos interpessoais, que envolvem, entre outras coisas, transações entre mentes. Envolvem comunicação. Poder-se-ia sugerir que estes fenômenos associam-se mais à idéia de informação. Contudo, é nitida a dimensão energética do comportamento individual. E é possível conjecturar que os fenômenos entrelaçados da emoção, da percepção, da consciência, do conhecimento e do desejo possuam dimensões energéticas. A consciência apoia-se na percepção de fenômenos passíveis de descrição com a linguagem da energia. A comunicação, por fim, repousa também na transmissão de mensagens, cujo suporte tem natureza energética. Estes fatos indicam possíveis caminhos para uma visão integradora que associe energia e informação na sua compreensão.

É fácil também perceber que os comportamentos básicos do amor e do trabalho possuem dimensão energética inequívoca. O trabalho, considerado em seu sentido econômico, possui um componente físico amiúde explicitado aqui, e um componente informacional que

remete às lacunas acima mencionadas. Para se avançar na direção da superação destas lacunas, precisaríamos compreender melhor a assim chamada energia psíquica. Freud tentou isto, ao que parece sem muito êxito, tentando reduzí-la a uma elaboração de energias sexuais (biológicas?) represadas. É, talvez, uma simplificação. Antes de concluir este capítulo gostaria de considerar a contribuição de Jung, que explora com certo rigor alguns destes problemas, e insinuar que o conceito de informação pode lançar também pistas para possíveis sínteses futuras. Estes caminhos são semi-virgens e, talvez, requeiram mudanças nos paradigmas teóricos através dos quais pensamos a energia e a informação[45].

45 No Capítulo VII deste livro, tento lançar uma ponte entre as especulações sobre a energia psíquica e o "espírito cósmico" através das contribuições de Teilhard de Chardin.

A Abordagem de Jung

A maneira como Jung focaliza a libido e a energia psíquica, se a compreendi, é diferente dos autores até aqui considerados. Não creio que a visão de Jung seja conclusiva. Acho que ele coloca problemas, mas não os soluciona. Segundo Jung (1973), os "eventos físicos podem ser considerados de dois modos: do ponto de vista mecanicista (ou mecanista) e do ponto de vista energetista (ou energético)". A visão mecanicista é puramente *causal*; concebe o evento como o efeito de uma causa, no sentido de que substâncias não mutantes mudam suas relações mútuas de acordo com leis fixas.

O ponto de vista energetista, por outro lado, é, em essência *final*, (ou finalista)[46]; a cadeia de eventos é rastreada para trás, do efeito até a causa, sob a suposição de que algum tipo de energia é subjacente às mudanças nos fenômenos, permanecendo esta energia constante, através das mudanças, e finalmente conduzindo à entropia, uma condição de equilíbrio geral. O fluxo da energia tem uma direção definida, um objetivo, no sentido de que segue o gradiente de potencial numa direção que não pode ser revertida (Jung, op. cit.).

Para Jung, "a idéia de energia não é a de uma substância movendo-se no espaço; ela é um conceito abstraído de relações de movimento. O conceito, portanto, está fundado não em substâncias em si mesmas, mas em suas relações, enquanto a substância em movimento em si mesma é a base da visão mecanista"[47]. Ambas as visões, no entanto, são, para ele, meramente princípios explanatórios, pontos de vista, refletindo mais atitudes psicológicas que descrições da natureza da realidade. Deste modo, cada evento, para ser entendido, requer tanto a visão mecanista-causal quanto a energética-final.

A visão mecanista é, para ele, qualitativa, e diz respeito à natureza das substâncias, enquanto a visão energética é, em essência, quantitativa, tem a ver com as relações gerais que governam a transformação das substâncias. A primazia de um dos pontos de vista sobre o outro

46 Jung não gosta do termo "teleológica" que, segundo ele, dá idéia de que há um objetivo específico que o sistema procura.
47 Tenho alguma dificuldade com esta distinção de Jung entre o ponto de vista mecanista e o energético. Ela parece útil, mas talvez não mereça ser demasiado enfatizada. Há uma definição "mecanicista" da energia como uma propriedade da matéria em movimento que pode levar a alguma confusão. Em todo caso a distinção de Jung tem bases na história da ciência.

depende da situação a ser focalizada e do objetivo da análise. Se optamos por focalizar o aspecto qualitativo do evento então a visão energética é secundária, pois ela nada tem a ver com as coisas em si mesmas, mas apenas com suas relações quantitativas de movimento.

Podem os eventos psíquicos ser considerados de uma perspectiva energetista? "*A priori* não existem razões pelas quais isto não seja possível, dado que não há bases para excluir os eventos psíquicos do campo da experiência objetiva. A psique, ela própria, pode perfeitamente ser um objeto de experiência. Pode-se, contudo, questionar se o ponto de vista energetista é aplicável aos fenômenos psíquicos em sua totalidade e, caso o seja, se o psiquismo pode ser considerado um sistema relativamente fechado ao qual se apliquem as leis da energia.

Quanto ao primeiro ponto, Jung acha que o conceito de energia psíquica é tão justificável em ciência quanto o de energia física, e que a energia psíquica tem tantas medidas quantitativas e diferentes formas quanto a energia física. Quanto ao segundo ponto, Jung assevera não estar preocupado em ajustar os processos da energia psíquica ao sistema físico. Conquanto pareça certo, para ele, que a energia psíquica esteja fortemente conectada com processos físicos "para falar com autoridade desta conexão nós necessitaríamos muitas experiências e "insights" diferentes" (Jung, op. cit.). Jung propõe ver a psique como um sistema relativamente fechado. Neste caso, precisa romper com a hipótese psicofísica devido a seu ponto de vista epifenomenalista, considerado uma herança do velho, e já fora de moda, materialismo científico.

Na hipótese psicofísica, embora possuindo existência própria, os fenômenos psíquicos acham-se como que amarrados aos fatos físicos. A consciência, por exemplo, é vista como um fenômeno diretamente derivado de condições físicas e do cérebro. Jung argumenta em outra direção. "As conexões causais existentes entre os fatos psíquicos, que podemos observar a qualquer tempo, contradizem a teoria epifenomenalista, que tem uma fatal similaridade com a crença materialística de que a psique é secretada pelo cérebro tal como a bile o é pelo fígado"... " Uma psicologia que trate o cérebro como um epifenômeno poderia melhor ser denominada de psicologia cerebral, e estaria satisfeita com o pobre resultado que uma tal psicofisiologia pudesse fornecer. A psique merece ser considerada como fenômeno, em si mesma, não há bases para considerá-la como mero epifenômeno, conquanto possa ser dependente do funcionamento do cérebro. Estar-se-ia igualmente pouco justificado em considerar a vida (apenas) como um epifenômeno da química dos compostos de carbono" (Jung, op. cit.).

A experiência imediata das relações quantitativas no psiquismo, de um lado, e a inegável existência de uma conexão psico-física, no outro, justificam ao menos uma visão provisória da psique como um sistema relativamente fechado. Neste ponto Jung coloca-se em oposição direta a Von Grot, que ele qualifica de pioneiro neste difícil campo. Ele expõe as posições de Von Grot para explicitar sua discordância:

1. " Energias psíquicas possuem quantidade e massa, assim como as energias físicas.
2. As diferentes formas de trabalho psíquico e de potencialidade psíquica, podem ser transformadas uma em outra.
3. Elas podem ser convertidas em energias físicas e vice versa, por meio de processo fisiológicos" (Jung, op. cit.).

Para Jung, o item 3 merece um ponto de interrogação. "Em última análise só a experiência[48] pode decidir não só se o ponto de vista energetista é possível em si mesmo, mas se ele fornece resultados na prática[49]. A possibilidade de medidas quantitativas exatas da energia física provou que o ponto de vista energético fornece resultados quando aplicado à eventos físicos. Mas seria possível considerar os eventos físicos como formas de energia mesmo que não houvesse medidas quantitativas exatas, mas meramente a possibilidade de estimar quantidades. Se, no entanto, isto se revelasse impossível então o ponto de vista energetista teria que se abandonado, dado que se não existe ao menos a possibilidade de estimação quantitativa a perspectiva energetista seria bastante supérflua" (op. cit.).

Já que a possibilidade de medidas quantitativas dos fenômenos físicos existe, a questão é pois saber se ela existe também para os fenômenos psíquicos. "A aplicabilidade do ponto de vista energetista à psicologia apoia-se, então, na questão de de ser ou não possível uma estimação quantitativa da energia psíquica. Esta questão pode ser respondida com uma afirmativa incondicional, dado que nossa psique realmente possui um sistema de avaliação extraordinariamente bem desenvolvido, ou seja, o *sistema de valores psicológicos*. Valores são estimações quantitativas da energia" (Jung, op. cit.). Em nossos valores morais e estéticos coletivos temos à disposição não apenas um sistema objetivo de valor mas um sistema objetivo de mensuração. Este sistema não é todavia diretamente disponível para nosso objetivo, dado que ele é uma

48 O termo usado na tradução inglesa da obra de Jung é "expediency", que traduzi arbitrariamente por experiência, mas que pode ter a ver com um modo expedito de ver as coisas.
49 Para Von Grot, "o ônus da prova recai sobre aqueles que negam a energia psíquica, não sobre aqueles que a reconhecem" (citado por Jung, 1973, nota de rodapé 14, p 8).

uma escala geral de valores que só indiretamente leva em consideração o dado subjetivo, ou seja as condições psicológicas.

O que precisamos é do sistema subjetivo de valores, das avaliações subjetivas do indivíduo singular. Podemos estimar valores subjetivos de nosso conteúdos psíquicos até um certo ponto, mesmo quando seja difícil medi-los acuradamente em relação aos valores geralmente estabelecidos. Mas esta comparação é supéflua, continua Jung. Podemos ponderar nossas avaliações subjetivas umas em relação às outras, determinando sua força. Esta medida é relativa ao valor de outros conteúdos e, portanto, não é absoluta e objetiva, "mas é suficiente para nosso propósitos tanto quanto as diferentes intensidades de valor em relação à quantidades similares possa ser reconhecida com certeza, enquanto iguais valores sob as mesmas condições, mantenham-se a si próprios em equilíbrio" (op. cit.).

A dificuldade aparece somente quanto temos que comparar as intensidades de valor de qualidades diferentes, digamos o valor de uma idéia científica comparada com a impressão dos sentimentos. Aqui a estimação subjetiva torna-se incerta e não confiável. Do mesmo modo a estimação subjetiva está restrita aos conteúdos da consciência. ela é inútil com respeito às avaliações que vão além das fronteiras do inconsciente.

Devido às famosas relações compensatórias entre o consciente e o inconsciente, já focalizadas por Freud, vide sua perspectiva econômica aplicada à energia, torna-se muito importante encontrar o valor dos produtos inconscientes. Se desejamos avançar com a perspectiva energética aplicada aos fenômenos psíquicos devemos aceitar que valores conscientes possam aparentemente desaparecer sem reaparecer novamente em outra qualquer realização consciente. Neste caso, devemos teoricamente esperar seu reaparecimento em nível inconsciente. Mas dado que o inconsciente não é diretamente acessível seja em nós mesmos, seja nos outros, a avaliação deve ser indireta. Precisamos recorrer a métodos auxiliares.

No caso da avaliação subjetiva, o sentimento e o "insight" vêm em nossa ajuda, diz Jung. São funções que estiveram em desenvolvimento por longos períodos de tempo e se tornaram claramente diferenciadas. Mesmo as crianças, muito precocemente praticam a diferenciação de suas escalas de valores. Ponderam se gostam mais de seu pai ou de sua mãe, quem vem em terceiro lugar, etc. Esta avaliação consciente não só fracassa em relação às manifestações inconscientes mas é na realidade torcida nas mais óbvias estimações falsas, também descritas como "repressões" ou "deslocamentos de afetos". A avaliação subjetiva está

pois inteiramente fora de questão para estimar intensidades de valores inconscientes. Necessitamos de um ponto de partida objetivo.

Jung vai encontrar este ponto de partida em constelações de elementos psíquicos agrupados em torno de sentimentos que ele chama "complexos". O complexo consiste de um elemento nuclear e de um grande número de associações secundárias consteladas. O elemento nuclear envolve um fator determinado pela experiência e causalmente relacionado ao meio, e um fator inato no caráter individual e determinado por sua predisposição.

O elemento nuclear é caracterizado pelo tom afetivo, pelo sentimento, a ênfase resultando da intensidade do afeto. Esta ênfase, expressada em termos de energia, é uma quantidade de valor. Se o elemento nuclear é consciente, esta quantidade pode ser subjetivamente estimada. Mas se o elemento nuclear é inconsciente, como freqüentemente ocorre, a estimação subjetiva torna-se impossível. Que um complexo ou seu núcleo essencial possa ser inconsciente não é um fato evidente por si mesmo. Um complexo possui uma certa intensidade afetiva. Poder-se-ia esperar que este valor de energia o forçaria à consciencia, seu poder de atração compeliria à atenção consciente. O fato de que as coisas não sejam assim merece uma explicação. A mais simples explicação deriva da teoria da repressão de Freud. Esta teoria pressupõe uma contraposição na mente consciente. A atitude consciente seria hostil ao complexo inconsciente e não lhe permitiria exprimir-se conscientemente.

Na visão de Jung, há muitos casos que não se explicam assim. A teoria da repressão só considera casos nos quais um conteúdo, perfeitamente capaz de tornar-se consciente, é conscientemente reprimido e tornado inconsciente, ou desde o início nunca alcançou a consciência. Ela não considera casos em que um conteúdo de alta intensidade energética é formado de material inconsciente que não pode se tornar consciente por si próprio e, desta forma, não pode ser tornado consciente a não ser com grande dificuldade. Nestes casos, a atitude consciente, longe de ser hostil ao conteúdo inconsciente, é favorável a ele, tal como no caso de produtos criativos que, como se sabe, tem sua origem no inconsciente.

Assim como a mãe anseia pelo filho que vai nascer e, no entanto, o traz ao mundo com esforço e dor, também um conteúdo novo e criativo, a despeito da vontade da mente consciente, pode permanecer por longo tempo no inconsciente sem ser reprimido. Apesar de sua alta intensidade energética ele não se torna consciente. Casos assim não são difíceis de explicar. Porque o conteúdo inconsciente é novo, e portanto estranho para a consciência, não existem associações e pontes conectando-o aos conteúdos conscientes. Todas estas conexões

precisam primeiro ser estabelecidas, com grande esforço, sem elas a consciência não é possível.

Voltando à estimação objetiva da energia psíquica, é preciso reiterar que o elemento nuclear do complexo tem um poder constelador correspondente a seu valor energético. Ele produz uma constelação específica de conteúdos psíquicos, dando origem ao complexo, que é uma constelação de conteúdos psíquicos dinamicamente condicionados pelo valor energético. A constelação resultante não é apenas uma irradiação do estímulo psíquico, mas uma seleção de conteúdos psíquicos estimulados que é condicionada pela qualidade do elemento nuclear. Esta seleção não pode ser explicada em termos de energia porque a explanação energética é quantitativa e não qualitativa. Para uma explanação qualitativa temos que recorrer ao ponto de vista causal. Assim conclui Jung: "a proposição sobre a qual a estimação objetiva das intensidades de valor psicológico é baseada expressa-se como o *poder de constelação dos elementos nucleares corresponde a sua intensidade de valor, isto é à sua energia* " (op. cit.).

Que meios temos de estimar o valor energético do poder de constelação que enriquece o complexo com associações? Podemos estimar este quantum de energia de várias formas:

1. a partir do número relativo de constelações afetadas pelo elemento nuclear,
2. a partir da freqüência relativa e intensidade das reações indicando um distúrbio ou complexo, e
3. a partir da intensidade dos efeitos que o acompanham.

O próximo passo de Jung é detalhar os métodos para operacionalizar estes três items. Remeto o leitor à sua obra para não estender demasiado este tópico.

É importante ressaltar que o modo como Jung analisa o problema o coloca muito próximo de uma postura que tenho indicado ao longo deste livro, a das relações íntimas entre energia e informação. Esta postura pode ser excessivamente reducionista ou simplificadora, mas merece ser considerada. A energia, afetada pela informação é usada para gerar a organização complexa, prenhe de informação e de caos. No caso Jungiano, a energia está associada às constelações. Esta organização complexa fornece as bases para os processos informacionais de que ela própria se constitui. Fornece as bases no caso para o processo qualitativo de seleção que participa da formação do complexo e que constitui um típico fenômeno informa-

cional[50]. Aqui, como em vários outros campos de análise, energia e informação poderiam estar estreitamente relacionadas, constituindo um modelo similar, paralelo e, talvez, mais pobre que o de Jung, para configurar o processo da energia psíquica. Mas, em compensação, poderia ganhar em operacionalidade.

50 Sobre a relação entre energia e organização ver Campos Machado, 1994

A Energia Psíquica Segundo Jung

O termo energia psíquica está em uso há longo tempo. Segundo Jung (op. cit.), "encontramo-lo, por exemplo em Schiller. O ponto de vista energetista foi também usado por von Grot e Lipps. Lipps distingue energia psíquica de energia física enquanto Stern deixa a questão de sua conexão em aberto". Jung atribui a Lipps também a distinção entre energia psíquica e força psíquica. A "força psíquica assegura a possibilidade dos processos emergirem na psique e atingirem uma certa eficiência. Energia psíquica, por outro lado, é definida por Lipps como a 'capacidade inerente a estes processos para atualizar esta força neles mesmos'". A distinção entre força e energia é, para Jung, "uma necessidade conceitual, pois energia é realmente um conceito e, como tal, não existe objetivamente nos fenômenos em si mesmos mas somente nos dados específicos da experiência". Para ele "a energia é sempre experienciada especificamente como movimento e força quando atual, e como um estado ou condição quando potencial. A energia psíquica, quando atual, aparece nos fenômenos específicos, dinâmicos da psique na forma de instinto, desejo, vontade, afeto, atenção, capacidade para trabalho, etc, que constituem as forças psíquicas. Quando potencial a energia mostra-se a si própria em realizações específicas, possibilidades, aptidões, atitudes, etc., que são seus vários estados" (op. cit.).

Desafortunadamente não se pode provar cientificamente que exista uma relação de equivalência entre a energia física e a energia psíquica. Assim "não temos alternativa exceto abandonar o ponto de vista energético ou então postular uma energia psíquica especial - o que seria inteiramente possível como operação hipotética". "A psicologia tanto quanto a física tem o direito de construir seus próprios conceitos, como Lipps já observou, mas somente na medida em que a perspectiva energética prove seu valor e não seja apenas uma acumulação sob um conceito geral vago - uma objeção já levantada por Wundt. Nós somos de opinião, no entanto, que a visão energética dos fenômenos psíquicos é válida porque nos capacita a reconhecer exatamente aquelas relações quantitativas cuja existência na psique não pode possi-

velmente ser negada mas que são facilmente negligenciadas a partir de uma perspectiva puramente qualitativa" (op. cit.).

Se a psique consistisse só na mente consciente, continua Jung, nos contentaríamos com o postulado de uma "energia psíquica especial". Mas desde que estamos persuadidos de que os processos inconscientes também pertencem à psicologia, e não meramente à fisiologia do cérebro (como processos de substratum), estamos obrigados a colocar nosso conceito de energia em uma base mais ampla. Concordamos completante com Wundt, ele prossegue, em que há coisas das quais somos parcamente conscientes. "Aceitamos, como ele o faz, uma escala de clareza para os conteúdos conscientes, mas para nós a psique não cessa onde a escuridão começa mas continua direto para o inconsciente. Também deixamos uma parte para a psicologia do cérebro dado que assumimos que as funções inconscientes em última análise prolongam-se sobre os processos do substratum aos quais nenhuma qualidade psíquica pode ser atribuída, exceto por meio da hipótese filosófica do pan-psiquismo" (op. cit.).

Ao delimitar o conceito de energia psíquica defrontamos, pois, certas dificuldades, porque não temos meios de separar o que é psíquico do processo biológico enquanto tal, diz ainda Jung. "A biologia assim como a psicologia pode ser abordada pela perspectiva energética, na medida em que o biologista sinta que isto é útil e valioso. Tal como a psique o processo da vida em geral não mantém nenhuma relação demonstrável de equivalência com a energia física" (op. cit.).

A ligação com a biologia é ainda reforçada. "Se nos prendêssemos ao senso comum e evitássemos considerações filosóficas que nos levariam muito longe faríamos melhor considerando o processo psíquico simplesmente como um processo vital. Deste modo ampliamos o conceito mais estreito de energia psíquica para um mais amplo de energia vital, que inclui a 'energia psíquica' como uma parte específica. Ganharíamos assim a vantagem de ser capazes de seguir relações quantitativas para além dos confins estreitos do psiquismo em direção à esfera das funções biológicas em geral, e assim fazer justiça, se necessário, ao longamente discutido e sempre presente problema da 'mente e corpo'"(op. cit.).

Talvez para resguardar-se da possível acusação de incorrer no vitalismo, Jung assegura que "o conceito de energia vital não tem nada a ver com a assim chamada força vital, porque esta, enquanto força, nada mais é do que uma forma específica da energia universal. Considerar a energia vital pois, é, assim, fazer uma ponte sobre o golfo ainda aberto entre os processo físicos e os processos vitais, seria livrar-se das exigências especificas da bioenergética como

oposta à energética física. Tenho pois sugerido que, em vista do uso especial psicológico que queremos fazer dele, chamemos nossa hipotética energia vital de libido. Neste sentido eu a diferenciei do conceito de energia universal, assim mantendo o direito da biologia e da psicologia formarem seus próprios conceitos. Adotando este uso não quero de nenhum modo criar empecilhos para trabalhadores no campo da bioenergética, mas livremente admitir que adotei o termo libido com a intenção de usá-lo para meus próprios propósitos: para eles termos tais como bioenergia ou energia vital podem ser preferidos" (op. cit.).

Faz a advertência de que é preciso tomar cuidado com uma possível má interpretação. "Não tenho a menor intenção no presente paper de entrar na discussão da controvertida questão do paralelismo psicofísico e da ação recíproca. Tais teorias são especulações concernentes à possibilidade da mente e corpo funcionarem juntos lado a lado, e tocam no ponto que deliberadamente estou deixando de lado ou seja a questão da possibilidade da energia psíquica existir independentemente de, ou estar incluída no processo físico. Em minha visão não sabemos praticamente nada acerca disto. Como Busse, considero a idéia de ação recíproca defensável, e não vejo razão para prejudicar sua credibilidade com a hipótese do paralelismo psicofísico. Para o psicoterapeuta, cujo campo especial esteja apenas nesta esfera especial da interação mente-corpo, parece altamente provável que o psíquico e o físico não sejam dois processos independentes, mas estejam essencialmente conectados através da ação recíproca, conquanto a natureza real desta interação esteja ainda completamente fora de nossa experiência" (op. cit).

E conclui sem ser conclusivo: "discussões exaustivas desta questão caem bem para filósofos, mas a psicologia empírica deve-se ater-se a fatos empiricamente accessíveis. Mesmo que não tenhamos sido bem sucedidos em provar que os processos da energia psíquica estão incluídos no processo físico, os oponentes de tal possibilidade foram igualmente mal sucedidos em separar o psíquico do físico com qualquer grau de certeza" (op. cit.).

Notas Bibliográficas

1. Freud, S., - Ver verbete "Freud" na Enciclopaedia Brittannica, edição de 1974, textos de Bernfeld e Holt.
2. Laplanche J. e Pontalis, J. B., 1971 - Ver os verbetes "Energie Libre" e "Energie Liée", p. 133 e "Libido", p 224.
3. Dychwald, K., 1984 - sobre Reich e a sexualidade, ver pp. 107-110.
4. Sobre a noção de "catexis", ver Cabral, A., e Nick, E., 1974, pp. 55.5. Reich, W., 1973 - Sobre a energia do orgônio cósmico, ver pp. 193-221.6. Reich, W., 1986 - Sobre a energia biopsíquica, ver pp. 228-244.
5. Lowen, A., 1975 - Sobre a abordagem de Lowen, ver seu livro "Bioenergética", especialmente o capítulo "O conceito de Energia", pp. 40-71. Os trechos citados foram extraídos das pp. 40-47.
6. Jung, C. G. 1973 - Sobre a aplicação do ponto de vista energético e a energia psíquica em Jung, ver pp. 3-18
7. Lowen, A., 1975 - Sobre a abordagem de Lowen, ver seu livro "Bioenergética", especialmente o capítulo "O conceito de Energia", pp. 40-71. Os trechos citados foram extraídos das pp. 40-47.
8. Jung, C. G. 1973 - Sobre a aplicação do ponto de vista energético e a energia psíquica em Jung, ver pp. 3-18

CAPÍTULO V

A ENERGIA NAS CIÊNCIAS SOCIAIS

Introdução

Embora se encontrem referências, implícitas ou explícitas, à noção de energia na obra de muitos cientistas sociais, relativamente poucos colocaram a energia entre suas preocupações principais. Destes, alguns enfocaram a energia como uma variável independente na explicação de processos sociais básicos. Por outro lado, também físicos, engenheiros e ecologistas usaram, de forma instigante, o conceito de energia como uma avenida em suas incursões nos assuntos sociais e econômicos. Antes de resenhar o trabalho destes autores, gostaria de situar a posição energética das sociedades humanas no conjunto da biosfera. Em seguida, farei uma excursão rápida na história da sociologia, relacionando-a com as outras ciências sociais, para situar as obras que se preocuparam com a energia no conjunto das pesquisas em ciências sociais.

Usando como fio condutor um interessante trabalho de Newcombe (1976), economista do Banco Mundial, historiarei brevemente as principais referências teóricas ao tema da energia nas ciências sociais. Seguirei quase sempre um critério cronológico, exceto quando o parentesco entre os temas tratados for tão grande que valha a pena fazer a ponte imediatamente. Pela importância da obra de Leslie White neste contexto, resolvi usá-la como elemento demarcador dos principais temas em discussão. Depois desta introdução, de um tópico sobre a biosfera e as sociedades humanas, e de um esboço da história da sociologia, dividi o restante deste capítulo em três partes principais, com tópicos intermediários: 1. A Energia nas Ciências Sociais antes de Leslie White; 2. As Contribuições de Leslie White e Fred Cottrell e; 3. A Energia nas Ciências Sociais depois de Leslie White.

A Biosfera e as Sociedades Humanas

As sociedades humanas são sistemas vivos imersos no sistema da biosfera. Como outras sociedades animais e outros sistemas vivos, elas extraem energia, materiais e informações do meio ambiente em torno, processam-nos, armazenam-nos e os devolvem ao meio sob formas variadas - ação (transformadora e de manutenção do meio), rejeitos, calor dissipado, etc. Mas, diferentemente de outros sistemas vivos, as sociedades humanas possuem um sistema cultural desenvolvido. Através dele, se provêem de meios simbólicos e tecnológicos para assegurar o controle de uma parte dos fluxos de energia, materiais e informação entre elas e o resto de biosfera. Neste tópico me referirei apenas aos fluxos de energia, já que este é o objetivo do livro. Materiais e informação podem, algumas vezes ser vistos em termos do seu conteúdo energético.

Os sistemas vivos em geral, animais e vegetais, evoluem por mutação e adaptação progressiva ao meio ambiente, que parcialmente transformam, parciamente mantêem, aproveitando sobras de energia livre, como nichos ecológicos onde se acomodam as novas espécies e os novos indivíduos, num ritmo aparentemente adequado à evolução do sistema como um todo. Parte da evolução biológica é basicamente decorrente do processo de seleção natural, mas outros mecanismos podem influir. Há indícios crescentes de que a evolução da biosfera como um todo exerça poderosa influência realimentadora sobre a evolução das espécies particulares.

Já os sistemas humanos, além da evolução biológica e do crescimento demográfico, evoluem social e culturalmente, não só adaptando-se aos nichos energéticos existentes como descobrindo e inventando novas reservas ou formas de energia que possam ser aproveitadas. O sistema cultural é especialmente importante neste processo de descoberta, invenção e difusão das inovações. O ritmo da evolução sócio-cultural é mais rápido que o da evolução biológica e seus efeitos sobre a biosfera podem ser dramáticos. Grande parte da paisagem do planêta, como um todo, e das espécies vegetais e animais, em particular, já foi de alguma forma afetada pela ação humana.

O impacto energético da sociedade humana atual sobre a biosfera não é desprezível. Para se ter uma idéia disso, basta observar que o valor energético líquido da fotossíntese continental, isto é da produção menos o decaimento de biomassa vegetal (ou fotossíntese menos respiração, ou ainda energia absorvida menos energia dissipada) sobre a superfície sólida do planêta, é da ordem de 0,58 Q (Leith, 1964), enquanto o "consumo" global de energia da humanidade é da ordem de 0,23 Q (ver quadro abaixo, onde a unidade Q é definida); ou seja, corresponde a aproximadamente 40% da fotossíntese continental É verdade que a fotossíntese total, isto é, sobre a totalidade do planeta, incluindo portanto a realizada nos oceanos, é cerca de dez vezes maior que o dado acima referido para os continentes.

Há uma outra maneira de se avaliar as ordens de grandeza envolvidas nos fluxos da energia no cosmos, no meio ambiente e nas sociedades humanas. A quantidade total de energia como massa e radiação no universo é da ordem de $4{,}5x10^{58}\,kWh$. Isto é apenas uma pequena fração da quantidade de energia existente na forma de gravitação no cosmos. O sol gera uma quantidade diária de radiação da ordem de $8{,}33x10^{25}\,kWh$, espalhados no espaço. Destes, a Terra recebe cerca de $4{,}14x10^{15}\,kWh$. Em contraste com isto, a humanidade como um todo convertia, em 1975, um total de $1{,}59x10^{11}\,kWh$ num dia, ou seja menos de 1 vigésimo milésimo da energia solar recebida pela Terra inteira (Gabel,1975). Mas a energia de fato usada na fotossíntese é uma fração (cerca de 1 %) da energia incidente sobre a superficie do solo, que é, por sua vez uma fração da energia solar que atinge o alto da atmosfera terrestre.

A humanidade gera, portanto, energia comercial numa fração significativa da energia solar efetivamente usada pelas plantas verdes no processo da fotossíntese, que é a base essencial da vida na Terra, podendo com esta contribuição energética evidentemente afetar os processos da biosfera.

A UNIDADE DE ENERGIA Q

O Q é uma unidade muito grande de energia, útil para cálculo de balanços de energia em nível do consumo global da humanidade ou da biosfera como um todo. O Q corresponde a 1,06 multiplicado por 10 elevado à potência 21 (1 seguido de 21 zeros) joules, isto é $Q = 1{,}06x10^{21}\,J$. Um joule é a energia equivalente ao trabalho de uma força (constante) de 1 Newton aplicada na distância de 1 metro medido na direção da aplicação desta força[51]. O Q é diferente do Quad, na verdade o Q é igual a 1000 quads. O $Quad = 40x10^6$ toneladas de carvão equivalente, isto é a quantidade de energia proveniente da queima de 40 milhões de toneladas de carvão. Portanto o Q equivale a energia de 40 bilhões de toneladas de carvão. A origem do nome Quad provêm de outra unidade de energia, o BTU - British Thermal Unit. O Quad equivale a 1 quadrilhão de BTUs. Desta forma, Q vale 1 quintilhão de BTUs.

Em vez de energia apenas, podemos também considerar potência. Potência é a taxa de uso da energia no tempo. Quando se analisam as densidades de concentração de potência (potência por área) controlada pelos seres humanos, observa-se que a densidade média de potência global da energia comercial no início dos anos 70 era grosseiramente de $0{,}016w/m^2$ (uma taxa de $8x10^9\,kW$ de potência global sobre uma área total de $5x10^{14}\,m^2$). A potência controlada pela humanidade era inferior a 10^{-4} (um décimo milésimo) da potência média da radiação solar global que atinge a superfície da Terra. Neste sentido, o fluxo da energia comercial é bastante pequeno se comparado aos fluxos naturais.

Todavia, foi estimado que, se continuarmos a aumentar o uso da energia à taxa atual, dentro de 200 anos a densidade de potência das atividades humanas será igual à da radiação solar total sobre o planêta (Weinberg, 1975). Este dado é crucial. A radiação solar total é o insumo energético básico (Capítulo II) do funcionamento da biosfera, que se dá em condições de

51 Em termos de eletricidade, o joule também pode ser definido como a energia transportada em um segundo em um condutor percorrido por uma corrente elétrica invariável de um ampére, sob uma diferença de potencial constante igual a um volt (ver o Novo Dicionário da Língua Portuguesa, Aurélio Buarque de Holanda Ferreira, 1 ed. Esta definição foi extraída dessa obra, mas modifiquei a redação que dava margem a êrro. O Aurélio diz: a energia transportada "por segundo" e não "em um segundo", como coloquei. A redação por segundo dá a entender o quociente de energia por tempo que dá a potência).

relativo equilíbrio. Duplicar o valor da energia que flui no sistema da biosfera poderia significar uma outra forma de organização da biosfera, pois a organização de um sistema natural é relacionada à energia que nele flui. Não se sabe o que poderia significar ter uma outra biosfera.

Já hoje em dia, em certas áreas dos grandes assentamentos urbanos, ocorrem densidades de potência que ultrapassam amplamente a radiação solar por grandes períodos do ano (Kalme e Newcombe, 1975), e que são responsáveis pelo intenso metabolismo das cidades. Formam-se em conseqüência, nas metrópoles, verdadeiras "ilhas de calor" onde a temperatura chega a ser de 5° a 10° C mais alta que no ambiente em torno. A formação da ilha de calor urbana pode ser atribuída, segundo Eriksen (1978), aos seguintes fatos:

1. Aos efeitos das transformações de energia no interior da cidade, que, como meio físico, possui formas específicas (estruturas verticais artificialmente criadas), cores próprias (que refletem diferentemente a luz alterando o albedo) e materiais de construção específicos (que afetam a condutibilidade térmica);
2. À redução do resfriamento causado pela diminuição da evaporação nas poucas áreas verdes preservadas (o transporte de água da chuva passa a ser feito através de canalização); e
3. À produção de energia antropogênica (gerada pelo homem) através da emissão de calor pelas indústrias, pelo trânsito de veículos e pelas habitações (Lombardo, 1985).

A produção de energia pelos seres humanos aumenta a temperatura em certos locais, pois o calor emitido pela ação humana nas grandes cidades ultrapassa o balanço médio de radiação. A enorme controvérsia em torno da intensificação do efeito estufa resulta da generalização para o conjunto da biosfera de uma multiplicidade de situações similares. O efeito estufa, através do qual uma parte da energia dissipada pelo nosso planêta fica retida na atmosfera, como numa estufa de criação de plantas, é, na verdade, o responsável pela vida na Terra. Por causa do efeito estufa a temperatura média na superfície do planêta é de cerca de 15 graus centígrados positivos, e não de algumas dezenas de graus negativos como seria na ausência dele.

Nos últimos 150 anos, no entanto, devido provavelmente à queima de combustíveis fósseis (como o carvão e o petróleo) e aos desmatamentos, a quantidade de dióxido de carbono - um dos gases responsáveis pelo efeito estufa - na atmosfera aumentou em mais de

25%. Isto, segundo a maioria dos cientistas, causou uma intensificação do efeito estufa, aumentando a temperatura média na superfície da Terra. Se esta tendência continuar, estes cientistas prevêem novos aumentos da temperatura com alterações do clima e graves consequências para a economia e a vida humana em geral. O efeito estufa, contudo, é um fenômeno muito mais complexo do que explicado aqui. Há ainda enorme controvérsia a seu respeito. Mas não há controvérsia a respeito do fato de que a ação humana, tanto em nível local quanto em nível planetário, afeta enormemente os ecossistemas e a biosfera como um todo, podendo causar enormes prejuízos ao ambiente terrestre e à humanidade.

Na medida em que fazem parte da biosfera, as sociedades humanas estão condicionadas aos comportamentos dela e aos seus limites de funcionamento. Entretanto, se observarmos a história humana de um ponto de vista evolucionário, veremos que ela é também a história da superação dos limites que os diferentes ecossistemas impuseram às culturas humanas. As culturas, de um modo geral, adaptam-se aos ecossistemas ou os adaptam parcialmente a elas, mas muitas vezes esta adaptação é rompida.

Quando a adaptação é rompida, podem haver crises ecológicas, mas podem haver também períodos férteis em inovações tecnológicas ou mudanças sociais que abrem a possibilidade de explorar outros ecossistemas ou modificar o modo pelo qual o sistema cultural em questão se adapta a seu meio ambiente natural. Isto ocorreu, por exemplo, na Inglaterra, quando as florestas foram quase extintas, a lenha desapareceu e o carvão mineral passou a ser usado em seu lugar. As indústrias intensificaram sua produção mas os ecossistemas florestais desapareceram irreversivelmente.

Na verdade, à exceção de algumas áreas que permanecem anecumênicas, isto é relativamente desabitadas, como a Antártida, a Sibéria, o norte do Canadá, a Amazônia e os desertos, todo o resto da superfície sólida do planeta foi ocupada por atividades humanas. Mesmo as áreas não ocupadas foram atingidas por efeitos da ação humana e são cobiçadas para ocupação humana e exploração econômica, seja a partir dos recursos técnicos atuais, seja em função de sua extrapolação futura. A ocupação destas áreas imporá, todavia, um custo econômico e energético muito alto. As áreas que acarretavam custos menores foram ocupadas antes. A ocupação plena das novas áreas terá que ser "subsidiada" por recursos de outras áreas, aumentando a sobrecarga geral do sistema, até que novas tecnologias, apropriadas a elas, se tornem disponíveis.

Embora as sociedades humanas se adaptem aos diferentes ecossistemas e à biosfera como um todo, e sejam dependentes deles, elas possuem uma dimensão, fornecida pela capacidade de criação de cultura, de "superação" dos limites dos ecossistemas existentes. Mas isto não deve levar a um otimismo ingênuo, pois a questão de quais são os limites que podem ser superados, e quando o poderão, é uma questão em aberto, e os preços ambientais a pagar por êrros técnicos e econômicos podem ser muito altos. Os recursos disponíveis, as culturas humanas, e as leis da natureza, por exemplo, ao mesmo tempo que abrem possibilidades evolutivas, podem também impor limites estritos. Com as tecnologias básicas usadas nos diferentes sistemas econômicos e as fontes de energia que as alimentam, ocorre fato similar. Permitem a evolução sócio-cultural, e afetam de modo complexo e, muitas vezes imprevisto, o meio ambiente com o qual interagem, mas também estabelecem limites para o que pode ser realizado.

Particularmente, para muitos cientistas, entre as leis da natureza, a segunda lei da termodinâmica estabelece parâmetros energéticos estritos para o funcionamento da biosfera, para as atividades humanas e, portanto, para a economia. Ela estabelece que em cada transformação energética macroscópica, com realização de trabalho, em cada transformação termodinâmica, há uma eficiência teórica máxima, impossível de ser superada. Não é possível realizar a transformação com eficiência maior do que a definida pela segunda lei.

A maioria das transformações termodinâmicas de energia na natureza e na sociedade humana ocorre com eficiências reais bem inferiores às eficiências teóricas de segunda lei. Portanto, seria possível, em teoria, aumentar sua eficiência até o limite prescrito pela segunda lei. Na prática isto é impossível. Os processos teriam que ser realizados de forma lentíssima e em condições muito especiais. Isto é assim porque as eficiências máximas (teóricas) só podem ser obtidas em situações idealizadas, com variações incrementais, próximas das condições de reversibilidade, nas quantidades de energia transferidas. Para uma ilustração mecânica da situação, lembremo-nos do princípio de Lotka. Na natureza há freqüentemente enormes desperdícios de energia em nome de eficácia de um processo. O mesmo ocorre nas sociedades humanas. Mas, por outro lado, obter eficiências máximas é, tecnologicamente, bastante difícil e, no caso de processos industriais, completamente anti-econômico.

O enunciado inicial desta seção tem, todavia, que ser revisto. Pode-se especular hoje que as sociedades humanas não têm que ser vistas como sistemas necessariamente imersos na biosfera terrestre. Na verdade, o que chamamos "tecnosfera", antes concebida como a parte

da biosfera transformada pelas ações tecnológicas humanas, começa a exceder a biosfera convencional. Satélites giram no espaço em torno do planêta, laboratórios orbitais tripulados trafegam normalmente e naves espaciais têm sido enviadas a outras partes do sistema solar. Estes engenhos possuem sistemas energéticos independentes da Terra (baterias solares, por exemplo), mas suas ligações energéticas (e informacionais) "ancestrais" (a energia e a informação usadas em sua fabricação e concepção, por exemplo) são com nosso planeta, do qual, neste sentido, não são autônomos.

A construção de bases permanentes na Lua ou em Marte poderá alterar esta situação. Ainda que a memória (os estoques de informação e conhecimento), alguns materiais, parte da estrutura física e a tecnologia básica sejam terrestres, as bases na Lua ou em Marte, para serem operacionais, dependerão de relativa autonomia quanto a materiais e energia. O homem estará construindo então seus primeiros habitats duradouros ou perenes (conhecidos) fora de nosso planêta. Neste caso, a tecnosfera terá extrapolado a biosfera, entendida esta em seu sentido tradicional. Alternativamente poderíamos dizer que a biosfera, através do vetor humano inseminou outras paragens do universo. Ou ainda, que a "noosfera", a esfera do espírito de Teilhard de Chardin (adiante neste capítulo), se teria materializado fora da Terra, extrapolando a biosfera terrestre para o espaço cósmico. Qualquer que seja a formulação usada, o fato é que produtos da cultura humana terão excedido os limites do meio ambiente terrestre. Que importa tudo isto para nós aqui?

Importa, em primeiro lugar, num sentido teórico amplo. Se a evolução cultural estivesse aferrada aos limites da biosfera terrestre, então a perspectiva última predominante para explicar a vida humana tenderia a ser basicamente ecológica e o destino humano se prenderia ao destino ecológico do planeta. Mas se, diferentemente disso, as culturas humanas podem promover outros habitats, isto significa que, embora a perspectiva ecológica continue sendo importante (pois a vida social humana ter-se-ia constituído a partir da biosfera terrestre), há uma dimensão criadora, própria dos sistemas culturais, capaz de abrir novos horizontes para a vida e, portanto, explicar a evolução humana[52].

A polêmica ou a combinação entre estas diferentes perspectivas de análise - entre as visões de inspiração "naturalista", como as ecológicas, e as visões "culturalistas" ou tecnológicas que enfatizam a capacidade criadora do espírito humano - marcaram as discussões sobre o

52 Esta última visão não nega totalmente a visão ecológica. Um eventual habitat humano fora da Terra implicaria uma "nova" ecologia humana, agora extraterrestre. Mas, neste caso, a dimensão cultural da existência humana revelaria toda a sua força como replicadora de vida.

papel da energia nas sociedades humanas. Os que tendem a enfatizar o enraizamento humano no planêta sustentam posições de tendência ambientalista, e defendem a eficiência energética. Os "otimistas tecnológicos puros", que tendiam a enfatizar o progresso econômico sem limites, baseado na expansão contínua do uso da energia, estão hoje superados.

Voltando à questão dos limites da biosfera, particularmente, dos limites impostos pela energia, importa, em segundo lugar, de um ponto de vista teórico mais restrito, mostrar que uma das variáveis cruciais, na questão acima discutida é a tecnologia. As tecnologias não podem alterar os limites impostos pelas leis da termodinâmica, mas podem aumentar a eficiência no uso da energia e tornar utilizáveis novas fontes.

Para manter a expansão dos sistemas econômicos, no longo prazo, nos termos das economias atuais, será necessário expandir o suprimento de energia e aumentar a eficiência no seu uso. Isto esbarra com a finitude dos recursos energéticos não revováveis, com os limites termodinâmicos, e com a poluição gerada pelo uso da energia. Mesmo que novos recursos energéticos sejam descobertos e que a energia solar possa ser mais aproveitada, os limites inerentes ao ambiente terrestre serão defrontados.

Normalmente o aumento da eficiência contribui para diminuir a poluição, pois gera maiores resultados com menores insumos. Mas até o aumento da eficiência energética localizada, na medida em que propicia a expansão da produção, pode contribuir para aumentar a poluição do meio. O uso de mais energia e materiais significa maior entropia, e, portanto, maior desorganização do ambiente terrestre, através de rejeitos, poluição ou calor dissipado. Para combater a desorganização é necessária mais energia e cai-se portanto em um círculo vicioso. Para se sair dele o crescimento econômico terá que mudar de estilo, ou os limites da biosfera terrestre serão alterados, ou tecnologias ainda insuspeitadas terão que ser desenvolvidas.

A tecnologia é elemento-chave nas duas perspectivas mencionadas acima: a naturalista e a culturalista. Em ambas ela é o elemento que assegura a transação entre o mundo da natureza (a biosfera) e o mundo da cultura (a sociedade humana). Se, por um lado, a tecnologia, na forma do conjunto de técnicas, assegura a transação entre a biosfera e a sociedade, de um outro ponto de vista eu diria que a informação, e principalmente a informação simbólica (que inclui a informação tecnológica), marcam a transição do domínio da natureza para o domínio da cultura.

É possível dar uma formulação mais geral a esta questão. As tecnologias de subsistência, sendo tecnologias básicas para a vida humana, em qualquer fase de sua evolução, podem ser vistas, em última análise, como tecnologias de uso de energia. Elas contribuem para assegurar o suprimento energético de que carece o sistema humano para se auto-manter, crescer e transformar a sociedade, alterando o meio ambiente e produzindo ambientes humanos viáveis.

Se a biosfera atual suportará o aumento da ação humana sobre ela, se os recursos do planêta serão suficientes para suportar o crescimento da população e a expansão da produção econômica, se a poluição será suportável, são ainda interrogações. Tudo parece depender dos ritmos em que os diferentes ciclos de fenômenos naturais envolvidos e a maturação de novas tecnologias ocorram. O restante deste capítulo deveria ser apenas uma revisão da bibliografia sobre o uso do conceito de energia nas ciências sociais, mas quase todos os autores que comentarei tocaram, de um modo ou outro, em aspectos destas questões-chave. Antes de discutir a energia nas ciências sociais, é útil dar uma espiada na história da sociologia - uma das mais importantes ciências sociais - para situar a exposição e o debate.

Um Breve Esboço da História da Sociologia[53]

A sociologia é uma aquisição relativamente recente no mundo acadêmico. Ela data da época das mudanças revolucionárias que acompanharam a transição das sociedades agrárias européias para o sistema industrial. Entretanto, suas raízes podem ser traçadas até os escritos de Platão e Aristóteles. Já naquela época, os filosófos especulavam sobre suas próprias sociedades, comparando-as e tentando entender as forças que as moldavam. Mas foi no período da industrialização na Europa que a sociologia se firmou como disciplina autonôma. Neste período, as sociedades européias sofreram grandes transformações estruturais. As sociedades agrícolas e feudais organizaram-se progressivamente em estados nacionais. O comércio, aos poucos, deu ânimo à vida urbana e o capitalismo emergiu como força transformadora da vida econômica e social. Quase simultaneamente, a revolução científica e tecnológica dos séculos XVI e XVII, e a revolução industrial nos séculos seguintes, geraram uma enorme efervescência intelectual.

Algumas conseqüências desta efervescência contribuíram para o nascimento das ciências sociais. Em primeiro lugar o trabalho de homens como Hobbes, Locke, Rousseau, Smith e Malthus. Estes escritores estabeleceram a independência da teoria social em relação à teologia. Alguns deles chegaram a formular a idéia de evolução social, antes ainda de Darwin falar em evolução das espécies na biologia, e tentaram formular explicações para ela. Ao mesmo tempo, outros iniciaram estudos quantitativos sistemáticos de vários fenômenos sociais: taxas de nascimento e mortes, e depois estudos de classes sociais, família e moda, vereditos do juri, resultados de eleições e muitos outros fenômenos, aproveitando toda sorte de registros disponíveis.

O termo sociologia apareceu inicialmente nos escritos de Comte, por volta de 1830. Por isto ele é visto como o fundador desta ciência, o que não é rigoroso, pois ele próprio se filiava aos contextos de pensamentos acima descritos. Um dos mais famosos sociólogos do século XIX, Herbert Spencer, era profundamente interessado na evolução social, que ele via como a ma-

53 Este tópico inteiro baseia-se num texto extraído do livro Human Societies:an introduction to macrossociology, de Lenski&Lenski. O texto deles foi usado como fio condutor, mas foram feitas várias adaptações, cortes e inclusões. Portanto, a responsabilidade final é minha.

nifestação de um processo cósmico universal, ligando os mundos físico, biológico e humano. Spencer teve uma visão precursora do papel da energia nas sociedades humanas que detalho mais adiante. Naquela época, o trabalho de Darwin contribuía poderosamente para trazer a teoria da evolução para o centro de amplos debates intelectuais. Ao mesmo tempo, na área das ciências físicas firmavam-se os princípios da termodinâmica. Os dois conceitos - evolução e energia, talvez os mais poderosos do século XIX - tiveram alguma repercussão nas ciências sociais.

Também naquela época, os trabalhos de Marx trouxeram contribuições relevantes. Marx focalizou a importância dos conflitos, e especialmente dos conflitos sociais, como fontes de evolução, e enfatizou as bases materiais da vida social, um aspecto relegado a segundo plano pela maioria dos sociólogos da época. Embora Marx tenha dado relativamente pouca importância à energia em si mesma, sua ênfase no desenvolvimento das forças produtivas como fator de evolução social e a atenção dada aos aspectos materiais da vida social contribuíram para criar um quadro explanatório da vida econômica que, mais tarde, poderia ser interpretado em termos energéticos. Neste período a sociologia européia produziu visões teóricas abrangentes, de grande alcance, das sociedades humanas, e entre outros merecem ser citados os nomes de Durkheim e Weber.

Após a primeira guerra mundial, a sociologia desenvolveu-se bastante nas universidades americanas. Lá ela se tornou especialmente envolvida com os problemas da sociedade americana. O interesse nas outras sociedades sofreu, pelo menos, um declínio relativo. Do mesmo modo, o interesse histórico também declinou. Emergiu uma nova geração de sociólogos tentando dar caráter "científico" a esta disciplina. Com esta mudança, os sociólogos abandonaram a antiga abordagem evolucionista. Era necessária uma nova orientação teórica que permitisse organizar o campo difuso dos novos dados. Por volta de 1930, emergiu a nova orientação teórica: o estrutural-funcionalismo.

A teoria estrutural-funcional era uma contrapartida sociológica da anatomia e da fisiologia na biologia. Como os anatomistas, estes sociólogos desejaram identificar, rotular e descrever as diferentes partes de seu objeto e as relações estruturais entre elas; como os fisiologistas, estavam interessados nas funções que as partes realizam no todo. Talcott Parsons foi especialmente instrumental no desenvolvimento desta orientação. Partindo de teorias clássicas como as de Durkheim e Weber, Parsons tentou organizar conceitualmente todo o campo de conhecimento da sociologia.

Desde a segunda guerra mundial, a sociologia cresceu substancialmente não só nos EUA, como na Europa, Japão, Canadá e nos países então socialistas do leste europeu. Com isto reduziu-se a concentração de seu desenvolvimento nos EUA, e um grande número de outras posições teóricas reemergiu, contribuindo para lançar críticas à postura estrutural-funcional. Simultaneamente, a sociologia transbordou das comunidades acadêmicas e os sociólogos, em escala crescente, passaram a ser empregados também em governos e indústrias. Não deixa de ser curioso que até o atual (1996) Presidente da República, no Brasil, seja um sociólogo.

Várias tendências novas surgiram, três das quais interessam especialmente aqui. A primeira foi uma revivescência da preocupação clássica da sociologia com a evolução e as mudanças sociais, agora ligadas a novos contextos revolucionários. Alguns sociólogos e antropólogos, como Cottrell e White, focalizaram questões ligadas à evolução social e enfatizaram nelas o papel da energia, adotando parcialmente posturas evolucionistas.

A segunda foi a emergência de métodos quantitativos mais precisos. Esta tendência foi grandemente potencializada pelo uso de computadores, que permitiram tratar grandes quantidades de dados de modo cada vez mais complexo. Isto permitiu, por exemplo, superar, em parte, uma tradicional dificuldade das ciências sociais: a dificuldade de experimentação. Com a ajuda de computadores, e através de modelos matemáticos, tornou-se cada vez mais possível simular o comportamento de sistemas sociais, e, assim, não só avançar na compreensão de estruturas como no teste de hipóteses.

Outra tendência recente foi o aparecimento da teoria ecológico-evolucionária, que permite resolver alguns dos problemas em que o estrutural-funcionalismo era mais fraco, como as questões da mudança social e do conflito. A abordagem ecológico-evolucionária, tal como mostrada por exemplo no trabalho de Lenski & Lenski, de onde extraí partes deste tópico, é particularmente aberta à percepção da influência das tecnologias de subsistência na estrutura social, e receptiva a uma compreensão do papel da energia e da informação nas sociedades humanas.

O estudo das sociedades humanas, todavia, não foi privilégio da sociologia, que, no entanto, sempre pretendeu ser a ciência social básica. Todas as ciências sociais, na verdade, compartilham o objeto de compreender sistemas sociais ou parte deles. Antes das ciências sociais, tinham esta pretensão a teologia e a filosofia e, nesta última, especialmente a filosofia social ocupava este lugar. A economia e a ciência política, conquanto hoje sejam vistas como

se ocupando de parte da totalidade social, já tiveram em sua origem, elas próprias, visões totalizantes, isto é, "explicativas" do sistema social global.

A geografia humana, que hoje se dedica ao estudo da interação espacial entre sociedades humanas e o meio ambiente terrestre, também já teve postulações abrangentes. A psicologia social, por outro lado, que ocupa hoje uma área intermediária entre o objeto de estudo dos sociólogos e o objeto de estudos dos psicólogos, mostrou tanto como o meio social afeta o comportamento individual, quanto como a psicologia individual condiciona o comportamento de pequenos grupos. Ou, dito de outro modo, ela tem estudado o impacto da sociedade no comportamento e na personalidade dos indivíduos, e focalizado como a interação individual gera micro-sistemas sociais.

Só a sociologia e a antropologia mostram-se ainda com a preocupação do sistema social total como objeto. Em matéria de pesquisa empírica, ambas separaram bem seus campos tradicionais. A maior parte dos sociólogos tratou das sociedades industriais, embora alguns sociólogos clássicos tenham chegado a vivenciar e a refletir sobre a transformação das sociedades agrícolas em industriais. Já os antropólogos se concentraram no estudo das sociedades iletradas, tanto do passado quanto do presente.

Entretanto, se isto se justificava porque, inclusive, tais tarefas exigiam habilidades bem diversas, por outro lado, ao considerar processos evolucionários de longo curso, era necessário considerar as contribuições de ambas as disciplinas. Com o ressurgimento da visão evolucionista, agora situada num quadro ecológico, foi então possível perceber que tanto a sociologia quanto a antropologia haviam desconsiderado fortemente as sociedades agrícolas, aquelas que ocupam a faixa intermediária entre as sociedades primitivas e as industrializadas. As sociedades agrícolas, em verdade, vinham sendo objeto da atenção dos historiadores.

Recentemente o quadro mudou. Tanto sociólogos quanto antropólogos começaram a pesquisar sociedades agrícolas no sudeste da Ásia, no Oriente Médio e na América Latina. Esta preocupação crescente levou a grande colaboração com os historiadores. Dado que a história tem sido preferencialmente o estudo dos registros escritos da vida social passada, os historiadores são os "experts" nas sociedades agrícolas do passado. Enquanto a história era basicamente historiografia, seus achados tinham valor limitado para a ciência social; eles funcionavam mais como fornecedores de informações. Todavia, ultimamente, também isto mudou. Atualmente, os historiadores também estão interessados nos processos sociais básicos e nos padrões estru-

turais subjacentes aos contextos e configurações, por vezes dramáticos, evocados por seus antecessores.

Esta tendência para cooperação interdisciplinar é bastante evidente nas ciências sociais hoje em dia. As fronteiras, que já não eram rígidas, têm se tornado nebulosas. Por outro lado, a necessidade de cooperação multidisciplinar entre as ciências sociais entre si e com outras ciências é clara nos problemas de planejamento urbano, planejamento regional e planejamento global. Na verdade, a partir da segunda guerra mundial, têm surgido várias disciplinas acadêmicas com visões unificadoras: a cibernética, a teoria da informação, a pesquisa operacional e a teoria de sistemas são algumas delas. Estas disciplinas fazem incursões em muitas ciências e fornecem sugestões, ferramentas de análise e, por vezes, instrumentos teóricos para o campo da ciência social.

Por outro lado, a multiplicidade de visões gera problemas de consistência metodológica, de comunicação e de trabalho conjunto entre os especialistas, e suscita, por vezes, a necessidade do emprego de conceitos unificadores que possam ser aplicados em mais de uma área, eventualmente, permitindo a formação de sínteses ou de visões integradoras. Esta é, em minha opinião, a situação do conceito de energia, que tem se revelado uma ferramenta teórica útil em vários campos do conhecimento, inclusive nas ciências sociais, apesar de ser nelas pobremente utilizado. Neste trabalho, contribuo para uma visão multidisciplinar, na qual o conceito de energia é o elemento unificador e na qual tento registrar as abordagens próprias de cada disciplina, mas propondo adotar freqüentemente uma visão mista, tal como os problemas da energia, a meu ver, impõem.

A Energia nas Ciências Sociais Antes de Leslie White

A importância da energia para as sociedades humanas foi freqüentemente enfatizada na última metade do século XIX, um século que se caracterizou pelo industrialismo triunfante. Em 1860, Spencer, considerado um dos fundadores da Sociologia, escrevia: "seja o que for que ocorra numa sociedade, resulta ou das energias físicas não dirigidas em torno, ou destas energias dirigidas pelos homens, ou das energias dos próprios homens". A frase demonstra claramente não só a importância que Spencer atribuía ao papel da energia nos processos sociais, como revela ainda uma forma útil para classificar os diferentes modos da energia[54] em sua interação com a sociedade. Se a rearranjarmos, a frase de Spencer passa a constituir um verdadeiro programa de estudos da energia considerada de um ponto de vista sociológico, pois tudo que ocorre numa sociedade resulta:

a) das energias dos homens;

b) das energias da natureza dirigidas pelos homens; e,

c) das energias físicas não dirigidas em torno.

Toda produção econômica, toda atividade social, e toda criação cultural resultam da articulação dinâmica destes três níveis de domínio e uso da energia pelas sociedades humanas.

A visão que se delineou da energia naquela época (século XIX) era integradora e otimista. O controle das energias da natureza sucedia "naturalmente" à energia humana na evolução social. Mais tarde, quando o industrialismo veio a sofrer duras críticas por causa da exploração do trabalho humano e da dilapidação da natureza, as energias por ele controladas - energias que acionavam as máquinas - passaram a ser vistas como anti-humanas e antinaturais.

Embora vários outros sociólogos tenham se referido ao papel da energia nos sistemas sociais, poucos foram suficientemente explícitos ou sistemáticos quanto a isto. Marx, por exemplo, que era simultaneamente um filósofo, sociólogo, economista e historiador, referiu-se repeti-

54 Criei a expressão modos da energia para designar a maneira pela qual as sociedades lidam com diferentes conjuntos de formas de energia. Uma coisa é a energia humana, outra o conjunto de formas energéticas controladas através de tecnologias, uma terceira é o conjunto de formas de energia na natureza que afetam a vida humana e social e que não são controladas pelas sociedades, tal como, por exemplo, a radiacão solar.

damente, e não em sentido figurado, à energia da força de trabalho, isto é, à energia humana empregada na produção. Analisou o processo de substituição do saber do trabalho habilidoso do artesão, que controlava seus instrumentos de trabalho, pelo trabalho alienado do operário controlado pelo saber da máquina. Analisou também a substituição gradativa da energia humana pela força das máquinas, no início da industrialização, e produziu interpretações magistrais da interação entre o trabalho humano e a tecnologia ("*O Capital*").

O conceito de forças produtivas é básico no pensamento marxista. É o desenvolvimento das forças produtivas que, em última análise, explica a evolução econômica e social. As forças produtivas envolvem a associação entre trabalho humano, tecnologia e fontes externas de energia, mas a energia como variável independente na explicação de processos sociais não foi enfatizada por ele.

É bastante curioso que Spencer, já em 1860, tivesse uma consciência tão clara do papel desempenhado pela energia nos processos sociais e que, no entanto, posteriormente, a copiosa literatura sociológica e antropológica seja relativamente tão escassa em relação ao tema. Também na economia surgiram algumas advertências oriundas do pensamento energético que pouco influíram no desenvolvimento desta ciência. Só recentemente, na economia, devido aos impactos combinados da crise energética e das questões ambientais, vieram a se desenvolver perspectivas de cunho ecológico e abordagens ligadas aos recursos naturais. Esta economia ecológica, entretanto, luta ainda para integrar as análises da economia clássica com as perspectivas termodinâmicas. Volto ao tema adiante.

Não tenho uma hipótese clara a respeito deste desconhecimento ou desta rejeição da energia pela maioria dos cientistas sociais, mas há uma pista do que parece ter ocorrido na economia. Em 1824, Carnot publicara sua versão antecipada do segundo princípio da termodinâmica. Algumas implicações, filosóficas e científicas, deste princípio levariam a críticas ideológicas ao sistema industrial, especialmente à ideologia industrialista, então em plena ascenção. Carnot apontava as perdas necessárias de energia (energia livre) ao se realizar trabalho a partir do calor.

Estas perdas necessárias expressam os limites teóricos para as transformações de energia em geral e para o funcionamento das máquinas térmicas em particular. Tais limites não

decorrem de peculiaridades tecnológicas. Derivam da própria natureza das coisas[55]. São limites naturais impostos ao rendimento das máquinas e, portanto, sugerem limites para o funcionamento de um sistema econômico baseado no uso delas. Na verdade, sugerem mais que isto. Sugerem limites ao funcionamento de qualquer sistema natural dependente da energia.

Estas implicações seriam particularmente evidentes no caso de um sistema econômico como o industrialismo, altamente dependente de energia térmica obtida de combustíveis fósseis - como o carvão primeiro, e o petróleo depois. Seriam evidentes no caso de um sistema propício a ser visualizado como uma imensa máquina térmica, como é o caso do sistema industrial. Se Carnot tinha razão - e ele tinha, pois o segundo princípio se estabeleceu - os prospectos de desenvolvimento ilimitado das forças produtivas não seriam tão graciosos[56].

Na verdade, é teoricamente possível aumentar a eficiência das máquinas térmicas, e de muitos processos industriais, até os limites estabelecidos pela segunda lei, mas isto, como já se viu, não é prático. Como as eficiências reais são freqüentemente muito baixas há espaço para melhoria. É possível também num processo econômico aumentar a quantidade de energia usada para, com a mesma eficiência energética, obter maiores resultados. É possível, ainda, combinar ambas as coisas, permitindo a expansão da produção física. Mas não é possível contornar as leis da termodinâmica. No longo prazo, só é possível expandir a produção física ampliando o fornecimento de energia ou usando maior parcela da energia fornecida diretamente pela natureza, como no caso da agricultura, porque a eficiência só pode aumentar até um certo ponto. Um uso maior de energia, no entanto, significa um maior impacto sobre o meio ambiente.

Alguns autores (Grinevald, Illich) supõem que as implicações do princípio de Carnot para a economia teriam levado grande número de economistas clássicos, e o próprio Marx (que em certos aspectos poderia ser considerado um economista clássico também[57]), a recalcar sua compreensão. Não tenho, todavia, certeza a respeito da possível semelhança entre o que

---

55 O calor flui da fonte quente para a fonte fria. As temperaturas tendem a se equalizar e a entropia aumenta. O estado de agitação térmica das moléculas tende a se equalizar. Onde havia diferenças marcantes no sistema, isto é, ordem termodinâmica, as diferenças tendem a diminuir aumentando a desordem molecular. Esta é a versão estatística do aumento da entropia.

56 Autores conscientes das limitações impostas pela energia aos assuntos econômicos costumam, hoje em dia, dizer em tom jocoso, à propósito do primeiro princípio da termodinâmica que ele afirma não haver almoço grátis e a propósito do segundo princípio que sempre se tem que pagar um pouco mais do que se recebe.

57 Os economistas clássicos tendiam a privilegiar o capital, o trabalho e, eventualmente, a terra, como fatores de produção. Alguns deles, e o próprio Marx, viam os produtos da natureza - antes de serem trabalhados pelos seres humanos - como possuindo um custo zero. A teoria do valor trabalho, com a qual se alinha Marx, é nítida a este respeito. Atribui todo o valor, em última instância, ao trabalho humano. Tais visões relegam o "trabalho" da natureza a um segundo plano. Neste sentido, Marx é um economista clássico. Hoje em dia seria , por exemplo, problemático atribuir custo zero à água usada numa hidroelétrica, embora paradoxalmente isto ainda seja feito. Ao atribuir custo zero à água não levamos em conta o trabalho da natureza para fazer o rio e o conjunto de sistemas naturais associado ao rio e ao livre fluxo da água. Ao não valorizarmos a água temos dificuldade em contabilizar os custos ambientais da energia.

aconteceu na economia e o que possa ter acontecido na sociologia. Embora os economistas pudessem ter recalcado a compreensão das implicações da lei da entropia para o progresso econômico ilimitado, que razão teriam os sociólogos para fazerem isso? Muitos sociólogos eram críticos em relação ao sistema industrial desde o início, e portanto não teriam que recalcar nada. O fato é que a maioria dos sociólogos importantes fez, quando muito, referências indiretas ao tema energia.

Talvez a explicação resida no desconhecimento das ciências naturais por parte destes cientistas sociais, no esforço que faziam para validar a autonomia destas ciências em relação às ciências da natureza, ou ainda na pequena importância que a maioria deles dava às condições reais de subsistência nas sociedades humanas. Com algumas exceções (os antropólogos, em geral, e Marx, em particular, são algumas delas), os sociólogos parecem muitas vezes imaginar, até hoje, que as sociedades sobrevivem fora do mundo real, sem energia, matérias-primas ou produção econômica.

Isto, evidentemente, não se deu, na mesma proporção, com físicos e engenheiros. Na verdade, alguns físicos e engenheiros enveredaram, à partir da visão energetista, pelo campo das ciências sociais. Na visão de Georgescu-Roegen, um economista, "Carnot teria sido o primeiro econometrista dado que seu trabalho sobre as máquinas à vapor visava definir a maior quantidade possível de trabalho mecânico que poderia ser obtida a partir de um dado insumo de energia livre". Carnot era um engenheiro.

Na esteira da termodinâmica os físicos foram naturalmente os primeiros a especular acerca do amplo papel desta ciência na compreensão da economia. Atribui-se ao físico americano Joseph Henry a primeira sugestão de que os vários estágios da história humana poderiam ser descritos em termos do controle crescente sobre as fontes extrassomáticas de energia. "É esta substituição da potência muscular pelas energias da natureza que, como dizíamos, aboliu a escravidão e elevou a humanidade a um plano mais alto do que jamais fora sonhado pelos sábios da antiguidade" (Henry, 1873, citado por Newcombe, 1976).

"Não surpreende terem sido os físicos os primeiros a perceber as amplas implicações sociais e econômicas da termodinâmica, afinal foram eles que a desenvolveram e certamente a eles este conhecimento ficou confinado na maior parte do século XIX" (Newcombe, op. cit.). Seria entretanto enganoso pensar que um bom entendimento da termodinâmica seja essencial para a compreensão da importância da energia para o homem e seus assuntos sócio-culturais.

Talvez o inverso seja mais verdadeiro; é necessario ter uma compreensão da importância da energia para o homem antes de aquilitar a utilidade de assumir uma perspectiva termodinâmica da ecologia humana.

"Helm (1887) escreveu que o dinheiro constitui o equivalente econômico da baixa entropia, e Winiarski (1900), embora fosse um sociólogo, discutiu os sistemas sociais em termos da primeira e segunda Leis da Termodinâmica usando equações diferenciais e aderindo estritamente à linguagem da física. Em sua opinião o preço de uma mercadoria representava nada mais do que os coeficientes de conversão da energia biológica, empregada na sua fabricação" (Newcombe, op.cit.).

Ostwald e Soddy também estavam interessados na relação entre energia e dinheiro. Ostwald acreditava que o dinheiro possuía uma certa semelhança com a energia [58], conquanto não fosse identificado com ela (Ostwald, 1907). Soddy (1926), expandiu sua filosofia geral da economia e da energética num amplo trabalho sobre a riqueza e a pobreza. Lotka (1921), seguindo os trabalhos de Helm e de Ostwald, estudou a natureza da conversão econômica da energia. Colocou a questão de que, em oposição aos fatores de conversão termodinâmicos, não havia uma lei regulando a razão entre a energia liberada e a energia aplicada numa transação de mercado como, por exemplo, entre pressionar um botão numa máquina de vender bebidas e a energia contida na bebida. A conversão da energia, nos assuntos econômicos, se daria através de uma ação de gatilho, conquanto ele tivesse asseverado que através da aplicação do cálculo poderiam ser exibidos fatores de conversão bem definidos para as diferentes formas de energia negociadas num mercado e aplicadas a usos específicos.

58 Observe-se que o dinheiro pode deslanchar processos econômicos e que ele flui, em geral, no sentido oposto à energia. Desta forma, pode ser visto como energia de controle de alta qualidade, o que para muitos significa informação. Mas o dinheiro só pode acionar processos econômicos porque eles, de certo modo, são preexistentes. Ou seja, é necessária a existência de uma organização econômica prévia - informação-estrutura - na qual o dinheiro - informação-mensagem - atue como gatilho, engendrando e acionando novos processos de produção, circulação e distribuição de bens e servicos. A energia, evidentemente, alimenta todo o processo desde a formação da estrutura (organização econômica) até a circulação da mensagem dinheiro.

A Contribuição de Ostwald e de Soddy

Wilhelm Ostwald, químico alemão, lamentava que a inércia prevalecente na física da última metade do século XIX tivesse retardado o pleno reconhecimento das leis da energia e de suas implicações, inclusive econômicas. "Na visão de Ostwald as Leis da Termodinâmica não tiveram o reconhecimento prático que elas mereciam, como meios de unificação das ciências naturais" (Newcombe, op. cit.). Ostwald propôs na época uma visão monista da natureza que reduzia todas - ou quase todas - as coisas a formas e fluxos de energia e tornava-as, assim, explanáveis em termos das leis da termodinâmica.

Em sua "*Energética*" ele afirmava que havia um tipo básico de energia, a energia absoluta, substância básica do universo. Ostwald se classificava como "monista" no sentido do "monismo naturalista" de Haeckel. Para os monistas, todos os fenômenos se reduzem, em última instância, a uma realidade última. Só que, enquanto Haeckel considerava a realidade última como substância material, Ostwald afirmava que ela era energia. Mas, do mesmo modo que a substância em Haeckel, a energia para Ostwald não era um simples fenômeno, no sentido positivista do termo, mas uma "vera causa". A energia era, para ele, uma espécie de constante ontológica que se modificava e transformava em múltiplas aparências. As diferentes "realidades": mecânica, psíquica, térmica, elétrica, química e magnética eram, para este autor, formas distintas da energia, a qual permanecia constante no sistema do universo. A energia era não só um ser, mas também um valor, e é a sua consideração como valor que reverte decisivamente sobre sua realidade (Ferrater Mora, op.cit.).

Ostwald apercebia-se de algumas dificuldades sérias neste "energetismo", pois há objetos que parecem não conter nenhuma energia. Em seu entender, isto seria apenas aparência. Havia as ciências da ordem - como eram denominadas a matemática, a lógica, a geometria e a cinemática (estudo das leis do movimento) - nas quais não se aplicava a noção de energia. Porém, tal como ocorre com a classificação de Comte das ciências, o saber mais simples pode ser aplicado ao mais complexo e não o contrário.

O sistema de saberes científicos, em forma de pirâmide, demonstrava a possibilidade da aplicação dos princípios energéticos às ciências mais complexas. Sobre as ciências da or-

dem estariam para ele as ciências propriamente energéticas - a mecânica, a física e a química - e sobre elas as ciências biológicas - a fisiologia, a psicologia e o equivalente da sociologia. A estas se aplica a energética e nelas se realiza o "imperativo energético", que reconhece a energia "livre", como a que realmente se dispõe às transformações, diminui continuamente.

Por isto é importante não dilapidar a energia, mas saber usá-la com eficiência. Observe-se que, para ele, energia é fato e também valor. Tudo o que, na ação humana, contribua para a eficiência energética é valioso, pois, segundo Ostwald, o progresso da Humanidade consiste essencialmente na acumulação de toda a energia possível, com vista à máxima potência exequível e, portanto, à "liberdade" no universo. O curioso é que Ostwald expressava esta opinião tão atual sobre a necessidade de "conservar" energia ainda no início do século XX, muito antes da crise energética e da questão ambiental. Por outro lado, acreditando na energia como substância última do universo, era anti-atomista, só mudando este ponto de vista pouco antes de morrer. Com o êxito da teoria atômica, suas posições anteriores se prejudicaram, embora o surgimento da teoria da relatividade tenha superado a oposição estrita entre matéria e energia.

Frederick Soddy, físico, colaborador de Rutherford e prêmio Nobel em 1921, sucedeu a Ostwald na importância que atribuía às leis da energia. Afirmava que a energia "necessariamente vem primeiro, no sentido fundamental descrito, no registro total da experiência humana e controla, em última análise, a ascenção e queda dos sistemas políticos, a liberdade ou escravidão das nações, os movimentos do comércio e da indústria, a origem da riqueza e da pobreza, e o bem estar físico geral da espécie" (Soddy, 1912).

Ambos, Soddy e Ostwald, aludiam ao mesmo esquema geral evolutivo da espécie humana, através do qual os grupos primitivos primeiro haviam aprendido a utilizar o fogo e o vento, em adição ao músculo, e que, além da maior eficiência tecnológica obtida deste modo, o grande passo seguinte na evolução cultural resultou da exploração do carvão. Soddy dedicou bastante atenção às questões econômicas e mesmo às ecológicas, em sua visão energetista, e foi uma das pessoas que questionou a sociedade industrial e a capacidade da economia clássica dar solução a seus problemas.

Nos anos imediatamente anteriores à primeira grande guerra, Soddy começou a desenvolver a idéia de que era necessário olhar além das leis econômicas para a verdadeira compreensão da sociedade. "Ele reconheceu a conexão entre atividade econômica e consumo de energia" (Foley, 1976). Percebeu a importância da mudança de uma economia baseada no uso de recursos renováveis para uma baseada no carvão. Ao invés de viver de renda energéti-

ca usando energias renováveis, o homem industrial começou a gastar o capital longamente acumulado pela natureza durante milhões de anos de irradiação solar.

Soddy escrevia em 1922: "As leis da energia, sob as quais os homens vivem, fornecem um fundamento intelectual para a sociologia e a economia e tornam límpidas como cristais algumas das principais causas do progresso, não só nosso, mas penso eu, de cada civilização precedente. Elas (as leis) não dão toda a verdade, mas na medida em que são corretas para a física e a química, não podem possivelmente ser (...totalmente...) falsas" (citado por Foley, op.cit.).

Em trabalho posterior, Soddy explicitava ainda mais seu ponto de vista: ..."progressos na esfera material aparecem não tanto como um sucessivo domínio sobre os materiais empregados para fazer armas - como na sucessão das idades de pedra, do bronze e do ferro, legadas pela tradição (histórica) - mas como domínio progressivo sobre as fontes de energia na Natureza e sua subjugação para o preenchimento das necessidades da vida" (citado por Foley, op.cit.).

Este ponto é clarificado contrastando a importância da energia e dos materiais. "Uma corrente contínua de energia nova é necessária para a operação permanente de qualquer sistema em funcionamento, seja ele animado ou inanimado. A vida é cíclica com relação aos materiais consumidos, e os mesmos materiais são usados de novo no metabolismo. Mas com relação à energia, ela é unidirecional e nenhum ciclo contínuo de uso da energia é sequer concebível. Se temos energia disponível nós mantemos a vida e produzimos cada requisito material necessário. É por isso que o fluxo da energia deve ser a preocupação primária da economia" (Soddy, op.cit.).

Soddy afirmava que a economia clássica não levava em consideração o fato de que os recursos de combustíveis fósseis, dos quais a sociedade depende, são finitos e estão em esgotamento. "A economia ainda não desenvolveu uma forma satisfatória de lidar com os efeitos do esgotamento dos recursos. Ao invés disso, ela se preocupa com os mecanismos da distribuição dos recursos. Ela lida com a escassez relativa. E pode somente presumir que existe, em algum lugar, um substituto adequado para cada recurso do qual a humanidade depende agora. Isto é absurdo. O mercado não está dotado de poderes criativos e não existe razão pela qual alguns recursos não devam se exaurir. Neste importante assunto a economia permanece irrealista" (Soddy, citado por Foley, op.cit.).

A MOEDA ENERGÉTICA

Uma sugestão para remediar esta deficiência da economia, na visão de vários autores e de Foley (op.cit.) que seguirei nos próximos parágrafos, seria dar ao dinheiro um valor intrínseco, ligando-o a um recurso real tal como a energia, ao invés de considerá-lo meramente como meio de troca. Um dos primeiros escritores a sugerir isto foi H. G. Wells. "Ultimamente o governo... fixou um certo número de unidades de energia como o valor de um soberano de ouro... e se comprometeu, sob várias qualificações e condições, a fornecer energia, sob demanda, como pagamento para cada soberano apresentado" (The World Set Free, 1914).

A suposta vantagem de vincular a moeda com a energia é que as unidades de energia são quantidades fisicamente mensuráveis que não variam entre os países[59], não estão sujeitas à inflação ou desvalorização e não podem ser forjadas ou impressas pelos governos. Com uma moeda de base energética, o "verdadeiro" valor dos objetos poderia ser calculado em termos da energia consumida em sua manufatura, transporte e distribuição. As trocas nacionais e internacionais, em vez de se basearem em pedaços de papel arbitrariamente valorizados, estariam relacionadas ao valor energético intrínseco de bens e serviços.

Uma variação deste tema é o uso de uma ração energética. Eis aqui como Foley visualiza o acontecimento: "cada governo de tempos em tempos estabelecerá a energia disponível para sua economia nacional, e sobre esta base alocará a cada cidadão exatamente um suprimento anual de cupões energéticos. Cada serviço e todos os bens ostentarão, não somente um preço mas também seu custo energético" (Op. cit.). A idéia é que as pessoas teriam que considerar os custos energéticos do que compram. Isto encorajaria a eficiência no uso da energia e portanto começaria a otimizar a atividade econômica em termos de energia. Esta sugestão começa, hoje em dia, a ser posta em prática pelos países que investem em conservação de energia. Chapman (1975) tem um texto intitulado "A Ilha de Erg" no qual descreve uma ilha onde todas as atividades econômicas são orientadas pelos custos energéticos e a moeda tem base energética.

Conquanto estas idéias sejam atraentes, sua implementação envolveria tantas dificuldades práticas que seria difícil que viesse a ocorrer. As unidades energéticas são constantes físicas definíveis, mas na definição de energia existe algo mais que sua mera quantidade. Um kilowatt-hora de eletricidade é muito mais útil nesta forma que quando convertido na energia calorífica de um banho quente. Uma moeda energética ou um cupom de racionamento de energia teria, portanto, que especificar não somente a quantidade de energia, mas também a forma em que ela está disponível. Isto poderia significar que a energia teria que ser especificada tal como, digamos, barris de petróleo de um certo valor calorífico. Começariam então a proliferar argumentos reinvidicatórios à medida que as taxas de câmbio do petróleo-padrão em relação ao carvão, gás natural e ao urânio fossem se alterando. Mudanças técnicas levariam à necessidade de reavaliar cada forma de energia em relação às outras. A impossibilidade de enviar grandes quantidades de petróleo a todos os lugares em que se desenvolvessem as transações levaria ao uso de notas prometendo pagar sob demanda um certo número de barris de óleo padrão. Alguns países teriam então a temeridade de considerar o abandono do padrão petróleo para se darem a liberdade de desenvolver suas economias a seu próprio modo. As dificuldades são familiares (Foley, op. cit.)

59 Isto é verdadeiro com relação às unidades de energia, mas não é igualmente verdadeiro para as estatísticas de uso de energéticos que constituem um verdadeiro cipoal de medidas, de comparação algumas vezes difícil, por causa de metodologias diferentes usadas por diferentes países.

A Contribuição dos Antropólogos

Embora relativamente poucos economistas e sociólogos da segunda metade do século passado e do início do século atual tenham atentado para a importância da energia na explicação de fatos econômicos e sociais, deixando este espaço aberto para os físicos e engenheiros, o mesmo não aconteceu com os antropólogos.

Morgan em 1877, e Tylor em 1881, ambos importantes antropólogos do fim do século XIX, relacionaram energia e mudança cultural. Eles não discutiam a energia em termos da termodinâmica, provavelmente porque os fatos falavam por si e qualquer perspectiva termodinâmica traria complicação desnecessária. Os eventos considerados importantes por estes antropólogos incluíam a domesticação de animais e o cultivo de cereais e, particularmente, a substituição do trabalho humano pela potência da água e pelos combustíveis fósseis. É interessante notar que mesmo uma mudança para o que nós atualmente denominamos fontes alternativas de energia foi visualizada, na medida em que foi previsto que os combustíveis fósseis se esgotariam e que teríamos que mudar para a força das marés ou para o calor solar trabalhando por nós (Newcombe, op. cit.).

Diz ainda Newcombe, que "no início do século XX, do mesmo modo os temas energéticos são frequentes nos textos antropológicos (Wissler, 1923; McCurdy, 1924). Novamente o uso da energia é visto como indicador do nível de civilização" (op. cit). "O grau de civilização de qualquer época, povo ou grupo de povos é medido pela habilidade de utilizar a energia para o avanço ou para (...a satisfação das...) necessidades humanas" (McCurdy, op. cit). Entretanto, "estes escritores e outros (Scott, 1933, Carver, 1935) somente insinuaram a importância que a energia assumia nos negócios humanos" (Newcombe, op.cit.).

A primeira teoria compreensiva e sistemática relacionando a energia e a evolução da cultura foi proposta pelo famoso antropólogo americano Leslie White e representa a integração de todo o pensamento energetista anterior (Newcombe, op. cit.). Quase na mesma época (um pouco depois), o sociólogo Fred Cottrell, também americano, publicou, em 1955, sua ampla visão da influência da energia nas sociedades humanas.

Os Trabalhos de White e Cottrell

White e Cottrell são exceções nas ciências sociais em relação à importância central que conferem à energia na sociedade. Georgescu-Roegen, que focalizarei no capítulo seguinte, tem status semelhante na economia. Recentemente Richard Adams, um antropólogo da Universidade do Texas, discípulo de White, também atribuiu importância central à energia em suas obras. Seu trabalho será comentado adiante. White e Cottrell escreveram, quase no mesmo período, obras em que a evolução social é basicamente explicada em função da disponibilidade de energia. Nestas obras a energia é vista como o principal promotor de mudança social.

White produziu uma teoria energética da cultura, na esteira do pensamento energetista de Ostwald. Cottrell, embora não tenha produzido uma teoria em sentido estrito, legou uma visão abrangente, extremamente bem documentada, apoiada em fatos e interpretações nos quais o papel explanatório da energia é central. Alguns de seus conceitos influenciaram bastante a nossa visão atual da energia nas sociedades humanas.

A Teoria Energética da Evolução Cultural de Leslie White

A teoria de White é um dos elementos-chave neste livro. Representa uma visão radical da importância da energia na sociedade. Contém exagêros, mas é útil como um padrão contra o qual contrastamos idéias divergentes para a discussão do poder explanatório da energia na evolução social. Foi mal compreendida e criticada, por isso resolvi expô-la em detalhe usando textos do próprio autor[60].

O leigo costuma pensar que "cultura" é sinônimo de erudição, algo que se adquire através da educação formal, da leitura e das viagens. Para estes a cultura se refere especialmente ao conhecimento de humanidades, isto é: literatura, artes, história, filosofia. Mas para os antropólogos, a palavra cultura tem um significado diferente. Refere-se a todo o conjunto de crenças, valores, conhecimentos, práticas sociais, técnicas, artes, rituais, religião, etc., que expressam e informam o comportamento de um grupo social.

A cultura é transmitida de uma geração para outra e pode ser transferida aos novos integrantes de um dado grupo social através da socialização e da aculturação. Neste sentido, a cultura é herdada e aprendida. Mas a herança cultural não é como a herança genética. Não se nasce com ela. A cultura tem que ser comunicada e aprendida. Os novos integrantes de uma dada sociedade precisam ser expostos a ela, "treinados", para poder absorvê-la[61]. O conceito de cultura, embora compartilhado por todos os antropólogos, tem formulações um pouco diferentes em cada escola de pensamento antropológico. Tais minúcias só interessam aqui na medida em que tenham alguma repercussão no papel da energia em relação à cultura. Vejamos como White focaliza o processo cultural.

---

60 Na obra de White a idéia de "cultura" parece ter duas formulações distintas, correspondentes a dois períodos, o último dos quais inconcluso. No primeiro deles, White referia-se à "cultura" como algo destinado a satisfazer necessidades humanas. No segundo, refere-se mais freqüentemente a "sistemas culturais" que, diferentemente da "cultura", possuem objetivos próprios. Talvez estas distinções sejam importantes como resposta a algumas críticas que examinarei. Contudo, minha exposição do pensamento de White não as considerará. Os textos que usei pertencem aos dois períodos referidos mas serão apresentados juntos. O fio da meada é o texto "A energia e a evolução da cultura", do livro The Science of Culture (1949). As transcrições são de "O Conceito dos Sistemas Culturais" (1959). Os comentários e correções são meus.

61 Do ponto de vista biofísico, a cultura é registrada num "arquivo" do "sistema de informações neuronal" no sistema nervoso (Capítulo II, tópico sobre a visão biofísica dos seres vivos). Este sistema se combina ao conjunto de informações genéticas, com o qual interage. A cultura é armazenada, ao longo da vida, nos sistemas neuronais onde, eventualmente, pode ser modificada.

"Cultura é o nome de uma ordem distinta ou classe de fenômenos... das coisas e eventos que são dependentes do exercício de uma habilidade mental, peculiar à espécie humana, que denominamos "simbolização". Para ser mais específico, a cultura consiste de objetos materiais - ferramentas, utensílios, ornamentos, amuletos, etc - atos, crenças e atitudes que funcionam em contextos caracterizados pela simbolização". A cultura nasceu das sociedades primatas pré-humanas, com o aparecimento da simbolização, na forma de fala articulada. No decurso da evolução neurológica, a organização social pré-humana e outras formas de comportamento transformaram-se em cultura, a qual, uma vez estabelecida, tornou-se um "continuum" e este adquiriu vida própria.

"Um dos atributos significativos da cultura é sua transmissibilidade por meios não-biológicos"... "A cultura, em todos os seus aspectos, material, social e ideológico, é fácil e prontamente transmitida de um indivíduo, uma geração, uma idade, um povo ou uma região para outra através de mecanismos sociais. A cultura é portanto uma forma de hereditariedade social". Como herança, a cultura constitui uma memória, um estoque de informações simbólicas que é legado. Mas esta memória é viva, pode se modificar. Este estoque é um processo, forma um tecido ou estrutura que modela o comportamento social, mas está sujeito a flutuações e aberto a mudanças.

"Vemos assim a cultura como um continuum supra-biológico, uma ordem de coisas e eventos extrassomáticos, que flui através do tempo, de uma idade para outra". Na visão de White esta entidade possui uma existência própria, um tanto autônoma, à maneira do "fato social" de Durkheim, uma "coisa" caracterizada pela relativa exterioridade e coerção que exerce sobre o comportamento individual. "... Desde que a cultura constitui uma ordem distinta de fenômenos, ela pode ser descrita e interpretada em termos de princípios e leis próprias". Para isto, White, numa postura similar à estrutural-funcionalista, leva em consideração: "a estrutura e a função da organização das coisas e processos, do sistema que chamamos cultura".

A cultura é, pois, um sistema organizado, integrado. Para seus propósitos analíticos White distingue três subsistemas da cultura: tecnológico, sociológico e ideológico.

"O sistema tecnológico é composto dos instrumentos materiais, mecânicos, físicos e químicos, junto com as técnicas de seu uso, por meio dos quais o homem como espécie animal está articulado com seu habitat natural. Aqui encontramos as ferramentas de produção, os meios de subsistência, os materiais de habitação, os instrumentos de ataque e defesa".

"O sistema sociológico é feito de relações interpessoais, expressadas em padrões de comportamento coletivo e individual. Nesta categoria encontramos sistemas sociais, de parentesco, econômicos, éticos, políticos, militares, eclesiásticos, ocupacionais e profissionais, recreacionais, etc.".

"O sistema ideológico é composto de idéias, crenças, conhecimentos expressados em linguagem articulada ou outra forma simbólica. As mitologias e teologias, lendas, literatura, filosofia, ciência, sabedoria popular e o conhecimento do senso comum fazem parte desta categoria".

"As três categorias compreendem o sistema cultural como um todo. Elas são de fato interrelacionadas; cada uma reage sobre as outras e é, por seu turno, afetada por elas. Mas a influência da interação não é igual em todas as direções".

"O papel primário é desempenhado pelo sistema tecnológico. O homem como espécie animal, e conseqüentemente a cultura como um todo, é dependente dos meios materiais e mecânicos de ajustamento ao ambiente natural. O homem precisa ter alimento. Ele necessita ser protegido dos elementos. E precisa defender-se a si próprio contra seus inimigos. Estas três coisas precisam ser feitas, se ele quer continuar a viver e tais objetivos são atingidos com meios tecnológicos".

"Os sistemas sociais (ou sociológicos) são, num sentido real, secundários e subsidiários dos sistemas tecnológicos. De fato, o sistema social pode ser realisticamente definido como o esforço organizado dos seres humanos no uso dos instrumentos de subsistência, ataque e defesa, e proteção. Sistemas sociais são portanto determinados por sistemas tecnológicos".

"Os sistemas ideológicos ou filosóficos são organizações de crenças nas quais a experiência humana encontra sua interpretação. Mas a experiência e as interpretações, entretanto, são poderosamente condicionadas pelas tecnologias".

Podemos ver o sistema cultural como uma série de três estratos horizontais: a camada tecnológica no fundo, a filosofia no topo e o estrato sociológico no meio. Estas posições expressam seus papéis respectivos no processo cultural. O sistema tecnológico é básico e primário. Os sistemas sociais são funções da tecnologia, e as filosofias expressam forças tecnológicas e refletem os sistemas sociais.

"O fator tecnológico é pois o determinante de um sistema cultural como um todo. Ele determina a forma dos sistemas sociais, e a tecnologia e a sociedade, juntas, determinam o conteúdo e a orientação da filosofia. Isto não é dizer que os sistemas sociais não condicionem a operação da tecnologia, ou que sistemas sociais e tecnológicos não sejam afetados por filosofias. Eles o são. Mas condicionar é uma coisa: determinar é bem outra".

"Temos agora uma chave para a compreensão do crescimento e desenvolvimento da cultura: tecnologia. Um ser humano é um corpo material; a espécie, um sistema material. O planeta Terra é um corpo material; o cosmos um sistema material. A tecnologia é o meio mecânico de articulação destes dois sistemas materiais, o homem e o cosmos. Mas estes sistemas são dinâmicos, não estáticos; energia, tanto quanto matéria estão envolvidos. Tudo - o cosmos, o homem, a cultura - pode ser descrito em termos de matéria e energia. A segunda lei da termodinâmica nos diz que o cosmos, como um todo, está se fragmentando estruturalmente e decaindo dinamicamente; a matéria está se tornando menos organizada e a energia mais uniformemente difundida. Mas, num pequeno setor do cosmos, ou seja, nos sistemas materiais vivos, a direção do processo cósmico está revertida: a matéria torna-se mais altamente organizada e a energia mais concentrada. A vida é um processo de construção. Mas, na tentativa de correr contra a corrente cósmica, os organismos biológicos precisam extrair energia livre dos sistemas não-vivos, capturá-la e colocá-la a trabalhar para a manutenção do processo vital. Toda a vida é uma luta pela energia livre. A evolução biológica é simplesmente uma expressão do processo termodinâmico, que se move numa direção oposta àquela especificada para o cosmos como um todo, pela segunda lei. É um movimento em direção à maior organização, à maior diferenciação de estrutura, crescente especialização de função, mais altos níveis de integração e maiores graus de concentração de energia".

De um ponto de vista zoológico a cultura é apenas um meio de suporte do processo de vida de uma espécie particular, Homo sapiens. É um mecanismo para fornecer ao homem subsistência, proteção, ataque e defesa, regulação social, ajustamento cósmico e recreação. Mas, para servir estas necessidades humanas, é necessária energia. Torna-se a principal função

da cultura, portanto, dominar e controlar a energia para que ela possa ser posta a trabalhar à serviço do homem. A cultura mostra-se assim como sistema elaborado, termodinâmico e mecânico. Um sistema de captação, processamento e uso de energia.

"O funcionamento da cultura como um todo, portanto, é suportado e determinado pela quantidade de energia controlada, e pelo modo pelo qual ela é posta a trabalhar". Neste ponto da explanação, White inclui uma nota de pé de página, importantíssima, que alguns de seus críticos parecem não ter levado em conta. Diz ele: "o funcionamento de qualquer cultura particular será condicionado pelas condições ambientais locais. Mas, na consideração da cultura como um todo, podemos tomar uma média de todos os ambientes juntos para formar um fator constante, que pode ser excluído de nossa fórmula de desenvolvimento cultural".

White afobou-se. Nesta altura da exposição, ainda não havia apresentado sua fórmula do desenvolvimento cultural. Ela aparecerá adiante. Mas "a forma pela qual...a energia...é posta a trabalhar" introduz outro fator ao lado da energia. Energia, em si própria, é sem sentido. É uma entidade do universo ou uma forma do pensamento, mas sem significação social prática. Para ser significante nos sistemas culturais, na visão de White, a energia precisa ser dominada, dirigida, controlada. Isto é, na verdade, realizado por meios tecnológicos, através de ferramentas de um tipo ou outro. A eficiência dos meios tecnológicos varia: alguns são melhores do que outros. A quantidade de comida, roupa, ou outros bens produzidos pelo dispêndio de uma dada quantidade de energia será proporcional à eficiência dos meios tecnológicos através dos quais a energia é posta a trabalhar, outros fatores permanecendo constantes.

Podemos, assim, distinguir três fatores em qualquer situação ou sistema cultural:

1. a quantidade de energia dominada (socialmente controlada *per capita*, por ano);
2. a eficiência dos meios tecnológicos, pelos quais a energia é colocada a trabalhar e;
3. a magnitude dos bens e serviços produzidos para satisfação de necessidades humanas.

Assumindo que o fator do <u>habitat</u> seja uma constante, o grau de desenvolvimento cultural, medido em termos da quantidade de bens e serviços <u>per capita</u> produzidos para satisfação de necessidades humanas, é determinado pela quantidade de energia controlada <u>per capita</u>, e pela eficiência dos meios tecnológicos com os quais ela é colocada em trabalho.

Podemos expressar isto, concisa e sucintamente, com a seguinte fórmula:

$$ExT \rightarrow C,$$

na qual E representa a quantidade de energia controlada, per capita, por ano, T a qualidade ou eficiência dos instrumentos empregados no dispêndio de energia e C o grau de desenvolvimento cultural.

Podemos agora formular a lei básica da evolução cultural: outros fatores permanecendo constantes, a cultura evolui quando a quantidade de energia controlada, per capita, por ano, aumenta, ou quando a eficiência dos meios instrumentais de colocar a energia para trabalhar é aumentada. Ambos os fatores podem, na verdade, crescer simultanemente.

White aplicou estas idéias à evolução energética da humanidade. "Propomos agora esboçar a evolução da cultura desde seu começo em nível antropóide até o presente. Podemos olhar a raça humana - o homem - como uma única. Podemos igualmente pensar em todas as várias culturas ou tradições culturais como constituindo uma só entidade: a cultura da humanidade". Descreveu em detalhes três estágios energéticos pelos quais a sociedade humana passou e sugeriu um quarto estágio que se teria insinuado a partir dos anos 50.

A primeira forma de energia usada pelos sistemas culturais foi a energia solar na forma de energia humana, isto é, a energia solar transformada em calorias vegetais e animais ingeridas pelo homem sob forma de alimento e convertidas em trabalho mecânico externo.

Posteriormente os sistemas culturais aprenderam[62] a usar a energia solar, sucessivamente sob as formas de fogo, vento e água. O fogo deriva da combustão da lenha em presença do oxigênio. E a energia da lenha representa parte da energia solar acumulada nas plantas. Os ventos decorrem do aquecimento, pelo Sol, de massas de ar, que sobem, dando origem aos deslocamentos horizontais do ar. Já a energia da água representa uma combinação da energia solar com a energia gravitacional da Terra, na qual o Sol, evaporando massas de água, dá origem às nuvens e às chuvas. As águas da chuva, ao se transformarem em regatos e rios, correm para as zonas mais baixas, impulsionadas pela gravitação terrestre, e possuem pois uma combinação de energia cinética e potencial.

A próxima etapa na obtenção de energia pelos sistemas culturais deu-se com a aprendizagem do cultivo das plantas e da domesticação dos animais. Isto ainda representa energia

62 Preferi usar a formulação: os sistemas culturais "aprenderam", para preservar o pensamento de White de que os sistemas culturais são capazes, eles próprios, de se "comportarem", isto é, realizar coisas.

solar acumulada, convertida em calorias de alimento. Tornou, todavia, possível aos grupos humanos a manutenção de estoques calóricos, cujo manejo pôde implicar menos gasto de energia humana no trabalho de obtenção de energia, por caloria de energia tornada disponível[63]. Um agricultor pode, em princípio, cultivar um campo de 1 hectare, por exemplo, e obter como rendimento algumas centenas de quilos de milho em poucos meses de trabalho, em troca de sua energia física. Um caçador isolado obtém um rendimento energético menor em troca da mesma energia .

Nas etapas seguintes de desenvolvimento, os sistemas culturais acrescentaram fontes de energia que, ao contrário das anteriores, eram independentes do funcionamento presente da biosfera e dos sistemas ecológicos. Em primeiro lugar os combustíveis fósseis: carvão e petróleo, nos quais a energia solar depositada em animais e plantas, há milênios, é recobrada e reintroduzida na biosfera, após sua queima, sob forma de calor e cinzas. Em segundo lugar, a energia nuclear, na qual a energia dos átomos de urânio é liberada pela fissão nuclear, sob forma de calor, usado, por exemplo, para geração de eletricidade[64].

A respeito da energia nuclear, é interessante citar um belo trecho de White, escrito em 1954, no qual ele claramente demonstra seus temores em relação ao futuro. Diz ele:

> "Culturas são sistemas dinâmicos; requerem energia para sua ativação. A história da civilização é a história do controle sobre as forças da natureza, através de meios culturais. Mas a história do controle da energia pode também fornecer o epitáfio da civilização. Na sua infância ou juventude, a cultura lançou o controle do fogo. Plantas e animais foram trazidos para a órbita do controle cultural, nos tempos neolíticos, através das artes da agricultura e da domesticação dos animais.
>
> O carvão, o óleo e a potência da água foram dominados e a cultura amadureceu. Agora a cultura começa a penetrar no coração da matéria e aprende como criar energia, assim como o Sol, nosso Pai dos Céus, a criou, desde a aurora dos tempos. E este avanço pode ser, possivelmente, o último. No simbolismo de um mito antigo, pode ser na verdade perigoso comer dos frutos de cada árvore no jar-

63 A respeito desta relação entre energia dispendida e energia tornada disponível, ver o conceito de excedente energético introduzido por Cottrell., abordado adiante.
64 Obviamente estas explicações sobre os processos de formação de energéticos e de conversão de energia são simplificadas.

dim. O domínio do fogo terrestre foi tolerável, mas criar energia pela transformação da matéria é disputar com o fogo celestial.

Se isto pode ser feito com impunidade, é o que havemos de ver. O novo Prometeu pode ser também o carrasco".

Não é curioso que embora mencione o mito cristão do paraíso perdido White termine por evocar também o mito de Prometeu? Mesmo que nos dias de hoje a vingança dos deuses através do espectro de um apocalipse nuclear tenha diminuído, novos fantasmas associados à energia, como o aumento do efeito estufa e os desequilíbrios climáticos e ambientais, tomaram seu lugar.

Enquanto White propôs uma teoria energética da cultura, que causaria bastante repercussão e seria também mal compreendida, Cottrell, quase na mesma época, realizou um trabalho diferente. Percebeu a extrema importância da energia nos assuntos sociais, desenvolveu alguns conceitos básicos e coletou uma infinidade de dados para demonstrar sua tese.

A Abordagem de Cottrell

A tese de Cottrell, que apresentarei em suas próprias palavras, "é simples". "É a de que a energia disponível para o homem limita o que ele pode fazer e influencia o que ele fará". "Não é (...uma tese...) fácil de estabelecer, porque os conversores energéticos que o homem utiliza estão incorporados numa matriz social na qual é difícil distinguir as relações primariamente de origem social" (Cotrell, 1955).

A análise de Cottrell não foi pura especulação científica. Dizia respeito também à polêmica ideológica entre o capitalismo liberal e o socialismo marxista. "Os partidários da livre empresa sustentam que suas idéias políticas e econômicas... demonstraram capacidade para lidar com a sociedade industrial. Os comunistas, por outro lado, acreditam que somente através do uso do modelo de Marx pode o homem realizar integralmente as potencialidades da tecnologia moderna". Se sua própria tese fosse bem substanciada, dizia Cottrell, se poderia "mostrar como os sistemas propostos (...pelos ideólogos...) irão converter e distribuir a energia de tal forma que o homem em todo lugar possa fazer o que eles sustentam que ele é capaz de fazer, e também provar que nada envolvido no processo de produzir e usar mais energia está sujeito a influenciar os homens a distribuírem-na desigualmente - ou, mais especificamente, negar a grandes áreas do mundo a riqueza possível para elas se a energia fosse adequadamente distribuída" (Cottrell, op. cit.).

"Se desejamos predizer se um dado grupo desejará mudar da maneira requerida para fazer uso de novos combustíveis e conversores, precisamos saber o que, na situação visada, tem que ser mudado para que estes combustíveis e conversores possam ser usados". "Isto significa que é preciso fazer um esforço cuidadoso para distinguir entre as relações sociais, que são dependentes do uso dos atuais conversores, e aquelas que se pode esperar que continuem, mesmo que novas fontes de potência as energizem. Somente no grau em que saibamos o que precisa ser mudado, podemos conhecer os custos da mudança e estimar o desejo humano de alterar sua sociedade" (Cottrell, op.cit.).

Este autor afirmava que, "no afã de rotular o comportamento humano, para explicar porque ele se mantinha ou se modificava, os homens tinham sido alternativamente classificados como: primariamente sequiosos de poder, animais políticos; ou como sequiosos de dinheiro, isto é, seres econômicos; como seres dotados de carne e sangue, com instintos raciais que guiam suas escolhas; como pobres marionetes de forças físicas e biológicas que os movem, ou ainda como elementos anarquistas, no tempo e no espaço, guiados somente por suas vontades" (op.cit.). Não é o que ele se propunha. "Aqui não fornecemos esquemas deste gênero. Estamos tentando descobrir as relações entre os conversores energéticos e combustíveis usados e os tipos de sociedades que eles constroem" (op.cit.).

Para isto recorreu a extensa documentação histórica, examinou diferentes tipos de sociedades e situações sociais, relacionando-os a diferentes tipos de conversores energéticos. Examinou também as mudanças no sistema de valores e na estrutura social que acompanharam a alteração nas fontes de energia. Cottrell dizia não ter suposição prévia sobre o papel da energia no comportamento humano. "Devemos fazer um esforço para descobrir que parte ela desempenha... assim fazendo, podemos ajudar a aproximar aquilo que ocorre das expectativas humanas" (op. cit.).

"Mesmo o conhecimento mais elementar da fisiologia e da termodinâmica torna claro que o homem existe somente onde ele é capaz de repor a energia que usa no processo de viver. Ele precisa estar regularmente no controle de um nível de energia igual ou superior a este mínimo. Um deficit permanente torna a vida impossível". "Além deste mínimo, biologicamente estabelecido, a quantidade de energia requerida pelo homem é colocada pelos objetivos que ele busca" (Cottrell, op. cit.).

"A preservação de um sistema de valores requer um fornecimento contínuo de energia igual às demandas impostas por este sistema de valores. Inversamente..., ... mudanças na quantidade e na forma da energia disponível dão origem a condições que resultam em mudanças nos valores, pois os homens que compartilham valores comuns fazem mudanças similares em suas escolhas, quando defrontados com mudanças similares nas consequências de seus atos". "Estas mudanças nas escolhas são influenciadas não somente pelos valores aprendidos mas também pelos novos limites quanto ao que é fisicamente factível. Assim, a possibilidade de predizer a mudança depende tanto do conhecimento das potencialidades físicas numa situação quanto do conhecimento dos valores abraçados pelas pessoas" (Cottrell, op.cit.).

"Torna-se aparente que, como um meio para converter a energia, o homem pode ser medido como qualquer outro conversor. Isto não é dizer que, em qualquer situação, a coisa mais significativa acerca de um homem é que ele é um conversor - mesmo que quando cesse de sê-lo ele esteja morto. É dizer que se um homem age, suas atividades podem ser medidas em termos físicos" (Cottrell, op. cit.). O homem faz uso de outros conversores, além de seu próprio corpo, para alcançar seus fins e a energia que estes conversores tornam disponível para ele é também mensurável.

A possibilidade de mensurar a energia permite conhecer a eficiência relativa destes conversores. Isto contudo, para Cottrell, não quer dizer que os conversores mais eficientes sejam sempre os preferidos. "Por esta razão não aceitamos aqui a conclusão de Zipf de que a longo prazo o homem inevitavelmente modificará sua cultura na direção de tornar a vida fisicamente menos difícil" (Cottrell, op. cit.). Ao dizer isto, Cottrell tinha em mente a sobrevivência de velhos padrões que pareciam ineficientes comparados às possibilidades atuais. É como se a matriz de relações sociais inibisse a escolha de técnicas mais avançadas e modos mais eficientes de conversão da energia.

Estudos recentes, realizados numa perspectiva ecológica, indicam, contudo, que freqüentemente o oposto também ocorre. Uma perda gradual de eficiência energética global pode ocorrer em situações onde técnicas novas são introduzidas e a eficiência econômica aumenta. É o caso, por exemplo, da eficiência agrícola que, com o uso de técnicas modernas - tratores, pesticidas, fertilizantes, etc., - pode aumentar em termos de eficiência por unidade de mão de obra empregada, de área utilizada, ou de capital investido, mas que implica comumente diminuição da eficiência energética global do processo. Mais unidades de energia tem que ser investidas para obter o mesmo resultado (Odum, 1976).

Quando se usa o conceito de energia é necessário definir que formas de energia estão sendo consideradas para definir as fronteiras do sistema em estudo e as eficiências energéticas destes sistemas. Um conversor mais eficiente pontualmente - isto é, mais eficiente quanto à uma forma particular de energia - pode, no entanto, implicar menores eficiências globais - que ocorrem quando se consideram outras formas de energia envolvidas no processo.

Embora consciente das dificuldades inerentes ao conceito de energia, Cottrell opta por usá-lo numa versão simplificada. Sua concepção da energia é bastante influenciada pela mecânica. "A física newtoniana assume que os objetos materiais manterão suas relações físicas

existentes, a menos que atuados por uma força externa. Em outras palavras, o trabalho é definido como um fator responsável por algum tipo de mudança nas relações físicas. Esta pode ser uma mudança de forma, tempo ou lugar. A energia, por seu turno, dado que é definida como a capacidade de realização de trabalho, está envolvida em qualquer mudança nas relações físicas".

A adoção de uma perspectiva um tanto mecanicista dificulta a Cottrell a percepção das implicações da segunda lei da termodinâmica, que acarreta a noção de irreversibilidade, estranha à mecânica. A capacidade de realização de trabalho de uma certa quantidade de energia, num certo ambiente, possui um limite superior teórico e diminui à medida que as conversões ocorrem.

"A física newtoniana sustenta que a quantidade de energia no universo é uma constante e assim a energia nunca é perdida ou ganha. O homem jamais cria energia ou a destrói. Estas palavras têm significado em termos de valores humanos. O que expressamos quando dizemos que o homem cria energia é que ele aumenta seu suprimento no tempo, no lugar e na forma em que ele necessita dela. Ele consome energia quando a torna menos disponível para servir seus objetivos" (Cottrell, op. cit.).

Não há menção explícita, ou pelo menos enfática, ao processo de degradação física da energia, à dissipação da capacidade de realização de trabalho. "A eficiência de um conversor é uma medida da proporção da energia introduzida nele que é convertida na forma desejada. Não é somente uma medida física; é também uma estimação social. O açúcar do sangue é convertido em várias formas de energia no corpo humano. A ação muscular requer mudanças químicas no açúcar que também geram calor. No inverno o calor é freqüentemente desejável, e o exercício pode ser praticado com o simples propósito de aquecer o corpo, enquanto no verão o calor é um concomitante indesejável e sua redução seria bem vinda. A eficiência do corpo em converter alimento em energia poderia variar de estação para estação, com a mudança nos fins desejados".

Em geral, os engenheiros simplesmente assumem o objetivo social do sistema no qual estão trabalhando e medem a eficiência em termos dele. A visão de Cottrell não é incorreta. Há, sem dúvida, uma avaliação social do processo energético que passa, inclusive, pela dimensão do bem estar físico e emocional das pessoas. Mas ele vê apenas parte do problema. Vê a eficiência de uma ótica de primeira lei da termodinâmica. Deste ponto de vista, a energia se conserva, não há perdas e, portanto, eficiência é apenas a relação entre a energia que é

usada para o fim social ou econômico em questão e a que é "desperdiçada", porque se "perde" em outras atividades sem aproveitamento social ou sob forma de dissipação. Mas os limite físicos são inevitáveis, e Cottrell, embora sem enfatizar as implicações da segunda lei, os reconhece.

Para aumentar o rendimento de um processo termodinâmico é usualmente necessário realizá-lo em condições muito especiais e de forma extremamente lenta. Nestes casos, a eficiência de segunda lei pode aumentar até se aproximar do limite teórico, mas, perto deste limite, os resultados práticos não compensam, pois o tempo necessário para obtê-los é muito grande. Para obter resultados práticos compensadores é necessário aumentar o uso de potência além do necessário do ponto de vista teórico e, neste caso, o rendimento decresce. Uma versão desta situação, no campo da mecânica, foi enfocada quando se falou da curva de Lotka[65] (Capítulo II).

Seres humanos, enfocados de um ponto de vista termodinâmico, precisam manter seu equilíbrio energético extraindo energia do meio para compensar suas perdas. Segundo os psicólogos examinados no capítulo anterior, buscam também equilíbrio em suas expressões emocionais da energia, descarregando energia acumulada. Quando seres humanos atuam em sociedade, além da energia somática, operam também conversores extrassomáticos, controlando portanto fluxos de energia que excedem os de sua própria energia corporal (ou corpo-mental). No controle da energia "social", o investimento da energia humana e da energia dos conversores (output) deve ser compensado por influxos (inputs) de energia que no mínimo compensem a energia dissipada para que o sistema "pessoas+máquinas" opere de forma constante. Para que este sistema se expanda é necessário um excedente energético, usado para ampliar o sistema ou para aumentar sua eficiência.

Cottrell usou o conceito de excedente energético. Definiu-o como "a energia disponível para o homem em excesso daquela despendida para tornar a energia disponível. Assim como o conceito de eficiência, a energia excedente representa uma estimação social de um fato físico". "Assim como o conceito de eficiência o excedente energético tem sido fonte de erro

65 O leitor deve se lembrar que, para realizar uma transferência de energia em velocidade máxima, ao mesmo tempo acumulando energia potencial, o rendimento deve ser em torno de 50%. Isto é, metade da energia deve ser perdida. Em todas as outras faixas de rendimento (acima e abaixo dos 50%) correspondentes às diferentes combinações entre realizar um trabalho o mais rapidamente possível e, ao mesmo tempo, armazenar energia potencial, a potência máxima disponível é menor . O nível ótimo de rendimento em sistemas acoplados é em torno de 50%. Odum tentou generalizar a lei de Lotka para grande número de sistemas acoplados, inclusive para sistemas sociais acoplados a seu meio ambiente.

porque tem sido tomado como um fato exclusivamente físico mais do que um conceito envolvendo um processo de avaliação" (Cottrel, op.cit.).

Em qualquer ponto do tempo um homem ou um grupo social possui um dado estoque de energia que pode ser imediatamente "consumido" ou usado para "produzir" mais energia. Um agricultor, por exemplo, pode consumir um grão de cereal como alimento imediatamente ou então plantá-lo e obter uma quantidade maior de grãos no futuro. Se decidir pela segunda alternativa seu gesto provavelmente produzirá um excedente energético. Se alguém come frutas colhidas à beira da estrada possivelmente obtém mais energia das frutas do que despende para colhê-las. Há um excedente energético. Mas se corre pelos campos atrás de um coelho pretendendo pegá-lo à unha e comê-lo, provavelmente gastará mais energia do que o coelho poderia fornecer (repor, se acaso fôsse apanhado). Neste caso não haverá excedente energético.

Cottrell propôs também a aplicação do conceito de campo energético à situações sociais. Expressou com esta idéia de campo de energia (na sociedade) a esfera de atuação de um dado conversor energético. A este campo de energia aplicou a noção de gradiente energético, que estimaria a taxa de variação da intensidade do campo. O campo energético de uma máquina à vapor seria representado por toda a esfera social (e econômica) de algum modo afetada pelo funcionamento desta máquina. O gradiente representaria o grau em que cada localidade neste campo é afetada pela máquina. É um "insight" interessante, mas de difícil mensuração.

Munido deste arsenal de conceitos, Cottrell empreendeu minuciosa análise de grande número de situações sociais mostrando o papel relevante da energia na emergência e desenvolvimento destas situações. Mostrou, por exemplo, como a possibilidade de empregar a energia dos ventos para movimentar embarcações à vela permitiu a expansão da civilização ocidental por quase todo nosso planêta.

Embora reconhecesse que "a energia representa parte do custo da obtenção de todos os valores humanos e sociais, pois é necessária energia até para sonhar"[66], Cottrell não chega a formular uma teoria. Assume uma atitude prudente. "Qualquer tentativa de lidar com um complexo tão grande de variáveis, como as envolvidas na predição do curso das civilizações, deve em alguma extensão conduzir ao fracasso. O método de percepção e o locus da aten-

66 Neste sentido Cottrell se aproxima, talvez involuntariamente, de Ostwald - para quem a energia é fato e fonte de valor (capítulo I) - e dos psicanalistas como Freud, Reich e Jung - que focalizam na energia psíquica a dimensão de valor afetivo, de investimento emocional chamada libido.

ção desenvolvidos aqui não nos levam a conclusões seguras: talvez a contribuição deste ensaio esteja principalmente no fato de que sugere áreas inteiras de ignorância, cuja exploração pode aumentar a acurácia de nosso pensamento acerca do desenvolvimento futuro da sociedade humana" (Cottrell, op. cit.).

Similaridades e Diferenças entre as Visões de White e Cottrell

Nesta altura seria interessante comparar as contribuições de White e Cottrell como uma forma de dialogar com as possibilidades e limites de uma explanação energética da sociedade humana.

White formulou uma teoria energética da cultura. Sua visão forma uma totalidade integrada. A cultura, para ele, constitui um sistema termodinâmico acionado pela energia. A tecnologia é o meio de que a cultura se vale para bombear a energia e realizar seus objetivos. Estes, por sua vez, são determinados pela tecnologia, com a intermediação das relações sociais e da ideologia. A quantidade de energia (útil) *per capita* por ano é o principal indicador do grau de evolução de um sistema cultural. Este grau de evolução é indicado (e medido) pelo conjunto da produção de bens e serviços culturais propiciados, em última análise, pelo controle da energia.

Já Cottrell não propôs uma teoria. Ele investigou a relação "energia x sociedade", profunda e extensamente, mas não produziu um corpo unificado de explicação. Cottrell mostrou a importância da energia para a comprensão de um grande número de processos sociais. Mostrou que os sistemas de valores são influenciados pela energia disponível para a sociedade, mas pôs em dúvida a possibilidade de predição do comportamento do sistema social baseada na energia.

A possibilidade de predição é um valor sacrossanto em algumas visões da ciência, mas a dúvida quanto à esta possibilidade, por si só, não compromete irremediavelmente uma teoria. A teoria da seleção natural de Darwin, um exemplo de teoria bem sucedida, tem grande poder explanatório sem ter poder preditivo. Sugere uma hipótese plausível de como as espécies evoluem, de acordo com a teoria, mas não se pode prever a direção evolutiva. As dificuldades de predição são, aliás, comuns em sistemas complexos[67]. Cottrell não tem uma teoria porque não fornece um esquema de explicação integrado e não porque não possa prever.

67 Mesmo sistemas dinâmicos relativamente simples apresentam comportamento caótico, como é o caso do pêndulo duplo, e muitos sistemas complexos parecem operar nas fronteiras do caos.

Ambos, Cottrell e White, parecem ter uma visão restrita da energia. A energia considerada por eles é basicamente a energia usada no trabalho e na produção, controlada pelos meios técnicos. Embora admitam a energia humana como fonte básica em certos estágios sociais, vêem-na apenas como instrumento de produção (ou de destruição, no caso da guerra). Esquecem (ou omitem), por exemplo, que a energia humana possa ter uma dimensão inteligente - ser uma energia "informada" (de alta qualidade, pois organiza o trabalho físico) - e uma dimensão afetiva - ser uma energia "apaixonada" (carregada de valor). Isto não conta para eles. Sua visão da energia humana seria a de engenheiros, não a de sociólogos ou antropólogos[68].

Contudo, de um ponto de vista prático, eles podem ter razão. É possível que o termo energia só tenha sentido preciso na acepção estreita em que o utilizam, e que em outras acepções seu sentido seja vago e seu significado obscuro. Mas o fato é que, embora difícil de conceituar, há uma dimensão organizadora da energia quando ela é usada para controlar processos. É a chamada energia de alta qualidade, básica na eletrônica, nos processos da vida e, talvez, no psiquismo. Há também sugestões, de pesquisadores sérios, da existência de uma forma ou modo de expressão da energia ligada aos afetos, que faria parte dos processos psíquicos e do comportamento humano.

Mesmo que, em última análise, tais "energias" se reduzam a fenômenos energéticos "convencionais", a energia da física (por exemplo a impulsos eletromagnéticos e à informação), elas fazem parte do contexto humano e não deveriam ser relegadas à segundo plano por sociólogos e antropólogos apenas por serem difíceis de operacionalizar e medir.

Tanto White como Cottrell mencionam a contribuição energética dos ecossistemas e da biosfera para as sociedades humanas. Mas não a enfatizam. Tomam-na apenas como um dado; isto é explícito em White. O que conta verdadeiramente é a energia dominada pela tecnologia, a energia controlada pela economia. Esquecem que o meio ambiente, a biosfera e os ecossistemas, além de fornecerem energia diretamente sob forma de radiação solar, vento ou água, por exemplo, fornecem-na também indiretamente, como energia incorporada à organização da biosfera e energia armazenada nos materiais reciclados. Esquecem ainda o efeito depurador dos ecossistemas para os resíduos e rejeitos da ação humana e do uso da energia

68 É interessante registrar a esta altura e para desenvolvimento posterior que a energia humana deveria ser vista como possuindo um componente, ou dimensão, corporal e outro psíquico. O que se chama libido, energia emocional ou vital seria uma combinação das duas dimensões. Isto são conjecturas provisórias.

pela humanidade. Estas contribuições energéticas dos ecossistemas e da biosfera não são enfatizadas embora sejam básicas para o funcionamento dos sistemas sociais e econômicos.

Os dois autores também não consideram plenamente as possíveis implicações do segundo princípio da termodinâmica para os assuntos sociais. Este princípio estabelece limites para o aumento irrestrito da eficiência dos conversores de energia, insinua limites termodinâmicos para a expansão irrestrita da exploração dos recursos energéticos e sugere limites ambientais para a escalada de expansão das atividades humanas no planêta. Tópicos ulteriores neste capítulo e no capítulo seguinte tocam nestas questões.

Cottrell menciona as perdas inerentes aos conversores, que em termos técnicos podem ser minimizadas, e não enfatiza as perdas necessariamente inerentes à conversão em si mesma, que tem limites inevitáveis para sua redução. Preocupa-se com as eficiências técnicas e as relaciona às estimações sociais, mas põe em segundo plano os limites termodinâmicos.

White refere-se a um "pequeno setor do cosmos"... ocupado pelos sistemas vivos, onde "a direção do processo cósmico está revertida". Refere-se ainda à evolução biológica como sendo simplesmente uma expressão do processo termodinâmico, que se move numa "direção oposta àquela especificada para o cosmos como um todo, pela segunda lei". Sublinhei estes trechos, na longa e já clássica citação de White, mostrada antes, porque deram margem à equívocos.

Estas afirmações de White são tributárias da declaração de Boltzmann de que "a vida é uma luta pela energia livre", e da visão dos seres vivos como absorvendo "entropia negativa" de Schrödinger. Mas introduzem um preconceito geocentrista. Não há porque pensar que a vida ocorra num setor do universo onde a direção do processo cósmico esteja revertida, nem que a evolução biológica se mova numa direção oposta à direção cósmica. A visão mais aceita é de que a auto-organização de sistemas não vivos e de sistemas vivos ocorre a despeito e por causa da tendência entrópica.

White não conseguiu ver que a direção do fluxo de energia que alimenta os processos vivos decorre exatamente da direção do aumento da entropia. A energia "flui" (ou se converte) de um estado de baixa entropia para um estado de alta entropia, de uma forma de alta qualidade para uma forma de baixa qualidade, de potencial de trabalho para calor dissipado. Este é o "custo" ou o "preço" energético da organização. Dada a entropia gerada internamente, os sistemas vivos e os sistemas sociais precisam continuamente abastecer-se de energia de baixa entropia para manter um estado constante. Isto só é possível através de uma relação "simbióti-

ca" com seu meio ambiente, do qual extraem entropia negativa, no dizer de Schrödinger. Enquanto a energia se dissipa num meio que se degrada, geram-se condições para o aumento local da organização e da complexidade[69].

Quanto "maior" um sistema cultural - e maior aqui significa maior de um ponto de vista físico, maior sua produção de entropia e maior sua dependência energética do meio ambiente. Isto é análogo ao fato de que quanto maior o Império Romano mais ele dependia do que ocorresse dentro e além de suas fronteiras, muito embora tanto o sistema cultural quanto o Império Romano, pela diversidade de suas fontes de energia, num caso, e de suas fronteiras geográficas no outro, pudessem obter maior flexibilidade para manipular tal dependência[70].

Cottrell usou o conceito de excedente energético, que permitiria explicar a passagem de um sistema baseado na caça e coleta para um sistema agrícola. Os excedentes energéticos, eventualmente obtidos no primeiro, permitiriam implantar as inovações que levaram ao segundo. White, por não reconhecer explicitamente a importância do excedente energético, teria algumas dificuldades para explicar esta passagem, pois ambos os sistemas são baseados principalmente em energia humana e não há, pois, inicialmente uma forma de energia nova para explicar, nos termos de White, a transição. Talvez a maior eficiência energética de um sistema social baseado na agricultura, comparado a um baseado na caça e coleta, pudesse explicar a passagem. Pode-se alegar que abastecendo-se diretamente de plantas que são conversores fotossintéticos as sociedades agrícolas cortassem um elo da cadeia alimentar. Em vez das plantas alimentarem animais e o homem ocupar o topo da cadeia alimentando-se dos animais, a sociedade controlaria mais diretamente o fluxo da energia solar nos ecossistemas.

---

69 O tema é controvertido. Mesmo antes da termodinâmica de processos irreversíveis sugerir uma solução para a questão da manutenção de baixa entropia nos seres vivos e em outros sistemas ordenados (capítulo III), alguns autores já haviam "embarcado" numa posição semelhante à de White. Alguns psicólogos, citados por Jung em suas reflexões sobre a energia psíquica, mencionaram a necessidade de um terceiro princípio da energética voltado para a questão da organização (capítulo IV). Os proponentes da equivalência entre entropia negativa e informação, tais como Szilard e Brillouin, deram outro tipo de solução à questão. Para eles a organização dos seres vivos decorre da informação que, por sua vez, tem um custo energético. A informação seria obtida às custas da dissipação de energia no meio ambiente ou no sistema maior. A ordem local seria obtida às custas da desordem geral. Todavia, ainda se questiona se o princípio de aumento da entropia, formulado para sistemas fechados, seria válido para o universo como um todo. Teilhard de Chardin, em suas especulações sobre a energia no cosmos, também aduziu a necessidade de um princípio de ordenação ou de complexificação crescente que conduziria a natureza da energia às partículas e destas a átomos e moléculas e células e organismos até à consciencia e ao espírito. Este seria um princípio de complexidade crescente,operando em sentido ortogonal ao princípio entrópico de probabilidade crescente. Questões similares foram colocadas pelo Demônio de Maxwell e, em certa medida, acham-se ainda em aberto.

70 É possível especular que, para manter a "ordem" dentro de suas fronteiras e, até certo ponto, além delas, o Império Romano precisaria extrair energia livre do seu meio ambiente físico e social. Precisaria obter insumos ordenados da natureza e dos grupos sociais com os quais transacionava. Para compensar sua produção "interna" de entropia,precisaria importar baixa entropia. Ao fazer isto, desorganizaria seu meio ambiente natural - o que inclui a dissipação da energia solar captada na agricultura - e talvez seu meio ambiente social, explorando os povos com os quais transacionava. Em que medida uma e outra coisa ocorreram, de um ponto de vista termodinâmico, é desconhecido. Mas o paralelo com situações contemporâneas nas quais os países mais desenvolvidos concentram riqueza e destroem o meio ambiente é óbvio.

Contudo, o conceito de excedente energético é um tanto obscuro e não é muito claro se os sistemas agrícolas são sempre mais eficientes que os sistemas de caça e coleta. Odum (1976) indicou alguns casos de sistemas de caça e coleta, como as sociedades baseadas na pesca, que, aproveitando o trabalho de concentração de energia realizado pela natureza no estuário de um rio, obtêm alta eficiência relativa.

Pode-se falar em nichos ecológicos ou em armazenamentos de energia na natureza e na sociedade. Pode-se também falar em energia líquida, um conceito que examinarei no tópico dedicado à análise energética, no capítulo seguinte. São noções que têm sentido termodinâmico mais claro. Mas o conceito de excedente energético depende, como o próprio Cottrell reconheceu, de uma estimação social. Na verdade, ele é uma versão termodinâmica do conceito de excedente econômico, que foi muito utilizado para explicar o processo de acumulação que levaria à mudança social. Não é clara para mim, todavia, a utilidade do conceito de excedente energético.

Na teoria de White ter-se-ia que explicar a passagem de um sistema a outro através de novas formas de energia, novos conversores ou novas eficiências. White deixou o ponto obscuro. Em ambos os sistemas - o de caça e coleta e o agrícola - a energia "controlada" é basicamente a energia humana. O fogo e a água parecem ter papel menor. Os novos conversores - animais de carga, moinhos de vento e rodas dágua - surgem depois. No entanto, no sistema agrícola, como se viu, a sociedade controla diretamente uma parte maior do fluxo de radiação solar, especializando as plantas para seu próprio consumo. Assim, no sistema agrícola, o excedente energético, apropriado na forma de excedente econômico, poderia ser maior.

Sem a noção de excedente energético, mesmo obscura como ela possa ser, como conciliar a evolução cultural de White, baseada num aumento da energia per capita por ano, com a transição evolutiva de um sistema para outro? Sahlins percebeu uma aparente fragilidade de White neste ponto. No tópico seguinte detalho essa e outras criticas a White.

Críticas à Teoria Energética da Evolução Cultural de White

Newcombe, em 1976, formulou algumas críticas à teoria energética da evolução cultural de White. Primeiro, "a definição de cultura fornecida por White não dá conta das mudanças culturais que podem ocorrer sem qualquer aumento no dispêndio energético, meramente através de um redirecionamento das energias existentes e envolvendo o aperfeiçoamento de uma habilidade existente, como por exemplo nas belas-artes". Newcombe repete a mesma crítica ao comentar o trabalho de Cottrell.

Em segundo lugar, "alguns aspectos da evolução cultural que, pela definição de White, avança com o incremento do consumo de energia, atualmente tornam mais difícil ao homem a satisfação de suas necessidades, a saber: poluição, ruído e assim por diante; características de uma sociedade de alta energia, que não são compatíveis com a saúde humana".

Creio que Newcombe está errado. Podemos imaginar um redirecionamento das energias em qualquer sociedade. Podemos imaginar qualquer coisa. Um redirecionamento imaginário pode até aumentar a eficiência do uso da energia e, neste caso, haverá mais energia disponível e White teria razão. Um redirecionamento real é diferente, envolve mudanças no processo de trabalho, na alocação da mão de obra, pode envolver investimentos, freqüentemente pesados, em equipamento, envolve talvez desativar investimentos que estão se pagando. Envolve, pois, custos econômicos e energéticos que, para serem enfrentados, acarretarão dispêndio de energia e terão que significar provavelmente um consumo de energia maior ou uma maior eficiência no uso da energia. Ora, isto é exatamente o que White dizia. O argumento, nos dois casos, fica mantido.

Outro aspecto da crítica de Newcombe é o argumento de que as belas-artes não dispendem muita energia. Bem, certamente não dispendem tanta energia quanto a indústria do aço, por exemplo. Mas não nos iludamos. Se o volume de bens e serviços culturais - aqueles de que White fala - produzido por estes artistas for significativo no conjunto da produção cultural da sociedade, então sustentar energeticamente um sistema social que suporta artistas e belas-artes é provavelmente caro. Ter-se-á que suportar economicamente tais artistas, não só em termos

de sobrevivência mas também de materiais para sua produção, e de divulgação de seus trabalhos. Tudo isto custa energia, que pode não ser pouca, principalmente se computarmos as energias indiretas, para educar os artistas, produzir seus materiais e gerar os canais de comunicação. O processo será mais caro ainda se imaginarmos que parte do aço serviria para perfurar petróleo e bombear mais energia para o sistema econômico, enquanto que as belas-artes darão provavelmente um retorno energético mais restrito.

Em sua segunda crítica, Newcombe focaliza a poluição que avança com a sociedade de altas energias e que não seria um indício de evolução cultural. Aqui o problema é mais complexo. Em primeiro lugar, pode-se ver a poluição como resultado de um uso ineficiente da energia, uma combustão incompleta, por exemplo. Reconheço que esta visão é parcial. Mas a poluição excessiva, que põe em risco a saúde dos ecossistemas e a saúde humana, é certamente um uso ineficiente do ambiente natural e humano. Tecnologias eficientes deveriam levar em consideração não só os aspectos econômicos envolvidos - o que elas em geral intentam - mas também o meio ambiente natural e humano.

A ineficiência no uso da energia está refletida na visão de White. É o T - a eficiência média dos meios tecnológicos - de sua fórmula. Este aspecto poderia, portanto, ser coberto pela formulação de White. Numa segunda abordagem da questão levantada por Newcombe, evolução cultural, pelo menos na última fase do pensamento de White, não significa necessariamente satisfação de necessidades humanas. O sistema cultural geraria objetivos próprios que se impõem às necessidades humanas, modelando-as ou deformando-as. Isto parece acontecer freqüentemente. Neste caso permanece possível considerar um sistema cultural que usa mais energia, de modo mais eficiente, como sendo mais evoluído, apenas porque ele produz uma maior cesta de bens e serviços culturais, mesmo quando ele satisfaz menos as "necessidades humanas".

Tal sistema seria menos desejável e nada evoluído do ponto de vista das necessidades insatisfeitas, mas não necessariamente menos evoluído de todos os pontos de vista, pois na competição com outros sistemas pode superá-los. Embora tal visão seja incômoda, isto aconteceu frequentemente na história da humanidade. A própria história do capitalismo - um sistema que se pretendia um avanço em relação ao feudal - registra terríveis condições de vida para populações proletárias. Teria sido o capitalismo uma forma cultural mais evoluída que a feudalidade?

Ainda em defesa de White, registre-se que ele não diz que toda mudança cultural envolve aumento do dispêndio de energia. Ele diz que a evolução cultural como um todo depende do aumento na disponibilidade de energia útil. White parece tão seguro de certos aspectos de sua teoria que afirma: "nenhuma quantidade de adição ou desenvolvimento de meios necessários avança a cultura além de um certo ponto enquanto o fator energia não for tocado. A cultura regrediria, mesmo se suas ferramentas e máquinas fossem perfeitas - e precisamente porque são perfeitas - se a quantidade de energia controlada per capita por ano diminuísse" (White, 1959).

Em resumo eu diria que as críticas anteriores indicam pontos frágeis da teoria de White mas não a destroem. É ainda possível formular outras críticas a este autor a partir de perspectivas diferentes. Em primeiro lugar, e num nível puramente teórico, a passagem da cultura como um sistema termodinâmico para o cultural como um elemento simbólico, ou um "simbolado", no dizer de White, é também obscura. Creio que esta passagem só pode ser feita com o auxílio da noção de informação ou com o recurso a uma idéia de energia psíquica. Como ambos - a informação e a energia psíquica - teriam alguma ligação com a termodinâmica, a passagem poderia ser feita. De outro modo ela me parece difícil.

Se a cultura é um sistema termodinâmico, como se terá constituído o cultural como um sistema simbólico? A solução sugerida por White é frágil. Em algum ponto da evolução neurológica dos seres humanos surgiu a capacidade da simbolização. E daí? Como interpretar símbolos em termos termodinâmicos? Só recorrendo à visão Jungiana de que os símbolos, inclusive os símbolos religiosos, representam cristalizações da energia psíquica. Ou então numa visão dualista admitindo que os símbolos, sejam o que forem, uma vez existentes, passam repentinamente a ter impacto termodinâmico no processo social e econômico, pois contribuem para regular comportamentos que dispendem energia.

Em segundo lugar, a eficiência *T*, dos meios tecnológicos, na equação de White, deveria tender, ao longo do processo evolutivo, para 50%, se a lei de Lotka se aplicasse a sistemas culturais. Se a eficiência fosse significativamente maior ou menor que 50%, o sistema cultural teria menor potência útil disponível e tenderia a perder a competição com outros sistemas culturais, caso a disputa entre sistemas culturais fosse similar à seleção natural. São hipóteses demais. Não sabemos se a Lei de Lotka se aplica a sistemas culturais. Se ela se aplicasse, e se estes sistemas simplesmente disputassem entre si pelas fontes de energia, então a linha evoluti-

va dos sistemas culturais tenderia para a maximização de um fator: a energia per capita, com eficiência de uso em torno de 50%, num dado meio ambiente *A*.

As condições de evolução cultural (e tecnológica), nestas circunstâncias se expressariam como a capacidade de maximizar *E* - o consumo per capita de energia - num meio ambiente *A*, mantendo a eficiência média dos processos tecnológicos *T* em torno de 50%. Isto poderia ocorrer com populações crescentes ou estáveis, pois em geral se assume que populações declinantes indicam retrocesso. Populações continuamente crescentes podem indicar êxito biológico, por um período, mas podem levar a impasses ambientais. Populações constantes seriam aceitáveis em muitas culturas. Mas populações decrescentes poderiam ser vistas como sintomas de fracassos biológicos ou culturais.

Um dos pontos delicados no equilíbrio sociedade-ambiente é que, acima de certos limites populacionais e energéticos, o meio ambiente A pode se tornar instável e o sistema cultural não poderia mais se expandir, porque diminuiriam seus recursos energéticos derivados do meio ambiente ou aumentariam seus gastos energéticos para manter a estabilidade do ambiente. Isto ocorreria por causa de maiores gastos energéticos para obter energia e alimento ou para controlar a poluição. Se teria tocado num limite ambiental.

O sistema cultural teria então que se manter constante ou "recuar" para maior eficiência energética (maior eficiência = menor potência, se Lotka tem razão) ou menor população, ou mudar seus instrumentos tecnológicos (através de inovação) para alterar suas fontes de energia ou colonizar e se adaptar a um ambiente diverso. Este último recurso é ainda possível para os países que têm fronteiras de colonização e/ou recursos em abundância, mas no caso do sistema cultural global da Humanidade, se os limites forem atingidos, ou novas fontes de energia não forem desenvolvidas, o espaço por colonizar poderá ser fora da Terra.

Poderia esta mudança evolutiva ser feita em níveis de consumo energético mais baixos, isto é, com menos dano ambiental e maiores prazos para esgotamento dos atuais recursos energéticos? Sim, através do aumento da eficiência, se esta ainda for baixa. Isto seria possível se as eficiências reais médias globais estiverem abaixo dos 50% de Lotka ou se Lotka não tiver razão. Todas estas situações parecem consistentes com as formulações de White. O que White não leva em consideração são os papéis da biosfera e dos ecossistemas no fornecimento de energia de baixa entropia. Também parece não considerar os limites termodinâmicos da obtenção de energia.

Quando o sistema cultural cresce ele tende a demandar mais energia para sua manutenção, como qualquer organismo maior. Se a eficiência não pode crescer além de um certo ponto com risco de diminuir o fornecimento de potência útil, ou por terem sido atingidos limites termodinâmicos, é preciso drenar mais e mais energia de baixa entropia do meio ambiente, colocando em questão o equilíbrio deste, como já se viu. White não enfatizou estes pontos.

Neste momento, para ilustrar a estreiteza da concepção de energia humana de White (não apenas dele, mas de todos aqueles que simplesmente ignoram a possibilidade de uma energia psíquica ou de uma dimensão psíquica da energia), eu gostaria de retornar à temática do capítulo anterior, e sugerir como pode ser feita a passagem da energia, de que fala White, aos símbolos que ele menciona como um atributo humano constituinte do processo cultural. Para isto retorno à Jung.

A Cultura e os Símbolos como Transformadores de Energia

Jung (1987) usou a expressão "canalização da libido" para caracterizar o processo de transformação ou conversão da energia. Entendia por isto uma transferência de intensidades psíquicas ou valores de um conteúdo para outro, um processo correspondente à transformação física da energia; por exemplo, a conversão do calor em pressão de vapor e então em energia de movimento na máquina a vapor. De modo similar, a energia de certos fenômenos psicológicos é convertida por mecanismos adequados em outros dinamismos.

"Quando a natureza é deixada entregue a si própria ou segue seu próprio caminho, a energia é transformada ao longo da linha de seu "gradiente" natural. Desta maneira os fenômenos naturais são produzidos, mas não o "trabalho"" diz Jung (op. cit.). É significativo que ele coloque a palavra trabalho entre aspas neste trecho. Jung sabe que a natureza realiza trabalho físico, como logo adiante, na mesma obra, vai reconhecer, mas, neste momento, ele parece se referir a uma noção antropomórfica de trabalho, a trabalho no sentido humano do termo, ou a trabalho físico útil. "Assim ... [prossegue]... quando o homem é deixado livre ou entregue a si próprio (ele) vive como um fenômeno natural, e, no sentido próprio do termo, não produz trabalho. É a cultura que fornece a máquina pela qual o gradiente natural (de energia) é explorado para a realização de trabalho" (op. cit.).

O fato de que o homem tenha inventado esta máquina deve ser devido a algo profundamente enraizado em sua natureza, na verdade na natureza do organismo vivo como tal. Porque a matéria viva é ela própria um transformador de energia, e de alguma maneira ainda desconhecida a vida participa do processo de transformação. A vida procede, como ela sempre o fez, fazendo uso de condições naturais físicas e químicas como um meio para sua própria existência. O corpo vivo é uma máquina para converter as energias que usa em outras manifestações dinâmicas equivalentes. "Não podemos dizer que a energia física é transformada em vida, mas somente que sua transformação é expressão da vida" (Jung, op. cit.).

Do mesmo modo que o corpo vivo como um todo é uma máquina, outras adaptações às condições físicas e químicas têm o valor de máquinas que tornam outras formas de transfor-

mação possível. Assim, todos os meios que um animal emprega para proteger e prolongar sua existência - além de diretamente nutrir seu corpo - podem ser considerados como máquinas que exploram o gradiente natural para a realização de trabalho. Quando o castor derruba árvores e barra um rio, isto é um desempenho condicionado por sua diferenciação. Sua diferenciação é um produto do que poderíamos chamar uma "cultura natural", que funciona como um transformador de energia, como uma máquina. Similarmente, a cultura humana como um produto natural de diferenciação é uma máquina; em primeiro lugar é algo técnico, que utiliza condições naturais para a transformação da energia física e química, mas também uma máquina psíquica que utiliza condições psíquicas para a transformação da libido.

Assim como o homem teve êxito em inventar uma turbina e, dirigindo o fluxo da água para ela, transformou a energia cinética desta última em eletricidade capaz de múltiplas aplicações, também ele teve êxito em, com a ajuda de mecanismos psíquicos, converter instintos naturais, que de outro modo seguiriam seu gradiente sem realizar trabalho, em outras formas dinâmicas que são produtoras de trabalho.

"A transformação da energia dos instintos é obtida pela canalização em um *análogo do objeto do instinto.* Assim como uma usina de força imita uma queda de água e assim se apossa de sua energia, também o mecanismo psíquico imita o instinto e é deste modo capacitado a aplicar sua energia para propósitos especiais" (Jung, op. cit.).

Um bom exemplo disto, segundo Jung (op. cit.), é a cerimônia de primavera realizada pelos Wachandi da Austrália. Eles fazem um buraco no chão, de forma oval, e o ornamentam com arbustos para que se assemelhe aos genitais da mulher. Então eles dançam em torno do buraco, mantendo suas lanças em riste, em frente deles, numa imitação de pênis eretos, e enfiam suas lanças no buraco gritando: "*pulli nira, pulli nira, wataka!*" (não é um buraco, não é um buraco, mas uma b---!). Durante toda a cerimônia a nenhum dos participantes é permitido olhar para uma mulher.

Por meio do buraco, o Wachandi faz um análogo dos genitais da fêmea, o objeto dos instintos naturais. Pelo grito repetido e o êxtase da dança eles sugestionam a si próprios de que o buraco é realmente uma vulva, e de modo a não terem esta ilusão perturbada pelo objeto real do instinto, nenhum pode olhar para uma mulher. Não existe dúvida de que isto é uma canalização da energia e sua transferência para um análogo do objeto original por meio da dança

(que é realmente um jogo de acasalamento, como em pássaros e outros animais) e pela imitação do ato sexual.

Esta dança tem uma significação especial como uma cerimônia de impregnação da terra e por isto é realizada na primavera. É um ato mágico com o propósito de transferir a libido para a terra, pelo qual a terra adquire um valor psíquico especial e se torna um objeto de expectativa. A mente então se ocupa com a terra, e reciprocamente é afetada por ela, de tal modo que existe uma possibilidade e mesmo uma probabilidade de que o homem lhe dará sua atenção, que é o prerrequisito psicológico para o cultivo.

A agricultura surgiu de fato, mas não exclusivamente, da formação de analogias sexuais. A "cama da noiva no campo" é uma cerimônia de canalização deste tipo: numa noite de primavera o fazendeiro leva sua mulher para o campo e tem relações com ela de modo a tornar a terra fértil. Desta maneira, uma analogia muito próxima é estabelecida, agindo como um canal que conduz a água do rio para a usina de força. A energia dos instintos torna-se estreitamente associada com o campo, de modo que o cultivo deste adquire o valor de um ato sexual. Esta associação assegura um permanente fluxo do interesse para o campo, que correspondentemente exerce uma atração no cultivador. Ele é assim induzido a ocupar-se a si próprio com o campo de uma maneira obviamente favorável à fertilidade.

Jung fornece outros exemplos de como os hábitos linguísticos expressam esta associação da libido à agricultura e à terra. A colocação da libido na terra não é alcançada por analogia sexual somente, mas pelo toque mágico como no costume de rolar no campo. Para o homem primitivo, diz ele, esta canalização da libido é tão concreta que ele sente a fadiga do trabalho como um estado de ter sido sugado até à secura pelo espírito da terra. Todas as grandes realizações, tais como arar o solo, a caça, a guerra, etc., são iniciadas por cerimônias de analogia mágica ou encantações preparatórias, que obviamene têm o objetivo psicológico de canalizar a libido para a atividade em questão (op. cit.).

"A enorme complexidade de tais cerimônias mostra o quanto é necessário para desviar a libido de seu leito de rio do hábito cotidiano para alguma atividade não costumeira. A mente moderna pensa que isto pode ser alcançado por uma mera decisão da vontade e que isto pode dispensar cerimônias mágicas - o que explica porque tem tanta dificuldade para entendê-las corretamente" (Jung, op. cit.). O homem primitivo é, segundo Jung, muito mais inconsciente, muito mais natural do que nós e não tem nenhum conhecimento do que denominamos "vontade". Assim é fácil entender porque ele precisa de cerimônias complicadas, onde para nós

um simples ato de vontade é suficiente. Nós somos mais conscientes, isto é, mais domesticados.

> "No curso de milênios tivemos êxito não somente em conquistar a natureza selvagem em torno de nós, mas também em subjugar nossa própria natureza selvagem - ao menos temporariamente e até um certo ponto. Em todos os eventos estivemos adquirindo "vontade" isto é energia disponível, e conquanto ela possa não ser muito grande é, apesar de tudo, ou no entanto, maior do que o primitivo possui. Não precisamos de danças mágicas para tornarnos "fortes" para o que quer que queiramos fazer, ao menos nos casos ordinários. Mas quando temos algo a fazer que parece exceder nossas forças, algo que facilmente poderia dar errado, então solenemente colocamos uma "pedra fundamental" com a benção da Igreja, ou batizamos um navio que escorrega das docas; em tempos de guerra nos asseguramos da ajuda de um Deus patriótico, o suor do medo forçando a uma oração fervorosa os lábios (mesmo) dos mais "fortes". Assim bastam condições ligeiramente inseguras para que as formalidades "mágicas" sejam ressuscitadas do modo mais natural. Através destas cerimônias as forças emocionais profundas são liberadas; a convicção torna-se auto-sugestão cega, e o campo psíquico é estreitado para um ponto fixo no qual o peso inteiro das forças inconscientes é concentrado. E é, na verdade, um fato objetivo que o sucesso pertence aos seguros e determinados mais do que aos inseguros (op. cit.).

O mecanismo psicológico que transforma a energia é o símbolo. Jung entende, por isto, um símbolo real e não (apenas) um signo. O buraco Wachandi na terra não é (apenas) um signo dos genitais femininos, mas um símbolo que representa a idéia da mulher terra que deve ser fertilizada. Tomá-lo erroneamente por uma mulher humana seria interpretar o signo em termos semióticos e isto fatalmente perturbaria o valor da cerimônia. Por esta razão nenhum dos participantes pode olhar para uma mulher. O mecanismo seria destruído por uma interpretação semiótica - seria como esmagar o conduto de suprimento de agua de uma turbina no chão originando uma queda d'água completamente artificial que devesse sua existência à repressão de condições naturais.

Depois de White e Cottrell: a Irrupção da Visão Ecológica

Voltando à energia nas ciências sociais, temática deste capítulo, quero lembrar que Cottrell foi o primeiro a usar as expressões "sociedades de baixas energias" e "sociedades de altas energias", que se tornaram comuns na discussão de cenários energéticos. Quanto à White, sua teoria causou considerável controvérsia, como ele próprio reconheceu. As teorias energéticas da mudança cultural tiveram certa importância entre os antropólogos e os historiadores da pré-história durante os anos 60. Exemplos disso foram a coletânea de artigos editados por Sahlins e Service (1960) e os últimos trabalhos de Childe (1963). Gideon Sjoberg (1965 a, b) enfatizou o papel da energia como instrumento de mudança nas cidades pré-industriais. Em suas palavras, "nenhum dos avanços do mundo feudal foi tão revolucionário quanto a mudança para a dependência de fontes inanimadas de energia" (1965 a).

Estes autores não exageraram o papel da energia no sentido em que White o fez, e apenas uma atenção flutuante foi dada à teoria energética da cultura até o surgimento do trabalho pioneiro de Rapoport (1968), estudando a energética da interação cultura-ambiente entre os Tsembaga da Nova Guiné. Desde então, a energética ecológica teve um papel especialmente importante entre os novos estudos ecológicos na antropologia. A pesquisa nesta área incluiu a análise de Kemp (1971) do fluxo de energia numa sociedade de caçadores-coletores esquimós e a análise de Brooke-Thomas (1974) do fluxo de energia e das estratégias energéticas de uma comunidade neolítica de índios peruanos (citados por Newcombe, 1976).

A análise de fluxos energéticos floresceu também na área de nutrição, produção de alimentos e economia agrícola, e continuou se expandindo especialmente nas Universidades de Edinburgh e Cornell. Os custos em energia somática para quase todas as atividades foram obtidos, particularmente entre povos neolíticos e agricultores do terceiro mundo. A tecnologia aplicada neste tipo de análise tornou-se muito sofisticada. Foi possível, por exemplo, examinar o impacto da mudança tecnológica no nível de atividade física, ou alternativamente estruturar sistemas trabalho-intensivos e não capital-intensivos na agricultura, visando obter o pleno emprego da mão de obra (Newcombe, op. cit.).

A análise de fluxos de energia ou, mais precisamente, as análises de balanços de energia somática serviram para questionar algumas suposições comuns na antropologia da pré-história. Por exemplo a visão de que os caçadores-coletores viviam no limiar da fome, tendo que devotar todo seu tempo à caça e coleta. Uma série de evidências têm mostrado que, mesmo em condições duras, 2 a 3 dias de trabalho fornecem alimentos para a semana inteira. Isto mostra a relativa eficiência energética destas sociedades e poderia dar força ao argumento sobre o excedente energético passível de ser gerado nestas sociedades. No entanto Kemp (op. cit.) mostra que, quando facas de aço mais eficientes foram fornecidas a esquimós em substituição à suas antigas facas de osso, estes, em vez de produzir mais carne de foca para armazenar passaram a trabalhar menos. A conduta foi interpretada como tendo um sentido de preservação de recursos naturais, considerado mais importante que a obtenção do excedente.

O mais significativo trabalho nascido da herança de Leslie White foi o de Richard Adams em duas obras importantes "*Energy and Structure*" e "*The Eighth Day*" (1975 e 1988). Na primeira, desenvolveu uma teoria do poder social relacionando-o ao controle da distribuição dos fluxos e das formas de energia. O poder social derivaria, e seria diretamente dependente, do controle da energia em suas diversas formas. Adams apresenta o argumento de que "quanto mais processos e formas energéticas penetram numa grande sociedade, o controle sobre elas torna-se desproporcionalmente concentrado nas mãos de poucas pessoas, de tal modo que poucas decisões independentes são responsáveis por grande liberação de energia" (1975).

Na segunda obra, Adams generaliza sua teoria energética da sociedade. Concebe a evolução social como um processo de auto-organização da energia. Mostra como todos os processos sociais podem ser reduzidos à transformação de formas energéticas que incluem a matéria, e uma dimensão que ele chama de "mentalística". Para tanto, empregou formulações derivadas da termodinâmica de processos irreversíveis de Prigogine e da teoria da auto organização. Posições controvertidas como a de Adams necessitam de exame acurado. Entretanto, como o próprio Adams lamenta, "quase trinta anos depois do artigo de White o desinteresse profissional de sociólogos e economistas é ainda evidente".

A preocupação com a exaustão das fontes fáceis e aparentemente simples de energia revitalizou, por um certo tempo, a discussão sobre as teorias energéticas do comportamento cultural, particularmente após os dois choques do petróleo (1973 e 1978). Mais recentemente, entretanto, a estabilização dos preços do óleo cru e do gás natural - responsáveis por cerca de

2/3 do abastecimento mundial de energia - tornou a desestimular tanto a busca de fontes alternativas quanto a preocupação urgente com a exaustão imediata dos combustíveis fósseis, pois os preços não sinalizam escassez próxima. Isto retirou a questão energética, enquanto tal, do palco intelectual. Mas esta retirada é temporária. As necessidades energéticas para o desenvolvimento do terceiro mundo, a preocupação com a conservação por causa de impactos ambientais globais do uso da energia, como o efeito estufa, e a perspectiva de escassez a longo prazo do petróleo mantêm a relativa atualidade da questão energética.

A centralização do controle dos sistemas energéticos em relativamente poucas mãos é um dado importante. O poder de gatilho detido pelos controladores é estratégico. Através da liberação de pequena quantidade de energia de controle - poder de decisão, é possível comandar a liberação de grandes blocos de energia e controlar imensos setores da economia. Além disso, por seu porte, os empreendimentos energéticos concentram grande volume de capital. Assim, também por este lado o controle dos empreendimentos energéticos representa parcela importante do poder nas sociedades industrializadas ou não.

Para se compreender estes fenômenos em toda sua amplitude, seria necessária uma conceituação do poder como controle sobre a potência (energia dividida por tempo; taxa de uso da energia no tempo). O poder político é convencionalmente definido como a capacidade de alterar (ou influir) no comportamento de atores sociais (inclusive) a despeito da vontade destes. Como o poder político existe mesmo sem necessitar exercer esta capacidade, pode-se melhorar a definição incluindo-se a idéia de probabilidade de alterar o comportamento de outrém. Ora, é evidentemente possível fazer isto através do uso da força. E, de fato, os Estados Nacionais costumam ter (tem de direito) o monopólio do uso legítimo da força física (da coação).

Quando se diz força, neste contexto, poder-se-ia estar dizendo uso da energia (para gerar a força). Entretanto, nem sempre é necessário utilizar a força ou a energia diretamente para influir no comportamento dos atores sociais. O poder pode existir sem fazer uso real de força, embora continue dependendo do controle da energia. Há, portanto, um elemento informacional, ou ideológico, se o quisermos, na definição de poder. Eu prefiro, por isto, ver o poder não apenas como o controle da potência, mas como o controle de uma certa combinação de energia e informação.

Odum e a Ecologia Humana

Assim como o trabalho de White representou, nos anos 50, a integração de quase todo o pensamento energetista anterior no campo das ciências sociais, o trabalho de Howard Odum, dos anos 70 até hoje, embora extrapolando os limites das ciências sociais porque as inclui numa ampla visão ecológico-energética da natureza e da sociedade, também tem sido uma integração e extensão do pensamento energetista da época de White para nossos dias.

Tanto Howard Odum quanto seu irmão Eugene Odum se dedicaram à análise dos fluxos energéticos que acionam os ecossistemas e as sociedades humanas. Esta tarefa implica analisar e medir cuidadosamente os principais fluxos de energia que entram e saem das diferentes partes e níveis dos ecossistemas e das sociedades. Para isto, Howard Odum (1971) desenvolveu uma notação simbólica que permite o mapeamento e o estabelecimento dos fluxogramas da energia e a simulação em computador de seu comportamento. Nesta notação, várias funções energéticas - círculos, denotando fontes de energia; pequenas caixas d'água, representando armazenamentos de energia; e vários outros sinais representando controles de fluxo, portas de trabalho (ou interações), sumidouros ou poços de calor, etc. - são expressos por símbolos conectados aos diferentes fluxos básicos. Nestes diagramas de fluxo, as eficiências das diferentes conversões são mapeadas. O sistema permite a representação dos principais fluxos de energia que afetam cada processo estudado, mostrando, em cada passo, os efeitos da primeira e da segunda lei da termodinâmica.

"Odum acredita que a mesma análise pode ser aplicada ao ecossistema análogo das sociedades humanas. O homem, para ele, é uma criatura da biosfera e depende, em última análise, como todas as outras criaturas, da energia solar fotossintetizada para (obter) seu alimento. Ele importa energia sob a forma de combustíveis fósseis para seu ecossistema, controla parte da energia da água e do vento e utiliza (tudo isto) em suas atividades de manufatura, construção, transporte e agricultura. Todos estes são processos de transformação energética sujeitos às leis da termodinâmica" (Foley, op. cit.).

Baseado neste ponto de vista, Odum examinou uma grande variedade de sistemas econômicos e demonstrou a falácia de muitos argumentos que não levavam a energética em consideração. Na agricultura de monções, por exemplo, argumentava-se que os animais consumiam mais alimento do que parecia economicamente razoável, o que poderia prejudicar a economicidade do sistema. O animal porém tem a função de armazenamento de energia, além da função de trabalho. Por isso, com ele o fazendeiro pode iniciar o cultivo imediatamente, assim que as condições climáticas o permitam. O uso do trabalho animal, no tempo correto, permite dar à plantação um subsídio energético, que não é dado às pragas e ervas competidoras, permitindo o sucesso do empreendimento agrícola.

Uma análise similar, das vacas sagradas da Índia, mostra que além do leite (proteína animal), suas crias são necessárias para o trabalho agrícola e o esterco é um combustível muito utilizado. As vacas, como qualquer outro processador de energia, representam um dreno energético, mas podem ter uma função criticamente importante no sistema global de energia do grupo social.

Odum acha necessário enfocar toda a sociedade em termos energéticos. Isto pode, inclusive, ajudar a preparar o futuro da humanidade..."A linguagem da energia é usada para considerar o mais premente problema da sobrevivência em nosso tempo - a participação do ser humano na natureza"... "a análise energética pode ajudar a responder muitas questões de economia, lei, religião, antes formuladas em outras linguagens". Tome-se, por exemplo, o caso da religião que poderia ser considerado pouco propício à análise energética. Odum mostrou que os sistemas éticos das grandes religiões tiveram papel importante no controle de fluxos de energia entre a sociedade e o meio ambiente natural, contribuindo para permitir a produção econômica sem romper o equilíbrio dos ecossistemas.

A visão resumida, aqui exposta, da obra de Odum não faz jus à importância do seu trabalho. A razão porque não me preocupei em desenvolvê-la mais neste livro é que ela revela, mais explicitamente, seu mérito ao ser aplicada ao estudo empírico dos fluxos de energia na sociedade, do que meramente à discussão teórica do uso do conceito de energia, em si mesmo.

Notas Bibliográficas

1. Newcombe, K., 1976 - para uma visão resumida do uso do conceito de energia nas ciências sociais, que seguimos de perto, ver pp. 12, 13, 17, 25-40. As citações de Leith (1964) e Kalme e Newcombe (1976) vieram respectivamente das pp. 17 e 18.
2. Cottrell, F., 1955 - para os principais conceitos de Cottrell, ver pp. 2-14.
3. Foley, G., 1976 - para um resumo da visão energetista nas ciências sociais, ver pp. 74-86; para o pensamento de Soddy, pp. 74-75; para a moeda energética, pp. 83-84.
4. Lenski, G. e Lenski, J., 1982 - o resumo da evolução da sociologia, com adaptações foi baseado no texto das pp. 25-27.
5. Odum, H. T., 1971 - Sobre subsídios energéticos à produção de alimentos, p. 120.
6. Lombardo, M. A., 1985 - Sobre as "ilhas de calor nas metrópoles", p. 25.
7. Marx, K., sobre as máquinas e a grande indústria, ver o Capital, livro 1, vol. 1, cap. 13, nos. 1 e 2; sobre capital e tecnologia e suas relações com o trabalho humano e a energia, ver Contribuição à Crítica da Economia Política (Manuscritos de 1861-1863), pp. 37-70.
8. Chapman, P., 1975 - Sobre a "Ilha do Erg", ver capítulo do mesmo nome.
9. Cook, E., 1971 - Sobre fluxos de energia em sociedades industriais, ver Scientific American, pp. 425-434.
10. White, L., 1975 - Sobre o conceito de cultura, ver pp. 17-25; para a "anatomia dos sistemas culturais", pp. 29-30; e sobre energia e sistemas culturais, pp. 30-31.

CAPÍTULO VI

A ENERGIA E A PRODUÇÃO ECONÔMICA

Introdução

O capítulo anterior considerou o uso do conceito de energia nas ciências sociais, especialmente na sociologia e na antropologia, tocando superficialmente na economia. Agora aprofundarei um pouco mais a análise do papel da energia na produção econômica. Este capítulo se inicia com a discussão da análise energética das questões econômicas. O termo "análise energética" pode ser usado, em certos contextos, como sinônimo de "contabilidade energética"; isto é, a contabilidade dos principais fluxos de energia que participam como insumos e como produtos num determinado processo. A contabilidade energética envolve a elaboração de "balanços energéticos" para um país, uma região, um sistema ecológico, uma situação social, uma atividade econômica, ou um processo de produção.

Contabilidade energética é o termo usado, por exemplo, por Slesser (1975) e Newcombe (1976), em textos que seguirei de perto. Análise energética, contudo, tem, a meu ver, significado mais amplo que contabilidade energética: envolve não apenas a contabilização da energia, mas a reflexão teórica sobre os problemas implicados na perspectiva energética de análise, nas dificuldades conceituais de contabilização da energia, e nas suas consequências críticas para a análise econômica.

O capítulo prossegue discutindo algumas relações entre a energia e o crescimento econômico e o papel de energia na função de produção econômica. Finaliza com a proposta, ainda especulativa, de focalizar os processos econômicos em termos de energia e informação, isto é, em termos da visão da energia como o motor da organização da economia e da estrutura econômica, e do emprego do conhecimento e da informação para o controle do uso da energia.

A Análise Energética de Processos Econômicos

Já me referi ao trabalho pioneiro de Lavoisier nos campos da combustão química e da nutrição. Lavoisier foi também um precursor, embora não o soubesse, do campo atualmente florescente da análise energética. Previu a ampla aplicação de suas descobertas, mas não todas as suas implicações, ao afirmar: "mesmo o trabalho de um artista ou de um bombeiro podem agora ser expressos e medidos nas mesmas unidades que o trabalho de um cavalo ou um terremoto" (citado por Newcombe, op. cit.). Percebeu que a energia forneceria um novo medidor de valor, um "valorímetro", útil - embora parcial, digo eu - de todas as atividades que envolvem trabalho físico.

Este valorímetro introduziria perspectivas novas na economia. Ainda segundo Newcombe (op.cit.), "as modernas aplicações da contabilidade energética são igualmente recompensadoras. Odum (1971, 1976), por exemplo, percebeu que as maravilhas da agricultura de alta produtividade eram, em grande parte, ilusórias. A alta produtividade só é conseguida às custas de enormes subsídios energéticos diretos e indiretos, fazendo com que atualmente comamos "batatas parcialmente feitas de petróleo"!

As medidas energéticas foram estabelecidas em vários campos. Foram estabelecidos um conjunto de equivalentes energéticos para o estudo da rede de insumos típicos das agriculturas dos países ocidentais desenvolvidos. Foram estabelecidos subsídios energéticos diretos e indiretos em fertilizantes e na produção de maquinaria, na provisão de transportes e em outros serviços (Newcombem, op. cit.). Estes trabalhos forneceram bases para uma série de outros estudos sobre a energética da produção de alimentos que mostram que a afirmação de Odum é verdadeira e que agriculturas de alta produtividade na verdade "gastam" muito mais energia do que (seus produtos) podem "fornecer".

Isto não é um problema, ao menos no curto prazo. Desde que haja subsídios energéticos de outras partes do sistema econômico, a situação pode se equilibrar. E fornecer subsídios energéticos é exatamente uma das funções do sistema energético. Mas, para decidir até onde é possível subsidiar, é preciso conhecer as transações energéticas. "Um dos principais resultados

do estudo do sistema alimentar foi o desenvolvimento de sistemas de contabilidade dos custos energéticos de todas as formas de serviços e provisões materiais, incluindo os custos energéticos críticos da própria "produção" de energia" (Newcombe, op.cit.). Este tipo de trabalho recebeu também abordagens econométricas, através do uso dos modelos de Leontief, para examinar subsídios energéticos em matrizes insumo-produto de economias nacionais[71].

Peter Chapman ampliou bastante este campo e oferece análises inteligentes dos custos energéticos de economias nacionais. É especialmente interessante seu ensaio *"A Ilha do Erg"*[72], já mencionado, uma ilha onde toda a economia é regulada por custos energéticos de cada atividade, e não por custos econômicos, mostrando assim quais atividades seriam energeticamente inviáveis, no longo prazo, para possibilitar a busca da eficiência energética e a proteção do meio ambiente. Isto nos remete às concepções da "moeda energética", de Wells e Soddy, e à questão do uso de valorímetros termodinâmicos para a economia.

A importância da contabilidade energética não pode ser subestimada. Ela representa um dos meios pelos quais as implicações da teoria termodinâmica podem ser exatamente aplicadas aos processos sociais. A contabilidade energética ajudou, por exemplo, na desmistificação (ou na "desmitificação" - isto é a desfazer o mito) do processo do crescimento econômico como expansão ilimitada da produção material, fornecendo uma ferramenta analítica que estima a quantidade e as fontes de baixa entropia - energia de alta qualidade - requeridas para manter e expandir o padrão de vida a que o ocidente industrializado se habitou (Newcombe, op.cit.). Seria possível estender à toda a humanidade este padrão? As perspectivas atuais sobre recursos energéticos e questões ambientais indicam que isto é pouco provável, mas, em vez de realizar exercícios futurológicos, seria melhor aqui circumnavegar conceitualmente o tema.

A contabilidade energética fornece uma metodologia empírica para a abordagem teórica precursora proposta por Georgescu-Roegen, um economista rumeno, cujas pesquisas sobre a entropia e o processo econômico podem impactar fortemente a ciência econômica

---

71 As análises econométricas usam modelos estatísticos para relacionar o comportamento de uma ou mais váriáveis antecedentes, ou causais, a uma variável conseqüente, ou efeito, que procuram explicar. Tentam, por exemplo, relacionar o comportamento da renda - uma possível causa - ao consumo de energia, neste caso um possível efeito. As análises de insumo-produto costumam relacionar todos os insumos e todos os produtos que participam das atividades econômicas. Existem, na maioria dos países, tabelas de insumo-produto que congregam os dados das atividades econômicas e que estão associadas ao sistema de contas nacionais, por exemplo ao cálculo do Produto Interno Bruto - PIB - de cada país. Existem também os modelos de insumo-produto, modelos matemáticos que permitem usar os dados das matrizes ou tabelas de insumo-produto para fazer predições e análises do comportamento da economia, dadas certas hipóteses. Os modelos econométricos, por sua vez, podem ser associados à análise de insumo-produto gerando um ferramental analítico extremamente poderoso e rigoroso para o estudo das economias nacionais ou regionais. Este ferramental pode ser, e tem sido, usado com grande sucesso com dados energéticos, permitindo calcular as intensidades energéticas dos diferentes bens e serviços da economia e avaliar as necessidades energéticas associadas a certas hipóteses econômicas.

72 O erg é uma unidade de energia.

(Newcombe, op.cit.). Embora Georgescu-Roegen venha produzindo uma obra importante desde 1971, há, até hoje, desconhecimento e incompreensão por parte da maioria dos economistas sobre sua contribuição.

A Contribuição de Georgescu-Roegen

O trabalho de Georgescu-Roegen é tributário de grande parte das perspectivas teóricas mencionadas no capítulo anterior, somadas a uma grande dose de cultura filosófica. Isto se espelha, por exemplo, em sua obra clássica "The Entropy Law and the Economic Process" (A Lei da Entropia e o Processo Econômico). Suas reasserções de que existem importantes relações entre a termodinâmica e a economia, e de que a "termodinâmica é uma física do valor econômico" são mais pertinentes hoje em dia do que foi o raciocínio de Lotka para os anos 20, porque agora não há dúvida de que a teoria econômica é deficiente para operar uma economia global em tempos de crise de energia e recursos (Schumacher, 1973)[73].

Para Georgescu-Roegen "...a primeira conexão importante entre a baixa entropia e o valor econômico emerge do fato óbvio de que todas as necessidades absolutas da vida são puramente biológicas e a vida biológica se alimenta de baixa entropia. É também demonstrável que toda nossa vida econômica se alimenta de baixa entropia e, pode ser tomado como fato, que a baixa entropia é a condição necessária para uma coisa ser útil. Segue-se que se uma coisa é util, ela tem valor econômico. O valor adere por causa da máxima termodinâmica de que a baixa entropia decresce contínua e irrevogavelmente e porque uma certa quantidade de baixa entropia só pode ser usada uma vez" (citado por Newcombe, 1976).

À esta altura é conveniente rememorar a noção do fluxo unidirecional da energia na biosfera e nos ecossistemas, e os comentários de Morowitz no Capítulo III deste livro. A utilização dos recursos naturais do planêta equivale a:

1. retirá-los de um estado de baixa entropia nas jazidas, reservas, etc., onde os processos naturais de organização os dispuseram e,

73 Embora esta citação de Schumacher, como várias outras citações aqui, sejam um tanto antigas, elas não perderam a atualidade. Estes temas foram um tanto esquecidos, depois da superação das crises de preço do petróleo. Passaram para segundo plano numa época de preços estáveis do óleo, mas reemergem agora em função das preocupações com eficiência energética e meio ambiente.

2. considerar que através do fornecimento de energia (trabalho), pode-se elevar ainda mais seu nível de organização, reduzindo sua entropia (e aumentando a entropia do sistema global) para que,

3. depois de prontos e utilizados, estes materiais, pelo uso e desgaste, venham a se tornar inteiramente indisponíveis do ponto de vista termodinâmico, isto é, sua entropia torna a aumentar.

O ferro, por exemplo, é retirado das jazidas onde o minério foi concentrado por processos naturais, transportado e separado do composto de onde é obtido, transformado em laminados e depois em vários produtos que, com o tempo, se desgastam e enferrujam. Em cada etapa é necessária aplicação de energia. Neste processo energia de baixa entropia é irrevogavelmente consumida e os materiais, desgastados pelo uso e pelo tempo, para se tornarem novamente disponíveis para uso, precisariam da injeção de nova energia de baixa entropia para recuperar sua organização anterior.

Existem duas grandes escolas de pensamento entre os estrategistas dos recursos naturais quanto à disponibilidade destes recursos, nos próximos cem anos, para alimentar o sistema de produção. Uma delas afirma que no futuro próximo um certo número de recursos minerais terá sido explorado e que o fundo dos oceanos não poderá fornecer o necessário à sua reposição. A outra diz que não haverá escassez de recursos. Quando as reservas terrestres se esgotarem poderemos explorar o fundo dos oceanos. A diferença essencial entre ambas não é, como poderia parecer, a respeito da existência ou não destes minerais, em quantidade suficiente, no fundo dos oceanos, pois eles de fato existem. A questão importante é saber se eles estarão disponíveis num sentido termodinâmico, isto é, se haverá energia disponível para retirá-los de lá, se isto será compensador, e qual o custo energético desta energia.

Aqui é pertinaz a perspectiva de Georgescu-Roegen. Ele mostra que, além de um certo ponto, os recursos só podem ser obtidos a um custo mais alto em baixa entropia do que aquela baixa entropia que eles próprios representam ou fornecem. É como no caso da agricultura de alta produtividade. Podemos aumentar a produção, mas o custo energético pode se tornar excessivamente alto. Quando este ponto é alcançado, um recurso natural pode ser considerado indisponível, ou terá que ser subsidiado. Se se trata, por exemplo, de um recurso energético, ter-se-á que gastar mais energia (ainda que talvez de outro tipo) para obtê-lo do que a energia que ele forneceria e, portanto, este recurso estará energeticamente indisponível.

Essa é a diferença básica entre o pensamento econômico convencional e a economia com perspectiva termodinâmica. A economia convencional vê o sistema econômico como

um ciclo praticamente fechado, onde o capital e o trabalho se combinam para a produção de bens que alimentam a força de trabalho que serve para produzir novos bens e novo capital e novo trabalho, etc... Ela ignora de um lado, o influxo contínuo (frequentemente crescente) de baixa entropia do meio ambiente que pode levar à exaustão os recursos naturais e as fontes de energia e, de outro, a formação de quantidades crescentes de resíduos, rejeitos, e lixo, que envenenam o meio ambiente.

Já os economistas com visão termodinâmica veriam o processo econômico como unidirecional, sempre transformando baixa entropia em alta entropia, isto é, transformando energia livre em lixo, poluição ou calor dissipado. Isto ocorre, é verdade, no mesmo sentido que nos processos naturais do meio ambiente, só que na economia o ser humano está deliberadamente "selecionando", isto é escolhendo, as partes de entropia mais baixa, mais do que meramente "retirando do baralho da natureza", um tanto ao acaso, as fontes de baixa entropia. O resultado é uma mais rápida transformação de baixa em alta entropia, criando, no entreato, uma chama fugaz de ordem, continuamente recriada para manter o processo econômico e a chamada civilização. Além disso, a humanidade introduz nos sistemas de produção e na biosfera, em quantidade altas e crescentes, novas energias, em parte para resolver os problemas anteriores, o que ainda acelera mais esta transformação[74].

Enquanto isso, as espécies animais e vegetais, nos sistemas ecológicos, considerados separadamente da influência humana, parecem proceder de modo diferente, não só extraindo baixa entropia ao acaso, mas também - através do processo de adaptação - "buscando" uma espécie de convergência global, através da capacidade de tornar cada resíduo de atividade uma possível fonte de novo nicho energético, assegurando melhor aproveitamento da energia residual, sem fugir ao equilíbrio global derivado do aproveitamento de energias naturais. Talvez as sociedades humanas tendam a procurar caminho semelhante através de um melhor conhecimento da interação economia-meio ambiente, e uma melhor compreensão dos processos energéticos globais da biosfera. A informatização das economias poderá gerando novos conhecimentos e aumentando a eficiência poderá auxiliar este processo.

Antes de finalizar esta seção quero mencionar a existência de algumas críticas à aplicabilidade da visão de Georgescu-Roegen. A extrema complexidade dos problemas energéti-

74 Uma variável que poderia atenuar ou mesmo impedir o prosseguimento irrevogável desta tendência entrópica seria a ampliação e difusão do conhecimento humano, tal como expressado, por exemplo, nas tendências à informatização, à microeletrônica e à miniaturização tecnológica. Estes avanços poderiam postergar ou evitar as conseqüências nefastas da entropia, mas sua efetividade estaria, em última análise, sujeita à questão de saber quanto a informação depende da energia.

cos e econômicos dificilmente permite acomodá-los em uma única visão teórica. Um exemplo destas críticas é a alegação de que é impossível ou impraticavel medir as entropias relacionadas com o uso e a dispersão de energia e de materiais, tanto ao nível de economias nacionais quanto do sistema econômico global do planêta. Isto em nada desmerece a importância das visões energéticas da economia, apenas as relativiza.

A Energia e o Crescimento Econômico

À medida que, no longo prazo, volte a ocorrer escassez de petróleo, e as questões ambientais se agravem, incluindo, por exemplo, a possível intensificação do efeito-estufa, a perspectiva termodinâmica da economia voltará a ter impacto crescente no pensamento econômico. Atualmente, devido a uma expansão do horizonte temporal das reservas de óleo cru e gás natural, aos preços estáveis dos energéticos básicos e às incertezas quanto (e consequente relutância em aceitar) às consequencias do efeito-estufa, o pensamento econômico neoclássico deverá ter uma sobrevida.

Já em 1973, Herman Daly, um discípulo de Georgescu-Roegen, hoje no Banco Mundial, discutindo o crescimento na produção de eletricidade, sumarizava a discussão sobre a expansão contínua da economia: os promotores do crescimento sugerem que é necessário continuar a aumentar o nível de consumo de energia para estender um (alto) padrão de vida, limpar a poluição, reciclar os rejeitos (da atividade industrial) e manter um nível aceitável de emprego (através, por exemplo, de trabalho crescente na produção de potência) nos processos de produção (em geral) e ainda para produzir dispositivos militares que assegurem a paz (citado por Newcombe, 1976).

De lá para cá, estes efeitos se atenuaram. Tem sido possível manter o crescimento da produção econômica em muitos países desenvolvidos sem acréscimos no consumo primário de energia comercial, graças à mudanças na estrutura industrial, a medidas de conservação de energia, diminuição dos gastos militares e ao advento da informatização. Não é ainda claro, no entanto, o alcance deste processo. O consumo total de energia voltou a crescer em muitos países e o consumo de eletricidade, na verdade, cresceu o tempo todo em escala mundial. Há também indícios de que parte da maior eficiência energética dos países desenvolvidos teria sido obtida através da exportação de indústrias intensivas em energia, como a siderúrgica, para os países em desenvolvimento. E nestes últimos, os requerimentos energéticos crescem rapidamente. Assim, a maior eficiência local, no mundo desenvolvido, poderia estar apenas disfarçando uma menor eficiência global.

Enquanto muitos economistas reconhecem que os custos do crescimento do PNB, a partir de um certo ponto, podem não ser tão atraentes, em termos socais e de qualidade de vida, poucos percebem que os custos do crescimento no consumo de energia, além de um certo ponto, podem também não se pagar. A suposição de que é possível um consumo continuamente crescente de energia está implícita em seus argumentos. Um consumo crescente geraria poluição maior, a não ser que a eficiência global aumentasse. É lógico que quanto mais poluição, mais energia será necessária para limpá-la.

Ora, o que é escasso é a baixa entropia e não a energia. Quanto mais energia usarmos, mesmo para a limpeza do meio ambiente, ou o contrôle e mitigação de custos ambientais, mais rapidamente estaremos consumindo estoques de baixa entropia, e, portanto, mais rapidamente degradaremos o meio ambiente (Newcombe, op. cit.). O controle, a mitigação, a compensação ou recuperação dos danos ambientais são uma parte, e não um cancelamento dos custos ambientais do crescimento e, em algum ponto, o custo de degradação da energia necessária para a limpeza poderá ser maior que o custo da poluição que ela limpa[75].

Com relação ao emprego efetivamente criado pelo maior consumo de energia, Daly argumenta que a energia é um substituto do trabalho humano, tanto quanto um complemento dele. O crescimento contínuo do consumo de energia aumentará a produtividade, mas desempregará trabalhadores. Isto seria aliviado se a produção total crescesse mais rapidamente que a taxa em que a energia substitui o trabalho humano, e, portanto, ter-se-ia que aderir à idéia do crescimento global, para manter a expansão do nível de emprego. Mesmo assim, creio eu, a manutenção do nível de emprego não estaria assegurada, porque a produção poderia crescer mais velozmente que o consumo de energia e que o nível de emprego, devido a aumentos de produtividade decorrentes de outras causas que não a mera expansão do uso da energia. É o que parece ocorrer no caso da automação industrial, e na busca pela eficientização econômica global, acionada, entre outras coisas, pela informatização e pela competição econômica internacional, por exemplo.

Os gastos bélicos, por seu turno, na época da guerra fria eram também orientados para o crescimento, na medida em que as potências militares raciocinavam que o equilíbrio só seria mantido se cada lado obtivesse maior potencial destrutivo que o outro, levando a um círculo vicioso de expansão de gastos. Cessada a guerra fria, efeito similar prossegue. Muitas potências

75 Este raciocínio parece verdadeiro para o caso das economias acionadas por combustíveis fósseis. O uso da energia solar, que é renovável, permitiria manter o crescimento durante um certo tempo e depois um estado estácionário(?).

ainda desejam investir em segurança crescente, o que também pode levar à escalada de gastos no caso de nações beligerantes, de incremento do terrorismo internacional ou do combate ao tráfico de drogas e ao crime organizado. Disso podem decorrer acréscimos de "despesas militares+gastos em segurança nacional e internacional", enquanto as nações dizem esforçar-se pelo equilíbrio.

Para manter estas despesas é preciso desviar parte do investimento produtivo para estes fins, sobrando parte menor do bolo para a despesa produtiva. Ao se desviar parte da produção para fins bélicos e de segurança, resulta uma menor efetividade da despesa produtiva para atender a muitas demandas civis. Decorrem, portanto novas pressões rumo ao crescimento econômico, e, pois rumo ao aumento no consumo de energia.

Costuma-se associar a idéia de desenvolvimento econômico a uma maior eficiência energética das economias, isto é, a uma maior quantidade de produção para cada novo incremento de energia. Numa fase inicial do desenvolvimento econômico, isto não é real, porque os investimentos em infraestrutura costumam demandar grandes gastos de energia. Na fase seguinte, seria possível aumentar significativamente a eficiência energética. Isto teria, por exemplo, sido verdadeiro nos países hoje desenvolvidos, e supostamente, a tendência poderia se manter.

Tal suposição decorre de dois fatores básicos. O primeiro é que as sociedades adiantadas tenderiam para economias de serviço (e de informação), que seriam menos intensivas em energia do que aquelas baseadas nos velhos, e talvez obsoletos, processos industriais. Destes se encarregariam os países em desenvolvimento. O segundo é que estas sociedades racionalizariam cada vez mais suas atividades energéticas, reduzindo seus desperdícios e aumentando as eficiências de produção, transporte, distribuição e uso da energia.

Contudo, há duas outras tendências que operam em sentido inverso às primeiras. Quanto maior e mais velha uma estrutura produtiva, maior sua tendência à depreciação, e maiores os gastos energéticos necessários apenas para mantê-la funcionando. Por outro lado a eficientização energética das sociedades avançadas poderia estar ocorrendo, em parte, às custas da transferência de atividades industriais pesadas, intensivas em energia e poluidoras, para as nações em desenvolvimento. Nestas, devido ao seu atraso tecnológico relativo, as eficiências técnicas podem ser menores. Se estas últimas tendências predominarem, o consumo mundial de energia terá que crescer somente para manter o "status quo" econômico global.

Mas como as pressões sociais e políticas para o crescimento econômico são enormes em todo o mundo em desenvolvimento, isto exerce forte pressão sobre o crescimento da demanda internacional por energia.

Tendo discutido em termos gerais as implicações do crescimento econômico, enfatizando o ponto de vista termodinâmico, gostaria agora de especificar um pouco mais a perspectiva termodinâmica no processo de produção, baseado em contribuições de Slesser (1978) e Passet (1979), às quais acrescentei comentários próprios.

A Energia no Processo de Produção

Existe uma relação definida entre um conjunto de insumos em um processo de produção e o produto total resultante. Isto é o que os economistas chamam de função de produção, a qual pode ser definida como a relação técnica que exprime a quantidade máxima de produto capaz de ser gerada por um conjunto específico de insumos. Estas funções de produção são relativas a um certo estado de conhecimento técnico e a uma certa forma de organização do processo de produção.

Até recentemente, era usual exprimir as funções de produção em termos de capital e trabalho. Isto se justificava porque, conquanto o trabalho fosse o mais importante fator específico de produção, sem o capital ele não é realmente produtivo e vice-versa. O capital e o trabalho são usualmente considerados os mais importantes fatores de produção, mas não os únicos. Os economistas costumam ver os desenvolvimentos potenciais da produtividade do trabalho através do uso do capital, e os do capital através do desenvolvimento tecnológico. Como o crescimento do capital acompanhou o crescimento da produtividade do trabalho, durante um longo período foi possível manter esta visão. Mas hoje o crescimento da produtividade do capital aumenta a produtividade apenas de parcelas da força de trabalho, desempregando crescentemente outras parcelas.

Os engenheiros, com razão, já tinham dúvidas sobre a validade das funções de produção apenas baseadas em capital e trabalho, apesar da evidência de longo prazo, pois tais funções de produção não contêm termos para recursos, e entre eles, particularmente para a energia. Uma função de produção de engenheiros, freqüentemente chamada pelos economistas de função de processo, não pode ser escrita sem a inclusão da energia.

O engenheiro costuma escrever a função do processo considerado definindo seu requerimento energético. Baseado nesta função, desenvolve uma função de custo que leva em consideração o capital requerido, o trabalho necessário e a energia consumida. Esta última representa, em geral, pequena parte do custo total e, assim, o economista, buscando macro-

relações e tendo em mente a relativa imprecisão das estatísticas macro-econômicas, acha justificável desconsiderar o custo da energia.

Um engenheiro argumentaria que qualquer função de produção que omitisse um elemento-chave no processo acarretaria conclusões enganosas, especialmente se aplicada a situações novas. A energia pode não ser sempre barata, ou ocasionalmente ela pode faltar. Mas sob condições de oferta abundante, a preços consistentemente decrescentes, como ocorreu até 1973, era muito difícil para os engenheiros demonstrarem este ponto.

Chenery, um economista que percebeu o papel chave da energia, escreveu: "para o economista, produção significa alguma coisa que acontece a um objeto ou conjunto de objetos que aumenta seu valor. Usualmente isto resulta de uma mudança de forma, mas pode ser apenas uma mudança no espaço e no tempo. A condição física básica necessária para qualquer destas mudanças (exceto a última) é que é preciso aplicar energia ao material. A aplicação da energia em alguma forma é um elemento comum do conceito de produção de ambos: o economista e o engenheiro"(citado por Slesser, 1978).

A isto se aduziria que até as mudanças no espaço e no tempo envolvem uso de energia. Se temos que acelerar um material precisamos empregar uma força. Se necessitamos conservar no tempo um determinado produto precisamos de condições adequadas de conservação. Ambas as coisas usualmente requerem energia. Quando um objeto ou produto é deixado, por si próprio, entregue ao tempo, ele pode ser afetado por processos entrópicos e decair. Mesmo neste caso ele é afetado por processos energéticos.

É quase impossível, hoje em dia, comprar algo que não seja proveniente de um processo de produção humana. Mesmo a batata que cresce no campo recebeu aplicações de fertilizantes, pesticidas e foi subseqüentemente colhida, classificada e transportada, em parte por meios mecânicos. A única parte do processo de produção da batata que não recebe insumos energéticos da economia da energia é a fotossíntese proveniente do sol.

É perfeitamente possível uma sociedade sem combustíveis fósseis, baseada apenas na energia solar. Mas essa sociedade, no nível presente de tecnologia, só produziria manufaturas de produtos naturais. Ela se manteria à partir dos produtos do meio ambiente e só poderia fazer isto com densidade populacional muito baixa. Se desejamos bens feitos de substâncias que não ocorrem naturalmente e queremos viver em densidades de população acima de 5 pessoas/km2 estaremos então no negócio da energia, no campo dos produtos e serviços energéticos, ou seja na esfera da energia tecnologicamente controlada, vendida como mercadoria.

Esta energia, tecnológica e comercial, entra no processo de produção econômica (especialmente industrial) de 3 modos:

1. como calor, gerando um meio de trabalho compatível;
2. para transformar o insumo em outras formas, isto é, alterar sua configuração ou sua composição, eventualmente combinando-o com outros insumos;
3. como uma fonte de potência disponível para os trabalhadores, isto é, como um escravo mecânico.

O primeiro caso refere-se ao aquecimento ou climatização ambiental. O condicionamento ambiental requer energia elétrica, por exemplo. O segundo - energia para transformação - ocorre, por exemplo, nos fornos de aço. Por que todo aquele calor? No forno ocorre um processo químico que necessita de energia. Dois problemas devem então ser enfrentados. Primeiramente é necessário fornecer a energia de trabalho para a transformação do minério de ferro em aço. Em segundo lugar é preciso que isto ocorra numa velocidade economicamente atraente. Não existe opção quanto ao gasto de energia na transformação, mas é possível escolher quão rápida se deseja esta transformação, e isto vai depender da quantidade de energia fornecida.

A transformação do minério de ferro e do coque em ferro metálico e dióxido de carbono requer teoricamente 2,2 MJ/kg. Mas na prática, levando em consideração as ineficiências e o coque consumido, são necessários 53 MJ/kg. A preparação de quase todas as matérias primas básicas depende de processos consumidores de energia. Embora tenhamos falado do calor de transformação, o que realmente conta é o trabalho de transformação. Este é chamado paradoxalmente de "energia livre de transformação". Livre aqui significa que se usarmos o ferro, por exemplo, como fonte de trabalho (o ferro pode queimar em altas temperaturas), a "energia livre" mediria a quantidade de trabalho, e não o calor, que poderíamos esperar obter.

Não se pode reduzir o nível teórico desta energia de transformação. O que se pode é esperar realizar o processo com menos rejeitos e perdas, isto é, com maior eficiência. Por outro lado, a situação tende a piorar pois, à medida que usamos os recursos minerais, a qualidade dos minérios obtidos decai, levando a maiores gastos energéticos com mineração e preparo do minério. Podemos calcular esta energia livre levando em conta todos os estágios intermediários no processamento de minérios até a venda do metal. Quando isto foi feito, o resultado foi

surpreendente. Havia uma excelente correlação entre o preço relativo dos metais, na Bolsa de Metais de Londres, e a energia livre de Gibbs para a produção destes metais[76].

Sugeriria isto uma teoria energética do valor? Dificilmente. Segundo Slesser, o que isto sugere é que a energia livre é uma excelente medida da dificuldade de obter uma coisa e transformá-la. Uma objeção a esta correlação é que ela não deixa lugar para o desenvolvimento tecnológico. Mas se tivermos em mente que todas as operações de mineração e transformação utilizam tecnologias similares e pagam aproximadamente o mesmo preço pela energia, em qualquer ponto do tempo suas posições relativas serão similares. Novas tecnologias não penetram instantaneamente e seu efeito no mercado depende de ganharem uma certa fração dele.

Dados de pesquisas mostram que quando uma tecnologia nova, uma inovação, firma um pé no mercado, sua difusão segue praticamente uma lei da natureza. A difusão dela é freqüentemente descritível por uma curva logística ou em S; a mesma que representa o crescimento de uma população num ambiente de recursos limitados. Há primeiro uma penetração lenta da tecnologia, até que ela é reconhecida como vantajosa. Então sua penetração se acelera quando o mercado percebe seu valor competitivo, até que uma certa fração do mercado é inteiramente ocupada e a penetração reduz seu ritmo. Os processos de inovação tecnológica e de difusão de uma tecnologia estão, na verdade, bastante ligados; um retroalimentando o outro, através de mecanismos econômicos, até que um nicho de mercado se sature.

O terceiro caso refere-se ao uso da energia para multiplicar a potência do trabalho humano - potência para a força de trabalho. Não existem estatísticas satisfatórias gerais sobre a quantidade de energia de trabalho (sic) disponível para os trabalhadores na produção. Alguns sugerem que até cerca de 50% da energia de um país desenvolvido destina-se a este propósito. Isto, entretanto, são estimativas precárias. É incorreto considerar como trabalho (em termos de equivalente trabalho) toda a porção da energia comercial nacional usada pelas indústrias e transportes, porque boa parte disto é calor.

O consumo de eletricidade é, algumas vezes, sugerido como medida de trabalho, porque a eletricidade pode ser quase totalmente transformada em trabalho. Mas os padrões de consumo de energia elétrica variam amplamente entre os diferentes países. Em alguns deles se

76 Energia livre é a parte da energia disponível para realização de trabalho. Tanto Helmholtz quanto Gibbs propuseram medidas da quantidade de energia livre.

usa muita eletricidade para aquecimento ou condicionamento ambiental, e todos dependem dela para iluminação e comunicações. A parte da energia elétrica (e dos combustíveis), usada para movimentar motores e cargas é, no entanto, uma medida razoável do trabalho realizado pela energia comercial numa economia. O papel da energia elétrica, devido à sua alta qualidade e ao aumento de seu consumo em todo o mundo, requer atenção mais detalhada se focalizamos questões de eficiência energética.

Eletricidade e Eficiência Energética

Antes de prosseguir no tema da energia no processo de produção, comentarei o papel da eletricidade na questão da eficiência energética. Vou focalizar o caso do Brasil, onde a busca da eficiência elétrica - através do PROCEL, Programa de Combate ao Desperdício de Eletricidade - está atualmente em plena revitalização.

Embora os vários modos da energia - a energia tecnologicamente controlada, a energia do meio ambiente e a energia humana - participem do processo de produção, nas sociedades industriais e capitalistas contemporâneas a energia comercial, fornecida por meios tecnológicos, tem uma função econômica mais explícita que os outros modos da energia, pois é vendida diretamente nos mercados, sob a forma de serviços e produtos energéticos com valor econômico facilmente contabilizável. No capítulo seguinte considero os outros modos da energia - a humana, e a ambiental, e especulo sobre a possibilidade de sua inclusão na contabilidade energética. Por ora fiquemos na energia comercial que incluo no modo de energia tecnologicamente controlada.

AS FORMAS DA ENERGIA COMERCIAL NA ECONOMIA

Os balanços energéticos são instrumentos de planejamento e política energética, utilizados na maioria dos países, que apresentam e contabilizam os fluxos de energia numa dada economia nacional ou regional. Os balanços energéticos permitem a análise dos fluxos de energia ao longo de uma cadeia de transformações ou conversões de energia, que vai desde a energia extraída da natureza até a energia efetivamente usada pelo consumidor final. Ao longo de uma cadeia de fornecimento de serviços de energia numa economia podemos distinguir a energia primária, a energia secundária, a energia final e a energia útil.

A energia primária é a energia ou o produto energético extraído diretamente da natureza. Por exemplo, o carvão mineral, a lenha, o petróleo, a água utilizada numa usina hidrelétrica ou a radiação solar que atinge uma célula fotovoltaica. Esta energia primária é convertida num centro de transformação para uma forma mais adequada a seu uso na economia. O carvão mineral é processado, purificado e, então, usado para queima e produção de calor. Este calor pode ser usado diretamente para aquecimento, ou transformado em trabalho mecânico numa máquina térmica, ou ainda em eletricidade numa usina termelétrica. Com a lenha pode ocorrer coisa similar; ela é coletada, secada, armazenada e distribuída, e pode ser transformada em carvão vegetal. O petróleo é extraído do subsolo, transportado e refinado, dando origem a produtos como a gasolina e o diesel.

Os produtos energéticos gerados a partir da conversão da energia primária são chamados energia secundária. Assim, o carvão mineral purificado, o carvão vegetal obtido da lenha, a gasolina e o diesel obtidos do petróleo, e a eletricidade proveniente da força da água ou da queima do carvão ou do óleo combustível são energias secundárias. Estas energias secundárias são distribuídas aos consumidores finais que as utilizam nas cidades e no meio rural, aí recebendo o nome de energia final. A eletricidade usada nas residências e fábricas, e a gasolina usada nos carros são formas de energia final. Somente parte da energia final é realmente transformada num serviço útil, outra parte é perdida. Assim, só uma parte da energia química da gasolina do carro transforma-se efetivamente em movimento do automóvel, e só uma parte da eletricidade que atinge a lâmpada transforma-se em luz. Esta é a energia útil. As outras partes destas energias finais são perdidas como calor dissipado ou atrito, não sendo, em geral, úteis para a economia ou a sociedade.

A eletricidade é uma forma de energia particularmente importante nas sociedades contemporâneas por várias razões. Em primeiro lugar, ela é uma energia de alta qualidade, podendo ser quase totalmente transformada em trabalho físico. Em segundo lugar, seu consumo vem crescendo quase continuamente na maior parte dos países. Em terceiro lugar, ela é o insumo energético básico da automação, da revolução informacional e das comunicações, processos liderados pelos países desenvolvidos, com consequências importantes para a ciência e a tecnologia em geral, e para toda a vida econômica e social. Para entender melhor o papel da eletricidade na economia são necessárias algumas considerações sobre eficiência energética.

Notas sobre eficiência energética

Podemos focalizar a eficiência das conversões energéticas em termos da primeira e da segunda leis da termodinâmica. No caso da primeira lei, a eficiência de uma conversão de energia é medida pela razão entre a energia que sai de um processo e a energia que entra neste processo. O resultado é uma porcentagem, que indica a parcela da energia de entrada efetivamente usada para a realização do objetivo do processo em questão, e, portanto, informa também quanta energia foi "perdida" ou desperdiçada. Um chuveiro elétrico, por exemplo, transforma quase toda a eletricidade que passa na resistência em calor transferido para a água. Neste sentido sua eficiência de primeira lei é muito alta, frequentemente acima de noventa por cento.

Pode-se discutir a eficiência de segunda lei introduzindo o conceito de exergia. A exergia é uma medida da qualidade da energia, de sua capacidade de realizar trabalho físico.

Para meus propósitos aqui, ela pode ser definida como a fração da energia que pode ser convertida em trabalho útil. Distingue-se de outras medidas de disponibilidade energética por usar a temperatura ambiente como temperatura de referência (Schaeffer, 1992). Em termos de segunda lei, a eficiência dos processos tecnológicos e econômicos seria medida como a razão entre o trabalho útil (exergia útil) que sai de um processo e o trabalho (ou exergia) que entra no processo.

Apenas uma parte de toda a exergia que sai do processo é levada em consideração. Na verdade, só a exergia mínima teoricamente necessária para realizar uma determinada tarefa é considerada. A eletricidade que atravessa a resistência provoca nesta uma temperatura muito alta. Mas, no caso do chuveiro, a exergia útil é apenas aquela necessária para elevar a temperatura da água de mais ou menos 25 graus centígrados, em média, no Brasil, para uns 55 graus, temperatura de um banho normal. Aplicando a equação de Carnot (Capítulo II), com as devidas correções, obtém-se uma eficiência de segunda lei da ordem de 10 %. Para um banho de chuveiro, nestas condições de temperatura, há uma limitação física imposta pela segunda lei da termodinâmica; não é possível eficiência maior que esta. A exergia útil indica que aquela tarefa específica, não poderia ser realizada com uma eficiência de segunda lei maior.

A eficiência energética e a eficiência elétrica no Brasil

As considerações acima são meramente termodinâmicas. A análise da eficiência energética de uma economia combina fatores termodinâmicos com fatores econômicos, e, portanto, não é puramente uma questão física, nem apenas uma questão técnica. Envolve desde aspectos técnicos e econômicos até aspectos sociais e ambientais. No Brasil por exemplo, a questão da eficiência elétrica, em particular, coloca problemas especiais, cuja consideração é útil para a discussão da eficiência energética global, nas suas relações com a economia e a sociedade. Mais de 90% da eletricidade, no caso brasileiro, é de base hídrica, gerada em usinas hidrelétricas. A parte restante é gerada em usinas termoelétricas à óleo, gás ou carvão, e uma parte pequena é de origem nuclear. Isto significa que, quando as hidrelétricas não estão gerando energia à plena potência, uma parte da energia da água, que poderia gerar eletricidade, está sendo desperdiçada, ou então armazenada no reservatório, para o futuro, quando,

se não for usada, será desperdiçada. Isto situa a conservação de energia elétrica no Brasil num contexto especial.

O consumo de eletricidade, por décadas, vinha crescendo a taxas bem mais altas que a produção econômica, indicando uma eletrificação crescente da economia brasileira. Em anos recentes esta tendência atenuou-se um pouco, indicando maiores dificuldades de expansão da oferta de energia elétrica. Isto só não gerou deficits de eletricidade porque houve também retração da taxa de crescimento da economia. Mas, grande parte da população brasileira não têm suas necessidades mínimas de consumo atendidas. É preciso expandir a oferta de eletricidade para atender à esta demanda, para permitir maiores taxas de crescimento da economia, e para fornecer um energético cuja eficiência contribui para aumentar a eficiência energética média da economia. Como combinar as necessidades de expansão da oferta com um programa de conservação de energia elétrica no Brasil?

Em primeiro lugar, a conservação de energia elétrica se impõe porque na fase atual da economia brasileira há dificuldades econômicas, financeiras e institucionais para expandir a oferta de energia elétrica construindo novas usinas, linhas de transmissão e sistemas de distribuição, no ritmo necessário. Isto aumenta o risco de que ela venha a faltar em algumas regiões. Em segundo lugar, a geração e a transmissão de eletricidade causam impactos ao meio ambiente e, neste sentido, uma maior eficiência do sistema contribuiria para diminuir os danos ambientais. Em terceiro lugar os custos da conservação e do aumento da eficiência da energia elétrica são cerca de 10 vezes menores que os da expansão do sistema.

Como conciliar as necessidades de expansão da oferta de energia elétrica com as necessidades de conservação? Entre o pessoal técnico do setor elétrico brasileiro existia divergência entre uma cultura expansionista, que advogava simplesmente a construção de novas usinas e sistemas de transmissão e distribuição, e que via a conservação como questão secundária, e os proponentes da prioridade da eficientização do sistema, que percebem as dificuldades da expansão do setor e as vantagens em termos de custos, de benefícios ambientais e, talvez, sociais de uma nova cultura baseada na eficiência.

A questão toda é um falso problema. Num país como o Brasil, ambas as posturas são simultaneamente necessárias. As perdas e ineficiências do setor elétrico são altas, se comparadas com países desenvolvidos, e há riscos altos (acima dos 5%, que o setor habitualmente define como aceitáveis) de escassez de eletricidade em certas áreas. Só através de programas de

gerenciamento da demanda, um método de conservação de energia, tais riscos poderiam ser evitados no curto prazo; uma vez que a construção de novas usinas e sistemas de transmissão, ou mesmo a introdução de tecnologias mais eficientes de uso final de eletricidade demandam um tempo maior. O gerenciamento da demanda envolve a combinação da energia e da potência ofertadas em cada ponto do tempo com a demanda prevista.

A solução do falso problema caminha pois naturalmente para a combinação de atitudes expansionistas e conservacionistas. Na verdade,, caminha-se para o chamado planejamento integrado de recursos,em que as diversas alternativas de oferta de energia, incluindo tecnologias não-convencionais, são consideradas simultaneamente às medidas de gerenciamento da demanda e outros modos de conservação de energia e de aumento da eficiência energética.

As mudanças no modelo institucional podem viabilizar a expansão da oferta de eletricidade, mas a conservação e a busca da eficiência podem diminuir a expansão da demanda. Pode-se, assim, compatibilizar o crescimento da demanda com a expansão da oferta de eletricidade. Na realidade, a conservação de energia e a busca da eficientização do sistema elétrico permitem estimar um potencial de conservação de eletricidade que pode ser encarado como uma verdadeira fonte de oferta de energia elétrica, necessária e adequada para o atendimento da expansão da demanda.

A conservação permite conceber as chamadas "usinas virtuais", que geram "energia virtual" associada com o potencial de conservação. Estas "usinas virtuais", associadas à energia conservada, têm custos e tempos próprios de maturação, freqüentemente inferiores aos custos e tempos da expansão do sistema. Devem, pois, serem consideradas em conjunto com as alternativas de oferta. É, assim, possível expandir a oferta, controlar o crescimento da demanda, e, simultaneamente, aumentar a eficiência do sistema, combinando atitudes expansionistas com atitudes conservacionistas, ambas necessárias no Brasil atual. As opções entre usinas reais e usinas virtuais, para sumarizar a questão, devem, entretanto, levar em consideração não apenas custos de capital, mas também custos sociais e ambientais, na busca da eficiência global.

Nesta livro, por sua generalidade, não há lugar para a discussão detalhada das questões ligadas à conservação da energia. A pergunta geral que se colocaria aqui seria: qual o nível de eficiência energética adequado a uma sociedade? Se a Lei de Lotka se aplica às sociedades humanas (Capítulo 5), a eficiência global se situaria em torno de 50%. Nos restringindo apenas às formas de energia apresentadas nos balanços energéticos, isto significaria uma per-

da de 50% na cadeia de transformações entre energia primária e energia útil. A maior disponibilidade de balanços energéticos incluindo energia útil permitirá verificar esta possibilidade. Contudo, há formas de energia que afetam o comportamento econômico e social - como a energia "ambiental" e a energia humana, que não estão representadas usualmente em balanços energéticos. Isto dificultaria uma conclusão.

Se não podemos responder conclusivamente à esta pergunta geral, podemos formulá-la de modo mais particular, permitindo seu melhor equacionamento e a investigação empírica de questões relacionadas à ela. Suponha-se, por exemplo, que indaguemos qual o nível de eficientização elétrica e energética adequado para um país como o Brasil, face às necessidades simultâneas de eficientização da economia, proteção ambiental e atendimento a demandas sociais. Embora também não haja resposta única para a questão, podemos identificar áreas que necessitam pesquisas que informariam decisões corretas. Consideremos, pois, temas relacionados com a eficiência energética brasileira, à título de ilustração.

A eficiência energética pode ser considerada, em termos gerais, como uma relação entre a energia usada e um produto obtido. Este último pode ser medido em unidades de massa, unidades monetárias, ou mesmo unidades energéticas. Quanto menos energia por unidade de produto, tanto maior a eficiência. Numa economia nacional, é comum analisar a eficiência energética em termos da razão entre o consumo total de energia primária e o volume total da produção econômica, isto é, o PIB - Produto Interno Bruto. Outros modos de medir e analisar a eficiência energética são, contudo, possíveis.

Ao analisar a eficiência energética de um país, do ponto de vista econômico, usualmente consideramos 3 ordens de fatores, que são visualizados a partir da decomposição do uso da energia comercial neste país. O primeiro deles é o efeito escala, que indica que, quando a economia cresce, o consumo de energia tende a crescer também, embora não necessariamente de forma linear. Pelo simples efeito escala, devido à sua não linearidade, a eficiência energética pode aumentar ou diminuir em função do simples crescimento da economia. Se a produção aumenta mais rapidamente que o uso da energia, a eficiência aumenta.

O segundo fator é a própria eficiência energética "intrínseca" da economia, isto é a eficiência energética média do conjunto dos processos econômicos, em dada faixa de tempo, um ano, por exemplo. Este é um fator de índole mais técnica, relacionado aos processos técnicos utilizados, mas pode ser devido também a efeitos organizacionais na economia ou nas

plantas industriais. A mudança, por exemplo, na disposição espacial, na administração e no modo de operação das máquinas, numa fábrica, pode aumentar sua eficiência energética.

O terceiro fator é o efeito estrutura, que indica que a eficiência média global depende do perfil de produção desta economia, isto é do tipo, variedade, e proporção relativa dos bens e serviços gerados no sistema econômico. Este fator, embora dependa do fator técnico e organizacional, é basicamente fator econômico e social. Um país pode alterar o perfil do conjunto de sua produção econômica, passando, por exemplo, a produzir em maior quantidade bens menos intensivos em energia. Deste modo, tornar-se-á mais "eficiente", em termos globais, sem ter alterado a eficiência técnica dos processos particulares de produção empregados.

Os índices de eficiência energética global mais usados, como disse, são uma razão entre o consumo de energia primária (comercial), medido em unidades energéticas, e a produção econômica, medida em unidades monetárias. Há várias dificuldades metodológicas envolvidas nestas mensurações. Uma delas é como comparar a produção econômica de países diferentes, que produzem uma composição diferente de bens e serviços, medidos em moedas diferentes. Outra, é como contabilizar as diferentes fontes de energia comercial na mesma unidade energética. A eletricidade, por exemplo, é usualmente medida em kilowatts-hora (ou seus múltiplos), uma unidade de trabalho, enquanto o petróleo é usualmente medido por seu poder calorífico, isto é, uma unidade de calor. Surgem pois, quanto à esta última questão, os problemas da conversão entre formas de energia diferentes.

Há várias soluções para estes problemas, mas não cabe discutí-las aqui em detalhe. Apenas para exemplificar, sabe-se em física que 1 kilowatt-hora equivale a 860 kilocalorias. Numa usina hidrelétrica que produzisse eletricidade com eficiência próxima de 100% (na realidade a eficiência é um pouco menor), cada kilowatt gerado equivaleria a 860 kilocalorias. Mas, numa usina térmica média brasileira, produzindo eletricidade a partir de óleo combustível, para gerar 860 kilocalorias (1 kilowatt-hora) teriam que ser usadas 3132 kilocalorias, sob forma de poder calorífico do combustível, pois grande parte da energia do combustível é dissipada como calor. Isto significa uma eficiência média de 27.5% para as termoelétricas médias no Brasil.

Se usarmos esta eficiência para comparar a hidreletricidade com a termeletricidade, isto é, se imaginarmos que as hidrelétricas geram energia com eficiência comparável às térmicas, o que é feito, por convenção, no balanço energético brasileiro, estaremos reduzindo a eficiência média (contábil) da eletricidade, e, logo do sistema energético brasileiro. Por que?

O Brasil produz cerca de 260 terawatt-horas de eletricidade num ano. Cerca de 90% desta eletricidade é de origem hídrica, o restante é de origem basicamente térmica. Se contabilizamos toda a eletricidade, como é feito, usando a eficiência média das usinas térmicas, estamos mais que triplicando a energia requerida para gerar os 90% correspondentes à hidreletricidade, pois em vez de convertermos a hidreletricidade usando 860 kilocalorias para cada kilowatt-hora, estaremos usando 3132 kilocalorias, por kilowatt-hora. Assim a eficiência elétrica, da forma como é contabilizada, se torna mais baixa. Mais unidades de energia calorífica são contabilizadas para cada kilowatt-hora gerado, do que aquelas necessárias em termos físicos. Como a hidreletricidade é parte importante das fontes de energia no Brasil, a eficiência energética da economia, contabilizada deste modo, torna-se menor.

Com as medidas da produção econômica ocorrem problemas metodológicos e contábeis semelhantes. Se medirmos a produção da economia brasileira usando como unidades os dólares, para poder compará-la com outros países, estaremos sujeitos às flutuações da taxa de câmbio, à inflação e outras injunções de política econômica. Usando como medida da produção a moeda convertida pela paridade do poder de compra, como é sugerido por alguns autores (Summers e Heston, 1991), consegue-se aumentar a comparabilidade entre o poder de compra das moedas dos diferentes países. A paridade do poder de compra é um índice que ajusta as estruturas internas de preços relativos de cada economia segundo uma mesma estrutura de preços relativos preestabelecida como padrão, normalmente a dos EUA. Isto melhora a situação, mas introduz outras incorreções, porque os diferentes países têm diferentes padrões de consumo de bens.

A eficiência energética é o inverso do que os analistas energéticos chamam de intensidade energética. Quanto mais energia por produto usa uma economia, maior sua intensidade energética e menor a sua eficiência. A intensidade energética da economia brasileira calculada convertendo e hidreletricidade pela eficiência das usinas térmicas e estimando a produção em dólares convertidos pela taxa de câmbio é uma. Se a estimarmos, no entanto, como a razão entre o uso total de energia primária convertido pelo equivalente calórico e o PIB corrigido pelo poder de compra é outra, muito mais baixa (Pesquisa sobre "Indicadores de Eficiência Energética", PROCEL, 1996). Isto é, a eficiência energética (ou a intensidade energética) da economia muda, dependendo da forma como é mensurada. Isto não é uma questão física ou tecnológica, mas metodológica e contábil.

Do ponto de vista dos analistas de energia - que tentam combinar pontos de vista técnicos e econômicos - a eficiência energética da economia brasileira é relativamente alta, porque o país usa bastante eletricidade, uma forma de energia de alta eficiência, e esta eletricidade é de base hídrica, uma forma eficiente de produção de eletricidade. Por que então buscar a eficientização e a conservação de energia, e especialmente da energia elétrica? Ela se justifica totalmente, como se verá, por uma série de fatores de ordem técnica, econômica, social, ambiental, e institucional, o que mostra a extrema interpenetração das questões energéticas com as questões sociais.

Tecnicamente, há perdas no setor elétrico que poderiam ser minimizadas e há, além disso, tecnologias mais eficientes em termos energéticos, cujo processo de difusão se inicia e pode ser incentivado. Lâmpadas, motores, e outros dispositivos de conversão de energia encontram-se já disponíveis no mercado. Econômicamente, muitas vezes, a conservação de energia e a eficiência energética são altamente compensadoras se comparadas com alternativas expansionistas. Os equipamentos mais eficientes estão ganhando posições competitivas em termos de preços, e isto pode melhorar, ainda mais, com novas políticas de financiamento.

Socialmente, há vários indícios de que as atividades ligadas à conservação de energia podem gerar empregos e melhorar a qualidade dos serviços[77]. Em termos ambientais, a maior eficiência energética pode reduzir o volume de impactos danosos ao meio ambiente, porque usa menos energia para produzir os mesmos resultados. Com menos barragens e linhas de transmissão pode-se ter a mesma quantidade de energia final. E, em termos institucionais, a conservação de energia pode ser uma alternativa interessante para atenuar o presente impasse para a expansão da oferta de eletricidade no Brasil.

Todas estas medidas se inscrevem no quadro da eficientização da economia brasileira, onde o nível geral de desperdício é muito grande. A eficientização da economia, o combate ao desperdício em geral, e ao desperdício de energia em particular podem ter resultados sociais desejáveis num país com sérios problemas de pobreza como o Brasil, mas seus efeitos sobre o nível de emprego merecem atenção, pois a busca da eficiência econômica, se mal equacionada, pode gerar desemprêgo.

O combate ao desperdício de energia elétrica se impõe a curto prazo porque a expansão do setor elétrico e a conservação de energia tem que caminhar juntas e há riscos loca-

77 Um estudo de Geller et alii (1992) indicou efeitos benéficos da conservação de energia para o nível de empregos na economia americana. No Brasil, o PROCEL vem desenvolvendo estudo semelhante, ainda em suas etapas iniciais.

lizados de deficit. Em termos macroeconômicos, as "usinas virtuais", geradas pela conservação, devem ser consideradas entre as alternativas para "aumento da oferta" e atendimento da demanda pelo critério de custo. Na maioria das vezes é mais barato para o país conservar eletricidade do que construir novas usinas.

Além disso, a conservação de energia e a eficiência elétrica são, em muitos casos, atrativas também do ponto de vista do empreendedor privado, isto é, do ponto de vista microeconômico. Mesmo que a conservação de eletricidade envolva maiores tarifas industriais ou comerciais de energia elétrica para cobrir custos dos programas de conservação, o programa pode interessar ao empreendedor privado, porque este paga contas de energia e não tarifas de eletricidade. Se suas contas puderem ser reduzidas ele poderá ser atraído ao programa.

Em terceiro lugar, é necessário insistir, a conservação de eletricidade possibilitando evitar ou adiar a construção de novas usinas e linhas de transmissão, permite eliminar os danos ambientais associados às novas barragens, às termoelétricas e aos sistemas de transmissão de eletricidade. Há também, como disse, indícios de que as atividades de conservação de energia elétrica podem gerar mais empregos que as atividades ligadas à expansão do sistema elétrico. Estudos recentes do PROCEL, ainda em desenvolvimento, tentam avaliar os benefícios sociais e ambientais da conservação de energia elétrica no Brasil em termos de sua contribuição para o nível de emprego, de renda e de produto na economia nacional, e em termos dos impactos ambientais evitados. Até a contribuição dos programas do PROCEL para evitar a emissão de gases de efeito estufa tem sido pesquisada.

Curiosamente, apesar das diferentes óticas e dos muitos problemas metodológicos envolvidos em toda esta análise, vemos que há muitos pontos de contato entre as questões de eficiência energética, de eficiência elétrica, de eficiência econômica e, mesmo talvez, de eficiência social; se é que este último conceito possui sentido, o que parece ocorrer quanto ao aspecto do nível de emprego. Estes argumentos reforçam a importância das questões energéticas para a sociedade, e a relevância de uma visão abrangente da energia nos assuntos econômicos.

A Energia na Função de Produção

Retomando uma linha de análise iniciada antes, vejamos agora a questão do papel específico da energia no processo de produção ao nível de uma firma, uma planta industrial, por exemplo, uma questão muito mais restrita que as anteriores. Novamente veremos que, mesmo em processos particulares de produção ao nível da firma, a energia interage com muitos outros aspectos de natureza técnica, econômica, social, cultural e ambiental. É extremamente difícil introduzir a energia na função de produção de uma empresa, porque a energia tem os três papéis: calor, trabalho e agente de transformação. Os dois últimos não podem ser corretamente estimados em unidades caloríficas, pois sendo ambos, em última análise, trabalho, a quantidade (equivalente) de calor necessária para obtê-las depende das temperaturas em que é realizado o processo, das velocidades de transformação e das tecnologias envolvidas. São variáveis peculiares aos processos individuais analisados.

Para um dado processo, poderíamos, por exemplo, escrever uma função de produção que especificaria como a quantidade máxima de produto obtido iria depender de certas combinações das quantidades particulares dos insumos empregados. Um destes insumos seria a energia diretamente empregada no processo, outros o capital, o trabalho, a tecnologia, etc. Neste caso, esta função de produção poderia ser aplicada apenas a uma situação, a situação particular, concreta, que ela descreve. Não poderia sequer ser estendida a uma situação análoga. Por exemplo, se a relação tivesse sido originalmente derivada para uma unidade de produção especializada na fabricação de rolamentos em São Paulo, para uma dada carga de aquecimento ambiental, e para uma dada tecnologia ela não seria aplicável a uma fábrica similar no Amazonas, mesmo se a força de trabalho fosse a mesma em composição e atitude, e o mesmo o capital investido.

Isto é, mesmo neutralizando o efeito da mão de obra e do capital, a contribuição da energia seria variável. Mesmo que se incluísse a contribuição energética do trabalho humano no cômputo geral da energia, ainda assim a contribuição da energia como um todo variaria de

acordo com fatores climáticos, tipos de instalação, situação geográfica, etc[78].

Entretanto é possível fazer aproximações, convertendo toda a energia em termos de trabalho e estimando o custo energético deste trabalho para uma temperatura média e uma tecnologia padrão. Slesser, na verdade, para simplificar, sugere estimar o custo do trabalho como custo da eletricidade correspondente... Isto melhora um pouco a situação, sem solucioná-la inteiramente. O custo energético da eletricidade varia de país para país e mesmo de uma região para outra, e o custo do trabalho não é sempre comparável ao custo da eletricidade porque eles não são inteiramente substituíveis.

Para o analista energético, no entanto, uma função de produção que inclua a energia pode fornecer um modo útil de reduzir os fatores clássicos de produção a seus componentes básicos, explicitando a dimensão física do processo produtivo e o importante papel da energia. O resultado seria uma visão do processo de produção na qual são removidos os conceitos clássicos de capital e trabalho como seus determinantes principais. Podemos, por exemplo, escrever a seguinte função de produção:

$$P = f_1(K, L)$$

onde f_1 significa "alguma função de", K representa o capital, L, o trabalho e P é a produção. Em nossos dias, mais cônscios da escassez dos recursos, poderíamos ampliar a equação, introduzindo os materiais M e a energia E.

$$P = f_2(K, L, E, M)$$

Voltemo-nos agora para a produção de cada um destes insumos. O capital, por exemplo, significa dinheiro investido, terra, direitos, equipamentos, instalações e unidades fabris. O equipamento, os prédios e seus elementos constituintes foram gerados, em algum lugar, em um processo de produção anterior. Este processo de caminhar para trás, em busca dos insumos primários, nos revelará que o capital, em sentido físico, não é senão a acumulação de trabalho,

78 Considerações similares, no entanto, aplicam-se à mensuração da energia e dos outros fatores de produção em unidades monetárias. O trabalho, mesmo igualmente remunerado, tem rendimentos diferentes, de acordo com variáveis como treinamento, educação, atitude, motivação. O capital tem um rendimento de aplicação variável conforme toda a situação em que é investido. E os materiais rendem mais ou menos, conforme a situação em que são utilizados. A precariedade dos instrumento de medida não é exclusiva da energia. Uma vantagem das unidades monetárias sobre as unidades energéticas é que elas podem incluir dimensões não captadas pela energia, tais como as expectativas futuras quanto a preços, mas sofrem, como vimos, também dificuldades comparáveis.

conhecimento, materiais e energia. Os materiais foram obtidos da natureza e transformados com o auxílio de capital, trabalho e energia.

Os materiais têm um papel muito especial, eles nunca são inteiramente consumidos, são somente transformados. Isto pode parecer estranho numa época em que tanto se fala de escassez de recursos. Mas lembremo-nos do capitulo III, e de considerações anteriores no presente capítulo, onde se mencionou o ligeiro predomínio da organização sobre a desorganização nos processos naturais da biosfera e a reciclagem dos materiais na natureza. Com a excessão da energia, que sob forma de disponibilidade de baixa entropia pode ser escassa, a escassez referida a materiais é uma escassez econômica e não física.

Se nos voltássemos para substâncias abundantes como a argila, veríamos que há estoques tão imensos que a depleção seria inconcebível. Ainda mais: o minério de ferro, por exemplo, quando transformado em ferro, depois em aço, e depois em máquina de lavar roupa, permanece sendo ferro, até mesmo quando vai para o ferro-velho. Os recursos materiais podem ser redistribuídos e mudar de forma, mas não são consumidos. Isto não quer dizer, todavia, que eles sejam economicamente abundantes. "Se um recurso está disponível ou não é simplesmente uma questão de haver energia para obtê-lo" (Cook, citado por Slesser. op.cit.).

O capital pode ser obtido a partir de trabalho, conhecimento, materiais e energia[79]. Como os materiais podem ser obtidos, no fim das contas, a partir da energia, tanto o capital quanto o processo de produção ficam então reduzidos, em última análise, a energia e trabalho. A terra é também requerida, mas é um termo fixo em nosso mundo finito. Nem trabalho, nem energia, contudo, são fixos. O trabalho é reprodutível pela procriação, é treinável, flexível. É um recurso renovável, que pode ser qualificado para lidar com as tecnologias existentes. Embora possa haver um limite para a oferta contínua de profissionais cada vez mais qualificados, à medida que o conhecimento avança é possível, pela divisão do trabalho, quebrar o campo total do conhecimento em suas partes componentes e continuar obtendo massas de especialistas em áreas progressivamente mais restritas[80].

---

79 Nesta parte do texto de Slesser, o conhecimento, como insumo do capital, desaparece, pelo menos temporariamente, da análise. Isto se justifica, em parte, porque o conhecimento ou informação pode ser enfocado como uma dimensão do trabalho humano e, portanto, seu efeito se dilui neste último. Esta perspectiva não é contudo inteiramente rigorosa. A natureza e os produtos naturais podem ser visto como possuindo informação e, portanto, conhecimento, embutido neles. Neste sentido a informação deve ser vista como variável explícita.

80 Observe-se que esta é uma visão economicista do trabalho humano. Aqui, o trabalho é visto como mero fator de produção. Não se trata do trabalho como fator de emancipação humana ou como elemento da ação comunicativa, da interação socal. Estas duas outras dimensões do trabalho humano deveriam ser incorporadas a uma visão energética radical, na qual o trabalho humano fosse produto e condição de expressão da energia humana. Trato disso no capítulo VII.

Nas sociedades contemporâneas, com a industrialização e o advento da automação o trabalho humano se torna cada vez mais um elemento de decisão e menos fonte de trabalho físico. O processo de decisão, no entanto, envolve informação e, portanto, conhecimento; isto é a acumulação de informação de modo organizado[81]. Existem pois, dois aspectos do trabalho: o elemento decisor *Ld* e o envolvimento histórico do trabalho incorporado *Lh*. O elemento decisor processa informação. E assim o conhecimento - temporariamente excluído da condição de insumo do capital - retorna à sua relevante condição de fator de produção.

A teoria da informação nos diz que a informação está relacionada com a entropia. A decisão, baseada em informação, introduz uma forma de organização e, neste sentido, reduz a entropia. Se o elemento histórico do trabalho, o trabalho passado - fruto de decisão e organização passadas - também ocorresse hoje, no contexto de uma economia moderna, ele seria também tratado como entropia. Se o elemento histórico fosse visto como trabalho físico incorporado, então estaríamos lidando com uma forma de energia incorporada ao capital (ou ao trabalho, ou aos materiais). Como o trabalho passado é simultaneamente ambas as coisas, informação e energia, ambas as dimensões devem ser preservadas, e de fato estão preservadas no processo cultural.

Os Incas, no Peru, construíram, séculos atrás, terraços nos Andes, nos quais plantavam cereais. Estes terraços ainda existem e neles ainda se cultivam cereais. Isto é trabalho físico da força de trabalho incorporado ao processo de produção econômica. É ainda informação ou conhecimento incorporado ao sistema de produção sob forma de organização derivada de antigas decisões do trabalho humano. Todo o quadro em que se desenrola o processo produtivo está baseado em organização passada da natureza e da cultura.

Há também dois aspectos da energia: a energia direta *Ed*, usada no processo em estudo, e a energia anteriormente usada na produção dos insumos do processo em estudo, *Ei*, se jam estes insumos capital ou materiais. Podemos, pois, reescrever a função de produção em forma modificada:

$$P = f\left(E_d, E_i, L_d, L_h\right).$$

81 Dizer que conhecimento é a acumulação de informação, de modo organizado, não é inteiramente correto, embora seja útil para meus propósitos aqui. Não é claro que o conhecimento seja obtido por acumulação de informação. Não pretendo definir conhecimento, mas a frase anterior ficaria mais correta na ordem inversa. Informação é aquilo que altera estados de conhecimento. Esta última formulação tem a vantagem de não definir conhecimento, a não ser quando precisamos medir a informação.

Nas economias modernas, onde a maior parte do trabalho é de tomada de decisões, ambos, *Ld* e *Lh*, podem ser expressos como tempo e como entropia, através da teoria da informação. *Ed* e *Ei* podem ser apropriadamente expressos como trabalho físico disponível. Ou seja, é possível, em teoria, escrever uma função de produção em termos de informação e energia.

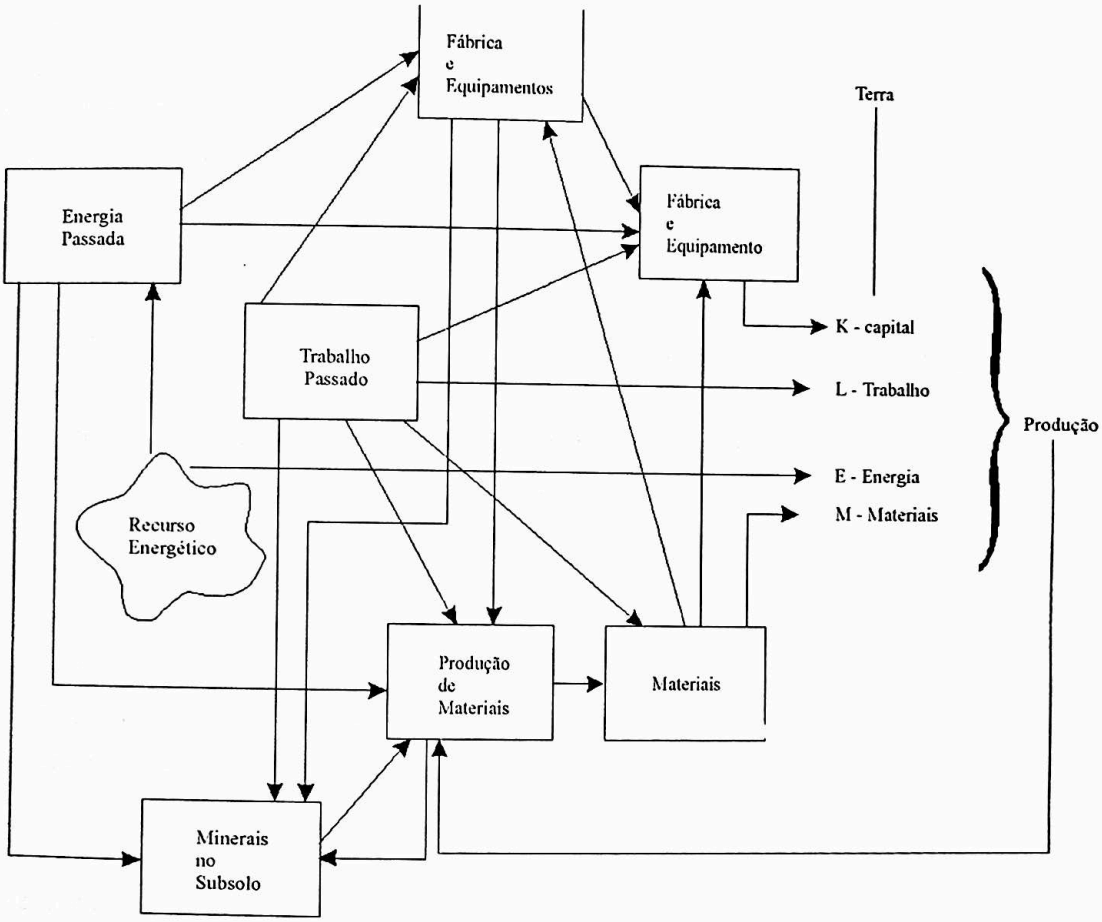
De acordo com Slesser (op. cit.), temos aqui uma análise que não apóia uma teoria energética do valor, nem uma teoria do valor trabalho tomadas isoladamente, mas suporta uma teoria do valor conjuntamente energética (trabalho fisico) e do trabalho humano (decisão). Eu diria, Slesser surpreendemente não o diz, que se trata, em verdade, de uma teoria energético-informacional do valor.

Segundo o próprio Slesser, alguns pensam que a formulação a que chegou poderia ser unificada, eventualmente, através do desenvolvimento da teoria da informação em uma única teoria entrópica do valor, na linha anteriormente proposta, por exemplo, por Georgescu-Roegen. Em minha opinião, seria melhor, numa primeira aproximação, preservar o trabalho humano e a energia como os principais fatores de produção, tal como Slesser o faz, e, num segundo momento, aguardando uma melhor conceituação da informação, adotar uma visão energético-informacional do valor.

Contudo, a análise energética, que já consegue determinar a soma de *Ed* e *Ei* para os processos de produção, ainda tem dificuldade em ligá-los com o trabalho humano. Para Slesser (op.cit.), é, na verdade, incerto se esta ligação, em termos de uma redução do trabalho humano à energia, seria necessária ou sábia. Poderia ser mais interessante para a compreensão do processo econômico manter energia e trabalho humano como variáveis separadas. Mas para a generalização da abordagem energética da economia seria interessante combiná-los. Isto poderia ser consumado enfocando o trabalho humano como uma combinação de processos energéticos e informacionais, e provavelmente dependeria de uma adequada conceituação da energia humana.

Algumas considerações sobre a energia humana e o trabalho humano como possuindo componentes afetivos, comunicativos e de emancipação, além de sua mera visão como fator de produção, são feitas no Capítulo VII deste livro. Aqui permaneço no nível meramente instrumental do trabalho como fator produtivo.

Figura 6.1: Redução dos fatores econômicos à energia e trabalho humano



Considerando unicamente fluxos físicos é possível derivar todos os fatores de produção do trabalho passado e dos recursos energéticos, o que é um argumento ponderável a favor da importância teórica do conceito de energia na economia. Considerando que o trabalho passado tem nítida dimensão energética, este é também um importante argumento em favor de uma abordagem energética. Fica por resolver o sério problema teórico das relações entre a informação e o conhecimento, de um lado, e a energia, de outro.

A Abordagem Bioeconômica

Uma abordagem relativamente recente em economia que inclui explicitamente a energia e a informação como categorias básicas do processo econômico foi chamada, por René Passet (1979), de bioeconômica. Passet sustenta que o programa inicial de trabalho da economia neo-clássica em Marschall, por exemplo, já prescrevia a biologia como fonte de um modelo adequado para a economia. A emergência das questões energéticas e ambientais, no plano social; o êxito da abordagem biofísica em biologia; os avanços da termodinâmica dos processo irreversíveis em ciência; e os desenvolvimentos da informática e das telecomunicações, na tecnologia, contribuíram todos para a proposição de uma abordagem que enfatize os papéis da energia e da informação na economia. Passet insiste que (e tenta mostrar como) as questões biológicas, ecológicas e sociais se prolongam sobre as questões econômicas. "A energia é o denominador comum de todos os bens pertencentes ou não à esfera mercantil" (Passet, op. cit,). Sabemos que ela está ligada à matéria pela lei da equivalência de Einstein e que ela se apresenta, no estado atual de nossos conhecimentos, sob as seis formas de energia: mecânica (ou trabalho), térmica (ou calorífica), elétrica, química, nuclear e radiante. Nesta visão, a energia do campo gravitacional seria vista como energia mecânica. Mas há interpretações da gravitação como energia radiante.

"Cada uma destas formas corresponde a um estado de organização diferente da matéria: o calor é produzido pela agitação desordenada das moléculas, enquanto que o trabalho ou a eletricidade são o resultado do deslocamento ordenado de um fluxo de elétrons se efetuando na mesma direção. É a tendência espontânea de todo sistema para se desorganizar e se orientar rumo a um estado de maior desordem que explica o fenômeno da entropia" (Passet, op. cit.). Toda forma de energia dita "superior" (ou seja, mais estruturada) tende, com o tempo, a se degradar espontaneamente em calor. Toda utilização de uma destas formas se acompanha de uma desestruturação, ou seja, de uma produção de calor que não "reascenderá"[82], por si

82 O termo usado em francês é "remontera".

mesma, a corrente de entropia, e só poderá fornecer trabalho em seguida a uma restruturação (consumidora de energia).

A energia se liga diretamente à atividade econômica seja através do calor, do trabalho mecânico, e das transformações físicas ou químicas efetuadas no processo de produção. Na verdade, para Passet, "toda atividade econômica depende da energia". Todo bem material é exprimível pela quantidade de energia que encerra ou que aparece, se ele foi produzido, como resultado de um gasto energético mensurável, e, se ele é consumível (comestível), transfere ao organismo que o absorve a energia potencial que contém.

"Toda força de trabalho é um potencial energético suscetível de liberar energia e reconstituível por um aporte energético. Todo capital produtivo criado pelos homens é resultado de um trabalho exprímivel em unidades energéticas, funciona graças a um aporte de energia e fornece um trabalho mecânico energeticamente mensurável. Os serviços fornecidos pelo meio natural (radiação solar, auto-depuração do meio, etc.) também se traduzem em termos energéticos:

- a radiação solar, sua captação pelos vegetais verdes e a transmissão da energia resultante;
- valor de um meio, a água por exemplo, em sua função de depuração, pode ser energeticamente medido: sabendo serem necessárias 0,18 kcal de energia química potencial para dissolver um grama de matérias orgânicas, Odum deduz que são necessarias 23 kcal para depurar um galão de água, tendo em consideração a distância percorrida por esta. Gilliand mostra que podemos igualmente abordar o problema estimando a energia que seria gasta por um sistema criado pelos homens para realizar o mesmo trabalho de depuração que o meio-ambiente assume gratuitamente" (Passet, op.cit.).

Além disso, Odum (op.cit.) coloca em evidência a noção de energia de amplificação devida ao concurso do meio natural. Cada kilocaloria dispendida em trabalho humano fornece aos homens de volta muitas vezes seu valor, se este atua no âmbito de um ecossistema organizado. Ele estimou que um habitante de um atol gasta 125 kcal para pescar um peixe que lhe fornece cerca de 720 kcal. O coeficiente de amplificação é da ordem de 6. Como toda máquina térmica, o organismo humano tem rendimento inferior a 1, mas se beneficia do concurso

de "forças" naturais. Forças estas que seu conhecimento, e o conhecimento acumulado em seu sistema cultural, permitem identificar, aduzo eu.

As economias avançadas, entretanto, utilizam relativamente cada vez menos as energias naturais. Se tomarmos como exemplo a produção agrícola, veremos que evoluímos de sistemas agrícolas que devolviam de 6 a 20 calorias em alimentos para cada caloria empregada, até chegarmos no caso da agricultura americana a necessitar de 2 a 6 calorias para cada caloria de alimento obtida. Discutir, portanto, a evolução da humanidade em termos da economia convencional não é a mesma coisa que discutí-la em termos energéticos. Isto fornece, de certo modo, uma visão contrária à sugerida por White (capítulo V). É uma das consequências de White não ter atentado corretamente para o papel energético do meio ambiente nas sociedades humanas.

O conceito de energia, usado há tanto tempo em tantas ciências, mantém seu poder instigador. Pensar as ciências sociais e a economia, em termos energéticos, contém sugestões estimulantes para a reflexão teórica. Mas, talvez mais importante que isto é que esta reflexão tem alcance prático. Os problemas do planejamento energético, da busca da eficiência energética, do crescimento econômico, da evolução social, da poluição ambiental e da escassez de recursos naturais estão por toda parte. Será o conceito de energia uma ferramenta útil para ajudar a equacioná-los? Ao longo deste livro venho sugerindo que sim.

Nas conclusões que se seguem, faço um balanço do material exposto e sugiro uma proposta de trabalho posterior, exatamente no sentido de ver o conceito de energia como a ferramenta básica do planejamento e da busca da eficiência energética global, numa visão que inclua o homem e a natureza e não apenas a tecnologia. Mostro que o planejamento energético deve ser concebido de forma ampla, isto é, deve incluir, além da preocupação com as "energias tecnológicas" socialmente controladas, o "trabalho" da natureza e a energia humana.

Notas Bibliográficas

1. Newcombe, K., 1977 - Sobre a "contabilidade energética", pp. 44-47; sobre as relações entre termodinâmica e economia, e sobre Georgescu-Roegen, pp. 47-52; sobre energia e crescimento econômico, pp. 52-53.
2. Odum, H. T., 1971 - Sobre "batatas feitas de petróleo", p. 115
3. Slesser, M., 1978 - Sobre a energia na função de produção, pp.39-55.
4. Passet, R., 1979 - Sobre a visão bioeconômica do processo produtivo, pp.135-139.

CAPÍTULO VII

REFLEXÕES SOBRE O CONCEITO DE ENERGIA

Introdução

Há três questões cuja discussão finaliza este livro. Estas três questões são especulativas e controvertidas, mas seu equacionamento pode ter aplicação prática. Não tenho a ilusão de concluir o livro como se demonstrasse um teorema. Apenas argumento em certas direções. A primeira destas questões é a da unicidade do conceito de energia. Trata-se de saber se haveria apenas um conceito de energia, válido para os diferentes campos de conhecimento, ou se devido a empregos tão diferenciados do conceito haveria mais de uma acepção científica da palavra energia. Opino que há apenas um conceito de energia, mais precisamente definido na termodinâmica, porém extensível à diferentes disciplinas científicas, com graus diversos de aplicabilidade. O conceito físico de energia comporta definições precisas, mas ele não é inteiramente claro. Mesmo nebuloso, o conceito de energia é prolífico na geração de hipóteses e explanações. Além disso a gama de diferentes significados da palavra, orbita em torno de um núcleo comum. A concepção de energia aponta no sentido de uma entidade fundamental da natureza e do espírito humano, que repousa no mistério da vida e pode ser transcendente a nosso conhecimento objetivo.

A segunda questão refere-se ao que denominei "os três modos da energia", na sociedade humana ou sejam: a "energia tecnologicamente controlada", a "energia humana", e a "energia do meio ambiente biofísico" ou dos "ecossistemas naturais". A visão integrada destes três modos da energia pode ser útil ao planejamento energético, à conservação da energia, ao equacionamento das questões ambientais, sociais e econômicas. A vida social humana e a produção econômica dependem da combinação dinâmica destes três modos da energia. A maior parte dos trabalhos sobre a energia, o planejamento energético, e a conservação de energia, concentra-se no primeiro destes três modos. Argumentarei a favor da inclusão dos dois outros.

A terceira questão é a da natureza da energia humana, e da possível existência de uma dimensão psíquica desta energia. Não tenho resposta para ela, mas indico possíveis direções

para seu equacionamento e desenvolvimento futuros. Acerquei-me do assunto considerando algumas dimensões da energia humana - a dimensão biológica, a dimensão psicológica e a dimensão sociológica, respectivamente, nos tópicos que tratavam da energia na biologia, na psicologia e nas ciências sociais, mas falta uma visão integrada do tema.

Relegar a questão da energia humana, com sua possível dimensão psíquica, em nome de rigor conceitual, seria omissão. Eu poderia ter apenas usado a definição física de energia dos livros textos, como a capacidade de realização de trabalho físico, para explorar as implicações da energia nos processos sociais e econômicos, sem considerar seu possível aspecto psíquico. Isto já seria útil, pois a perspectiva energética tem consequências importantes para a visão tradicional da sociedade e da economia. Mas, omitir que o conceito físico de energia contém dificuldades intelectuais e que a questão da energia psíquica existe, seria iludir o leitor. A tentativa de solução deste problema, no entanto, deve ser relegada a filósofos, teólogos e místicos, além obviamente dos cientistas.

Os seres humanos realizam trabalho físico em suas atividades normais. Mas os seres humanos e os animais tem consciência da sua circunstância, e um dos aspectos do trabalho realizado por eles diz respeito a seu poder de organização do ambiente. Talvez o pensamento, através de sua capacidade organizadora, possa realizar trabalho físico, ao menos em certas condições. Há tentativas de investigar isto. Neste livro o assunto é mencionado superficialmente.

A inclusão da energia da força de trabalho nos balanços energéticos é um problema instigante do ponto de vista teórico, e tem consequências práticas para a política de emprego da mão de obra. A consideração plena da eficiência energética de uma economia deveria levar em consideração a eficiência energética do trabalho humano, e dos processos do meio ambiente, embora não saibamos medir estas coisas adequadamente.

A Unicidade do Conceito de Energia

As palavras noção, idéia e conceito figuram nos dicionários quase como sinônimos. Assim foram usadas ao longo deste livro, mas quero, agora, introduzir uma nuance. Considero a "noção" como uma idéia vaga, e o "conceito" como uma idéia mais precisa, para organizar a explanação que se segue. O uso leigo da palavra energia, como exemplificado no Capítulo I, sobre as origens mitológicas e filosóficas da idéia de energia, corresponderia a uma noção de energia e não será considerado agora. Por outro lado, vimos que a idéia de energia teve uma longa história em diferentes disciplinas, científicas ou não.

Já o conceito de energia evoluiu principalmente na física, onde recebeu uma série de definições particulares, cada vez mais precisas, nas diferentes áreas desta ciência. Progressivamente emergiu o conceito de energia como uma categoria intelectual do espírito humano e simultaneamente uma entidade básica da natureza, e que se manifestava de diferentes modos, transformando-se em suas manifestações, conservando-se em quantidade ao se transformar, mas perdendo qualidade ao longo de uma cadeia de transformações. Na termodinâmica, o conceito de energia teve seu desenvolvimento mais completo - a tal ponto que esta é denominada ciência da energia. Mas as leis da energia transcendem a termodinâmica e servem como principios unificadores em todo o campo da física.

Além disso, diferentes ciências puderam progressivamente empregar o conceito termodinâmico de energia ou variantes aproximadas. Na biologia, na psicologia e nas ciências sociais, a energia, como uma variável relevante, irrompeu, ora apenas como um conceito igual ou similar ao da física, ora em acepções que transbordam o conceito físico, expressando apenas uma idéia e, por vezes, se confundindo com a noção leiga de energia.

A tendência predominante em biologia é usar o mesmo conceito de energia da física. Mas as referências à força vital e, em conseqüência, à energia vital como uma forma especial de energia, peculiar aos processos da vida e não redutível a puros fenômenos físicos e químí-

cos, já foram populares. O vitalismo, como se denominava esta posição, saiu de moda, mas é freqüente na literatura se encontrar o termo bioenergia para designar a forma particular como os processos energéticos manifestam-se de modo coordenado nos organismos vivos.

A idéia de coordenação da energia introduz a dimensão informacional estreitamente ligada à qualidade da energia. Num processo energético particular - tal como um fluxo ordenado de elétrons num fio, no caso da eletricidade, existe um elemento de ordem associado à qualidade da energia, associado à baixa entropia, e em última análise à capacidade de realização de trabalho. Isto pode ser relacionado à informação como medida de organização do processo energético, e/ou pode ser uma medida da qualidade da energia; um equivalente de entropia negativa. Num conjunto de processos energéticos coordenados, num organismo por exemplo, o elemento informacional, expresso através da organização, é ainda mais acentuado e, portanto, é possível focalizar a energia, nestes casos, como capacidade de realização de trabalho coordenado. Neste sentido, vida é energia coordenada, pois a vida envolve processos complexos de ordenação da energia[83].

É usual falar de bioenergia como a forma particular pela qual os processos energéticos ordenados realizam o trabalho coordenado, que nos seres vivos associamos aos fenômenos da vida. Assim, por exemplo, numa perspectiva holista em biologia é possível falar da bioenergia como uma manifestação coordenada de processos energéticos que envolve, ao mesmo tempo, informação.

Antes de prosseguir quero dizer que tanto energia quanto informação são conceitos que expressam aspectos da realidade e que não se aspira com eles nada mais do fazer avançar a investigação e o entendimento. Não pretendo dizer que vida seja algo explicável através de energia e informação. A vida transcende estes conceitos e talvez todas as explicações. Estes conceitos são apenas ferramentas científicas que podem possívelmente ajudar a compreender alguns processos biológicos, avançando o conhecimento.

Uma situação, por exemplo, em que energia e informação estão intimamente associadas, é a que ocorre com o impulso nervoso percorrendo sinapses entre neurônios, que pode ser considerado como um pulso modulado de energia eletroquímica e informação ao mesmo tempo. Neste caso, os pulsos energéticos que transportam mensagens ocorrem no contexto de uma organização viva, suportada por uma miríade de processos energéticos organizados.

---

83 Fico tentado a dizer que consciência e pensamento incluem também ordenações de processos energéticos.

Na psicologia a idéia de energia é usada de várias maneiras diferentes. O conceito físico de energia foi e é usado nas abordagens psicológicas que se baseiam na fisiologia do sistema nervoso. Na psicanálise, como se viu no Capítulo IV, o conceito de energia foi também usado, algumas vezes de forma menos rigorosa que na física, nem sempre se acomodando às leis da termodinâmica, o que me leva a sugerir que algumas escolas de psicanálise usam uma idéia de energia e não um conceito. O tratamento dado à energia na psicanálise varia entre os autores arrolados nesta obra.

A libido como energia emocional, afetiva ou psíquica incorpora, mas parece transbordar o conceito físico estrito da termodinâmica, em alguns casos, indicando visões as vezes um tanto "vitalistas", como em Reich, "substancialistas", como em Lowen, ou "espiritualistas", como em Jung . Mas isto são opiniões de um não-especialista. Freud tentou usar modelos físicos em suas explicações da neurose. Primeiro utilizou o modelo hidráulico segundo o qual a neurose correspondia à irrupção, por canais tortuosos, de uma "energia" represada, à semelhança da água rompendo uma barragem. A energia potencial represada romperia a barragem da censura, gerando, eventualmente, o sintoma neurótico. Depois, Freud usou um modelo dinâmico do conflito entre "forças psíquicas" que se opunham. Em ambos os casos parece vigorar o princípio econômico segundo o qual a energia reprimida em uma parte do sistema psíquico reaparece em outra.

O problema é que tal energia, associada a emoções e sentimentos, tem alguma ligação com a consciência, e ninguém sabe como energia e consciência se relacionam. Não sabemos o que é a consciência, embora a experimentemos e haja algumas definições dela, pois ela própria é a condição do saber e o suporte da mente. Pode-se experimentá-la, falar dela, ampliá-la ou sofrer com ela, mas não estou certo de que se possa definí-la cientificamente. Em algumas tradições espirituais menciona-se uma Consciência Suprema. Lewin (1993, p. 186), num plano mais concreto e falando em complexidade, cita, contudo, definições de consciência de vários autores. Deixo à cargo do leitor sua própria abordagem do assunto, mas sinto especial respeito pelo modo como os budistas tratam o assunto (Rinpoche, 1992). Em relação à energia, a consciência pode ser vista, em certa medida, como consciência de manifestações da energia. Mas, se não insistirmos numa visão substancialista da energia, a consci-

ência seria apenas consciência de uma corrente de fenômenos e a energia seria apenas um construto intelectual que representa uma quantidade conservada na natureza (devidoà simetria do tempo).

Freud não se pronunciou sobre a natureza última das forças psíquicas e, portanto, da energia psíquica. Não logrando reduzir os fenômenos psíquicos puramente a fenômenos neurofisiológicos, ele enveredou pelo caminho fenomenológico, que propiciou importantes descobertas em termos de teoria e terapêutica analíticas. Todavia, a ambição de uma visão totalizante do ser humano, que integrasse a interpretação dos fenômenos psíquicos com a explicação dos processos neurofisiológicos, embora abortada, permaneceu.

A medicina psicossomática em geral e, no campo da psicanálise, Reich e depois Lowen, em particular, progrediram nesta direção. Reich fundamentou sua visão da energia psíquica propondo uma energia especial - a energia do orgônio cósmico. Esta forma de energia, que violava a segunda lei, teria comportamento similar à um princípio energético de integração, postulado por alguns autores para a biologia e para a psicologia[84] (Jung, 1987). Meu conhecimento de Reich, como dos outros psicanalistas citados, é exíguo, mas esta obra ficaria imcompleta sem menção ao assunto. Embora simpatize com as propostas reichianas de terapia corporal, sua visão da energia não se acomoda à segunda lei da termodinâmica. Isto não é pecado, a segunda lei se aplica apenas a transformações termodinâmicas. Mas como os organismos envolvem transformações termodinâmicas, isto cria conflito teórico, pois Reich falava do psiquismo nos organismos.

Reich violou a segunda lei para explicar processos de ordenação e concentração de energia nos organismos e no psiquismo. Esta postura veio a se tornar parcialmente desnecessária, pois a termodinâmica de processos irreversíveis permite conciliar a segunda lei com fenômenos de auto-organização em sistemas abertos. Ele tentou explicar fenômenos físicos (meteorológicos), biológicos e emocionais através da concentração da energia do orgônio cósmico.

Enquanto o que denominava "potencial mecânico" se descarregava das situações de maior concentração para as de menor concentração, de acordo com a segunda lei, em sua visão, o orgônio cósmico concentrar-se-ia espontaneamente, em oposição à segunda lei (Capítulo IV). Reich tentou, com isto, uma explicação, que parece ser apenas verbal, para os pro-

84 "Maeder é, inclusive, da opinião de que a "atividade criativa" do organismo e, de modo particular, a da psique "excede a energia consumida". Ele defende também o ponto de vista segundo o qual, para a psique, além do princípio da conservação e do princípio da entropia, deve-se fazer uso de um terceiro princípio, o da integração" (C. G. Jung, A Energia Psíquica, Vozes, Petrópolis, 1987, p. 15).

cessos que envolvem auto-organização, em sua aparente contradição com o aumento da entropia. Vimos, no Capítulo III, que os fenômenos de auto-organização em geral, e da biologia em particular, só se opõem à segunda lei quando se toma o ser vivo separadamente do seu ambiente. Quando, ao contrário, se o considera em integração com o meio, não parece haver oposição entre aumento da entropia e vida.

A posição de Lowen, embora tributária de Reich, adapta-se melhor aos esquemas teórico-conceituais do "establishment" científico. Lowen não precisa postular uma energia especial para fundamentar os processos psíquicos e emocionais. A única coisa estranha à ciência convencional em sua abordagem é que ele parece tratar a energia como algo dotado de existência substancial. Esta posição, comum na ciência do século XIX, era típica do energetismo. Para Ostwald, a energia era a substância básica do universo e os fenômenos eram apenas manifestações da energia. Um problema na visão de Ostwald é a unilateralidade, pois a energia pode ser vista também como mera relação teórica entre quantidades. Presentemente perdura certa ambiguidade, pois a energia é mais frequentemente, mas não exclusivamente, vista como uma categoria intelectual, como um conceito tão abstrato que, por vezes, parece mais uma categoria conceitual ou uma forma do pensamento do que uma realidade substancial[85].

Jung pareceu compreender melhor do que os outros psicanalistas estas nuances conceituais, quando distinguiu entre as perspectivas científicas mecanicistas e energéticas. O mecanicismo, para Jung, é essencialmente qualitativo e causal. Focaliza substâncias. A visão energética, para ele, ao contrário, é quantitativa e teleológica, finalista. Focaliza relações. Estas perspectivas, em sua análise, são excludentes, mas ambas são necessárias em ciência e se complementam na descrição do mundo real, que não pode ser confundido com as descrições que dele oferece a ciência. Jung acreditava que os fenômenos psíquicos podem ser descritos do ponto de vista causal - mecanicista e qualitativo - e do ponto de vista final - energético e quantitativo. Para ele, havia uma energia psíquica, e não uma energia do aparelho psíquico. Esta energia psíquica, como as outras formas de energia, estava sujeita à determinações quantitativas. Obedecia às leis de conservação e de dissipação da energia.

85 Minha inclinação pessoal é ver a energia como ambas as coisas, como uma espécie de estofo do universo - no sentido de que ela é o "ir" das coisas, segundo a formulação de Planck - e como uma categoria do espírito.

Não sei se compreendi a posição de Jung. Minha posição provisória particular é que a energia é tanto uma realidade subjacente aos fenômenos - e neste sentido dotada de uma certa substancialidade, quanto algo que se expressa no mundo fenomenal como relação captada no espírito. Diferentemente de Jung, acho que a energia permite explicações causais e finais. Creio que a energia psíquica e a física são interconversíveis, e que as leis da energia deveriam se aplicar ao conjunto "corpo+mente", ou "físico+psíquico", de forma integrada, e que há apenas uma energia que se expressa tanto no plano dito físico, quanto no dito psíquico. Mas isto são apenas conjecturas.

Nas ciências sociais, o uso do conceito de energia teve implicações menos problemáticas que em psicologia, porque foi usado no sentido físico convencional. Nesta perspectiva restrita, a energia humana é a energia corporal ou somática. Se os sociólogos e antropólogos tivessem absorvido as contribuições dos psicólogos, o emprego do conceito de energia na explicação de processos sociais poderia ter sido mais rico, mas envolveria também problemas conceituais maiores, provavelmente insolúveis. A energia humana não seria apenas a energia somática usada, por exemplo, no trabalho social. Apareceria também, explicitamente, o seu componente psíquico e emocional. Os cientistas sociais teriam, então, que lidar com a energia não apenas como um fator somático de produção (no trabalho, ou de destruição, na agressividade e na guerra), mas também com a energia humana como fator subjacente ao comportamento expressivo da linguagem, comunicação, afeição e mesmo da liberação humana. Usando a linguagem de Habermas, passariam do nível da ação instrumental para o nível da ação comunicativa e da emancipação.

Se isto pode ser feito com êxito, isto é, se o conceito de energia, no seu presente estágio de desenvolvimento teórico, permite que isto seja feito, é duvidoso. Mas não foi isto que os cientistas sociais fizeram. Eles tiveram prudência e moderação, e reduziram seu campo de possibilidades explanatórias. Mesmo um pesquisador recente ousado, como Richard Adams, ainda prefere se referir ao mundo mental como uma instância separada do energético. Embora Adams, um antropólogo, aceite que todas as coisas do "mundo material" podem ser vistas como "formas energéticas", ele se refere a um domínio à parte que, por dificuldade de análise, denomina de "mentalístico". Adams, cuja obra precisa ser melhor estudada, foi além da maioria dos sociólogos e antropólogos na conceituação da energia.

A energia tecnologicamente controlada que abastece as sociedades humanas é a energia convencional da física, mas, se considerarmos os sistemas energéticos que a fornecem,

ressalta o componente organizado, a estrutura, as rêdes de produção, distribuição e uso de energia, inerentes ao funcionamento dos sistemas tecnológicos. Ao considerarmos os fluxos de energia no ambiente natural, que também influem no comportamento social e alimentam a vida das sociedades, isto é, os fluxos da energia nos ecossistemas colonizados e predados pelas sociedades humanas, e na biosfera como um todo, estamos lidando com a visão energética dos processos vivos, que envolve também necessariamente a questão da organização da biosfera, dos ecossistemas e dos organismos.

Reaparecem pois as encruzilhadas intelectuais deste trabalho: a ligação da energia com a organização e a consciência. Os processos energéticos nos organismos vivos são extremamente complicados, e, de muitas formas sutis, parecem sintonizados com os processos energéticos do meio ambiente, numa organização complexa. Além disso, muitas espécies de organismos vivos parecem dotadas de consciência. O modo como atuam no ambiente, isto é, como dispendem energia, depende de processos conscientes que usam parte da energia na atividade cerebral, o que coloca de novo a questão de uma possível dimensão psíquica ligada à energia.

Tais situações - de organização e sensibilidade - são apenas parcialmente compreendidas em termos puramente físicos e, neste sentido, apenas parcialmente redutíveis ao conceito físico convencional de energia. Já ao considerarmos a contribuição da energia humana aos processos sociais, havíamos caído numa encruzilhada deste tipo. Ou escolhemos ver o homem apenas como um conversor biológico de energia, capaz de produzir trabalho físico tal como uma máquina, e cuja contribuição energética soma-se aos conversores naturais e tecnológicos, ou escolhemos entender que a energia humana possui definitivamente uma dimensão psíquica - associada ao processo cultural - e que o capacita a conhecer, pensar, sentir. Neste caso, não apenas a energia de trabalho da mão de obra, mas também sua capacidade de organizar e dar sentido ao meio ambiente, contariam para uma plena visão energética da sociedade humana. Novamente dependeríamos da idéia de energia da psicologia.

Exigir que um conceito se aplique a tão ampla gama de fenômenos e processos pode ser exigir demais e pode levar à superficialidade. Mas a verdade é que o conceito de energia é, por natureza, muito geral e foi realmente aplicado à extensa gama de fenômenos.

Se o que define essencialmente a energia é a capacidade de realizar trabalho e se admitimos uma "vida psíquica" (ou uma "realidade psíquica") e um "trabalho psíquico", então podemos conceber uma energia psíquica (ou uma dimensão psíquica da energia), que se define pela capacidade de realização de trabalho psíquico, a capacidade de conhecer, imaginar, pensar, perceber, amar e odiar. Tais fenômenos psíquicos expressam-se também em atos físicos (ver Lowen no Capítulo IV) e, neste sentido, não há a necessidade de postular uma energia especial separada da energia da física. O que há de especial são as configurações, extremamente complexas e dinâmicas, envolvendo simultaneamente alto grau de organização e de caos, típicos da vida psíquica[86]. Mas a questão permanece: o cérebro apresenta funcionamentos neurofisiológicos, com processos energéticos, associados à consciência. Como a consciência se relaciona com eles é objeto de muita especulação presente e ainda inconclusiva em várias disciplinas.

As experiências recentes, com aparelhos de produção de imagens por ressonância magnética (Magnetic Resonance Imaging - MRI), mostram claramente as zonas de atividade cerebral intensa, relacionadas com fenômenos psíquicos experimentados pelos pacientes e registrados em laboratório, e indicam que campos eletromagnéticos de baixa intensidade estão relacionados à estes fenômenos. Estes conhecimentos não são novos, os eletroencefalogramas já os indicavam há algum tempo. Nova é a ousadia com que as correlações entre atividade cerebral e atividade psíquica podem agora ser enfocadas. Investiga-se a possibilidade de amplificar os sinais associados a estes campos eletromagnéticos, e com eles produzir trabalho organizado, diretamente a partir da atividade psíquica. Seriam isto indícios da existência especial de uma energia psíquica e da interconversibilidade entre a energia "física" e energia dita "psíquica"? Ou seriam apenas indícios da continuidade entre as energias associadas às atividades psíquicas e às atividades físicas?

---

86 Uma maneira simplificada de indicar a dimensão psíquica da energia seria observada em comportamentos complexos, tal como, por exemplo, comer com garfo e faca. Cada ato, como cortar ou mastigar, envolve a realização de um trabalho físico particular e uma atividade psíquica relacionada. O conjunto dos atos no processo de comer está coordenado de tal maneira que a energia total dispendida é a soma das energias dispendidas nos atos particulares. Mas se cada um dos atos realizados fosse, ele próprio livre dos outros, descoordenado, então as energias dispendidas em cada um, e portanto na sua soma total, poderiam ser talvez maiores, porque sua probabilidade de ocorrerem num mundo caótico poderia ser menor menor e sua dificuldade relativa de realização num maior. A coordenação entre os atos, nesta visão resultaria numa energia total menor, só possível porque alguma energia foi dispendida no processo que levou à organização. Isto é teria havido um dispêndio energético associado ao controle que se associado aos gastos energéticos dos atos particulares resultaria numa soma total maior, que apenas não foi computada. O componente energético psíquico estaria pois associado à esta energia prévia de coordenação, às configurações que se expressam no psiquismo e ao seu poder de coordenar atos particulares. Isto seria similar ao que ocorre nos compostos complexos onde há uma energia de ligação dos átomos nas moléculas. A energia psíquica de integração seria, neste sentido, correspondente à energia de ligação das partículas na substância. Isto são meras especulações no entanto.

É possível também ver os sinais emitidos por estes campos eletromagnéticos como constituindo informação. A anexação do conceito de informação às explicações psicológicas, biológicas, sociais e econômicas baseadas no conceito de energia talvez permitisse ampliar nossa compreensão dos processos da vida e superar algumas das limitações das abordagens estritamente energetistas. Dito de outro modo, é possível imaginar que uma associação estreita entre os conceitos de energia e de informação forneça instrumentos teórico-conceituais úteis para a compreensão de fenômenos biológicos, sociais, e econômicos. Em um paradigma deste tipo estaríamos aptos a lidar simultaneamente com os aspectos "materiais" e os aspectos "mentais", através do uso das idéias relacionadas de energia e informação.

Em conclusão eu diria haver apenas um conceito de energia que, embora vago e um tanto misterioso na sua formulação ampla, tem definições precisas particulares na física, permtindo identificar várias formas de energia, interconversíveis entre si. Este conceito tem aplicações fecundas na biologia, na ecologia, na psicologia e nas ciências sociais, incluindo a economia. Em torno deste núcleo formado pelo "conceito" de energia da física orbitam, nestas últimas áreas de conhecimento, "idéias" menos formalizadas da energia, às vezes assemelhadas ou aparentadas aos usos leigos da palavra energia, mas dele distintas por serem formuladas, embora imprecisamente, no corpo de teorias e abordagens científicas.

Estas idéias-satélites, através dos insights que insinuam, podem contribuir para o desenvolvimento de uma formulação mais ampla do conceito científico de energia. Poderão auxiliar a compreender o importante papel da energia nos processos econômicos e sociais e, por aí, fornecer uma ferramenta conceitual integradora das diferentes disciplinas envolvidas no campo do planejamento energético e da conservação da energia.

A Energia e o Planejamento da Eficiência Energética

O planejamento da eficiência energética é uma atividade multidisciplinar cuja área de interesse vai desde a ecologia e as questões sociais até a política econômica e os sistemas tecnológicos. Colocar ecologistas, sociólogos, antropólogos, físicos e engenheiros, economistas e administradores reunidos em torno de uma mesa, usando uma linguagem comum, para debater questões de planejamento energético não é trivial. Tais questões, além dos problemas de comunicação entre os especialistas, envolvem orçamentos governamentais, investimentos de capital, interesses políticos e financeiros de grupos econômicos e aspirações das comunidades atingidas pelos empreendimentos energéticos. Mas a demanda por energia é essencial, e estas questões têm que ser resolvidas. Elas afetam o futuro da sociedade, e tem impactos sobre o meio ambiente. Isto implica que as questões de linguagem e os interesses envolvidos ultrapassam muito o mundo dos analistas de energia.

Os problemas energéticos envolvem questões complexas ligadas ao funcionamento da biosfera, da sociedade e da economia. Apesar disto recebem freqüentemente soluções políticas que visam apenas interesses econômicos nacionais ou regionais de curto prazo. Recentemente a situação mudou um pouco devido à preocupação internacional com o efeito estufa e as alterações climáticas globais. Mas a regra ainda é a visão particularista que dificulta o debate amplo: os técnicos e cientistas divergem em suas explicações e propostas, as soluções escapam a seu controle. O objetivo deste livro é contribuir para forjar uma linguagem comum entre os especialistas, e também difundir, entre os outros atores do cenário energético, uma consciência abrangente dos problemas da energia, da importância da eficiência energética e sua relação com questões sociais, com a qualidade de vida, o meio ambiente e o crescimento econômico.

O alcance teórico do conceito de energia pode diminuir as dificuldades de comunicação entre os analistas, forjando bases para uma consciência comum. A compreensão da conexão da energia com os problemas sociais poderá estender esta consciência aos outros atores

das questões energéticas, diminuindo dificuldades surgidas das diferentes abordagens teóricas e dos conflitos de interesses.

Uma visão abrangente da energia na sociedade deve focalizar não apenas os fluxos de energia convencionalmente incluídos nos balanços energéticos, mas também o conjunto dos fluxos energéticos entre as sociedades humanas e seu ambiente biofísico, e dentro das próprias sociedades humanas. Isto inclui a energia ambiental e a energia humana, além das energias comerciais ou tecnologicamente controladas.

A energia apresenta-se em múltiplas formas: calor, trabalho mecânico, energia química, energia radiante, etc. Em suas diferentes combinações, ela está presente no espaço e na matéria cósmicas, na luz das estrelas, na radiação solar, nos ecossistemas, no crescimento e multiplicação das plantas e animais, nos seres humanos, nas sociedades e suas economias sob grande diversidade de formas. Do ponto de vista do planejamento energético, podemos considerar todas estas manifestações agrupadas em apenas três modos, dos quais o planejamento energético atual só enfatiza um.

Os três Modos da Energia para o Planejamento Energético

O planejamento energético visa garantir e otimizar o abastecimento e o uso da energia pelas sociedades humanas e empresas. Até pouco tempo atrás havia apenas a preocupação em assegurar energia para o crescimento da economia. O importante era que a energia não fosse um fator restritivo. Recentemente este objetivo ampliou-se. Devido aos custos crescentes - econômicos, políticos e sócio-ambientais - dos empreendimentos energéticos, incluíram-se preocupações relacionadas aos impactos sociais e ambientais destes empreendimentos.

Nas sociedades industriais modernas a maior parte da produção provêm de máquinas acionadas por combustíveis e eletricidade. É natural que haja ênfase no fornecimento adequado destes energéticos. Grande parte da economia é controlada por mecanismos de mercado, e o dinheiro é o principal valorímetro para a mensuração dos níveis de atividade econômica, para as transações econômicas e mesmo para as valorações sociais. Estes dois fatores - a produção baseada em combustíveis e eletricidade, e o dinheiro como valorímetro - validam um planejamento energético quase exclusivamente voltado para a obtenção econômica eficiente destes dois grupos de energéticos.

Nesta perspectiva a energia é apenas um insumo para a economia. Este insumo é básico e demanda investimentos estratégicos. Os governos instituíram um setor energético da atividade econômica. O planejamento energético passou a ser um instrumento da política econômica. Através dele se garante o fornecimento eficiente de produtos e serviços energéticos vendidos no mercado como mercadorias. Os analistas de energia tendem a ver estes setor da economia como um sistema, o sistema energético, dotado de grande capilaridade, pois pervade todo o sistema econômico. Embora penetre toda a atividade econômica e possua interfaces importantes com o sistema natural, onde se apoia a economia, e com o sistema social, onde ela se encaixa, a motivação básica é a mesma: energia eficientemente fornecida para assegurar o funcionamento da economia.

Esta perspectiva, mais que estreita, é ilusória. Nenhum processo ocorre no mundo real sem transformação de energia. Todo o conjunto das atividades sociais (e das atividades do

meio ambiente), e não apenas a economia, depende de energia. O conjunto de fluxos energéticos que aciona a vida social e econômica é mais amplo do que os fluxos energéticos apresentados nos balanços energéticos convencionais. As relações entre a energia, a sociedade e a economia excedem a relação entre energia comercial (tecnologicamente controlada) e produção econômica.

As sociedades humanas estão enraizadas na biosfera e dependem dos mesmos fluxos de energia que a acionam (Capítulo III). Além disso, vivem da ação e do trabalho humanos que possuem, eles próprios, um componente energético essencial. O papel da energia nas sociedades excede, pois, amplamente os fluxos de energia tecnologicamente controlada na economia[87]. A afirmação de Spencer (Capítulo V) revela aqui toda sua fecundidade: tudo que ocorre numa sociedade depende das energias em torno não dirigidas pelos homens, das energias em torno dirigidas pelos homens, e das energias dos próprios homens.

As energias não-dirigidas em torno são as energias "naturais", que acionam os processos da natureza dos quais especialmente nos interessam os processos que ocorrem na biosfera. Denominamô-las assim, arbitrariamente, de "energias ecológicas", ou "energias do meio ambiente" ou ainda de "energia ambiental", pois acionam os processos ecológicos no meio ambiente. São representadas, entre outras coisas, pela radiação solar, pela energia de movimento da Terra que nos propicia os dias e as noites, pela gravitação terrestre e lunar que acionam as marés, pela influência dos ciclos da Lua nos processos terrestres, pelas estações do ano, a variação dos climas, os ciclos da água, do carbono, do oxigênio, e de outros materiais da biosfera, pelo crescimento e reprodução das plantas e animais, pela depuração das águas superficiais e dos lençóis freáticos, pela produção dos solos, e a produção e eliminação dos rejeitos metabólicos dos organismos. São as energias responsáveis pela vida na Terra. Neste complexo panorama energético-ecológico se insere também a vida social e econômica da humanidade, que, por sua presente magnitude no planêta, afeta o funcionamento de grande parte destes processos.

---

87 Num país industrializado, como a Inglaterra de nosso tempo, o consumo de energia comercial pode representar cerca de 100 vezes o consumo de energia humana, se calcularmos a energia humana unicamente em termos de seu valor calorífico e não em termos de sua capacidade de realizar trabalho de alta qualidade. Mas o fluxo de energia solar que atinge a superfície dos continentes, acionando a fotossíntese continental e constituindo, portanto, insumo essencial da agricultura, pode ser cerca de 10 000 vezes maior que o consumo médio de energia comercial pela humanidade (Slesser, 1975).

As "energias em torno controladas pelos homens" são uma parcela dos fluxos e estoques da energia ambiental, uma parte da energia da biosfera[88]. São energias controladas socialmente através de processos tecnológicos. A energia dos próprios homens também é controlada socialmente. Mas a sociedade "controla" apenas parte das energias dos seres humanos (outra parte é biologicamente controlada) e uma ínfima parte da energia ambiental (sendo o resto controlado por processos biosféricos ou mesmo cósmicos). Além disso, a sociedade controla fluxos de energia através de processos tecnológicos, como já disse. Parte da energia controlada tecnologicamente é vendida nos mercados, e pode ser contabilizada em unidades energéticas ou financeiras, e incluída nos balanços energéticos. Esta é a parte convencionalmente considerada no planejamento da eficiência energética.

Os balanços energéticos incluem, em geral, apenas as energias comerciais, aquelas controladas tecnologicamente e vendidas aos consumidores dos serviços energéticos. Neste caso, a energia é vista sob uma ótica econômica restrita que terá que ser ultrapassada pela percepção de que os problemas energéticos envolvem a questão do trabalho humano e a questão do meio ambiente. Tais questões extravasam a simples ótica econômica. Muitos programas de eficiência energética já reconhecem isto. O próprio PROCEL, o Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica, no Brasil, preocupa-se hoje em como a conservação de eletricidade pode gerar benefícios sociais e ambientais.

A conservação de energia poderá gerar benefícios sociais tais como melhorias nos níveis de emprego e renda dos trabalhadores e no nível da produção econômica. Poderá gerar também benefícios ambientais em termos dos impactos ambientais evitados porque se deixa de construir usinas, linhas de transmissão, e sistemas de distribuição e uso de energia que afetam o meio ambiente. A questão da eficiência energética inclui, pois, as questões sociais e ambientais, mas a perspectiva econômica ainda predomina.

A médio prazo, a energia do trabalho humano e a contribuição energética do meio ambiente talvez possam e talvez devam ser tratadas em termos energéticos, e não apenas econômicos, no contexto de um programa de eficiência energética. Seria o caminho para uma visão integrada da eficiência energética da sociedade humana em interação com o meio ambiente natural. Não nos ateríamos apenas à visão restrita da energia, exemplificada no planejamento e nos balanços energéticos convencionais, que por sua ótica estritamente eco-

88 Uma outra parte da "energia social", ou "energia socialmente controlada", é representada pela energia humana.

nômica, apenas expressa sua preocupação com os impactos sociais e ambientais porque estes têm um custo econômico.

Os balanços energéticos contabilizam fluxos de energia comercial. Os energéticos primários são obtidos da natureza, sucessivamente transformados, transmitidos de um lugar a outro, e distribuídos aos usuários. Em todas as partes deste sistema tecnológico e econômico de transformação de energéticos intervêm a energia do trabalho humano e a energia da natureza. Pessoas, além das máquinas, trabalham na extração do carvão, por exemplo, e também na obtenção, transformação e uso dos outros energéticos. Isto significa que há energia humana participando e contribuindo para controlar todas as partes do sistema energético convencional.

A luz do sol, o clima, as chuvas, e a temperatura ambiente, formas de "energia ambiental", embora não sejam economicamente contabilizadas, são parte normal das condições de operação da economia e do sistema energético. Isto vale para todos os energéticos, convencionais ou não - a lenha, o petróleo, o carvão, a hidreletricidade, a energia nuclear, etc., guardadas naturalmente as peculiaridades dos sistemas de produção, transporte, distribuição, e uso dos diferentes energéticos. Vale também para toda a economia: a agricultura, as florestas, e os pesqueiros são apenas os exemplos mais gritantes dos impactos da energia ambiental na economia.

Aparentemente estou dizendo o óbvio, mas é importante reafirmar que as energias que afetam a economia e a sociedade fazem parte de um todo, do qual o sistema energético convencional é parte. E, se a parte, o sistema energético, pela sua importância e magnitude, afeta o funcionamento do todo de um modo que repercute sobre a operação do próprio sistema energético, então uma perspectiva mais ampla se impõe. Um exemplo localizado disto ocorre no caso de grandes barragens construídas numa mesma bacia hidrográfica que, afetando o meio ambiente e o microclima local, podem influir no regime de chuvas, na vazão do rio, e, conseqüentemente na operação das próprias usinas hidrelétricas. O caso mais geral é o do aumento do efeito-estufa que, como possível conseqüência das atividades humanas e do uso de energia pela humanidade, poderá afetar o clima global, repercutindo sobre a vida econômica e sobre os próprios sistemas energéticos.

Se buscamos eficiência energética, é a eficiência das sinergias entre a sociedade e o meio ambiente o que devemos buscar. Não interessa apenas a eficiência das partes fragmentadas - energética e econômica - de um sistema global. Esta, se concebida de forma estreita, pode causar "alergias" ao sistema global, gerando "danos" ao funcionamento dos processos energéticos "organizados" de alta qualidade como o trabalho dos seres humanos e o funcionamento da biosfera.

A energia comercial tecnologicamente controlada não será estudada aqui por ser objeto da maioria dos livros sobre energia. Tal modo da energia será aqui apenas referido como o conjunto de fluxos de energia tecnologicamente controlados. Este conjunto inclui tanto as energias altamente "tecnológicas", como a energia nuclear, quanto as energias "naturais" do sol e dos ventos, na medida em que estas últimas sejam tecnologicamente controladas, por exemplo, através de refletores solares ou cataventos.

A energia dos seres humanos é a energia essencial em todas as sociedades, mesmo que não seja quantitativamente a mais importante. A energia do trabalho social e da ação humana em geral, seja diretamente como fonte de energia mecânica, seja como expressão de sentimento, emoção, e capacidade de comunicação, seja como energia de controle dos processos de transformação de outras energias, isto é, como capacidade de decisão, é o motor básico dos processos sociais. A consideração da energia humana como fonte de trabalho na economia apresenta problemas de mensuração já referidos no capítulo VI. A consideração da energia humana na plenitude de suas diversas dimensões apresenta também problemas teóricos e conceituais ainda não resolvidos, como capítulos anteriores o demonstraram. Voltarei ao tema.

As atividades econômicas e sociais repousam num "mix", isto é, numa combinação - as vezes sinérgica, as vezes alérgica, para o meio ambiente e para a sociedade - dos três modos da energia. Enquanto o meio ambiente permanece relativamente estável para uma dada formação social, fornecendo regularmente energia e materiais e reciclando os rejeitos e o lixo - condições estas evidentemente idealizadas, pois o ambiente e a sociedade são dinâmicos - ele não constitui um problema especial para o planejamento econômico e energético. Enquanto a força de trabalho, apesar da condição de permanente conflito social em que usualmente sobrevive, não é percebida como particularmente atingida pelas conseqüencias de um sistema intensivo em energéticos comerciais, ela também não é problema para o planejamento da eficiência energética. Mas a consciência da situação vem mudando.

Os sistemas energéticos afetam e danificam o meio ambiente, a sociedade energia-intensiva afeta a energia de alta qualidade do trabalho humano e do comportamento das pessoas. A visão anterior, de que a energia era puramente uma questão tecnológica para resolver um problema econômico, era uma ilusão tecnológica à serviço de uma ilusão econômica. Em vez de solucionar problemas energéticos e econômicos pode piorá-los, gerando a necessidade de mais energia para solucionar os problemas sociais e ambientais agravados pela incorreta visão e pelo mau uso da própria energia. A este respeito podem ser relembradas as reflexões dos capítulos V e VI sobre os limites da eficiência energética.

A confiabilidade do meio ambiente e da força de trabalho como fontes de energia de alta qualidade está - ou sempre esteve - ameaçada. Daí a precariedade deste tipo de planejamento energético. Mas as ilusões podem durar algum tempo, especialmente quando elas fazem parte de um grande negócio. E a energia comercial e a tecnologia em geral são um grande negócio num mundo capitalista e tecnológico.

As tecnologias de energia tem enorme poder na moldagem dos sistemas sociais. As formas em que a energia é fornecida condicionam os processos de produção e os comportamentos sociais. Estes, por sua vez, reforçam os sistemas de abastecimento energético. As próprias inovações tecnológicas, e sua difusão, são influenciadas pela totalidade social e econômica. Ou, visto por outro ângulo e dito de outra forma, o processo de produção condiciona os modos básicos de fornecimento de energia para a reprodução econômica e social. Há uma situação de reforço mútuo que, apesar da dinâmica das inovações, impõe certa inércia aos sistemas energéticos comerciais e, conseqüentemente, ao planejamento da eficiência energética. Mas a irrupção da consciência ecológica e a contínua fricção gerada pelas questões sociais associadas à energia são um desafio inescapável à esta visão restrita do planejamento da eficiência dos sistemas energéticos.

Lenski e Lenski (op.cit.) opinam que as mudanças nas tecnologias básicas, estudadas em grande número de sociedades, estão correlacionadas a (e foram capazes de explicar) cerca de 67% das mudanças em outros aspectos do sistema social. A variável tecnológica é, pois, poderosa, e a tecnologia é um importante meio de conversão de energia, ainda que não seja a única fonte de conversão. Outros aspectos do sistema sóciocultural, como as relações sociais

e as ideologias, também tem relativo poder na regulação dos fluxos de energia que abastecem as sociedades.

O efeito combinado das inovações tecnológicas (especialmente daquelas ligadas à informatização e à eficiência energética), dos conflitos sociais, e das questões ambientais deverá nos conduzir a situações dinâmicas de alta complexidade para o planejamento energético. Um programa de eficiência energética deve levar em consideração esta complexidade. A visão "social" da energia, por exemplo, é um importante elemento para as atividades de educação e marketing de um programa de conservação de energia. A dinâmica futura do meio ambiente terá também forte papel regulador nas formas de "produção" e uso da energia comercial; logo a perspectiva ambiental é, também, básica para a eficiência energética. Assim, embora as tecnologias sejam importantes, o campo de atuação dos programas de eficiência energética é bem mais amplo.

Uma perspectiva de planejamento da eficiência energética que se concentrasse apenas na energia tecnologicamente controlada acabaria por reforçar a mesma ideologia que apóia apenas o desenvolvimento tecnológico. Esta ideologia, por sua vez, tende a justificar o funcionamento de um sistema de produção e de um processo de acumulação econômica que reforçariam a estrutura do sistema energético, transformando a eficiência energética apenas num retoque, numa espécie de maquiagem deste sistema, garantindo sobrevida a ele, mas postergando problemas inevitáveis. Tudo isto é a consequência de uma cadeia de realimentações positivas entre vários termos:

a) uma sociedade que produz mercadorias baseada no uso intensivo de tecnologia,
b) que necessita de grandes volumes de energia "tecnológica" para produzir e,
c) que induz uma visão meramente tecnológica da energia, a qual,
d) condiciona um planejamento da eficiência energética tecnicista e economicista que,
e) tem vôo curto, pois posterga o enfrentamento de problemas de escassez futura de energéticos, de impactos crescentes ao meio ambiente, e de conflitos sociais, tornando difícil convencer as pessoas que vá resultar em melhores condições sociais e melhor qualidade de vida.

Evidentemente, os programas de conservação de energia não têm poder de alterar uma situação muito mais ampla que eles e que lhes escapa ao contrôle. A atitude mais realista é, portanto, incluir estas preocupações entre seus objetivos e conjunto de atividades, fazendo

com que seus programas de educação, de marketing, e mesmo de desenvolvimento tecnológico e apoio à difusão de novas tecnologias contemplem, cada vez mais, as questões sociais e ambientais ligadas à cidadania, ao emprego, à qualidade de vida e à proteção ambiental. A compreensão da abrangência explanatória do conceito de energia facilitará o desenvolvimento desta atitude.

A Energia Ambiental nos Sistemas Agrícolas e Industriais

Os atuais sistemas industriais são radicalmente diferentes dos antigos sistemas agrícolas no que tange aos fluxos globais de energia que os alimentam. As sociedades agrárias eram baseadas em energia solar. A energia solar, enquanto energia difusa diretamente aproveitada para o crescimento das lavouras, por exemplo, é uma energia ambiental. Mas, quando é usada através do aproveitamento técnico da força da àgua e dos ventos pertence ao modo "tecnologicamente controlado". Em qualquer dos casos, esta era a energia básica usada nas sociedades agrícolas para a produção de alimentos e materiais (Capítulo V). Como os seres humanos abasteciam-se destes produtos de origem "solar", a energia humana era também de origem solar. Assim, a energia solar era a fonte básica da energização social. Os insumos e resultados da atividade social humana, incluindo os rejeitos metabólicos da sociedade, assemelhavam-se, pois, aos mesmos ciclos da energia na biosfera que acionam as atividades naturais. Nenhuma energia "nova" era acrescentada ao sistema sociedade-natureza.

Mesmo quando os materiais e os alimentos fluíam, em grande quantidade, para as cidades, concentrando-se nelas e possibilitando a existência de grandes contingentes de população, uma interação intensa, e um intenso metabolismo urbano e artesanal (Sjoberg op.cit.), em termos ecológico-energéticos, nenhuma energia "nova" era acrescentada ao meio ambiente. A fonte básica da energia usada era a mesma que acionava os ecossistemas. Assim, as taxas de "produção" e "consumo"[89], tomados estes conceitos em seu sentido ecológico, permaneciam equilibradas.

O sistema industrial é radicalmente diferente. Energia fóssil é acrescentada ao sistema natural, permitindo maiores concentrações de atividade. A concentração do "metabolismo" no sistema industrial é muito maior, porque a energia dos combustíveis fósseis é acrescentada à energia solar (socialmente controlada ou não). No sistema industrial a humanidade vive do

89 Aqui, por "produção" entende-se a produção de biomassa, de matéria viva; e por "consumo" o processo de respiração, através do qual a matéria viva se mantém, em termos energéticos, no sentido definido no capítulo III, de oxidação da matéria orgânica, com liberação de energia, usada para a manutenção da vida. No longo prazo, produção e consumo estão em relativo equilíbrio nos ecossistemas.

combustível fóssil. Ela organiza quase todos os seus negócios produtivos com maquinária industrial. Todas as partes desta maquinária são metabolicamente consumidoras de energia, pouco devolvendo em termos de energia disponível aos ciclos ambientais. "Mesmo a agricultura é dominada pela maquinária e pelas indústrias que fornecem equipamentos, pesticidas, ferramentas e serviços" (Odum, 1971).

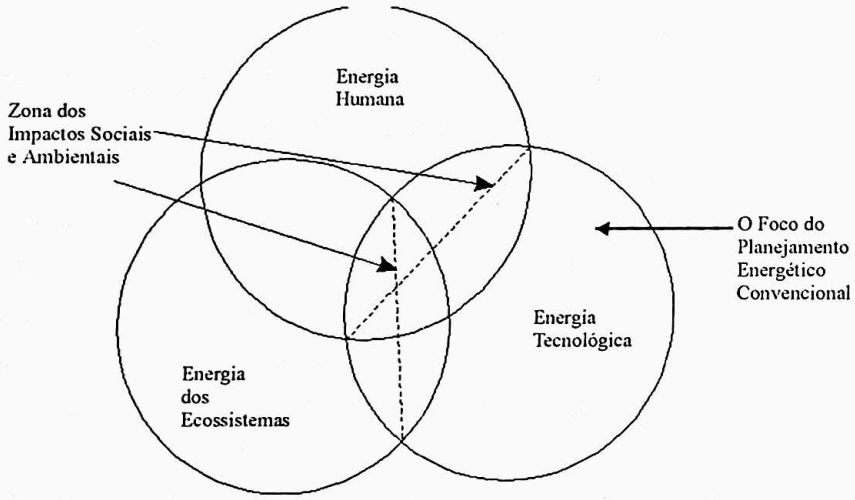
O sistema humano tem, então, "consumo" em excesso sobre a "produção". Os produtos da "respiração" - dióxido de carbono, água metabólica e rejeitos orgânicos mineralizados - são descarregados em taxas que excedem sua reincorporação na matéria orgânica viva através da fotossíntese. "Se o sistema urbano industrializado fosse encerrado numa câmara, apenas com o ar que está, no momento, em cima, ele rapidamente exauriria seu oxigênio, seria soterrado em lixo, sufocado em seus rejeitos, e destruiria a si próprio, dado que não possui o padrão de reciclagem do sistema agrário" (Odum, op.cit.). Este "impasse" potencial do sistema industrial não está sendo evitado, está sendo postergado. Para se manter vivo, o sistema industrial atual precisa que a natureza hipercompense sua tendência intrínseca à destruição ambiental. Ou então, atingidos certos limites, terá que transformar seu modo de interação com o ambiente terrestre. Este é um dos papéis futuros que a conservação de energia e a busca da eficiência energética terão que desempenhar.

Não citei Odum para criticar o sistema industrial; isto é ocioso agora. Sabemos que ele tem uma certa razão. As dúvidas são quanto ao tempo em que este sistema pode sobreviver e quanto às transformações necessárias para que este tempo se amplie. O que critico é a visão do planejamento energético que não atenta para a combinação dos três modos da energia. O crescimento econômico, onde e quando é possível e desejável, depende da combinação destes três modos. Depende do ser humano, do meio ambiente, e da tecnologia.

É ilusório pretender que apenas expandindo a oferta de energia comercial ou aumentando a eficiência tecnológica de seu uso se assegure as possibilidades energéticas de crescimento econômico contínuo. A oferta de energia não pode ser continuamente aumentada pelas restrições em termos de recursos energéticos. Não é que a energia não exista; o que ocorre é que o custo energético da obtenção de energia livre aumenta (Capítulo VI). Além disso, há os limites ambientais. Por outro lado, o aumento contínuo da eficiência energética está restrito por

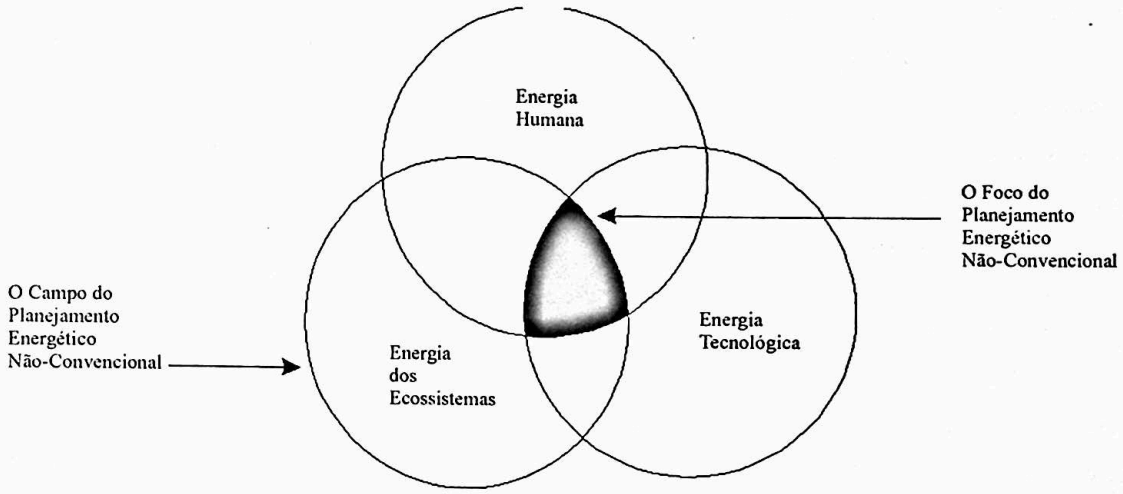
leis naturais. Quanto ao crescimento continuado, a não ser que se alcance uma forma ainda não entrevista de desenvolvimento sustentável, pode ser mais uma miragem, pois tanto os seres humanos em sua dimensão social, quanto o meio ambiente em sua dimensão ecológica cobrarão seus custos.

Figura 7.1 : A VISÃO DO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO CONVENCIONAL



Se considerarmos os três modos da energia em interação, como na Figura 7.1, veremos que o planejamento energético convencional focaliza sua atenção no círculo C. Quando surgem "problemas" nas áreas A e B, relacionados ao suprimento e uso da energia, os planejadores convencionais os visualizam como "impactos sociais e ambientais" da produção e uso da energia, isto é, como uma espécie de fatores limitantes ou restritivos, que devem ser minimizados, e não como falta de "sinergia" entre as três áreas. E, no entanto, a busca de sinergia seria a busca do aproveitamento da eficiência máxima conjunta dos três modos da energia. Diferentemente, uma visão abrangente do planejamento energético deveria, em termos ilustrativos, considerar a união dos três círculos, como na Figura 7.2.

Figura 7.2 : O Campo do Planejamento Energético Integrado



Numa visão não-convencional, o foco do planejamento energético estaria na busca da integração ótima dos três modos da energia. Esta poderia ser visualizada como a área de interseção dos três círculos, se imaginássemos um gradiente de eficiência crescendo, em todos os círculos, em direção ao centro da figura. O campo deste tipo de planejamento energético incluiria as três áreas em sua totalidade, ou seja todos os três modos da energia.

A energia humana

Com o objetivo de preservar a vida e desfrutá-la, os seres vivos captam a energia disponível no meio ambiente. Se olharmos a vida como sendo caracterizada pelo esforço para viver, diríamos que os seres vivos esforçam-se por obter aquilo que lhes dá a capacidade de realizar esforço. Para isso se valem dos recursos comportamentais e fisiológicos de seus próprios corpos e mentes. Estes recursos variam de uma espécie para outra, refletindo especializações do comportamento e adaptações ambientais, que se fixaram ao longo da evolução biológica.

Também o ser humano procede similarmente. Contudo, ao longo de seu processo evolutivo, parece ter havido uma tendência recente à não especialização física (e à plasticidade mental) que o dotou de grande capacidade adaptativa. Correlacionada à esta tendência, houve desenvolvimentos neurológicos, que permitiram aos indivíduos humanos um comportamento instintivo menos rígido, mais plástico[90].

Se associarmos a isto a capacidade para a simbolização, expressa, por exemplo, na fala articulada, teremos um ser capaz de imaginar e postergar (elaborar, sublimar) suas reações instintivas, e escolher entre alternativas. Se assim é, a um corpo não especializado se associa uma memória viva, igualmente plástica. Quando os homens primitivos fazem uso de instrumentos, estas capacidades somáticas e projetivas são exteriorizadas. A cultura deriva desta capacidade simbólica, e do poder de exteriorização da capacidade mental. Parte da mente, por outro lado, deriva da interiorização da cultura.

"Por meio dos instrumentos, este generalista que é o homem consegue exercer diferentes especialidades. Lâminas, flechas, anzóis, remos e outros propulsores podem ser encarados como garras, dentes, nadadeiras, braços, etc., bastante especializados para algumas funções precisas, mas que, a qualquer momento, podem ser substituídos ou postos de lado e depois retomados quando necessário"(Puiseux, citado por Bôa Nova, 1986).

Este processo de exteriorização do corpo humano, que parece marcar toda a evolução técnica da humanidade, envolve a energia humana. Os aspectos mais perceptíveis desta são a exteriorização da força muscular, do calor humano e da linguagem (Bôa Nova, op.cit.). A excitação do sexo é também experienciada como uma forma de energia. Além disso, sendo os seres humanos mamíferos, suas crias têm que ser alimentadas: parte da energia humana das mães transforma-se em alimento - o leite materno - que flui do corpo delas para o corpo do bebê humano.

"Entretanto o homem não exterioriza apenas o seu corpo, mas também - e principalmente, sua memória: cada produto do trabalho humano tem o seu modo de uso, cada habilidade tem o seu *know-how*. E ao se exteriorizar, a memória deixa de pertencer ao indivíduo, e passa a integrar o patrimônio do grupo social, onde será transmitida e aprendida por meio da linguagem" (Bôa Nova, op.cit.).

---

90 Há indicações de que boa parte dos neurônios pode ser gravado e apagado (Mascarenhas, 1978).

A memória e sua exteriorização podem ser vistas como constituindo um estoque e "fluxos" de informação, especialmente de informação simbólica, isto é, informação dotada de significação. "Com o correr do tempo histórico, a exteriorização da memória se irá ampliando e ganhando complexidade: tradição oral, representações pictóricas, escrita, bibliotecas, imprensa, fotografia, cinema, fonografia, bancos de dados..." (Bôa Nova, op.cit.). Ou em uma palavra, resumiria eu , "informação".

Para se referir ao motor subjacente a estas capacidades, a literatura psicológica e sociológica utilizou os termos energia humana, energia psíquica e energia sexual. O quadro pintado a partir das contribuições destas disciplinas não é sempre harmônico. Podemos falar da energia humana como capacidade de ação, de trabalho; da energia psíquica como capacidade de atenção, imaginação, pensamento, expressão, coordenação de atividades; e da energia sexual ou libido como a capacidade para o amor e os afetos. Devido à fragmentação do conhecimento científico numa multiplicidade de disciplinas, não temos uma visão teórica integrada da energia humana habilitando os seres humanos a agir, amar e pensar simultaneamente.

Por isso, por um lado, coloquei as contribuições da biologia e da fisiologia referentes à energia do metabolismo humano e à capacidade de realização de trabalho físico humano. Por outro, coloquei a contribuição da psicanálise referente à libido, a suposta energia do amor. E quanto à "energia" dita psíquica da consciência, do conhecimento e do pensamento, ficam, apenas sugestões quanto à sua possível ligação com a sublimação da energia instintiva e com a capacidade simbólica. Eu poderia repetir aqui as conjecturas de Jung sobre o papel conversor de energia dos próprios símbolos, enquanto expressões da energia psíquica. Mas permanece a sensação de que há enormes lacunas nestas abordagens.

Minhas conjecturas sobre a energia humana também são parciais e precárias. Pode-se ver a energia psíquica, ou parte dela, como a capacidade de organização de energias físicas. Por exemplo, quando ando de bicleta, sem as mãos no volante, percebo que meu próprio desejo de uma trajetória imprime a meu corpo movimentos espontâneos que dirigem a bicicleta, quase automaticamente naquela direção. É como se algo, anterior a meu pensamento, mas não o próprio pensamento, apenas uma espontaneidade ou intenção, orientasse meu corpo, orientasse a ação física, o uso da energia física. Outras pessoas, contudo, podem duvidar desta

minha interpretação e julgar que o pensamento, expresso como vontade, é o que dirige a trajetória. Em qualquer dos casos, há algo que organiza o emprego da energia física.

Um exemplo, talvez mais claro, desta capacidade de coordenação, derivada do psiquismo, é dado por remadores num barco. Se eles remam descoordenamente, a trajetória do barco é errática e a eficiência final é quase nula, embora cada um deles empregue toda sua energia no esforço. Mas, se eles remam de modo coordenado, isto é, se eles se comunicam, os esforços se integram. Embora a energia física total, utilizada, seja, em princípio, apenas um somatório da energia dos remadores, o resultado é completamente diferente. A coordenação acrescenta algo, uma espécie de energia zero, que, no entanto, gera um efeito em termos de trabalho. Creio que o psiquismo realiza, ao menos em parte, trabalho semelhante com as energias físicas do corpo, colocando em comunicação uma infinidade de processos energéticos. Esta comunicação, possívelmente, envolve também energia.

Retornando às visões parciais, inicio a análise da energia humana por seus aspectos termodinâmicos, mas os referirei, em seguida, a aspectos psicológicos, sociais e econômicos.

Aspectos Termodinâmicos da Energia Humana

Nos países desenvolvidos, desde algum tempo atrás, dietistas, atletas e a grande quantidade de obesos se preocupam com o número de calorias dos alimentos. Mas no mundo subdesenvolvido, a preocupação com calorias é, muito freqüentemente, uma preocupação com o problema da fome. No Primeiro Mundo, onde se produz a maior parte dos conhecimentos que norteiam os avanços científicos da humanidade, esta é uma preocupação com estética e saúde. Nos países subdesenvolvidos é uma questão de sobrevivência. Mas tanto a existência bem cuidada dos ricos quanto a subsistência descuidada dos pobres dependem de noções adequadas sobre a energia que precisa ser ingerida e usada pelas pessoas, e sobre a energia de trabalho que elas podem oferecer à sociedade.

Seguindo uma sugestão de Morowitz (op. cit), imaginemos em volta de cada homem (gordo ou magro) uma superfície que conceitualmente separa a pessoa - ou sistema termodinâmico - do ambiente, chamado pelos físicos de "o resto do universo". Matéria e energia fluem através desta superfície hipotética. O especialista em termodinâmica costuma analisar tais fluxos e referí-los às mudanças no sistema. Faz a contabilidade das massas e da energia.

Na termodinâmica clássica ou de equilíbrio, um conhecimento desta contabilidade define o sistema em muitas de suas propriedades mensuráveis (Morowitz, op. cit.). No entanto, os organismos vivos são o exemplo, por excelência, dos sistemas em equilíbrio instável (Capítulo III), e a teoria destes sistemas encontra-se ainda em seus estágios iniciais. Assim, o poder do método é limitado; mas se ele não leva à compreensão total do problema, pelo menos permite certos "insights".

A lei da conservação da massa afirma que as mudanças de massa no sistema são iguais à soma total dos fluxos que atravessam sua superfície. O alimento ingerido representa o maior influxo de massa, ao passo que os gases da respiração, as fezes, a urina e a água superficial evaporada representam os maiores escoamentos materiais. Segundo a lei da conservação da energia, a mudança do conteúdo energético do sistema é igual ao total dos fluxos de energia que atravessam a superfície limite. O principal influxo de energia (não é o único importante) é a energia química dos alimentos ingeridos, enquanto os principais escoamentos são o calor, o trabalho externo, o calor de evaporação da água emitido na fase de vapor, e a energia química da matéria excretada. Fluxos de massa e de energia relacionam-se, pois, completamente; um fato há muito reconhecido através da atribuição de uma unidade de energia - a caloria - aos alimentos.

Vimos, no tópico sobre os processos energéticos nos seres vivos (Capítulo III), o que acontece à energia dos alimentos ingeridos, ou, mais propriamente, à energia química do alimento e do oxigênio inspirado em relação ao seu estado de equilíbrio termodinâmico, consistindo de dióxido de carbono e água. Esta energia é: (1) usada para manter o organismo em um estado de equilíbrio (instável); (2) usada para trabalho externo; (3) armazenada principalmente como hidrocarbonetos, isto é, gorduras (especialmente no Primeiro Mundo); (4) eliminada como fezes, que ainda possuem alto potencial químico (energético). E, a meu ver, pois Morowitz não inclui este aspecto; (5) para crescimento e reprodução.

O primeiro dos casos citados compensa os efeitos destruidores da segunda lei da termodinâmica. O ser humano é um objeto instável e sobrevive na natureza apenas onde os elementos de ordem lhe permitem a vida. Mas existe também na natureza uma tendência desordenadora universal, que faz sucumbir estruturas ordenadas conduzindo-as ao equilíbrio, o esta-

do de desordem (termodinâmica) máxima. Esta tendência atua também no interior do sistema humano, como de qualquer sistema físico macroscópico. Para compensar esta tendência, o organismo trabalha continuamente para reconstruir suas estruturas. Este componente da contabilidade energética é mantido pelo metabolismo basal e, presumivelmente, representa a energia necessária para que o organismo se mantenha em certo estado de ordem viva, para impedir que o organismo se decomponha.

A luta entre os sistemas ordenados e a tendência entrópica garante-nos que, se pararmos de comer, nossa massa corporal diminuirá. Isto porque o dióxido de carbono é produzido e expelido quando combustíveis armazenados - como o açúcar - são convertidos na energia necessária para manter a organização molecular do sistema, isto é, manter a própria vida (Morowitz, op.cit.). A conquista evolucionária de um sistema altamente responsivo (capaz de produzir respostas rápidas) e, portanto, muito competitivo, levou-nos à beira de um desastre entrópico, sendo-nos necessário um fornecimento constante de combustível e oxigênio para superar o colapso. O oxigênio, por não ser armazenável em forma duradoura, torna-se a exigência mais premente.

Outra característica da manutenção é a estabilização da temperatura do corpo em um valor constante, geralmente mais alto que o do ambiente. A temperatura média do corpo humano gira em torno de 36,5 graus centígrados, e a média do meio ambiente terrestre é em torno de 15 graus centígrados. Como existe um fluxo espontâneo de calor do corpo mais quente para o mais frio, há uma perda constante da energia do sistema, que também precisa ser compensada.

Uma outra fração da energia produzida pela ingestão de alimentos é usada para trabalho mecânico, que pode ser interno ou externo em função de nossa superfície limite imaginária. Como exemplo de trabalho interno temos os movimentos musculares ligados à respiração, circulação do sangue e digestão. Como trabalho externo temos, se considerarmos nossa superficie limite conceitual: andar, correr, levantar, escalar e atividade similares. Estas atividades, por sua vez, envolvem simultaneamente toda uma gama de atitudes, sentimentos e emoções expressados e reprimidos (controlados ou não), que possuem também uma dimensão de trabalho interno.

Os músculos são máquinas moleculares que convertem o potencial químico dos materiais ingeridos em trabalho mecânico. A folha de balanço termodinâmico da atividade muscular já foi estudada em profundidade, mas o processo de contração muscular ainda não é inteira-

mente compreendido. Tanto a expressão quanto a repressão, já o vimos no Capítulo IV, parecem corresponder a movimentos e tensões musculares[91]. Estes ocorrem mesmo quando há completa repressão de emoções, pois esta repressão implica movimento muscular freando movimento muscular. Desta fração da energia, usada para aquilo que em sentido físico denominamos trabalho mecânico externo, sai uma outra fração de trabalho físico que compreende as atividades de lazer e de trabalho no sentido social e econômico do termo: a atividade expressiva e produtiva. Esta última envolve componentes afetivos e organizativos.

Mesmo as sociedades tecnologicamente avançadas, onde a energia mecânica humana - medida em termos caloríficos - representa cerca de 0,5% a 1% da energia total controlada, isto é, do consumo de energia comercial, dependem da energia humana de seus membros componentes que, sob forma muscular, é usada como energia ordenada (de alta qualidade) para acionar e controlar os sistemas energéticos e tecnológicos destas sociedades. Esta energia é também usada no comportamento expressivo, no jogo de relações sociais e nas atividades psíquicas que integram a conduta de trabalho e acompanham toda a ação humana. É a pequena fração da energia total que mantém estas sociedades funcionando, dirigindo e controlando a "máquina social"[92], ou seja, acionando os sistemas energéticos que alimentam a vida do "organismo social".

Assim, pode-se dizer que mesmo as sociedades de tecnologia mais avançada são ainda sociedades baseadas no trabalho humano. Embora a maior parte da energia social usada nestas sociedades provenha de fontes extrassomáticas, e a maior parte da produção derive de máquinas, as energias de controle, pelo menos em teoria, provêm do trabalho humano, assim como a direção da produção. O comportamento de trabalho humano se origina inicialmente no psiquismo, no emprego da energia dita psíquica, mas se expressa, ao final, como trabalho mecânico de origem muscular. Mesmo no caso da atividade puramente intelectual, cuja análise completa terá que aguardar um melhor entendimento da natureza da atividade

---

91 Ver Capítulo IV, "A Energia na Psicologia", especialmente o tópico dedicado a Lowen, sobre os componentes voluntários e involuntários do comportamento.

92 Pode-se dizer que, por outro lado, o conjunto do funcionamento da máquina social - incluindo as influências culturais e os "determinismos" históricos, exerce também controle sobre a energia dos homens, que, muitas vezes, é vista como energia de "controle". Não nos esqueçamos que o sistema cultural, através de sua estrutura normativa, por exemplo, exerce controle social sobre os comportamentos individuais, sobre os papéis sociais, e que estes últimos envolvem dispêndios organizados de energia humana.

psíquica e um maior desenvolvimento teórico das relações entre energia e informação, existe um componente que se expressa fisicamente, isto é, em termos de energia física. É possível inclusive interpretar em termos puramente físicos ao menos importante parcela da atividade cerebral.

Pode-se mensurar diretamente o conteúdo energético do trabalho físico realizado por um ser humano em condições controladas. Pode-se também avaliar, grosso modo, a parcela da energia humana capaz de ser destinada a trabalho físico, se descontarmos da energia ingerida a energia necessária para manutenção, crescimento e reprodução do organismo e, em seguida, estimarmos as eficiências médias de certas atividades físicas. Pode-se ainda avaliar indiretamente o conteúdo energético do trabalho intelectual, e também do trabalho físico, contabilizando todos os gastos de energia necessária para suportar o trabalho intelectual, ou o trabalho físico, e qualquer combinatória de ambos. Isto envolve não só computar os custos em energia direta, aquela que alimenta imediatamente o processo em questão, mas também os custos energéticos indiretos, aqueles necessários para fornecer os bens e serviços que abastecem um ser humano, tais como os custos energéticos dos alimentos, roupas, equipamentos, e dos insumos para produzir tais coisas, incluindo os custos energéticos da própria energia[93].

Mas voltando aos alimentos, há ainda outra fração de sua energia que é eliminada como energia química das fezes, material que tem, aproximadamente, a mesma energia calorífica (mas não o mesmo potencial químico), por massa unitária à seco, que o alimento ingerido. Um exemplo do uso deste tipo de energia é dado pelo hábito de, em algumas partes do mundo, usar estrume animal seco como combustível. Isto não significa que a energia dos alimentos seja igual, por unidade de massa, à das fezes. Significa apenas que nosso método de medir energia através da queima do material, através meramente de seu poder calorífico, é inadequado em muitas situações.

A maior parte do que pode restar como energia, se a alimentação for excessiva em relação aos gastos energéticos, é armazenada no organismo como componentes: principalmente carbono e hidrogênio. Estes costumam se acumular no corpo sob forma de gorduras, mas isto só costuma ocorrer em grande escala nos países ou locais onde a alimentação é abundante e o trabalho muscular intenso escasso para a maioria da população, ou seja, nos

93 À primeira vista parece impossível computar os custos energéticos de todos os insumos que participam de um determinado processo, incluindo os custos energéticos da própria energia usada para produzir estes insumos. Isto parece implicar uma regressão ao infinito, e de fato implica. Mas existem métodos matemáticos para fazer esta computação usando álgebra de matrizes e análise de insumo-produto.

países em que a energia puramente mecânica do trabalho humano vai sendo, ou foi, substituída pela máquina, acionada por energia comercial.

Sabe-se que um indivíduo humano em exercício moderado "consome" cerca de 300 kcal por hora. Isto, em cerca de sete horas, tempo em que, se estima, poderia manter este esforço, perfaria 2100 kcal e corresponderia a 180 kg de ATP produzidos e utilizados em seu metabolismo (Amabis et alii, 1975). Um "consumo deste teor é apenas uma medida indireta do trabalho que poderia ser realizado por este indivíduo, pois parte das 300 kcal por hora corresponde à energia de manutenção e a calor dissipado". O trabalho mecânico externo efetivamente exercido por este indivíduo é mais difícil de ser mensurado. Embora possamos medir movimentos e cargas, forças e distâncias, há uma série de contrações e movimentos musculares que correspondem a emoções ou movimentos involuntários, que também representam trabalho e que acompanham os movimentos efetivamente implicados no trabalho a ser mecânicamente mensurado. Neste caso é mais fácil medir os resultados do que os esforços efetivamente realizados.

Os problemas da inclusão da energia humana em balanços energéticos

Quanto ao consumo calorífico para realização do trabalho humano em várias situações, é possível estimar médias entre os extremos: indivíduo em repouso e indivíduo em esforço intenso[94]. Obviamente estas medidas variam com o porte, o sexo, a idade, as condições ambientais, e a nutrição dos indivíduos. Mas permanece possível conhecer o "consumo" médio global de calorias por indivíduo em diferentes tipos de atividade. Pela primeira lei, descontando a energia média de manutenção (metabolismo basal) e a perda média de energia por calor dissipado durante a atividade, teremos a contribuição média da energia individual (I). Se multiplicarmos tal medida pela população de um dado país, ou por sua população economicamente ativa, teremos o valor médio da contribuição da energia humana, em calorias, para o

94 Existem tabelas que fazem corresponder médias de "esforço", ou de gasto de energia por unidade de tempo, às diferentes profissões e famílias ocupacionais. Neste sentido restrito e neste contexto "esforço" e "potência" são similares.

conjunto do potencial energético deste pais (II). Esta não é uma medida direta de trabalho, mas é similar à medida da contribuição das fontes comerciais de energia em unidades caloríficas

Dados deste tipo não são normalmente incluídos nos balanços energéticos, embora em muitos países a contribuição da energia humana, mesmo medida apenas de forma comparável àquela em que se mediu a energia das fezes, seja extremamente importante. Há países onde a contribuição da energia humana, assim mensurada, excede a das fontes tecnológicas de energia. Se, por exemplo, assumirmos um consumo de energia comercial per capita de 6 MJ/dia para o Paquistão e 2 MJ/dia para a Etiópia, veremos que estes valores representam 0,6 e 0,2 respectivamente do consumo somático médio de energia (Newcombe, 1976).

As coisas mudam de figura se medirmos o trabalho físico realizado por um indivíduo em Joules - uma medida de energia mecânica. Isto é possível para determinadas categorias ocupacionais na construção civil, por exemplo. É teoricamente possível, embora praticamente complicado, medir quanta energia em Joules usa um servente de pedreiro para carregar um caminhão com tijolos. É também possível fazer isto para outras atividades profissionais deste servente de pedreiro, tais como empurrar um carrinho de mão, ou suspender um balde de cimento na corda. Se fosse prático fazer coisa equivalente para as todas as categorias ocupacionais de um dado sistema de produção, teríamos a contribuição energética humana para este sistema em Joules (III)[95].

Esta medida é diferente de II, a contribuição da energia humana em calorias. Ela parte diretamente do trabalho físico efetivamente realizado. As perdas já estão descontadas. A energia humana medida em calorias (II) mostra um consumo calórico que inclui uma estimativa da eficiência térmica do organismo humano. Inclui também as perdas de trabalho útil em gestos inúteis, os movimentos e gestos, involuntários ou não, que acompanham o desempenho de uma atividade qualquer, além das perdas em calor dissipado, já incluídas na estimativa da eficiência térmica.

Ambos os tipos de medidas - II e III - seriam relevantes, mas o primeiro tipo - II - não só é mais factível, como responde também pela energia usada no sem número de movimentos, gestos e atividades que, embora não relevantes do ponto de vista puramente pragmático ou

95 Para isto necessitaríamos de um perfil ocupacional da sociedade - um sistema de classificação das diferentes categorias e famílias de ocupações, e o contingente humano em cada uma delas - para atribuirmos a cada indivíduo ocupado um valor médio de contribuição energética. O produto deste valor médio pelo número de indivíduos na categoria em questão dá a contribuição energética da categoria. A soma das contribuições energéticas das diversas categorias dá a contribuição em energia mecânica da força de trabalho para o balanço energético de uma dada sociedade. Os valores são médios porque diferentes indivíduos têm potências diferentes e realizam diferentemente seus trabalhos. Este método é muito pouco prático. As dificuldades práticas de medir o trabalho físico exercido em cada categoria ocupacional seriam grandes.

econômico, podem ter significação social, na medida em que fazem parte - em termos expressivos e simbólicos - do mundo significante da interação social e da comunicação.

O segundo tipo de medida - III, o trabalho físico humano medido em Joules - torna-se mais e mais afastado da contribuição real do trabalho humano à medida que avançamos de profissões manuais para atividades intelectuais. As atividades mais intelectualizadas podem dispender menos energia física, medida deste modo, mas podem contribuir mais para configurações energeticamente eficientes no sistema de ação social devido a seu valor organizacional.

Isto coloca, portanto, outro problema. Ao avançarmos nesta escala, do manual para o intelectual, aparecem contribuições energéticas, que podem ser pequenas, se medidas em calorias ou Joules, mas que podem ter grandes conseqüências para o funcionamento dos sistemas de ação social e os sistemas energéticos que os apóiam. Neste sentido, estas energias têm alta qualidade, pois funcionam como gatilhos de processos energéticos mais amplos. Possuem uma capacidade de coordenação e têm grande importância se medidas do ponto de vista dos sistemas de ação que, funcionando como energias de controle, governam.

Aparece, portanto, ainda uma outra questão: a da hierarquia dos sistemas de ação social, dos sistemas energéticos que a suportam e que ela controla. É a questão do poder. Nesta hierarquia cada nível de poder governa sistemas de ação mais abrangentes e "potentes" que outros. Isto tem a ver com a estrutura de poder e com a estratificação social, ou dito de outro modo, com máquinas sociais em que certos atores - indivíduos ou grupos - controlam (ou influem sobre) a ação de outros indivíduos e grupos. Numa sociedade tecnológica, o controle dos sistemas industriais e dos sistemas energéticos e informacionais, baseados em uso de máquinas, determinará (e será também condicionado, em grande parte por) esta estrutura de poder.

Para avaliar a energia envolvida em tais sistemas de ação dependemos, por um lado, das estruturas sociais em que se apoiam, e, por outro, das diferentes fontes de energia que alimentam estas estruturas sociais. Para produzir e suportar um sistema energético que inclui uma usina hidrelétrica e seus controladores é necessária uma enorme quantidade de energia social cuja importância pode ser avaliada (não medida) pelo volume de energia que a usina poderá

liberar[96]. Por outro lado, um dos controladores da usina, com um pequeno dispêndio de energia, através de um toque dos dedos, pode acionar o fornecimento de enormes quantidades de energia. Mas este operador, um controlador de fluxo, é, por sua vez, controlado pela "máquina social" e pela estrutura de poder, da qual constitui uma peça.

Se tomarmos o conjunto das fontes energéticas de um país, incluída a energia dos sistemas naturais e do trabalho humano, teremos certeza de que todas as estruturas sociais e de poder (a organização social e política como um todo) deste país estarão sendo por elas alimentadas. Vimos, entretanto, as dificuldades práticas de estimar a contribuição do trabalho humano. Na realidade, é também difícil estimar a contribuição da energia ambiental, mas não impossível. No momento só é prática corrente medir, com alguma precisão, embora com dificuldades metodológicas, a energia comercial. Assim caímos num círculo vicioso.

Uma tentativa de sair deste círculo vicioso seria adicionar a energia do trabalho (ou da ação) humano aos balanços energéticos. Tomaríamos o consumo energético final de um país, tal como é dado por um balanço energético convencional, sem a inclusão da energia humana. Anexaríamos a ele a energia humana da força de trabalho (ou da população, conforme o objetivo) obtida em calorias (II) e multiplicada por uma eficiência média do organismo humano como conversor. Esta forma de medir, como já vimos, não dá idéia do trabalho real (ou das atividades) efetivamente realizado pela mão de obra (população), mas daria indiretamente uma idéia do conjunto possível de atividades econômicas (e sociais) que este contingente poderia realizar.

Desta forma melhoraríamos a visão dos fluxos de energia que alimentam a sociedade e a economia de um país. Mas ainda estaríamos longe do valor real destes fluxos. Não estaríamos incluindo a contribuição da natureza e estaríamos incorrendo em dupla contagem. Parte da energia usada na agricultura, por exemplo, vem da natureza, parte vem do trabalho humano, parte vem dos energéticos comerciais. Da energia dispendida na agricultura uma parcela se incorpora aos alimentos efetivamente produzidos por ela ou transformados na indústria. A energia humana provêm basicamente destes alimentos, desta forma estaria havendo dupla contagem. A energia humana adicionada aos balanços já inclui, por exemplo, energia comercial.

96 Espera-se, embora a sociedade usualmente não faça este cálculo, que a energia a ser fornecida pela usina exceda a energia gasta em sua construção, aí incluídas as energias indiretas. Para ser útil, um empreendimento energético deve fornecer energia líquida. A este respeito é interessante mencionar que já se colocaram dúvidas quanto à capacidade de certos tipos de reatores nucleares fornecerem energia líquida, quando se incluem entre seus custos energéticos os gastos com a solução do problema dos rejeitos radiativos e a desativação das instalações da usina após o término de sua vida útil.

Mas como isto ocorreu num ciclo anterior o erro não é grande. Erro similar ocorre em relação aos fluxos ambientais que participam em várias fases do processo econômico.

Incluindo apenas a energia humana teríamos um balanço corrigido (IV). Esta correção será tanto maior quanto menor for a energia comercial per capita do país em consideração. Assim, a correção será maior nos países menos desenvolvidos e menor entre os industrializados. Dividindo este valor pela população teremos um novo valor de energia *per capita* com uma variância entre os diferentes países menor que o tipo antigo. Esta forma de proceder significa a inclusão da energia humana final nos balanços baseados em energia final.

Mencionei no capítulo VI os estudos que algumas universidades vem desenvolvendo sobre a contribuição energética útil de diferentes categorias ocupacionais. Se atribuirmos a cada estrutura social um certo número de categorias profissionais básicas e incluirmos suas contribuições energéticas, caminharemos no sentido de um balanço de energia humana útil. Evidentemente há ainda muito trabalho a fazer neste sentido.

Quando se tenta avaliar a contribuição das energias não dirigidas dos ecossistemas há, do mesmo modo, também, muita coisa por fazer. Contudo, os balanços globais da radiação solar numa área e da produção primária dos ecossistemas considerados fornecem os dados balisadores das estimativas. Se considerarmos as principais formas de interação de cada aspecto básico do sistema social com o meio ambiente, podemos estimar com maior precisão a contribuição do meio ambiente. Odum (1971) trabalhou nesta direção. Pode-se estimar, por exemplo, a contribuição da energia solar e da chuva para a agricultura. Pode-se adicionar a isto a contribuição solar para a formação de florestas e especular como ela contribuiria para a formação das zonas de pesca, mas permanece nebuloso, por exemplo, o modo de incluir a contribuição da energia ambiental dos processos da biosfera e da crosta terrestre para a formação de depósitos minerais. Caminhar nesta direção lança-nos cada vez mais contra os limites explanatórios da energia, não porque a explicação energética esteja errada, mas porque torna-se pouco prática pelas dificuldades de mensuração de sua contribuição nos processos mencionados.

Notas sobre a relação entre energia e informação

Vimos, ao longo dos seis capítulos anteriores, que uma estreita ligação entre a energia e a informação surge freqüentemente em diferentes contextos intelectuais. Nos mitos primitivos, o fogo - metáfora da energia - está também associado ao conhecimento - a informação. A posse do fogo permite a superação da animalidade e a ascenção a um novo estágio de conhecimento. O fogo é o pai da civilização e conduz ao domínio das técnicas. Na verdade, o controle do fogo pode servir também como metáfora da energia psíquica, no contexto da qual o fogo dos instintos é controlado através do pensamento simbólico, permitindo a transformação da matéria psíquica. E novamente aí vemos a associação entre a energia e a informação.

Na física a entropia surgiu como uma medida da qualidade da energia, de sua capacidade de produzir trabalho. A mecânica estatística interpretou a entropia como tendência para a desordem. A informação, na teoria da informação, foi quantitativamente definida em termos da incerteza média num conjunto (entropia). A medida de informação é uma diferença entre entropias. Shannon, um dos criadores da teoria da informação, chamou a incerteza média de entropia - usando o mesmo nome da termodinâmica - por ter derivado uma equação para a incerteza similar à equação da entropia na mecânica estatística. Com isto deu origem, ou melhor, botou mais lenha na fogueira, a um conjunto de especulações à respeito da analogia entre informação e entropia negativa.

Na verdade, a relação teórica entre a entropia termodinâmica, uma medida da qualidade da energia e a informação, uma medida de um estado de conhecimento, antecedeu a teoria da informação. Maxwell, em 1871, havia conjecturado sobre um ser diminuto capaz de observar o estado de movimento molecular num sistema em equilíbrio térmico. O pequeno demônio usando sua informação sobre a velocidade das moléculas separaria as moléculas "quentes", velozes, das moléculas "frias", lentas, gerando uma diferença de potencial e portanto energia disponível a partir de uma situação de indisponibilidade. Isto seria uma violação da segunda lei da termodinâmica.

O demônio de Maxwell, (ver bloco no capítulo II) concebido para desafiar a interpretação estatística da entropia, usava informação para gerar organização termodinâmica e energia livre. Vários autores, incluindo Norbert Wiener, um dos pais da cibernética e também precursor

da teoria da informação, exploraram a ligação entre a entropia termodinâmica, de um lado, e a organização e a informação associadas a um sistema, de outro[97].

A noção de entropia como tendência para a desordem permite focalizar certos tiposde energia como consistindo de movimentos ordenados, dotados de organização intrínseca. A energia cinética, em certas situações, corresponde ao movimento ordenado de conjuntos de moléculas (ou partículas). O trabalho mecânico corresponde a uma mudança (ordenada, em geral) na configuração, isto é, no estado de organização do sistema (no qual ele ocorre). A eletricidade envolve movimento ordenado de elétrons. Mesmo o calor, interpretado como (estado de agitação térmica ou) movimento desordenado das moléculas, só é capaz de realizar trabalho na medida em que haja uma diferença de temperatura, e portanto um estado de ordem subjacente ao fluxo relativamente ordenado de calor do corpo mais quente para o mais frio.

Na biologia a associação entre energia e informação ocorre em inúmeras situações, das quais enunciarei algumas. Os processos energéticos básicos dos seres vivos são regulados pelo ATP, e o modo como o organismo produz o ATP determina sua inserção ecológica (capítulo III). Embora o ATP seja referido como uma molécula energética, neste papel de regulador ele pode ser visto como um mecanismo informacional que regula o processo energético básico do organismo; aquele de obtenção de energia para compensar a entropia. Ora, o modo de produzir ATP é determinado pelo código genético, um estoque de informações que controla também processos informacionais.

Quanto à inserção do organismo no sistema ecológico, cada espécie ocupa uma certa posição na cadeia alimentar. A energia que suporta os processos energéticos no sistema ecológico "flui" através da cadeia alimentar. Ao longo deste fluxo há simultaneamente dissipação e aumento da qualidade da energia. A dissipação é o preço energético para que uma parte da energia experimente um aumento de qualidade.

Desde o início como radiação solar difusa até os últimos estágios da cadeia alimentar, a energia vai sendo concentrada em cada estágio de conversão. Paralelamente, ao longo da cadeia alimentar aparecem estruturas orgânicas cada vez mais complexas (com exceção dos

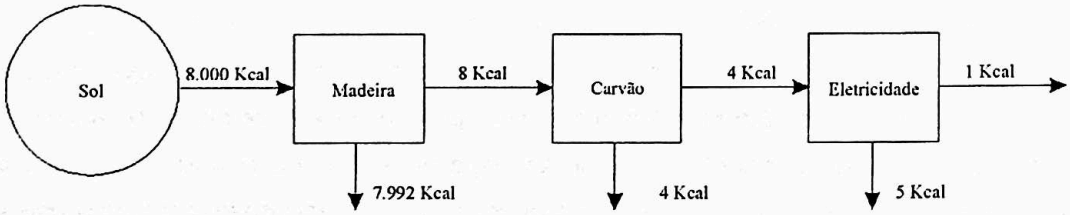
97 A informação na teoria da informação de Shannon corresponde à informação-mensagem de Passet, mas segundo este último (op.cit.) existem também outros tipos de informação: a informação-estrutura ou organização e a informação-estruturante, aquela que gera a organização (capítulo III). Outros autores fornecem várias outras formas de classificação da informação (Campos Machado, 1994)

decompositores) que convertem esta energia. Recorrendo à idéia de informação-estrutura é possível hipotetizar que o conteúdo informacional destas estruturas cresce simultaneamente com sua complexidade. Odum é de opinião que a energia é usada para construir organização biológica e ecológica e que esta organização é correlata da quantidade de informação armazenada nos diferentes níveis da cadeia.

Ao longo da cadeia alimentar no sistema ecológico haveria assim uma concentração gradual da energia (com perdas crescentes), que pode ser vista como um aumento da qualidade desta energia. A isto corresponderia um aumento do conteúdo informacional das estruturas que processam esta energia. A mesma visão da ecologia poderia ser estendida aos processos sociais. Odum (1979) mostra que 8000 kcal de radiação solar fornecem 8 kcal sob forma de madeira, que depois de ação geológica produzem 4 kcal de carvão, que numa usina termoelétrica servem para gerar 1 kcal equivalente de eletricidade.

Na primeira conversão foram degradadas 7992 kcal, quando se gerou a madeira. Na segunda conversão, metade das calorias da madeira se degrada no processo de formação de carvão, e na terceira 75% da energia do carvão é dissipada para gerar a eletricidade, forma de energia considerada de alta qualidade pois pode ser quase inteiramente convertida em trabalho.

Figura 7.3: Uma cadeia de aumento da qualidade da energia



Fonte: Odum, 1971

Ainda no campo da biologia, também ao nível do comportamento dos organismos aparece uma associação freqüente entre a energia e a informação. Segundo Passet há dois

ciclos básicos de fluxos de informação que regulam o comportamento: um ciclo de realimentações interno e um ciclo de realimentações externo. Estes ciclos estão acoplados (capítulo III). O comportamento, que envolve dispêndios energéticos ordenados, é portanto suportado por um conjunto de fluxos energéticos regulados por fluxos de informação. É a expressão de uma associacao íntima entre energia e informação.

Quando focalizamos as sociedades humanas imersas no meio ambiente natural podemos, do mesmo modo, visualizar seu comportamento como a expressão de um conjunto de processos energéticos regulados por processos culturais. Os processos energéticos prolongam os fluxos naturais da energia nos fluxos da energia do trabalho humano e de outras fontes controladas pelo trabalho humano. Estes fluxos são parcialmente regulados por processos biológicos e ecológicos (mencionados acima) e parcialmente controlados por processos culturais. Se considerarmos a cultura como consistindo de estoques e fluxos de informações - especialmente de informações simbólicas, novamente surge a estreita ligação entre os processos energéticos e informacionais.

Nestes últimos comentários modifiquei em parte a ordem expositiva dos tópicos correspondentes aos capítulos deste livro. Preferi falar da energia e da informação na sociedade humana antes de falar de ambos no psiquismo humano. A vida psíquica está associada a processos biológicos e culturais. As emoções, sentimentos e afetos correspondem a fluxos corporais da energia mas têm um componente cultural. Têm relação também com percepções, fantasias, imaginação e pensamento - processos informacionais que têm um correlato energético cerebral correspondente, captado em eletroencefalogramas e outras imagens da atividade cerebral. Todos estes processos psíquicos envolvem conteúdos informacionais (percepção, memória, conhecimento) e energéticos. Parte preponderante deles inclui o que denominamos de informações simbólicas culturalmente produzidas e transmitidas. Por isso, aqui a energia psíquica, seja lá o que ela for, com seu conteúdo ou seu paralelo informacional associado, é tratada depois dos processos sociais[98].

Na verdade, creio que todos estes processos energético-informacionais, nos diferentes níveis em que foram considerados aqui, deveriam ser focalizados em conjunto, como um todo,

98 No capítulo VI tratei da energia na produção econômica. Vimos que parte da contribuição energética do trabalho humano poderia ser enfocada também como informação.

simultaneamente, numa perspectiva holista, porque interagem uns com os outros. Meu recorte é puramente acadêmico, analítico, serve apenas para dar ordem ao discurso, organizando a discussão dos assuntos em tópicos. Estes exemplos sugerem, na pior das hipóteses, que a associação freqüente e íntima entre processos energéticos e informacionais é um tema relevante.

Não se trata de saber apenas se a relação entre informação e entropia negativa é um fato real ou mera semelhança formal (analogia matemática). Tribus e McIrvine, num artigo clássico de 1971, discutiram extensivamente este ponto. Aqui o enfoque é ligeiramente diferente. Sugiro que a associação freqüente entre a energia e a informação não só indica uma relação íntima, embora aparentemente contraditória entre as duas, como sugere a possibilidade de se encontrar uma terceira entidade ou quantidade que combine as duas dimensões. É possível imaginar um índice de "vitalidade" que associe as dimensões energéticas e informacionais de um sistema e que seja útil para a descrição do comportamento de sistemas complexos. Denominei-o índice de vitalidade porque imagino que energia e informação associadas possam descrever o grau de vitalidade de um sistema.

Nas sociedades contemporâneas, muitos fluxos da energia tecnológica são essencialmente complexos. Envolvem grandes sistemas de captação, conversão, distribuição e uso da energia, que abarcam quase toda a tessitura social como uma teia de capilares. Tais sistemas - o sistema elétrico é um exemplo - são tão controlados que dispomos de dados detalhados para sua contabilização minuciosa. Os resultados desta contabilização - informação - são apresentados nos balanços energéticos[99].

99Um sistema elétrico, numa economia nacional, inclui usinas que convertem a energia potencial da água ou a energia química do petróleo e do carvão ou ainda a energia nuclear do urânio em eletricidade. Esta eletricidade tem sua voltagem corrigida em subestações transformadoras para ser transportada até os centros de carga, as cidades, indústrias e regiões, onde se situam os domicílios e as empresas consumidoras. Antes de ser distribuída, entretanto, a eletricidade tem sua voltagem novamente corrigida, em subestações distribuidoras, para a tensão adequada a seu uso. Destas subestações segue para os pontos em será utilizada em máquinas, motores, lâmpadas, transformadores, condicionadores de ar, computadores, equipamento de comunicação, etc. Tudo isto é bastante trivial. Mas o impressionante é pensarmos que toda esta estrutura tecnológica e material em que a eletricidade é produzida, transportada e consumida está intimamente associada a outra estrutura muito mais tênue e pervasiva no tempo e no espaço: uma estrutura do espírito humano coletivo, do conhecimento social que permitiu a descoberta das leis da energia e da eletricidade, os avanços tecnológicos que permitiram o controle e o uso desta fonte de energia, da incontável multidão de espíritos humanos individuais, associados ao longo da história, e que tornaram possível o empreendimento elétrico como um todo.
É também perturbador pensarmos nas energias psíquicas sintonizadas de algum modo da multidão organizada de indivíduos que participa diretamente do processo de produção, transmissão, distribuição e uso da eletricidade. São os inumeráveis pontos do sistema social em que cada pessoa, família ou empresa toma decisões que afetam todo este sistema. Pense-se na íntima vinculação de todas estas decisões ao sistema climático, talvez maiores ainda no caso da eletricidade de origem hídrica, onde o clima afeta ainda mais diretamente o regime de produção. Imagine-se também a sua vinculação aos mercados internacionais de petróleo e ao comércio internacional de carvão.
Deste modo, a "simples" estrutura material de sistema elétrico está associada à um hipercomplexo sistema de relações humanas e de comunicação humana espraiando-se na história e na geografia. Um sistema regula o outro, o sistema elétrico, em particular, e o energético, em geral, regula a sociedade humana, e esta "controla" o sistema energético, ele próprio um subsistema de processos energéticos muito mais amplos. Ao sistema tecnosférico da eletricidade associa-se o sistema noosférico da mente humana que participa intimamente do processo elétrico civilizatório. Se as sociedades e as mentes do conjunto de participan-

Não contabilizamos a participação da energia humana em balanços energéticos devido às dificuldades mencionadas. Não incluímos também a participação das energias não-dirigidas em torno, pelos fatos óbvios de não serem usualmente mensuradas e de que freqüentemente não somos conscientes delas em toda sua extensão e importância. Assim, não há informação consciente, em nível institucional, sobre estes modos da energia regulando o comportamento do sistema energético. Os governos "desconhecem" estes fatos. Na verdade, só passamos a nos preocupar consistentemente com o meio ambiente, em nível de governo, na medida em que os sistemas naturais emitiram sinais de distúrbio ou colapso das atividades que interessam à vida e afetam a economia humana.

Nossas tecnologias, em certos momentos, em vez de gerar as sinergias que conduziriam à verdadeira eficiência energética - aquela de harmonia conosco mesmos e com o meio ambiente - parecem causar verdadeiras alergias no meio ambiente que se apresenta externamente ferido e internamente fragilizado, incapaz de recuperação, em muitos pontos. São manifestações de irritação e sensibilização do sistema global - "humanidade-natureza" - em que habitamos. A busca da sinergia envolveria a obtenção da informação, a pesquisa e, neste sentido, os programas de conservação de energia poderiam contribuir bastante explorando mais a estreita ligação entre os processo energéticos e informacionais na sociedade humana.

Por isto, a visão abrangente do planejamento energético, que aqui proponho, não é uma visão limitadora do crescimento econômico, como, por exemplo, os antigos opositores da visão ecológica poderiam imaginar. A sociedade da informação que atualmente se esboça poderá dotar as economias de um melhor conhecimento dos processos da natureza e, se souber respeitar a contribuição do trabalho humano não gerando desemprêgo massivo, poderá abrir um caminho de crescimento econômico. Talvez a visão integrada da eficiência energética seja, na verdade, a condição para o crescimento econômico equilibrado, se considerarmos o planeta e a humanidade como um todo.

Usando energias naturais a humanidade viveu muito tempo sinergicamente com o meio ambiente. Talvez não houvesse então nenhum sentido em fazer a distinção que propus entre os três modos da energia, pois as energias tecnologicamente controladas eram da mesma origem

---

tes do hipersistema elétrico se conturbam é o próprio fornecimento da eletricidade que estará em risco. Se o sistema elétrico em si mesmo é um sistema complexo, o sistema sócio-cultural que lhe dá origem e o envolve é um sistema hipercomplexo.

natural que a energia humana e as energias ambientais em torno. Mas o homem industrial, recorrendo às energias fósseis e ao urânio, obteve o subsídio de novas fontes de energias naturais, tecnologicamente controladas, que se acrescentaram aos fluxos tradicionais da energia na biosfera.

Os fluxos tecnológicos da energia tornaram-se suficientemente importantes para propiciar uma aceleração histórica na intensidade das transações entre a cultura humana e a natureza terrestre. Estes fluxos de energia são contabilizados como mercadorias no armário da natureza. Torna-se mais fácil individualizá-los, separá-los, medir sua importância, amputando-os do resto da orquestra energética da vida. Mas a verdade é que a separação é nebulosa. Por exemplo, a energia da radiação solar usada pelas plantas para produzir biomassa não é convencionalmente contabilizada quando se faz um balanço energético convencional. Mas é contabilizada quando se trata de produzir eletricidade por efeito fotovoltaico. É portanto uma energia não-dirigida em torno, no primeiro caso, e uma energia tecnologicamente controlada no segundo. As dificuldades são familiares. Permanece, no entanto, interessante separar os três modos da energia como um recurso para enfocar e contabilizar cada um deles adequadamente, obter informação sobre eles, e incluí-los todos no campo do planejamento da energia.

Conclusão

A energia é uma entidade estranha, onipresente e evasiva. Suas dimensões, por vezes, fazem-na ter fronteiras nebulosas com os domínios do conhecimento - via informação - e da matéria. Por isto, se torna interessante manter vivos os sentidos leigos e míticos em que estas conexões aparecem. A visão leiga e a visão mítica da energia são imprecisas, mas poderosas. Quando o leigo usa a palavra energia para se referir à voz de comando que revela energia moral, ou à santidade como a posse de energia espiritual, estes termos têm sentido impreciso mas possuem um parentesco útil com o conceito científico de energia. Revelam dimensões insuspeitadas da noção de energia e abrem caminho para desenvolvimentos científicos futuros.

Pesquisar a contribuição da energia humana e, no contexto desta, a natureza da energia psíquica, podem ser tarefas úteis. Futuramente computadores e outros dispositivos eletrônicos poderão, talvez, ser controlados diretamente pelo pensamento e, assim, indústrias inteiras poderão ser dirigidas com energia mental. Isto é, na verdade, exatamente o que já ocorre hoje através do emprego de técnicos e burocratas. Mas, talvez numa antevisão sinistra se possa visualizar indústrias inteiras sem as intermediações "desnecessárias" dos burocratas, técnicos e operários. Este é o espectro que pesa sobre a sociedade da informação.

O retorno ao mito

Quando Kanassa - o guerreiro do mito Kuikuru - procura o fogo, busca engenho e poder que superem a animalidade. Busca soluções para seus problemas, imagina truques com os quais ilude os animais, dá nome aos animais, e, assim, ao nomeá-los, os recria, recriando também, desta forma, a si próprio. Usa a engenhosidade de seu pensamento e a plasticidade de seu corpo para construir seu mundo. O caminho, no entanto, não é sem perigos. O conhecimento tem seus custos.

Quando Prometeu concede o fogo aos humanos, estes constróem a civilização, ameaçando elevar-se ao nível dos deuses. Mas, paralelamente, a caixa de Pandora é aberta e libera todos os males que vêm a afligir a humanidade. Prometeu é condenado a ser acorrentado a um rochedo por toda a eternidade. Ele será, no entanto, libertado por Hércules, um herói ou semideus, filho de um deus com um humano. Quereria isto dizer que para se libertar das condenações que o conhecimento e o controle da energia impõe, os seres humanos teriam que ser verdadeiros heróis?

Quatro grandes problemas humanos, de escala mundial, e de difícil solução, se ligam atualmente ao uso da energia. A concentração do uso intensivo da energia comercial por parte de algumas nações em prejuízo de outras e, dentro da mesma nação, o uso opulento dos benefícios da energia pelas elites, em detrimento da escassez de bens e serviços gerados pela energia, enfrentada pelos pobres, é o primeiro destes problemas. A ameaça de guerras generalizadas ou localizadas decorrente do controle de grandes quantidades de potência para uso militar é outro. A problemática da escassez de recursos naturais, da poluição e do desequilíbrio do meio ambiente global é o terceiro. E, por fim, a economia altamente tecnológica, da informação, intensiva em energia comercial, gerando desemprego maciço é o quarto.

Todos estes problemas ligam-se diretamente à energia. A força dos mitos antigos reaparece em versões contemporâneas. A idéia do crescimento econômico ilimitado, não pautado por nenhuma ética, entregue exclusivamente às forças de mercado, que, segundo alguns, permitiria aliviar as pressões da falta de energia, da guerra, da poluição, e do desemprego, como um novo mito parece, ela própria, acarretar os problemas que deveria resolver. O crescimento desatinado pode não trazer mais energia livre para alimentar o sistema humano e pode, ele mesmo, estar dificultado para a humanidade como um todo. As nações ricas não souberam controlar as guerras localizadas e não garantiram ainda enterrar para sempre o emprego de armas nucleares. E o crescimento do consumo mundial de energia - pelo qual são responsabilizadas hoje as nações pobres, pois os ricos já abocanharam seu quinhão, associado aos desmatamentos e às emissões de produtos químicos tóxicos, ameaçam desequilibrar o meio ambiente global gerando novas condenações.

O próprio Sísifo reaparece transfigurado nas legiões de donas de casa, empregados subalternos, funcionários e servidores encarregados a cada dia de limpar, rearrumar e reordenar os imensos sistemas de entropia social em que se transformaram as cidades contemporâneas. A cada noite, isto é, depois de cada virada do ciclo de produção, o sistema torna a se deteri-

orar, mais energia é dissipada e desordem é lançada sobre o meio. Nosso desafio é garantirmos que podemos lidar com as limitações termodinâmicas, continuando a garantir o ligeiro predomínio da organização sobre a desorganização que assegura a evolução da vida. As leis da termodinâmica não impõem a infelicidade, mas estabelecem limites para as maneiras de ser feliz.

Nenhum destes problemas pode sequer ser colocado sem referir-se à energia. O conceito de energia é uma instância necessária às suas soluções. É um elemento unificador de visões teóricas. Pode ser também um elo do diálogo necessário entre a sociedade e a vida, entre o espírito humano e sua inserção biológica na natureza. A energia pode ser uma só. É necessário, entretanto, focalizá-la em toda sua amplitude. Precisamos de uma visão da energia tal como a da epígrafe deste livro. A visão de Blake concedendo à energia uma dimensão cósmica, ontológica e vital. Blake era um poeta visionário, mas Freeman Dyson, um célebre astrofísico americano, assim se referia a ele em 1971:

"Ninguem precisa ser um poeta ou um místico para achar a definição de energia de Blake mais satisfatória que as definições dadas nos textos de física. Mesmo dentro da estrutura da ciência física a energia possui uma qualidade transcendente. Em muitas ocasiões, quando revoluções no pensamento demoliram velhas ciências e criaram outras novas, o conceito de energia provou ser mais válido e durável que as definições em que estava incorporado" ...

Prossegue Dyson: "na mecânica newtoniana a energia foi definida como uma propriedade das massas em movimento. No século XIX a energia tornou-se um princípio unificador na construção de três novas ciências: termodinâmica, química quantitativa e eletromagnetismo. No século XX, a energia aparecia de novo com um disfarce recente, desempenhando papéis básicos e inesperados, nas revoluções intelectuais gêmeas que levaram à teoria da relatividade e à teoria quântica. Na teoria especial da relatividade a equação de Einstein, $E = mc^2$, identificando a energia com a massa, lançou nova luz em nossa visão do universo astronômico; luz cujo brilho nenhum exagero jornalístico pode obscurecer. E na mecânica quântica, a equação de Planck, $E = h\upsilon$, restringindo a energia transportada por qualquer oscilação a um múltiplo constante de suas freqüências, transformou em um sentido ainda mais fundamental nossa visão do universo subatômico"...

Finaliza Dyson: "é pouco provável que as metamorfoses do conceito de energia e sua flexibilidade em propiciar nascimento a novas ciências esteja no fim. Não sabemos como os cientistas do próximo século definirão a energia, ou em que estranho jargão irão discutí-la. Mas independentemente da linguagem que os físicos usem, eles não estarão em contradição com Blake. A energia permanecerá, em certo sentido, a senhora e a doadora da vida, uma realidade transcendendo nossas descrições matemáticas. Sua natureza permanece no coração do mistério de nossa existência como seres animados num universo inanimado" (Dyson, 1971).

Notas Bibliográficas

1. Abbagnano, N. - Sobre o conceito de energia, ver o verbete Energia, p. 314.
2. Morowitz, H.J., 1979 - Para uma interessante discussão de diferentes acepções leigas e científicas do conceito de energia, ver pp. 38-41; Morowitz reconhece cinco diferentes noções de energia, das quais só legitima o uso do conceito termodinâmico; para uma também interessante visão do efeito da entropia na desorganização da vida social, ver pp. 41-43.
3. Soto Hesles, J.B. e Motta Barros, E.B.,1984 - sobre a unicidade do conceito de energia, "a energia é uma, porém as realidades concretas (espaciais, temporais, sociais, etc.) em que ela está inserida são multiplas...", p 13; sobre a "associação" entre energia e informação "para liberar a potência precisamos de uma quantidade muito pequena de energia; a energia de comando, de alta qualidade ou informação", pp. 22.
4. Robers, J., in "Energia y Paradigma Econômico", sobre energia somática e extrassomática, ver p. 1.
5. Odum, H.T., 1985 - Para a relação entre energia dos combustíveis e energia natural na economia, pp. 15-36.
6. Odum, H.T., 1971 - Sobre o papel metabólico das sociedades humanas no meio ambiente, ver pp. 16-17.
7. Bôa Nova, A. C., 1985 - Para a cultura como exteriorização de capacidades, pp. 43-45.
8. Tribus, M. e Mc Irvine, E.C., 1971 - Para a discussão detalhada da relação entre energia e informação, ver o artigo clássico na Scientific American.
9. Mallmann, M. A. et alii, 1978 - Para uma análise da noção de sinergia e a ideia de alergia nos ecossistemas.
10. Dyson, F.J., 1971 - Sobre a visão da energia em Blake, p. 183.

Bibliografia

- ABBAGNANO, N.. Dicionário de Filosofia. São Paulo: Mestre Jou, 2a. edição, 1982.
- ADAMS, R.N. Energy and Structure: A Theory of Social Power. Austin/London: University of Texas Press, 1975.
- ADAMS, R. N. The Eighth Day: Social Evolution as the Self-Organization of Energy. Austin: University of Texas Press, 1988.
- AMABIS, Martho Mizuguchi. Biologia. São Paulo: Editora Moderna Ltda., 1975.
- BACHELARD, G. La Psychanalyse du Feu. Paris: Éditions Gallimard, 1949.
- BERNFELD, Freud, in "Encyclopaedia Brittanica". Chicago, 1974.
- BERTALANFFY, L. Von. The Theory of Open Systems in Physics and Biology, in "Science", vol. 111, 1950.
- BLAKE, W. Escritos de William Blake. Porto Alegre: LPM Editores, 1984, p. 25.
- BÔA NOVA, A. C.. Energia e Classes Sociais no Brasil. São Paulo: Edições Loyola, 1985.
- BRONOWSKI, J. The Ascent of Man. Washington/Toronto: Brown and Company, 1973.
- CABRAL, A. e NICK, E. Dicionário Técnico de Psicologia. São Paulo: Ed. Cultrix, 1974.

- CALABI, A. S. et alii. A Energia e a Economia Brasileira. São Paulo: Pioneira/Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas, 1983.

- CAMPOS MACHADO, A.,O Conceito de Energia: uma ferramenta para o planejamento energético. Tese de Mestrado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1987.

- CAMPOS MACHADO, A. Energy and Information in Society: a study of the relationships between energy and information in contemporary society\. Ph.D. Thesis, University of Pennsylvania, 1994.

- CAPRA, F. O Ponto de Mutação. São Paulo: Círculo do Livro S.A., pp. 156-179, 1986.

- CHAPMAN, P. Fuel's Paradise: energy options for Britain. New York: Penguin Books Ltd., 1975.

- CHILDE, V. G. Social Evolution. London: Fontana, 1963.

- CIPOLLA, C. M. História Econômica da População Mundial. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1977.

- COMMONER, B. The Poverty of Power: Energy and the Economic Crisis. New York: Bantam Books Inc., 1977.

- COOK, E. The Flow of Energy in an Industrial Society in Scientific American, No. 225, 1971.

- COPPE/Área Interdisciplinar de Energia - AIE/ Comunidade Econômica Europeia. Energia e Desenvolvimento, Rio de Janeiro: Marco Zero, 1986.

- COTTRELL, F. Energy and Society : the relation between energy, social change, and economic development. McGraw-Hill Book Company Inc., 1955.

- DARWIN, C.. A Origem das Espécies. São Paulo: Editora Universidade de Brasília/ Melhoramentos, 1982.

- DURANT, W. A Filosofia de Herbert Spencer. Rio de Janeiro: Tecnoprint Ltda.

- DYCHTWALD, K. Corpomente. São Paulo: Sumus Editorial, 1984.

- DYSON, F. J. Energy in the Universe in Energy: readings from Scientific American, San Francisco: W.H. Freeman and Co., 1979.

- ÉSQUILO, Prometeu Acorrentado, in Tragédias Gregas. Rio de Janeiro: Ed. Ouro, 1966.

- FEIGENBAUM, D. C. Uma Formalização das Condições de Reprodução do Sistema de Produção de Energia Social. Tese de Doutorado, Rio de Janeiro: Coppe, 1978.

- FERRATER MORA, J. Dicionário de Filosofia. Buenos Aires: Sudamericana, 5a, edição, 1962.

- FOLEY, G. The Energy Question. London: Penguin Books Ltd, 1976.

- GABEL, M. Energy, Earth and Everyone. San Francisco: Straight Arrow Books, 1975.

- GELLER, H., De CICCO, J., LAITNER, S., Energy Efficiency and Job Creation: The Employment and Income Benefits from Investing in Energy Conserving Technologies. The American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, 1992.

- GEORGESCU-ROEGEN, N. The Entropy Law and the Economic Process. Harvard University Press, 1976.

- GRIMAL, G. A Mitologia Grega. São Paulo: Editora Brasiliense, 1982.

- GRINEVALD, J. Le Dévelopement et la Révolution Carnotienne. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1980.

- GUILLAUMAUD, J. Cybernétique et Matérialisme Dialectique. Paris: Éditions Sociales, 1965.

- HOLTZ, R. Freud. in Encyclopaedia Brittanica, Chicago: 1974.

- ILLICH, I.. Energy and Equity. Ideas in Progress Series. Calder and Boyars, London: 1979.

- JACOBS, J. The Economy of Cities, London: Penguin, 1969.

- JUNG, C. G. On the Nature of the Psyche, from The Collected Works of C. G. Jung. volume 8, Bollingen Series XX, Princeton University Press, Princeton, 1973.

- JUNG, C. G. A Energia Psíquica. Vozes, 1987.

- KEMP, W. B. Flow od Energy in a Hunting Society. in Scientific American, 225, 1971.

- KIRK, G. S. e RAVEN, J. E. The Presocratic Philosophers. Cambridge, At the University Press, 1971.

- KRICHEVSKI, I. R. e PETRIANOV, I. V. Termodinámica para Muchos. Moscu: Editorial Mir, 1980.

- KUHN, T. A Estrutura das Revoluções Científicas. São Paulo: Editora Perspectiva S.A., 1975.

- LAGEMANN, R. T. Physical Science, Little. Boston, Brow and Company, 1963.

- LAPLANCHE, J. e PONTALIS, J. B. Vocabulaire de la Psychanalyse. Publié sous la diréction de Daniel Lagache, Paris: Presses Univérsitaires de France, 1971.

- LEACH, G. and SLESSER, M. Energy Equivalents of Network Inputs to Food Producing Processes. Glasgow: Mimeo, 1973.

- LENSKI, G. e LENSKI, J. Human Societies: An Introduction to Macrossociology. McGraw Hill Inc, 1982.

- LOMBARDO, M.A. Ilhas de Calor nas Metrópoles: o exemplo de São Paulo. Hucitec, 1985.

- LOTKA, A. J. Note on the Economic Conversion Factors of Energy in Proceedings of the National Academy of Sciences. vol. 7, pp. 192-197, 1921.

- LOTKA, A. J. Contribution to the Energetics of Evolution and Natural Selection as a Physical Principle, in Proceedings of the National Academy of Science., vol. 8, pp. 147-154, 1922.

- LOTKA, A. J. The Elements of Physical Biology. Baltimore: 1925.

- LOWEN, A., Bioenergética. São Paulo: Summus Editorial Ltda, 1975.

- LURIA, S.E. Life the Unfinished Experiment. New York: Charles Scribner' & Sons, 1973.

- MALMANN, M. A., Aguirre, R. A. e MAX-MEES, M. A. La Sinergia Humana como Fundamento Ético y Estético del Desarrollo (a modo de sinfonia), Desarrollos y Sinergias. San Carlos de Bariloche: 1978.

- MARX, K. Contribucíon a la Crítica de la Economia Política (Manuscritos de 1861-1863), in Capital y Tecnología. México: Ed. Terra Nova, 1980.

- MARX, K. O Capital. Livro I, vol. 1, Civilização Brasileira, 1980.

- MOROWITZ, H. J. A Essência da Vida. Rio de Janeiro: Livraria Francisco Alves Editora S.A., 1981.

- MASCARENHAS, S., Biofísica da Informação e Evolução da Inteligência. in Anais do Simpósio sobre FILOSOFIA DA CIÊNCIA. Academia de Ciências do Estado de São Paulo: Publicação ACIESP No 12, 1978.

- NEWCOMBE, K. A Brief History of the Concepts of Energy and the Use of Energy by Humankind. Mimeo-COPPE, 1976.

- ODUM, E. P. Energy Flow in Ecossystems: a Historical Review. in American Zoologist, 8, pp. 11-18, 1968.

- ODUM, H. T.. Environment, Power and Society. New York: Wiley Interscience, 1971.

- ODUM, H. T. e ODUM, E. C. Energy Basis for Man, and Nature. McGraw-Hill Book Company, 1976.

- ODUM, H. T. Energia e Sociedade. in Questões Energéticas 2, Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia - GT - Energia, ago/set, 1985, pp. 15-36.

- OSTWALD, W. The Modern Theory of Energetics. in The Monist, XVII, (4), pp. 481- 515, 1907.

- PASSET, R. L'Économique et le Vivant. Paris: Payot, 1979.

- PHILLIPSON, J. Ecologia Energética. São Paulo: Editora Nacional, 1977.

- PRIGOGINE, I. e STENGERS, I. La Nouvelle Alliance, Éditions Gallimard, 1979.

- RAISBECK, G. Information Theory. Cambridge: The Massachusetts Institute of Technology, 1966.

- RAMAIN, P. Réflexions Critiques sur les Bilans Energétiques. Paris: Éditions du Centre National de la Récherche Scientifique, 1977.

- RAPOPORT, A. What is Information?, Synthése. 9, pp. 157-163, 1953.

- REICH, W. L'Éther, Dieu et le Diable, Paris: Pétite Bibliothèque, Payot, 1973.

- REICH, W. A Função do Orgasmo. São Paulo: 12a. ed., Editora Brasiliense, 1986.

- ROBERS, J. Energia y Paradigma Económico. Mimeo-COPPE.

- ROSA, L., P. SCHAEFFER, R. dos Santos, M., A., Coords.,.Methane and Carbon Dioxide Emissions of Hydroelectric Power Plants in the Amazon Compared to Thermoelectric Equivalents, Energy Planning Program, COPPE/UFRJ, 1994.

- SAGAN, C. The Dragons of Eden: Speculations on the Evolution of Human Intelligence. New York: Random House, 1977.

- SAHLINS, M. D. e SERVICE, E. R. Evolution and Culture, Ann Arbor, University of Michigan Press, 1960.

- SCHRÖDINGER, E. What is Life. in What is Life, and Mind and Matter, Cambridge University Press, 1944.

- SJOBERG, G. The Preindustrial City: Past and Present New York: The Macmillan Co., 1965.

- SLESSER, M. Energy in the Economy. New York: St. Martin Press, 1978.

- SODDY, F. Matter and Energy. London: Williams and Norgate, 1912.

- SODDY, F., Wealth. Virtual Wealth and Debt, the Solution of Economic Paradoxes, New York: D. P. Dutton, 1926.

- SOTTO HESLES, J. B., e MOTTA BARROS, E. B. Fluxo Energético. Monografia PIMEB", Rio de Janeiro: AIE, COPPE, UFRJ, 1984.

- SPENCER, H. First Principles London: Willians and Norgate, 1860, 6th Edition, 1900.

- TEILHARD DE CHARDIN, P. Activation of Energy. London: Williams, Collins, Sons e Co., Ltd., 1963.

- TRIBUS, M. e McIRVINE, E. C. Energy and Information. in Scientific American, 1971.

- UVAROV, E. B. e CHAPMAN, D. R. A Dictionary of Science. Penguin Books, 1976.

- VILLAS BOAS, O. e C. Xingu, os Índios, seus Mitos. 3a. Edição, Zahar Editores, 1974.

- WIENER, N. Cibernética e Sociedade. São Paulo: Editora Cultrix Ltda, 1968.

- WILKINSON, R.G. Pobreza e Progresso: Um Modelo Ecológico de Desenvolvimento Econômico. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1979.

- WILSON, S.S. Sadi Carnot. in Scientific American, August, 1981.

- WHITE, L. The Science of Culture: a study of man and civilization. New York: Farrar, Straus, 1949.

- WHITE, L. O Conceito de Sistemas Culturais: como compreender tribos e nações. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1959.

PROCEL
PROGRAMA DE
COMBATE AO DESPERDÍCIO
DE ENERGIA ELÉTRICA

Eletrobrás

Ministério
de Minas
e Energia