

CYLON GONÇALVES DA SILVA

DE SOL A SOL

energia no século XXI

Sumário



1	O que é Energia ?	12
	1ª pausa – Radiação e matéria	28
2	A Biosfera	35
	2ª pausa – Fotossíntese	50
3	A Tecnosfera	61
	3ª pausa – Escalando o monte Terawatt	79
4	Eletricidade	85
	4ª pausa – Os grandes desafios	100
5	Combustíveis	105
6	Bate-papo com o autor	125

Agradecimentos

Este livro nasceu de palestras sobre energia proferidas para estudantes e em encontros em várias universidades brasileiras. Essas palestras deram ao autor a oportunidade de estudar o assunto e de eliminar os erros e omissões mais grosseiros. Fica aqui o agradecimento a todos os que as ouviram, mesmo que dormindo profundamente.

Há mais de três décadas, os Professores João Alberto Meyer e Marcus Zwanziger, do Instituto de Física da Unicamp chamaram minha atenção para os desafios da energia. Em 2002, o Prof. Rogério César de Cerqueira Leite convenceu-me a dar uma pequena colaboração a seu livro Energia para o Brasil, reavivando um interesse adormecido por muito tempo por outras obrigações profissionais. No último ano, meu trabalho para o Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE: <www.bioetanol.org.br>), em Campinas, obrigou-me, finalmente, a estudar seriamente o assunto da energia. Agradeço a todos os colaboradores do CTBE por importantes ensinamentos.

Shoshana Signer, da Oficina de Textos, tanto torceu meu braço – delicadamente, é verdade – que este livro terminou sendo escrito.

Meu filho, Anders, ajudou a melhorar o capítulo sobre fotossíntese. O Prof. Marcus Zwanziger fez valiosos comentários sobre a primeira versão do manuscrito. Os erros e omissões são de minha exclusiva responsabilidade.

Jennifer, minha esposa, como sempre, ao longo de nossa vida comum de 38 anos, criou o ambiente sem o qual autor e livro não existiriam.

UM PESADELO

texto: Cylon Gonçalves da Silva
arte: Cristina Carnelós

A PRIMEIRA COISA QUE JOÃO ESTRANHOU AO ACORDAR FOI A FORTE LUZ DO SOL. ERA VERÃO E SEU DESPERTADOR TOCARIA ÀS 5H30, MAS NÃO HAVIA TOCADO AINDA; DEVERIA SER MUITO CEDO. MAS O SOL ESTAVA ALTO. ALGUMA COISA ESTAVA ERRADA.



O MOSTRADOR DO DESPERTADOR ESTAVA APAGADO. O RELÓGIO DE PULSO MARCAVA 3H33. NÃO PODIA SER A HORA CERTA.



"DIABOS, DEVE TER FALTADO LUZ; ACABOU A BATERIA DO MEU RELÓGIO E CHEGAREI ATRASADO AO TRABALHO!"

SÓ HAVIA O SOM DO VENTO, COMUM EM UM PRÉDIO DE 25 ANDARES PERTO DA AV. PAULISTA, EM SÃO PAULO.



"ESTRANHO, SURDO NÃO ESTOU, E NÃO É FERIADO PARA TUDO ESTAR TÃO QUIETO!"

RUAS VAZIAS, CARROS ESTACIONADOS COM CAPÔS LEVANTADOS. AS PESSOAS ESTAVAM AGITADAS, MAS DO ALTO, JOÃO NÃO PODIA OUVIR O QUE DIZIAM. ALGO HAVIA ACONTECIDO DURANTE A NOITE.





"AH! O FAMOSO APAGÃO VOLTOU! É POR ISSO QUE MEU DESPERTADOR PAROU. AINDA BEM QUE MEU AQUECEDOR ELÉTRICO AINDA TEM ÁGUA QUENTE PARA O BANHO."



"SABIA QUE TINHA DE RECARREGÁ-LO ONTEM À NOITE!"

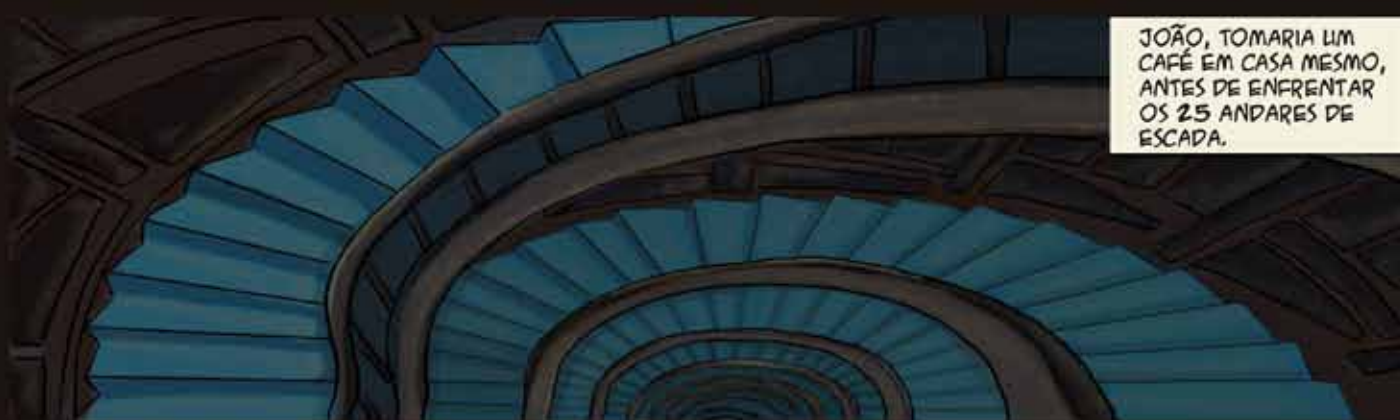
JOÃO DEDUZIU QUE SE A ÁGUA DO RESERVATÓRIO DO PRÉDIO ESTAVA NO FIM, ERA PORQUE AS BOMBAS NÃO FUNCIONAVAM SEM ENERGIA. ISSO O DEIXOU EM PÂNICO.



"COMO? PAGUEI A CONTA NA SEMANA PASSADA! ELES NÃO PODEM TER CORTADO MINHA LINHA!"



"MEU DEUS, E SE ISSO CONTINUAR, O QUE VAI ACONTECER? NÃO TENHO ÁGUA EM CASA!"



JOÃO, TOMARIA UM CAFÉ EM CASA MESMO, ANTES DE ENFRENTAR OS 25 ANDARES DE ESCADA.

LIGOU O GÁS, MAS, SEM ELETRICIDADE, TEVE DE SAIR PROCURANDO FÓSFOROS PELA CASA. POR SORTE, TERMINOU ENCONTRANDO UMA CAIXA. JOÃO DEIXARA DE FUMAR. A NAMORADA LHE DERA DUAS OPÇÕES: OU PARAVA DE FEDER A CINZEIRO OU ARRUMAVA OUTRA NAMORADA. CHEIROU O QUEIMADOR: NÃO HAVIA GÁS! SEM ELETRICIDADE, SEM COMUNICAÇÃO, SEM GÁS, A CIDADE TODA PARADA. O QUE ESTAVA ACONTECENDO?



PELA PRIMEIRA VEZ NOTOU A FALTA DOS RUIDOS DA CIDADE, COMO SE UMA PRESSÃO SAÍSSE DE SEUS OUVIDOS. COMO SE DEPOIS DE TANTO TEMPO, ELE PUDESSE RESPIRAR MAIS LIVREMENTE, NÃO PORQUE O AR ESTIVESSE MENOS POLUÍDO, MAS PORQUE ESTAVA MAIS... SILENCIOSO!



O HALL E AS ESCADAS ESTAVAM ESCUROS, SEM AS LIZES DE EMERGÊNCIA. JOÃO XINGOU O GOVERNO, A COMPANHIA DE ELETRICIDADE, O SÍNDICO, O ENCARREGADO DA MANUTENÇÃO, O MUNDO INTEIRO. NÃO ADIANTOU. HAVIA VOZES ASSUSTADAS E NERVOSAS. AO MENOS PODERIA REPARTIR A LUZ COM OUTRAS PESSOAS E ECONOMIZAR ALGUNS FÓSFOROS. ELE NÃO ERA O ÚNICO NAQUELA SITUAÇÃO.



TUDO O RESTO DA CIDADE COMEÇOU A DESCER EM DIREÇÃO A UM MUNDO SEM ENERGIA, SEM MÁQUINAS, SEM CELULARES E COMPUTADORES, SEM TRANSPORTES, SEM HOSPITAIS, SEM SUPERMERCADOS, SEM GELADEIRAS E FOGÕES, SEM COMIDA, SEM ÁGUA...

QUARENTA E OITO HORAS DEPOIS, SÃO PAULO ERA UM CAMPO DE BATALHA POR COMIDA E ÁGUA, UMA VIOLENTA LUTA PELA SOBREVIVÊNCIA. SUPERMERCADOS, ARMAZÉNS, RESTAURANTES, INVADIDOS E SAQUEADOS. PESSOAS ASSASSINADAS POR MÃES DE FAMÍLIA ENFURECIDAS, POR UM QUILO DE ARROZ MAL DISFARÇADO DENTRO DE UMA BOLSA.



NINGUÉM SABIA SE AQUILO ESTAVA ACONTECENDO APENAS EM SÃO PAULO, SÓ NO BRASIL, OU NO MUNDO INTEIRO. NÃO HAVIA NOTÍCIAS. HAVIA BOATOS E CORRERIA. EM MENOS DE UMA SEMANA, FAMÍLIAS INTEIRAS COMEÇARAM A DEIXAR A CIDADE EM BUSCA DOS PARENTES QUE VIVIAM NO INTERIOR OU NO LITORAL.



SEM A ENERGIA, HAVIA SE ACABADO A CIVILIZAÇÃO, POR MAIS PRECÁRIA E SUPERFICIAL QUE ELA TIVESSE SIDO. RICOS E POBRES, EDUCADOS E ANALFABETOS, SAUDÁVEIS E DOENTES ESTAVAM IGUALADOS NA FALTA DE ENERGIA, NA FOME, NA SEDE, NO FRIO.

OS MORTOS ERAM MAIS DE CEM MIL NOS PRIMEIROS DIAS, NOS HOSPITAIS SEM ENERGIA, NOS CONFRONTOS DE RUA, NOS SAQUES E NOS ASSALTOS. A POLÍCIA NÃO PODIA SE LOCOMOVER. REVÓLVERES E RIFLES NÃO FUNCIONAVAM MAIS. A PÓLVORA NÃO ESTOURAVA.

CARNELOS



TUDO ERA QUEIMADO PARA COZINHAR A POUCA COMIDA QUE AINDA RESTAVA. JOÃO NÃO TEVE MAIS DÚVIDAS. EM UM MÊS, SÃO PAULO SERIA UMA CIDADE FANTASMA, APODRECIDA, VAZIA, MORTA. HAVIA ACABADO A ENERGIA, HAVIA ACABADO A CIVILIZAÇÃO COMO ELE A CONHECIA.



FIM

Essa fábula, como nós a escrevemos, não pode acontecer bem assim. Nem toda a energia vai acabar da noite para o dia. Porém, é possível uma catástrofe natural que leve ao colapso mais ou menos prolongado do abastecimento de energia elétrica de uma região ou de um país inteiro. Sem energia elétrica, as comunicações serão fortemente atingidas. As fábricas deixarão de funcionar. O tratamento e bombeamento de água será suspenso. Os alicerces que sustentam nosso modo de vida serão abalados. Do mesmo modo, o risco de o abastecimento de combustíveis ser subitamente interrompido é pequeno, mas existe. Uma guerra descontrolada no Oriente Médio pode abalar profundamente o mundo que conhecemos. Sem combustíveis e sem transportes, o abastecimento de alimentos das grandes cidades será atingido de forma catastrófica. A falta de segurança das nossas cidades tornar-se-á ainda mais assustadora. A mobilidade que tomamos por nosso direito fundamental será drasticamente reduzida. E, no entanto, pensamos muito pouco nesses problemas; pensamos muito pouco na questão da energia no mundo moderno. Energia é, como alguém já disse do trabalho da dona de casa, algo que você só nota que existe quando falta.

No início da humanidade, e até meados do século XVIII, a demanda por energia era baixa e suprida pela força humana ou animal, pelo vento, pela água ou pela biomassa (formas de energia solar). Desde então até hoje, a humanidade vive a festa dos combustíveis fósseis. Nunca a energia foi tão abundante e tão barata. Mas essa festa vai acabar nas próximas décadas. E depois? Depois... vamos precisar voltar ao Sol.

UM PEQUENO TESTE

Responda, sem pensar muito, às perguntas abaixo e retorne a elas ao final do livro para ver quantas você acertou.

1) O que contém mais energia?

- (a) uma barra de 100 g de chocolate ao leite
- (b) 100 g de dinamite

2) Comparando duas usinas elétricas de 1 GW de capacidade nominal de geração, operando rotineiramente, qual produz mais eletricidade em um ano?

- (a) uma usina fotovoltaica
- (b) uma usina nuclear

3) Etanol (C_2H_6O – peso molecular 46) e propano (C_3H_8 – peso molecular 44) são combustíveis. Qual deles contém mais energia por mol?

- (a) etanol
- (b) propano

Qual deles emite mais CO_2 por unidade de energia gerada quando queimado?

- (a) etanol
- (b) propano

4) A relação entre consumo de energia anual por seres humanos e máquinas está mais próxima de:

- (a) 1 (humanos): 1 (máquinas)
- (b) 1 (humanos): 20 (máquinas)

5) A oferta de energia no mundo, em 2007, esteve mais próxima de:

- (a) 70 GJ por habitante
- (b) 180 GJ por habitante

6) A contribuição da cana-de-açúcar para a oferta de energia no Brasil, em 2007, estava mais próxima de:

- (a) 4%
- (b) 16%

7) Com 100 g de glucose é possível produzir um máximo de quantos gramas de etanol?

- (a) 89 g
- (b) 51 g

O que é Energia?

Como acontece com muitos outros conceitos científicos, temos também uma noção intuitiva de *energia*. Associamos energia à ideia de movimento, de esforço físico, de calor e até de nossos estados de ânimo. Com isso, reconhecemos que energia pode manifestar-se de muitas formas diferentes. Além disso, aprendemos muito cedo que é possível converter energia de uma forma para outra. Quando uma criança sopra um carrinho de brinquedo para fazê-lo andar ou solta um balão de São João, ela está usando, sem saber, um conhecimento sofisticado sobre transformação de energia de uma forma para outra. No primeiro caso, o esforço físico de expulsar o ar dos pulmões converte-se em um movimento organizado do ar, que se transforma em energia de movimento do carrinho. No segundo, a chama aquece o ar e diminui sua densidade dentro do balão, fazendo-o “flutuar” no ar externo, de maior densidade, da mesma forma que uma rolha flutua na água porque sua densidade é menor do que a do meio onde se encontra. O balão é uma máquina que converte calor em movimento. No sentido contrário, esfregamos as mãos para aquecê-las, transformando um esforço físico em calor.

Essas noções intuitivas se traduzem na percepção de que a energia está em todo lugar e em todos os processos que ocorrem a nossa volta. Sem energia, o mundo seria escuro, frio e parado. Pois bem, a ideia científica de energia procura transformar essas noções qualitativas em um conceito preciso e quantitativo de energia, sem, entretanto, mudar duas coisas fundamentais: (1) a energia tem muitas formas e (2) a energia pode ser convertida de uma forma para outra, como um ator de cinema, capaz de desempenhar diferentes papéis em diferentes filmes, mas sempre reconhecido como o mesmo ator. Porém, antes de termos certeza de que as diferentes formas de energia são efetivamente a mesma coisa, precisamos dar um passo a mais.

Em Ciência, não basta termos uma ideia qualitativa, intuitiva, das coisas. É preciso sermos capazes de medi-las, isto é, sabermos como associar um número e uma unidade a um conceito. A partir do momento em que temos uma noção do que consiste e sabemos medir um fenômeno, podemos dar o próximo passo, talvez o mais importante de todos: começar a imaginar maneiras de controlá-lo e aproveitá-lo em nosso benefício. Esses três estágios do desenvolvimento do conhecimento repetem-se em praticamente qualquer campo científico: primeiro, queremos ter uma ideia do que estamos falando; depois, queremos ser capazes de medir aquilo sobre o que falamos; e, finalmente, queremos controlar a natureza para extrair benefícios para a nossa vida.

O que queremos fazer neste livro é despertar sua curiosidade sobre os fenômenos da energia, sem a qual a vida seria impossível. A principal fonte de energia no nosso planeta é o Sol: diretamente, pela luz e pelo calor que proporciona; indiretamente, porque é a energia solar que alimenta a vida na Terra, dá a chuva e os ventos, e até os combustíveis fósseis são energia solar transformada em energia química. Além de despertar sua curiosidade, queremos também equipar você com o conhecimento necessário para entender por si mesmo, um pouquinho melhor, como funciona a energia no nosso mundo moderno. Este livro não vai discutir em detalhes a ciência da energia, a não ser naqueles poucos pontos essenciais para seus objetivos, mas a energia na sociedade contemporânea e no mundo deste século XXI, o mundo em que você vai viver e trabalhar, criar seus filhos e netos. O livro quer mostrar que ainda existem muitos problemas extremamente importantes a resolver, se quisermos continuar a usufruir os benefícios que a energia nos proporciona,

escapando dos problemas que ela causa. Para a solução desses problemas, vamos precisar de pessoas inteligentes, motivadas e que gostem de ciência e de engenharia. É uma oportunidade de carreira profissional, mas é, também, uma oportunidade de contribuir para melhorar o Brasil e o mundo em que vivemos. Quem sabe, você será uma dessas pessoas.

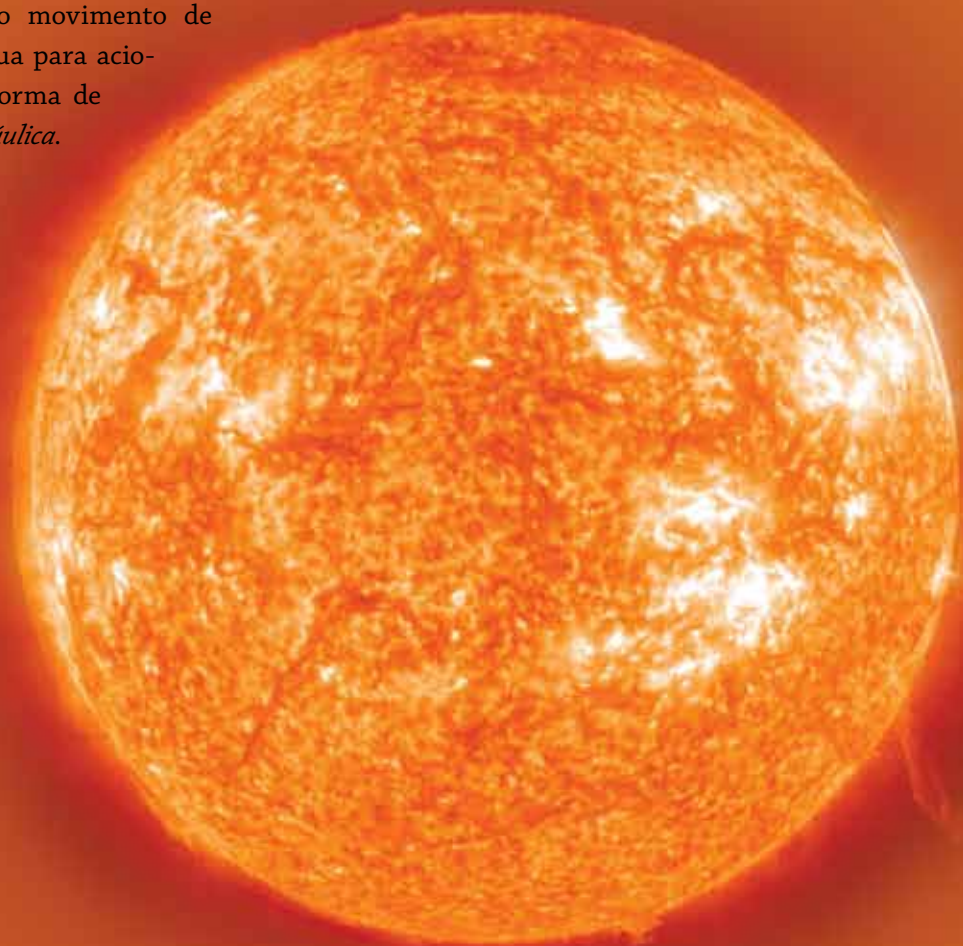
1.1 MOVIMENTO, CALOR, LUZ: A ENERGIA EM AÇÃO NA NATUREZA

O movimento da água de um rio (energia hidráulica), uma brisa (energia eólica), o calor de uma fogueira de São João (energia de biomassa) e a luz do Sol (energia radiante) são quatro manifestações da energia solar na natureza.

Em algumas antigas fazendas de café no Brasil, ainda se encontram rodas d'água usadas para aproveitar o movimento de uma pequena queda d'água para acionar um moinho – uma forma de aproveitar a energia *hidráulica*.

Um barco veleiro é um exemplo de aproveitamento da energia dos ventos, a energia *eólica* (Eolus era o deus dos ventos na mitologia grega). O calor do forno de pizza é usado para provocar as reações químicas que cozinham a massa e derretem o queijo – um aproveitamento da energia *térmica*. A luz do sol de janeiro, que nos bronzeia na praia (e causa câncer de pele), é uma forma de energia *radiante*. Enfim, são muitas as formas da energia solar na natureza, as quais o ser humano aprendeu a medir e a controlar para mudar suas condições de vida.

Há outras manifestações muito importantes da energia, como as que têm a ver com o metabolismo dos seres vivos. Uma planta que cresce é um exemplo de transformação da matéria pela energia. A luz do Sol absorvida pela planta transforma a água e o gás carbônico da atmosfera (dióxido de carbono, CO_2), com alguns nutrientes adicionais na matéria vegetal, em um processo conhecido como fotossíntese. É a manifestação mais importante da energia solar no planeta Terra, pois



ela é a base de praticamente tudo o que vive por aqui. Os animais não são capazes de realizar fotossíntese, mas, na base de sua cadeia alimentar estão as plantas. Portanto, a nossa existência depende da fotossíntese. (Sem esquecer que é pela fotossíntese que foi gerado o oxigênio da atmosfera.)

Recentemente, os cientistas descobriram, no fundo dos oceanos, algumas formas de vida que não dependem do processo de fotossíntese para viver, o que mostra que a pesquisa científica sempre traz surpresas. Nesse caso, em vez de obter energia da luz do Sol, os organismos a extraem de compostos químicos mais simples, provenientes de fontes térmicas do interior do planeta.

A energia não é apenas solar nem possui apenas esse caráter benigno. As forças naturais podem ser imensamente destrutivas, como aprendemos pelo noticiário da televisão quase todos os dias. Uma lista parcial de manifestações destrutivas da energia natural inclui terremotos e *tsunamis*, furacões e tornados, raios, explosões vulcânicas e colisões de meteoritos com a Terra. A mesma forma de energia pode ser benéfica ou destrutiva, dependendo de como ela se manifesta. E começamos a perceber uma coisa importante: além da energia, há um outro conceito que precisamos entender e que tem a ver com a “velocidade” da energia, ou, em linguagem mais apropriada, com **potência**.

A comparação entre uma brisa que impulsiona suavemente um veleiro e um furacão que o joga do ancoradouro terra firme adentro mostra quão fundamental é entender também a “velocidade” da energia.

1.2 A CIÊNCIA DA ENERGIA: ENTENDER O QUE É, APRENDER A MEDIR, PARA PODER CONTROLAR

Assim, energia funciona para o bem e para o mal, não apenas na natureza, mas também na vida humana. E, sem ela, nada funciona. É por isso que, nos últimos duzentos e poucos anos, a Ciência dedicou tanto tempo para entender os conceitos de energia e potência. Não foi fácil. Neste livro, vamos fazer de conta que tudo foi simples e vamos apresentar os resultados de muito traba-

lho, de muitos cientistas, durante muito tempo. Depois, ao entender as ideias básicas e conhecer os números importantes, se você tiver interesse, poderá pesquisar mais sobre a fascinante história da energia.

A história pode ser resumida assim: no começo existiam as energias naturais, as “forças” naturais da água, do vento e do fogo, que o ser humano dominava precariamente. A grande descoberta, que mudou a história da humanidade, foi quando a força do fogo



Potência é a quantidade de energia que se transforma ou é entregue, para um certo processo, por unidade de tempo. Potência é tão importante quanto energia.

pôde ser convertida em força de movimento – surge a máquina a vapor nos anos 1700. A máquina a vapor, coitada, está tão distante de você quanto os dinossauros, não? Mais ou menos no mesmo patamar da memória que o Atari (confesse, você nem sabe o que é Atari – o primeiro videogame da história e sonho de consumo de dez entre cada dez adolescentes dos anos 1970 – pergunte a seu pai). Hoje, o único uso da máquina a vapor parece ser como locomotiva de atração turística de algumas marias-fumaça.

Duas coisas importantes aconteceram no século XVIII e começo do século XIX: a busca por combustível para alimentar as máquinas a vapor e pelo conhecimento sobre essas máquinas, que resultou na ciência da energia. Neste ponto, vamos falar

sobre a segunda, pois o restante do livro será dedicado ao problema das fontes de energia.

A busca pelo conhecimento começou ao se tentar entender a natureza do calor e a possibilidade de transformá-lo em movimento mecânico. Depois de explorar muitas pistas falsas, os cientistas estabeleceram a verdadeira natureza do calor: ele nada mais é do que a energia de movimento dos átomos que constituem a matéria. Até chegar a esse momento, eles tiveram de definir maneiras para medir o calor e criar uma “régua” adequada para isso. Com essa régua em mãos, foi possível dar um passo muito importante: mostrar que uma dada quantidade de trabalho mecânico – medida pela queda de um peso conhecido, de uma altura predeterminada, por exemplo – resulta sempre na mesma quantidade de calor. Ou seja, foi possível passar da noção intuitiva de conversão de uma forma de energia em outra, para a demonstração científica de que uma dada quantidade de trabalho resulta sempre exatamente na mesma quantidade de calor.

energia hidráulica

