

Núcleo de Estudos e
Pesquisas do Senado

Ambiente e Energia: crença e ciência no licenciamento ambiental

Parte I : O papel da energia e
do conhecimento científico na
evolução das civilizações

Edmundo Montalvão

Textos para Discussão

93

Janeiro/2014

SENADO FEDERAL

DIRETORIA GERAL

Doris Marize Romariz Peixoto – Diretora Geral

CONSULTORIA LEGISLATIVA

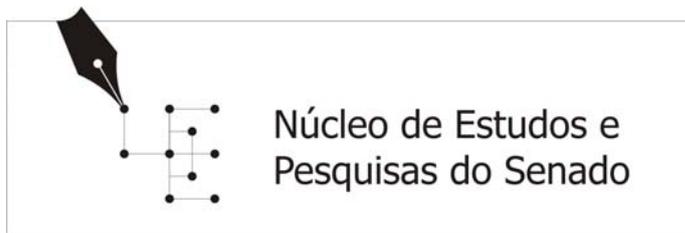
Bruno Dantas – Consultor Geral

CONSULTORIA DE ORÇAMENTOS

Orlando de Sá Cavalcante Neto – Consultor Geral

NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS

Fernando B. Meneguim – Diretor



Criado pelo Ato da Comissão Diretora nº 10, de 2011, o Núcleo de Estudos e Pesquisas do Senado Federal tem por missão organizar, apoiar e coordenar projetos de estudos e pesquisas que visem à produção e à sistematização de conhecimentos relevantes para o aprimoramento da atuação do Senado Federal.

Contato:

conlegestudos@senado.leg.br

URL: www.senado.leg.br/estudos

ISSN 1983-0645

O conteúdo deste trabalho é de responsabilidade dos autores e não representa posicionamento oficial do Senado Federal.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

APRESENTAÇÃO

O avanço da Ciência depende, fundamentalmente, de mecanismos de proteção contra os dogmas. A postura crítica inerente ao trabalho científico é uma proteção contra a disseminação de teses não-validadas. O cientista deve questionar – de ofício – as verdades estabelecidas. Para a ciência, as verdades são, sempre, provisórias.

Entretanto, em nível global, ao intensificar-se o debate sobre as questões ambientais, as abordagens científicas vêm sendo postas, gradativamente, em segundo plano. Nesse contexto, crescem em importância as abordagens ideológicas, com elevado grau de subjetividade.

No Brasil, esse processo pode ser observado, com clareza, nos conflitos socioambientais associados aos processos de licenciamento ambiental, especialmente quando são relacionados com grandes projetos de infraestrutura e, mais especificamente, com os empreendimentos do setor de energia.

Este documento faz parte de um conjunto de Textos para Discussão cujo objetivo é analisar as questões relacionadas com os conflitos que vêm caracterizando os as discussões acerca das opções energéticas do Brasil vis-à-vis a legislação ambiental em vigor.

O foco principal dos textos que compõem esse conjunto é colocado sobre o papel da ciência nos conflitos, priorizando a previsão de impactos ambientais, bem como as consequências dessas previsões sobre o processo de licenciamento de grandes projetos, com ênfase em empreendimentos hidrelétricos.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	O PAPEL DA ENERGIA NO MUNDO ANTIGO.....	8
2.1	PAPEL DA ENERGIA NA FORMAÇÃO DA VIDA NA TERRA	8
2.2	A ENERGIA E O SURGIMENTO DO <i>HOMO SAPIENS SAPIENS</i>	9
2.3	AS PRIMEIRAS CIVILIZAÇÕES	11
2.4	A ENERGIA, A METALURGIA E A ERA DOS METAIS	12
3	O CONHECIMENTO NAS CIVILIZAÇÕES ANTIGAS	14
3.1	A AURORA DA ERA DO CONHECIMENTO	14
3.2	A ENERGIA E O IMPÉRIO ROMANO.....	18
4	<i>INTERMEZZO</i> NA EUROPA	19
5	RENASCIMENTO E IDADE MODERNA.....	21
6	A PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL	31
7	A SEGUNDA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL	36
8	O SÉCULO XX.....	39
9	ENERGIA NO SÉCULO XX E A ERA DA INFORMAÇÃO	44
10	CONFLITO ENTRE ENERGIA E MEIO AMBIENTE.....	46
11	POSIÇÕES DA CIÊNCIA PERANTE PROBLEMAS AMBIENTAIS.....	47
12	CONCLUSÃO	51

AMBIENTE E ENERGIA: CRENÇA E CIÊNCIA NO LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Parte I: O Papel da Energia e do Conhecimento Científico na Evolução das Civilizações

Edmundo Montalvão¹

1 INTRODUÇÃO

O século XXI começou sob o impacto de mais uma revolução tecnológica, iniciada na década de 1970. Ela vem transformando diversas áreas do conhecimento humano – administração, educação, genética, farmacologia, telecomunicações, informática, cosmologia, energia, entre outras, e foi batizada por Peter Drucker² como a *Era da Informação*.

A humanidade já havia experimentado revoluções tecnológicas no passado recente, como a Primeira Revolução Industrial, no início do século XIX, e a Segunda Revolução Industrial, consolidada no início do século XX. Precedidas de revoluções do conhecimento científico, as revoluções tecnológicas tiveram e têm como ponto comum o fato de afetarem profunda e amplamente os métodos de produção e o estilo de vida da humanidade. Seu resultado é invariavelmente a melhora da qualidade de vida das pessoas, da eficiência do processo produtivo, e a criação de novas profissões, ainda que, conjunturalmente, possa haver desemprego e falências.

Em relação aos dez mil anos de história da humanidade, são bem recentes esses ciclos de avanço tecnológico. E eles só ocorreram como consequência direta da adoção da metodologia científica na solução dos problemas das ciências naturais. O método científico originou-se com os gregos, voltou a ser considerada na Europa com Descartes, e consolidou-se no auge da Idade Moderna³ com Isaac Newton, considerado o maior cientista de todos os tempos pela maioria dos historiadores da ciência. A portentosa obra de Newton serviu de base para posteriores avanços científicos e tecnológicos⁴.

¹ Consultor Legislativo do Senado Federal. Núcleo de Economia. Área de Minas e Energia.

² Nascido em Viena, é o principal mentor das principais teorias de gestão dos últimos 50 anos tais como: gestão por objetivos; privatização; cliente em primeiro lugar; papel do líder; descentralização; e era da informação. Faleceu em 2005, aos 95 anos.

³ Apesar de não haver consenso sobre o período classificado como Idade Moderna, o período mais aceito para descrevê-la é entre a queda de Constantinopla (1453) e a Revolução Francesa (1789).

⁴ Por exemplo, os cientistas da NASA utilizaram extensivamente as leis de Newton do movimento e da gravitação universal para tornarem possível a ida do homem à lua.

Quando Isaac Newton estabeleceu as leis do movimento e da gravitação universal, tomou como premissa que o tempo era grandeza absoluta, independentemente de qualquer condição. Para velocidades compatíveis com a nossa experiência cotidiana, a premissa é invariavelmente validada pelas medições. Mas, a teoria da relatividade de Einstein mostrou que isso não é verdadeiro, quando as medidas de tempo são feitas em velocidades comparáveis à da luz. A teoria de Einstein mostrou que tempo é uma grandeza relativa. As experiências com fenômenos físicos, objetivamente, mostram esse relativismo.

No aspecto subjetivo, o tempo também pode ser percebido como uma grandeza relativa. Para o homem, os períodos paleontológicos, geológicos, cósmicos, não são percebidos na sua real dimensão, por estarem fora da sua percepção de tempo, forjada em sua experiência cotidiana. Quando um paleontólogo afirma que o *homo sapiens* surgiu no planeta há duzentos mil anos, parece um período enorme, e, de fato é, na perspectiva do homem, que vive, em média, setenta anos, mas irrisório em comparação com o início da vida na Terra.

E o que dizer do período, estimado pelos geólogos, de quatro e meio bilhões de anos, a idade da Terra, ou treze bilhões e setecentos milhões de anos, a idade do Universo? São períodos dificilmente imagináveis pelo homem, em razão de a duração da experiência temporal típica da vida humana ser desprezível quando comparada a eles. Mas podem-se relativizar esses períodos, por meio de uma comparação baseada numa medição de tempo rotineiramente experimentado pelo homem – um ano, por exemplo. Isso daria uma melhor percepção de há quão pouco tempo a espécie humana iniciou sua trajetória evolutiva.

Assim, supondo nos situemos exatamente à meia noite da passagem do ano de 2010 para 2011 e que a Terra tivesse surgido um ano atrás, no mesmo momento da passagem de 2009 para 2010. Então, o Universo teria surgido há três anos e dezesseis dias, e o *homo sapiens*, em 31 de dezembro de 2010, às 15h40min22seg. Outras datações fictícias poderiam ser aduzidas a essa comparação: o surgimento da civilização há dez mil anos (8.000 anos A.C.), nessa escala relativa de tempo, teria surgido às 23h58min50seg de 31 de dezembro, quando faltasse 1min10seg para a passagem para o ano de 2011; a primeira revolução industrial, há um segundo e quatro décimos; e, para um homem de 70 anos, sua vida teria iniciado quando faltasse irrisório meio segundo para a passagem do ano!

As principais revoluções científicas e tecnológicas da humanidade só ocorreram recentemente, a partir do século XVIII, ressalvadas as pequenas revoluções ocorridas desde o período neolítico, como o advento da metalurgia e do período clássico grego. Essas notáveis demonstrações da capacidade intelectual da raça humana foram sucedidas por uma mudança radical no estilo de vida da humanidade, lastreada principalmente na utilização em larga escala de fontes de energia, para usos até então desconhecidos. Citam-se, por exemplo, a madeira, os combustíveis fósseis, a hidroeletricidade, a energia nuclear, a energia eólica. Por outro lado, a escala da exploração dessas fontes, crescente com o aumento da população e com o aumento da expectativa de vida dos cidadãos, implicou o uso cada vez mais acelerado dos recursos naturais.

Inegavelmente, esse estilo de vida moderno trouxe uma gigantesca melhora na qualidade de vida da população mundial, em relação à do início da primeira Revolução Industrial. Mas o tempo vem mostrando que a melhora da qualidade de

vida pode impor custos. Desde o final do século XX, o IPCC⁵ vem alertando os governos para o risco de aquecimento global, resultante principalmente de emissões de dióxido de carbono (CO₂) e da liberação de gás metano na atmosfera. Tais emissões, segundo o IPCC, são fruto de um estilo de vida antrópico lastreado, entre outros fatores, no uso intensivo de energia fóssil, no desmatamento acelerado, na flatulência animal e na popularização de lixões.

Longe da Academia, não há mais debate sobre o aquecimento global, pois a ideia do aquecimento tomou conta dos corações e mentes das sociedades de todos os países, e costuma suscitar reações apaixonadas dos leigos, muito compreensivelmente preocupados com os rumos que o clima do planeta está tomando. Uma minoria de leigos apoia outro grupo de cientistas não ligados ao IPCC – os chamados *céticos* – que questiona as afirmações do IPCC sobre o clima, apesar de elas já serem consideradas irrefutáveis pela ampla maioria das pessoas. Os céticos suscitam indagações, para as quais afirmam que a ciência ainda não tem respostas: a causa de mudanças potencialmente profundas no clima do planeta pode mesmo ser imputada ao irrisório período desde a Primeira Revolução Industrial? A queima de combustíveis fósseis é mesmo a grande vilã do aquecimento global? Ou o aquecimento é um fenômeno não antrópico, inerente aos ciclos de aquecimento/glaciação do planeta? Há até quem questione se o planeta está mesmo aquecendo.

Se não há dúvidas no seio da sociedade, elas ainda persistem no meio científico. São questões de cunho eminentemente técnico, suscitadas pela importantíssima atitude, inerente ao método científico, de sempre questionar teorias, recém-apresentadas ou não. Tentar falsear teorias tidas como de consenso é uma reação quase instintiva dos verdadeiros cientistas. O contraponto a uma teoria é uma atitude fundamental para testar a sua solidez.

O presente Estudo é o primeiro de cinco volumes, que se propõe a mostrar por que a energia, nos moldes atuais, é a única forma de sustentar esse estilo de vida, e por que a ciência é a chave para solucionar os impasses a respeito do meio ambiente.

Este primeiro volume procurará mostrar como o binômio conhecimento-energia, nos trouxe até o século XXI. Para isso, far-se-á uma retrospectiva histórica do avanço do conhecimento e da descoberta da energia, desde os tempos imemoriais dos ancestrais humanos até os dias de hoje. Os volumes subsequentes explicitarão em que consiste o conflito, exposto à opinião pública, entre energia e meio ambiente, e mostrarão que a sua pacificação é possível e se dará através da própria ciência e tecnologia. O recrudescimento desse conflito não é do interesse da sociedade.

O Estudo completo é voltado para os formadores de opinião, e procura destacar pontos que, atualmente, tendem a ser relegados a um segundo plano, quando se entabula o debate em torno dos temas energia, alimentos e meio ambiente e o conflito subjacente entre preservação ambiental e desenvolvimento econômico.

O presente volume baseou-se extensivamente nas seguintes fontes de informação, que não serão mais citadas, em razão da constante mescla de informações de ambas as referências:

- www.pt.wikipedia.org

⁵ Sigla em inglês do Painel Intergovernamental para Mudanças do Clima. O IPCC tem o apoio da Organização das Nações Unidas.

2 O PAPEL DA ENERGIA NO MUNDO ANTIGO

2.1 Papel da Energia na Formação da Vida na Terra

Se o tempo é relativo, o mesmo não se pode dizer das leis naturais que governam o Universo. A imutabilidade das leis físicas em todo o Universo é um postulado fundamental para os cosmólogos explicarem o seu funcionamento desde os seus primórdios. As leis naturais são válidas em qualquer parte do universo, em qualquer tempo.

Duas dessas leis naturais são particularmente relevantes para a exploração dos recursos energéticos. São elas a primeira e a segunda lei da termodinâmica. A primeira lei postula que a energia é sempre conservada, ou seja, o *balanço contábil* da energia no universo, ao longo do tempo, é aquele existente no seu início. Em outras palavras, a energia não pode ser criada nem destruída, apenas convertida em outra forma de energia. Já a segunda lei postula que a energia, quando convertida, divide-se em duas formas: a energia recuperável (ou energia útil) e a energia não-recuperável (também chamada de entropia). Essa característica não-recuperável da conversão de energia implica que a produção de entropia é irreversível.

Um exemplo simples para ilustrar essa irreversibilidade, implícita na segunda lei, é o de um carro em movimento: a repentina parada do veículo pelo acionamento dos freios transforma a sua energia cinética essencialmente em calor nos freios. Mas esse calor dissipado nos freios é uma energia não-recuperável, pois não é usada para outros fins. É, pois, uma transformação irreversível. Para voltar à velocidade inicial, é necessário utilizar mais energia. Portanto, é inevitável o aumento da energia não-recuperável (aumento da entropia) no processo real de conversão de energia.

Em face da segunda lei da termodinâmica, define-se o conceito de *eficiência (ou rendimento) de uma máquina*: o quanto de energia recuperável está sendo utilizada em relação à energia inicial. Em lugar da definição, um exemplo: se o calor produzido por uma caldeira é igual a 100 unidades de energia, e se sua energia recuperável é de 40 unidades, sob forma de movimento, então sua eficiência ou rendimento é de 0,4 ou 40% (40/100). Sob esse prisma, a expressão *melhorar a eficiência* denota uma redução das perdas de energia num processo de conversão.

A conversão de energia está na base do funcionamento do macrocosmo (do universo, das galáxias, dos sistemas solares, dos planetas). Não poderia ser diferente com o microcosmo. A vida na terra está totalmente lastreada na capacidade de os organismos vivos converterem energia de uma forma em outra. A fotossíntese⁶ nada mais é do que a conversão de energia solar em energia química, para o consumo dos vegetais. Os seres que produzem o próprio alimento são denominados *autotróficos*.

⁶ Fotossíntese é o mecanismo pelo qual as células vegetais absorvem a energia luminosa e a convertem em energia química. Nesse processo o vegetal captura CO₂ da atmosfera, além de minerais e água extraídos do solo, que são utilizados como insumos no processo de conversão. O resultado do processo é a glicose e o oxigênio. A glicose é usada pelas células dos vegetais como fonte de energia para o seu metabolismo. O oxigênio é liberado na atmosfera. Os vegetais sintetizam seu próprio alimento (seres autotróficos). São também usinas de retirada de dióxido de carbono da atmosfera.

O homem, assim como outros animais, obtém a energia vital a partir da energia química dos alimentos que consome. Por não produzirem o próprio alimento, são denominados *heterotróficos*. Portanto, todos os seres vivos – autotróficos e heterotróficos – são pequenos *geradores de energia*⁷, que é utilizada para o seu metabolismo e para sua sobrevivência.

Na infância do planeta, a atmosfera era constituída por monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrogênio (H₂), nitrogênio (N₂), ácido sulfídrico (H₂S), amônia (NH₃), metano (CH₄) e vapor d'água. Não havia oxigênio em sua composição. Há dois e meio bilhões de anos, iniciou-se o processo de oxigenação da atmosfera terrestre, com o aparecimento da primeira forma de vida: as cianobactérias, que eram organismos fotossintéticos.

A vida aeróbica⁸ eclodiu em larga escala na terra há cerca de 550 milhões de anos, deflagrando a chamada *explosão cambriana* de vida. As cadeias alimentares refletem o meio de transformação da energia entre seres vivos. Os seres autotróficos estão na base (ou primeiro nível) da cadeia alimentar, e são denominados *produtores*. Os vegetais e o plâncton marinho estão nesse nível. Em terra, os herbívoros são um dos grupos do segundo nível da cadeia, por se alimentarem de vegetais. Os herbívoros necessitam de enorme quantidade de alimento para suprirem suas necessidades energéticas. Nos níveis seguintes estão os carnívoros, classificados entre os níveis intermediários e o topo da cadeia alimentar. Eles necessitam, comparativamente, de quantidade bem menor de alimentos, na medida em que a carne contém enorme concentração de proteínas e carboidratos, que são convertidos facilmente em energia em seus corpos.

2.2 A Energia e o Surgimento do *Homo Sapiens Sapiens*

Alguns milhões de anos atrás, os hominídeos viviam em árvores e caminhavam em quatro patas, como os outros primatas. Eram herbívoros e se alimentavam da coleta de frutas, de ervas, de tubérculos. Eram sedentários, pois viviam em seus territórios, demarcados pela força de seu grupo familiar perante outros grupos. A única forma de energia que utilizavam era a sua força muscular. Uma mudança radical ocorreu quando esses ancestrais do *homo sapiens* passaram de quadrúpedes para bípedes, possibilitando uma maior velocidade de deslocamento, liberando assim os membros superiores para outras funções, como portar armas para a caça, transportar sua prole, fabricar instrumentos. A partir daí, os hominídeos tornaram-se também carnívoros. Deixaram as florestas e passaram a se aventurar nas campinas, onde havia fartura de presas.

De simples coletores, passaram a ser caçadores-coletores. Deixaram o segundo nível da cadeia alimentar, e passaram para uma posição intermediária, haja vista que também eram presas de animais carnívoros maiores. Concomitantemente, os grupos familiares passaram a ser nômades, acompanhando o comportamento migratório de suas presas. A ingestão de alimentos de origem animal aumentou a densidade calórica e nutricional dos hominídeos, mudança que parece ter sido crítica na história da raça humana.

⁷ Rigorosamente, não existem *geradores de energia*, apenas *conversores de energia* (Primeira Lei da Termodinâmica).

⁸ Organismo aeróbico é aquele que usa oxigênio do ar e as moléculas orgânicas do alimento que consome para fornecer energia às suas células.

O uso de outra forma de energia que não a armazenada em seu corpo só começou há cerca de um milhão de anos, quando os hominídeos bípedes dominaram o uso do fogo. De mamíferos inseridos nas faixas intermediárias da cadeia alimentar, os hominídeos, através do uso inteligente do fogo, alcançaram gradativamente o topo da cadeia alimentar, desenvolvendo estratégias coletivas para caçarem até seus antigos predadores. O fogo, usado para o aquecimento, para a cocção de alimentos e para a caça coletiva, também deu aos hominídeos condições para se adaptarem a outros climas e, gradativamente migrarem das regiões africanas para outros continentes.

Mas, talvez a contribuição mais importante da energia do fogo tenha sido a aceleração no desenvolvimento da espécie como decorrência da cocção dos alimentos. Há evidências⁹ que sugerem haver uma estreita correlação entre a prática da cocção e o aumento do volume craniano dos hominídeos e, conseqüentemente, da sua inteligência. A cocção quebra as complexas moléculas orgânicas, tais como proteínas e carboidratos, facilitando sua absorção pelo corpo e, principalmente, pelo cérebro. Isso aumenta substancialmente o conteúdo energético disponível na alimentação, particularmente aquela à base de tubérculos feculosos (batata, mandioca). O cérebro humano é responsável pela absorção de 20-25% das proteínas, vitaminas e carboidratos disponíveis nos alimentos. Ademais, as calorias extras permitiram desenvolver com mais eficiência a caça, em razão de essa atividade ser energeticamente dispendiosa. Pode-se afirmar que é a energia que sustenta a vida e foi base do exponencial aumento da cognição na espécie humana.

As datações mais antigas remetem o aparecimento do *homo sapiens* para duzentos mil anos atrás. Há claros indícios de diferenciação dessa espécie em relação aos seus ancestrais hominídeos: dentes menores, pescoços maiores, cérebros bem maiores, aparelho fonador – que permite produzir uma variedade de sons muito maiores do que a dos demais primatas. Coube ao *homo sapiens* inventar as primeiras lâmparinas a óleo animal, extraído da gordura dos animais caçados, por volta de 70.000 A.C..

Entre trinta e cinco e dez mil anos atrás, iniciaram-se as diferenciações geográficas dos *homo sapiens* que levaram ao aparecimento das raças. Dez mil anos atrás, já havia surgido o *homo sapiens sapiens*. Nessa época, iniciou-se o chamado período neolítico, também conhecido como *idade da pedra polida*. A análise arqueológica desse período mostra ter havido um abandono do estilo nômade dos caçadores-coletores e retorno ao estilo sedentário, em razão do desenvolvimento da agricultura e da domesticação de animais para o trabalho. Surgia um novo *gerador de energia* voltado para o benefício das pessoas: a força dos animais domesticados.

A agricultura permitiu que houvesse maior diversidade alimentar e maior quantidade de alimentos. E a fixação dos grupos familiares decorrente da exploração agrícola ensejou o aparecimento de aglomerados populacionais, desenvolvendo-se a vida em sociedade e proporcionando avanços culturais e artísticos. Foi o início das civilizações¹⁰. A capacidade de comunicação pela riqueza da linguagem humana acelerou enormemente o desenvolvimento das civilizações, pois propiciou a

⁹ W. R. Leonard – *Alimentos e Evolução Humana* – Scientific American Brasil, edição 8, janeiro de 2003 – Editora Duetto. Acessado em 16/12/2010. Disponível no seguinte endereço eletrônico: http://www2.uol.com.br/sciam/reportagens/alimentos_e_evolucao_humana.html

¹⁰ *Processo pelo qual os elementos culturais concretos ou abstratos de uma sociedade (conhecimentos, técnicas, bens e realizações materiais, valores, costumes, gostos, etc.) são coletivos e/ou individualmente elaborados, desenvolvidos e aprimorados.* – Dicionário Aurélio versão eletrônica 3.0.

transferência rápida do conhecimento, sem a necessidade de cada geração *reinventar a roda*.

Nessa época o fogo já era também utilizado para queimadas controladas que limpavam o terreno visando ao uso agrícola e à caça. Também já era sobejamente dominada a construção de fornos que queimavam barro para a fabricação de peças ornamentais, esculturas, utensílios, tijolos. Mais tarde, aprimorou-se a técnica para a fabricação de cerâmica. E, graças ao apoio da força animal, construções cada vez maiores, mais duráveis e fortificadas foram surgindo nos aglomerados populacionais, para os habitantes se defenderem dos inimigos e das intempéries.

O fogo continuava a ser a única fonte de energia. E a madeira era o combustível usado em larga escala para a replicação e manutenção do fogo nas diversas atividades manuais. Destacavam-se também o uso pontual de óleos vegetais e animais. Os utensílios cerâmicos facilitavam a cocção dos alimentos, pois o fogo podia ser aplicado diretamente no utensílio, e não mais indiretamente – através de pedras pré-aquecidas – em buracos cobertos de peles de animais. O calor também permitia a defumação dos alimentos, garantindo a sua preservação para consumo posterior. Não se pode olvidar também que o fogo viabilizava a produção de carvão vegetal, cujo processo de fabricação foi desenvolvido ainda nesse período.

Foi também na revolução neolítica que surgiu o comércio, o dinheiro – para facilitar a troca de excedentes – a tecelagem de roupas de lã, linho ou algodão, as cestarias e o uso de animais para a tração não-humana. O Neolítico é o último período pré-histórico, e seu término coincide com o surgimento da escrita e com o início da Idade dos Metais, há cerca de sete mil anos (5.000 A.C.).

2.3 As Primeiras Civilizações

As grandes civilizações se viabilizaram a partir dessa época. A complexidade das relações comunitárias e entre povos ensejou a necessidade de leis disciplinadoras e de especialização de funções no seio da sociedade. Surgia a figura do líder, normalmente considerado o interlocutor das sociedades com os deuses, e, conseqüentemente, a necessidade de hierarquização social e da especialização das pessoas, seja no campo tecnológico, seja no campo burocrático para cumprirem novas tarefas alavancadas pela hierarquização.

Com isso, aumentaram os consumidores de alimentos e reduziu-se a mão-de-obra no campo. A solução encontrada para essa redução foi a guerra de conquistas para escravizar outros povos, e trazê-los para executar trabalhos no campo e nas cidades, além de utilizá-los no exército. O comércio de excedentes agrícolas e de manufaturados passou a exigir um contingente militar cada vez maior para garantir a segurança das rotas comerciais.

Mas esse contingente militar requeria um aprimoramento nos instrumentos de ataque e defesa para melhorar a eficiência das guerras de conquista. E esses instrumentos sofreriam enorme evolução com o advento da idade do bronze.

O processo evolutivo das relações interpessoais culminou com o aparecimento da primeira grande civilização da história da humanidade: a Suméria, que estava localizada na Mesopotâmia, região entre os rios Tigre e Eufrates, atual Iraque. A Mesopotâmia era habitada por vários povos: além dos sumérios, ali viviam os assírios, babilônios, entre outros.

As características da região mais apreciadas por esses povos eram sua grande fertilidade e o generoso ciclo de chuvas, que favoreciam enormemente a agricultura, a dessedentação, a pesca e a navegação. Os vestígios mais antigos deixados pelos sumérios datam de 4.500 A.C.. Entre as heranças mais notáveis, os sumérios legaram à humanidade a primeira escrita, a roda, o barco a vela, além de tecnologias de fabricação de colheitadeiras primitivas. Entre uma guerra de conquista e outra, as cidades-estado da Suméria finalmente caíram nas mãos de seus vizinhos. A Mesopotâmia ainda continuaria sua era de esplendor, até a ocorrência de um *el niño* colossal, que provocou uma enorme seca e pode ter levado a região a uma das maiores ondas de fome da era antiga.

2.4 A Energia, a Metalurgia e a Era dos Metais

Afloramentos de minerais de cobre, de ouro, de prata e de estanho foram inicialmente explorados e malhados a frio, para a confecção de pequenos objetos, como joias e alguns instrumentos de corte para os quais a dureza e resistência não eram requisitos. O uso do fogo¹¹ para o derretimento (fundição) desses metais ensejou uma nova revolução: a metalurgia. A fundição do cobre iniciou-se em torno de 5.000 A.C., nos Bálcãs e Oriente Médio.

O cobre também podia ser extraído de minérios sob a forma de óxidos, carbonatos e sulfatos de cobre, através do aquecimento em fornos. O processo de derretimento do cobre pressupunha a mistura do minério ao carvão vegetal pulverizado. A mistura então era colocada em um cadinho e levada ao forno para ser aquecido à temperatura de 1.083°C, quando então o cobre iniciava o seu derretimento. O carbono contido no carvão separava o cobre dos outros elementos e escapava na forma de CO₂. A mistura com carvão propiciava também a separação do cobre liquefeito e da escória (menos densa que o cobre). O cobre puro era então colocado em moldes para fins artísticos e para a confecção de utensílios.

Mas o cobre ainda era dúctil o suficiente para não permitir a confecção de ferramentas pesadas, como machado, e armas cortantes. Logo os ferreiros da época descobriram que a formação de ligas de cobre com estanho ou arsênico aumentava enormemente a dureza do produto. Estava descoberto o bronze. Isso permitiu a construção de armas e armaduras muito mais resistentes, propiciando aos povos que dominavam essa tecnologia uma enorme vantagem competitiva em relação aos povos que não a detinham. A vantagem do estanho é não ser venenoso como o arsênico e, por isso, era o preferido para a confecção do bronze.

Ao contrário do ferro, o cobre não é um metal abundante na crosta terrestre e menos ainda o estanho. Portanto, não durou muito até que os reinos tivessem que importar cobre e estanho de outros lugares, até o esgotamento do estanho. Inaugurava-se no mundo a era do esgotamento de recursos naturais.

A necessidade faz o homem, diz antigo ditado. E os antigos ferreiros lançaram-se na busca de alternativa ao esgotamento das reservas minerais de cobre e estanho.

¹¹ O fogo é o resultado da reação química entre o material combustível e o oxigênio do ar, liberando luz, calor e gases a alta temperatura (entre os quais, o CO₂). A queima da madeira em fornos, na concentração normal de oxigênio do ar (21%) alcança a temperatura máxima suficiente para a fundição do cobre, mas não do ferro. As temperaturas de fusão de alguns metais são: 232 °C (estanho), 327 °C (chumbo), 419 °C (zinco), 659 °C (alumínio), 961 °C (prata), 1070 °C (ouro), 1083 °C (cobre) e 1535°C (ferro).

E conseguiram. A descoberta do processo industrial de fundição do ferro ocorreu por volta de 1.100 A.C.. A metalurgia do ferro já era conhecida de vários povos, mas o gasto maior de energia e de mão-de-obra relegava o seu uso para a fabricação de objetos ornamentais. O primeiro processo tecnológico para a metalurgia do ferro consistiu em misturar minério de ferro a carvão vegetal e aquecer a mistura a 1.150°C. A essa temperatura, eliminavam-se algumas impurezas, mas outras permaneciam misturadas ao metal ainda sólido, sob a forma de uma massa esponjosa. Essa massa era retirada por malhação a ferro quente. O ferro assim obtido é conhecido como ferro forjado. O carvão mineral também já era utilizado desde essa época na Grã-Bretanha, para cocção, calefação e metalurgia.

A produção de ferro fundido iniciou-se com os chineses, que desenvolveram fornalhas capazes de elevar a temperatura a 1.535°C, temperatura de fusão do ferro. Mas o ferro fundido também é muito dúctil e não se prestava à fabricação de armas e armaduras. O passo seguinte foi a descoberta do aço, mediante a adição de carbono ao ferro numa determinada proporção (pelo menos 98,3% de ferro – no máximo, 1,7% de carbono). Mas, um passo tecnológico à frente ainda era necessário para tornar o ferro um metal usado em larga escala. Esse passo consistia em obter o equilíbrio entre os processos de redução¹² e de têmpera¹³. O resultado da alternância desses processos era um aço mais duro e resistente. Estava dado passo final para a massificação do uso do ferro. Isso ocorreu por volta de 900 A.C.. Iniciava-se assim, a idade do ferro, a partir do conhecimento empírico de fabricação do aço.

A metalurgia também propiciou instrumentos para uso em cirurgias primitivas. O fogo era também utilizado para sua esterilização e os instrumentos metálicos de corte e de perfuração eram usados em cirurgias locais e também em cirurgias invasivas, como cirurgia plástica, de cataratas, operações cesarianas e trepanação do crânio¹⁴.

Outras descobertas importantes para a humanidade, a partir dessa época foram as da bússola¹⁵, da moagem e da engrenagem¹⁶. Destaca-se também a energia eólica para fins de navegação. Barcos a vela foram muito usados pelos fenícios, que, por volta de 1.000 A.C., usavam intensivamente navios a vela para fomentar o comércio.

Não se pode deixar de citar, também, o uso do petróleo na Idade Antiga. Os afloramentos frequentes desse hidrocarboneto, no Oriente Médio, ensinaram o seu uso pelos povos da Mesopotâmia, do Egito, da Pérsia, da Judeia. Desde 4.000 A.C., o betume era usado para pavimentação de estradas, calafetação de grandes construções, calefação, iluminação, lubrificação e até laxativo.

A combinação entre o desenvolvimento de tecnologias e a disponibilidade de energia propiciava um novo salto tecnológico na história da humanidade. O binômio *conhecimento-energia* foi e continua sendo base de todos os avanços tecnológicos da

¹² O processo de redução consiste em produzir uma drástica redução de temperatura do metal aquecido, mediante sua imersão em água. Esse processo aumenta a dureza do metal, mas torna-o quebradiço.

¹³ O processo de têmpera consiste de lento reaquecimento e resfriamento do metal, de forma a torná-lo mais duro e resistente.

¹⁴ Perfuração de orifícios na cabeça, para aliviar dores e curar crises epiléticas.

¹⁵ Inventada pelos chineses por volta de 2.000 A.C..

¹⁶ A roda surgiu na Suméria, por volta de 3.500 A.C.. Na esteira da descoberta da roda, seguiu-se a invenção das polias e das engrenagens. As polias podiam reduzir a força necessária para içar grandes pesos. As engrenagens – as mais antigas que se conhece foram utilizadas por gregos e chineses, no século III A.C. – permitiam, por exemplo, a transmissão do movimento de uma roda d'água para um equipamento de moagem.

raça humana, e resultam sistematicamente em uma melhor qualidade de vida para as pessoas.

Far-se-á, agora, uma pausa na perspectiva histórica da energia; sobre ela, pouco se falará nas próximas páginas, em face de seu uso ter sofrido certa estagnação até o início da era industrial. Uma exceção será aberta para o período que precedeu a queda do Império Romano, em face de a insuficiência de energia ter sido uma das causas do esfacelamento desse Império.

A seguir, abordar-se-á a história do conhecimento – outro pilar das revoluções tecnológicas da humanidade. Foi com os gregos que o método de tentativa e erro foi relegado a um segundo plano e a razão foi ascendida ao primeiro plano, resultando na criação das bases para o pensamento científico.

3 O CONHECIMENTO NAS CIVILIZAÇÕES ANTIGAS

3.1 A Aurora da Era do Conhecimento

Para os povos antigos, os fenômenos naturais eram governados por deuses poderosos, e a vida das pessoas também sofria influência desses seres mitológicos. A mitologia explicava tudo, sem que houvesse qualquer questionamento por parte das pessoas. Vários povos antigos desenvolveram sua própria mitologia, entre eles, os gregos antigos, egípcios, hindus, chineses, nórdicos, celtas, sumérios. Não havia, portanto, explicações físicas para os fenômenos naturais e para os acontecimentos.

Isso começou a mudar na idade de ouro da Grécia. Os gregos foram os primeiros a tentar compreender o funcionamento do universo, sem lançar mão da mitologia. Eles trouxeram à cena o senso de organização de ideias, a filosofia e a busca de leis universais simples. Para compreender o universo, diziam eles, era necessário conhecer a sua natureza. Ademais, os fenômenos naturais tinham, para eles, explicação lógica.

O precursor desse movimento de libertação dos dogmas mitológicos ancestrais foi Thales de Mileto, o primeiro a tentar uma explicação para a natureza dos elementos, por volta do ano 500 A.C.. Para ele, o princípio básico do universo era a água, e os outros elementos eram uma modificação da água. Provavelmente, a partir de viagens ao Egito, trouxe para a Grécia o estudo da geometria, que se tornaria alicerce para o desenvolvimento da matemática grega. Introduziu ainda o conceito de demonstração, passo basilar na construção dos teoremas matemáticos. Foi o primeiro a observar o fenômeno da eletricidade estática: ao esfregar âmbar em pele de animal, essa resina natural passava a atrair objetos leves. A palavra *âmbar* em grego é grafada como *elektron*, o que deu origem ao termo *eletricidade*.

Anaximandro de Mileto, discípulo de Thales, contestou o papel da água na formação do universo; ele afirmava que a Terra era curva e suspensa no espaço, sem apoio nenhum, e que o princípio básico da natureza era o *apeiron*, infinito e eterno. Ele também se preocupava em explicar o como e o porquê das coisas do mundo, que saem invariavelmente desse princípio. Inovou ao dar uma explicação científica para o universo, ao invés da sobrenatural. Para Anaximandro, havia um número infinito de mundos que precederam o nosso e que nasceram após a Terra. Preocupava-se em buscar explicações para a evolução das coisas e das espécies. Ele trouxe para a Grécia o relógio solar. Anaximandro foi o primeiro a dar uma explicação virtualmente correta sobre a natureza e a causa dos ventos; segundo ele, o vento seria *o fluxo de ar formado*

quando seus elementos mais leves são movimentados pelo sol. Usando apenas seu poder de observação e sua reflexão, esse notável filósofo natural grego chegou a ideias que são precursoras de muitas ideias sustentadas pela física e biologia modernas. Dentre elas, destacam-se duas:

- o mundo não tem apoio, mas se sustenta por um equilíbrio de forças. Essa ideia é muito semelhante à Lei da Gravitação Universal, de Newton, que explica por que a terra gira em torno do sol;
- o sol faz as criaturas surgirem, primeiro na água, depois migram para a terra, alcançando estruturas cada vez mais complexas. Essa ideia assemelha-se muito à teoria da evolução das espécies;

O traço comum dos filósofos da região de Mileto foi a proposição de explicações naturais para as coisas. Tinham um perfil científico, apesar de serem conhecidos, à época, como filósofos naturais. Fenômenos assustadores, como raio e trovão, eram produzidos pelo vento; o arco-íris era o resultado da propagação dos raios solares nas nuvens; os terremotos eram o resultado de rachaduras no solo seco, depois de umedecido pela chuva. A explicação nem sempre era correta, mas a atitude racional denotava o rompimento com a superstição.

Demócrito de Abdera nasceu por volta de 460 A.C.. Foi o maior expoente do atomismo, teoria que sustentava que tudo o que existe é composto por elementos indivisíveis chamados *átomos*.

No campo da astronomia, destacou-se Hiparco, que viveu no século II A.C.. Ele foi o fundador da astronomia científica. Mapeou com extrema precisão a posição e o brilho de aproximadamente mil estrelas (dentre as cerca de seis mil estrelas visíveis a olho nu¹⁷). A necessidade de precisão em suas medidas levou-o ao desenvolvimento da trigonometria.

A medição de tempo sempre foi fundamental para o homem. Naquela época, durante o dia, usava-se o relógio solar para a medição do tempo. À noite, usava-se a posição de determinadas estrelas, ampolhetas, velas. A ancestral prática religiosa dos povos da antiguidade requeria uma acurada medição do tempo, por meio da cuidadosa observação do Sol e da Lua. Surgiram assim os calendários solar e lunar. O calendário lunar era o preferido para o cálculo das datas das festividades. Mas foi o calendário solar que terminou por ser adotado para a contagem do tempo. Entretanto, o calendário lunar ainda hoje é usado para calcular as datas de determinadas festividades. Por exemplo, a páscoa cristã é celebrada no primeiro domingo após a primeira lua cheia após a data dos equinócios (21 de março). E a data do carnaval é calculada retrocedendo 40 dias do início da semana santa (sexta-feira). Cairá num domingo. É a origem da quarentena. A data do carnaval é a terça feira anterior a esse domingo. Depois da festa profana, a penitência religiosa.

Os números nasceram com as civilizações. A necessidade de se contarem as colheitas, as moedas, os produtos manufaturados, de se dividirem terras, levou os povos ao desenvolvimento de sistemas numerais. Vários chegaram aos nossos dias, ainda que não fossem práticos para cálculos mais elaborados. Os sumérios desenvolveram dois sistemas com duas bases independentes: o de base *cinco*, que usava os dedos de uma mão, e a base *doze*, que usava as três falanges de quatro dedos (o polegar só tem duas).

¹⁷ T. Padmanabhan – *Após os Três Primeiros Minutos* – Editora Terramar, 1998.

A base 12 é a origem da contagem em certas transações comerciais atuais, envolvendo a dúzia de um produto, por exemplo, bananas, ovos.

Os babilônios, seus vizinhos na Mesopotâmia, desenvolveram o sistema numeral que combinava as duas bases dos sumérios, resultando na criação da base *sessenta*. A contagem de tempo e as medidas trigonométricas são um legado desse sistema. Os egípcios trabalhavam na base *dez*. Os maias desenvolveram um sistema misto, de base *cinco* e base *vinte*. Os hindus desenvolveram o sistema que terminou sendo adotado nos tempos atuais: o sistema decimal com notação posicional. Mas esses sistemas eram usados basicamente para a contagem.

Foram os gregos as grandes referências para o desenvolvimento dos fundamentos matemáticos dos dias atuais. A lógica dedutiva e o conceito de prova eram o que diferenciava os matemáticos gregos dos de outras regiões. Pitágoras de Samos foi um dos mais famosos matemáticos do mundo antigo. Em relação ao movimento dos planetas, Pitágoras, discípulo de Thales, defendia a teoria geocêntrica, e que a Terra era esférica. Mais adiante, no século III A.C., Aristarco de Samos foi o primeiro a defender a teoria heliocêntrica, mas ela não foi bem recebida na época. Ele também foi o precursor da medição das distâncias entre a Terra e a Lua e entre a Terra e o Sol, e de suas dimensões. Errou os cálculos (muito em razão da imprecisão dos instrumentos), mas acertou o procedimento de cálculo.

Pitágoras é lembrado atualmente pelo teorema que leva o seu nome. Os babilônios conheciam a fórmula por tentativa e erro, mas foi Pitágoras que consolidou o conceito de demonstração de teoremas, hoje um dos pilares da matemática. Visitou o Egito e a Babilônia, onde estudou os princípios geométricos que deram base para a prova de seu teorema. Fundou, na região da Calábria (à época pertencente à Grécia), a Escola Pitagórica, voltada para os estudos da matemática, da religião e do misticismo. Pitágoras também apreciava a música e, a partir da matemática, inventou a escala musical. Ademais, a partir dos seus estudos matemáticos, criou a teoria dos números, ramo atual da matemática que se dedica ao estudo dos números inteiros. Sua ideia de que tudo podia ser explicado pela matemática influenciou outros pensadores famosos, como Platão e Aristóteles. Foi Pitágoras que consolidou a ideia de um *éter* presente em toda a parte, no qual tudo se move, inclusive da luz.

Euclides, outro matemático grego imortalizado por sua obra, legou à humanidade um dos mais importantes livros da matemática da história: *Os Elementos*. Nesse livro, o professor Euclides sintetizou o conhecimento grego sobre matemática. Enunciou cinco axiomas¹⁸ matemáticos, a partir dos quais demonstrou vários teoremas da geometria. *Os Elementos* foi um dos principais livros na formação inicial de inúmeros cientistas ao longo da história da humanidade. Destacam-se Galileu Galilei, Isaac Newton e Einstein.

Aristóteles, um dos maiores filósofos da Grécia, estabeleceu os alicerces do pensamento científico no mundo cristão e islâmico. Viveu no século IV A.C.. Era médico de formação. Foi tutor de Alexandre, o Grande. Criou, em Atenas, o Liceu, para competir com a Academia, fundada por Platão, de quem foi discípulo. Aprofundou estudos em física, zoologia, matemática e clima. Foi o primeiro a apresentar evidências científicas de que a terra era esférica e a convencer os sábios da época clássica, em face

¹⁸ *Premissa imediatamente evidente que se admite como universalmente verdadeira, sem exigência de demonstração* – Dicionário Aurélio versão eletrônica 3.0.

de argumentos extremamente sólidos¹⁹. Desenvolveu o sistema de lógica dedutiva, que serve de base para o mundo científico atual. Para Aristóteles, a argumentação lógica perfeita, que ele denominou *silogismo*, é constituída por três declarações que se conectam de tal forma que, a partir das duas primeiras declarações – denominadas premissas – pode-se concluir pela terceira declaração²⁰. Ele também defendia que tudo o que existe é constituído por quatro elementos: terra, ar, fogo e água.

Outros matemáticos gregos merecem destaque. Diofanto de Alexandria deu um salto qualitativo nas ideias de Euclides, ao aprofundar a teoria das equações. É considerado o pai da álgebra. Eratóstenes de Cirene foi diretor da Biblioteca de Alexandria e o primeiro a determinar com precisão o diâmetro da terra. Além disso, calculou a distância entre a terra e o sol e contribuiu para o desenvolvimento da teoria dos números primos. Esses números desempenham, hoje, papel fundamental na segurança de informações criptografadas. Desenhou importantes mapas da época, tendo sido, por isso, considerado o primeiro geógrafo.

Outro notável matemático grego foi Arquimedes de Siracusa, que postulou, a partir da observação, o princípio que leva o seu nome. Arquimedes observou que um objeto em imersão desloca certo volume de água. Ao deslocar esse volume, o objeto passa a sofrer uma força para cima (empuxo), igual ao peso da água deslocada. O princípio de Arquimedes é utilizado ainda hoje, por exemplo, para a fabricação de navios e submarinos de qualquer dimensão. Credita-se a ele a famosa frase: *dá-me uma alavanca suficientemente longa e moverei o mundo*. Conhecida há milênios, a alavanca só teve uma descrição matemática com Arquimedes. Ele compartilha com Pitágoras a distinção contemporânea de *maior matemático do mundo antigo*.

Não se pode deixar também de destacar Hipácia de Alexandria, a maior matemática da Era Antiga. Nasceu em torno do ano 360 da era cristã. Seu pai, e também professor, alertava-a seguidamente quanto aos obstáculos à aquisição do conhecimento, criados por religiões e crenças. A esse respeito, vale destacar dois conselhos paternos: “*Reserva-te o direito de pensar, pois mesmo que penses errado, é melhor do que nem sequer pensar*”; “*Todas as crenças dogmáticas são falaciosas e não devem ser aceitas pelas pessoas que se respeitam a si próprias como sendo a palavra definitiva*”.

Professora da Universidade de Alexandria, Hipácia fez grandes contribuições para a astronomia, física e matemática. Era uma exímia solucionadora de problemas que atormentavam os matemáticos da época. Morreu aos 55 anos com requintes de crueldade, por ter se envolvido numa disputa local com fanáticos católicos. Para alguns historiadores da matemática, *o fim de Hipácia simboliza a morte da gloriosa matemática grega e o início de um triste e longo período de obscuridade*²¹ na Europa.

A prêmio nobel de medicina de 1986, a italiana Rita Levi-Montalcini, afirmou recentemente²², em relação à participação de mulheres na ciência: *muitos descobrimentos científicos atribuídos a homens foram realmente feitos por mulheres de sua família*. A

¹⁹ Ao contrário do que se afirma comumente, durante a idade média, as pessoas eruditas sempre souberam que a terra era esférica. É possível que alguns europeus menos letrados acreditassem que a terra era plana.

²⁰ Exemplo de silogismo: Todo homem é mortal (1); João é homem (2); logo, João é mortal (3).

²¹ G. G. Garbi – *A Rainha das Ciências* – Livraria da Física Editora, 2009.

²² <http://www.brasiliaemdia.com.br/2008/2/8/Pagina3899.htm>, acessado em 1/3/2011.

inteligência feminina não era admitida nas sociedades misóginas do passado. Hoje, há mais mulheres do que homens na investigação científica. São as herdeiras de Hipácia!

Os gregos também desenvolveram a alquimia, por meio da metalurgia. Chineses e indianos do mundo antigo foram influenciados pelas experiências alquímicas dos gregos. Os alquimistas tinham três objetivos: a transmutação de metais comuns em ouro, a descoberta de um medicamento universal e a criação do elixir da imortalidade. Os alquimistas gregos focaram suas experiências no primeiro, a busca da pedra filosofal, que era a chave para a transmutação. Já os alquimistas chineses concentraram-se no segundo, a busca do elixir da imortalidade; a descoberta da pólvora decorreu dessas experiências. E os indianos desenvolveram experimentos mais voltados para o terceiro objetivo, a busca do medicamento universal. As três culturas desenvolveram técnicas importantes para a posteridade, destacando-se a destilação.

Os gregos acreditavam que o conhecimento poderia ser obtido apenas pela argumentação e pela razão, através de silogismos. Só em raros momentos, recorriam à realização de experimentos. Platão defendia que, aos homens inteligentes bastava uma exaustiva discussão para se chegar à *verdade*. Aristóteles aceitava o estudo da ciência, mas negava qualquer espaço para a experimentação.

3.2 A Energia e o Império Romano²³

A cultura grega influenciou fortemente o império romano. Essa influência refletiu-se, por exemplo, na adoção da mitologia grega pelos romanos e nas técnicas de guerra que tornaram o exército romano difícil de ser derrotado. Na política, destaca-se a adoção da república, pela Roma antiga, por quase quinhentos anos (entre 509 A.C. e 27 A.C.). O império romano, sucedendo a antiga Roma republicana, foi consolidado com a ascensão de Júlio César ao poder. O regime dos imperadores caracterizou-se pela autocracia, mas foram mantidas as instituições republicanas. O Senado era a mais forte das instituições remanescentes, ainda que o seu poder tivesse sido consideravelmente subtraído pelos imperadores.

Roma não se notabilizou por avanços no campo das ciências naturais. Entretanto, sua capacidade de desenvolvimento de engenharia marcou a história, e não foi igualado antes do século XIX. Rotação de culturas e técnicas de fabricação de vidro, colheitadeiras a tração animal, aquedutos, esgotos, guindastes, diferenciais para veículos, velas com pavio, navios mercantes, concreto são algumas heranças romanas para a posteridade.

O império romano no Ocidente manteve uma estrutura territorial monolítica até o início do século V D.C.. Sua fragmentação ocorreu em face de uma grave crise econômica, política e demográfica. Uma das causas de sua queda foi uma crise de energia sem precedentes na história do império.

A queda do império romano no Ocidente começou a se configurar a partir do esgotamento do modelo de conquistas militares, seguidas de pilhagens, que enriqueciam enormemente o caixa romano. O ápice desse modelo foi a conquista do Egito, em 30 A. C., A pilhagem do Egito irrigou o erário romano com tantos recursos, que o imperador Augusto chegou a distribuir moedas aos plebeus de Roma.

²³ A Economia do Hidrogênio, p. 57 – Jeremy Rifkin – M. Books do Brasil Editora.

A conquista do Egito foi a maior do império romano. O ápice da extensão territorial romana ocorreu no reinado de Trajano, ao final do século I. A partir daí, incapaz de fazer frente aos povos germânicos, Roma abandonou as guerras de conquistas e passou a trabalhar pela consolidação dos territórios conquistados, mediante um modelo colonialista que investia em infraestrutura e serviços básicos. Isso gerou uma enorme despesa ao erário romano. Como se já não bastasse o aumento das despesas com a manutenção do exército, com a logística necessária à manutenção do império, e com a aposentadoria dos militares, as receitas de Roma estavam em declínio pela ausência de novas pilhagens.

A alternativa estrutural à guerra de conquistas foi o estímulo à agricultura, como fonte de novas receitas financeiras. No início do império, os territórios do mediterrâneo eram densamente arborizados. No final do império, as florestas já haviam sido quase que totalmente destruídas..

A exploração ilimitada da madeira levou ao esgotamento dos recursos energéticos, arruinou a agricultura e, conseqüentemente, o modelo econômico de Roma. Pela falta de recursos, a infra-estrutura e os serviços básicos deterioraram-se e o exército enfraqueceu-se. Os ataques bárbaros terminaram por minar a fragilizada defesa de Roma. O final dessa última fase foi marcado pela fragmentação irreversível do império romano ocidental²⁴.

4 INTERMEZZO NA EUROPA

Coincidindo com a fragmentação do império romano, no início século V, o desenvolvimento científico hibernou na Europa. Após essa fragmentação, o continente europeu passou por um *intermezzo* cultural e científico, período marcado pelo obscurantismo cultural. A ciência europeia praticamente desapareceu durante a maior parte da Idade Média. Como diz o ditado, o homem é escravo de seus medos. Foi dessa forma que a razão, libertada na Grécia Clássica, voltava a ser escravizada. Havia pouco espaço para a criatividade. Apenas era tolerado o que era conforme aos dogmas católicos e à superstição. A inquisição cuidava de semear o medo nas pessoas que ousavam pensar diferentemente.

Abrindo um parêntesis, é importante ressaltar que, em suas táticas de dominação, instintivamente, a classe dominante da Idade Média utilizava-se de expedientes que hoje, devidamente estruturados e conscientemente utilizados, são base de uma forma de comunicação que tem como função primordial impor uma ideia às massas. São, na realidade, técnicas de imposição de ideias a sociedades desatentas, para fins os mais diversos, menos o de compromisso com a verdade. Citam-se dois:

- uma mentira repetida várias vezes torna-se uma verdade;
- a propagação eficiente de uma ideia jamais deve apelar à razão, mas sempre à emoção e ao instinto. O medo foi o instrumento mais utilizado na Idade Média.

A esse respeito, deve-se lembrar que os princípios do método científico introduzido na Grécia Clássica – compromisso com a verdade e uso sistemático da razão – são o oposto dessas técnicas medievais de propaganda enganosa.

²⁴ O império romano oriental, com sede em Constantinopla, ainda perduraria por mais mil anos.

Durante esse *intermezzo*, coube aos árabes, chineses e indianos a tarefa de guardarem e desenvolverem os conhecimentos gregos acumulados. Os árabes trataram de promover a tradução dos principais livros gregos para sua língua. A partir daí, as ideias gregas foram migrando para a China e Índia. A esses três povos devem-se a maioria dos avanços científicos da humanidade durante a Idade Média. Entre os avanços citam-se: a pólvora, o sismômetro, o álcool, ácidos, destilação em alambique.

Destaque desse período foi o trabalho de Alhazen, cientista nascido no século X na cidade de Basra (no território do atual Iraque). Ele escreveu o Livro de Óptica, um tratado que, posteriormente influenciaria importantes cientistas da Europa renascentista e moderna, inclusive Newton. Ele também inventou a câmera escura, precursora das câmeras fotográficas modernas. Afirmou que um corpo permanece em repouso ou se desloca a velocidade constante, a menos que uma força externa aja sobre ele. Seis e meio séculos depois, essa ideia se tornaria a *primeira lei de Newton*. Estudou também a atração entre as massas e a aceleração de massas sob a ação da força da gravidade, ideia que seria desenvolvida com rigor matemático por Newton, resultando na lei gravitação universal. Sua obra se desenvolveu sob a influência do método científico, inicialmente concebido pelos gregos.

O persa Avicena foi outro grande expoente da ciência, no século X. Esse genuíno polímata foi um célebre filósofo, médico, jurista, gramático, teólogo, astrônomo, químico, geólogo, paleontólogo e matemático. Suas ideias não tiveram vida longa no Oriente, em face da oposição de teólogos ortodoxos, mas foram fundamentais para o Ocidente, que, ao tomar contato com elas, redescobriu o pensamento de Aristóteles. Ele influenciou alguns filósofos europeus, destacando-se Tomás de Aquino, que nutria grande admiração por ele.

Apesar de não rivalizar com a Grécia Clássica nem com a revolução científica renascentista, a Idade Média também teve um período de profícuo acúmulo de conhecimento. A partir do século XI, a invasão moura da península ibérica e os esforços de alguns acadêmicos europeus para traduzirem os livros árabes e gregos para o latim transformaram o pensamento do Velho Continente. Ressurgia, assim, o interesse pela investigação da natureza, que voltou a ser vista como um sistema coerente de leis que poderiam ser explicadas pela razão.

Há alguns exemplos desse *renascimento medieval*. A agricultura aumentou sua produtividade a partir do desenvolvimento dos moinhos d'água e de vento, do arado de tração animal, das ferraduras. No campo da arquitetura, o estilo romântico, surgido no século X, evoluiu para o estilo gótico, no século XII, cuja técnica de construção é baseada em princípios matemáticos que influenciariam as técnicas de construção do Renascimento. O estilo gótico permitiu aumentar consideravelmente a altura das catedrais e prover maior iluminação natural. No campo da energia, vale registrar o início da mineração sistematizada de carvão no século XIII, em território europeu.

O renascimento medieval contou ainda com a invenção dos óculos, de relógios mecânicos, das caravelas, da prensa móvel de Gutenberg, e com o aperfeiçoamento das tecnologias da pólvora, da bússola, do astrolábio e da confecção de mapas. Todos esses inventos e aperfeiçoamentos viabilizaram, entre outras realizações, a expansão marítima e comercial da Europa culminando com a descoberta das Américas, já no final do século XV.

Uma das mais importantes tecnologias desenvolvidas nesse período foi a invenção de Gutenberg, que permitiu a popularização da escrita. A consequência mais

impactante foi a democratização do aprendizado e uma inédita rapidez na divulgação de novas ideias, facilitando o advento da revolução científica que se seguiria.

Portanto, pode-se perceber que, do ponto de vista científico, a Idade Média, no final das contas, não foi uma *era das trevas* como apregoa o senso comum. Foi apenas um *intermezzo* imposto por uma cultura político-religiosa que negava a liberdade de criação. Mas, parecia inevitável que, em algum momento, a religião e a política se separassem. As bases para a secularização²⁵ dos governos foram implantadas por Tomás de Aquino, expoente da escolástica²⁶. Sob a forte influência do aristotelismo, esse frade dominicano defendia certa autonomia da razão na obtenção de respostas, conquanto não negasse a subordinação da razão à fé.

Apesar de a atenção dos cientistas medievais ter-se voltado para a Grécia clássica, o retorno da liberdade de pensamento que se desenhava no fim da Idade Média não foi pacífico. A renovação das ideias dominantes na época provocou uma dura reação do obscurantismo religioso, que ceifou muitas vidas entre os que professavam algumas ideias sobre as ciências naturais diferentes das da teologia católica. A mais proeminente vítima da inquisição foi Giordano Bruno. Esse frade dominicano estudou profundamente Aristóteles e Tomás de Aquino. Foi ferrenho defensor de um universo infinito, heliocêntrico, tendo sido, por isso obrigado a deixar a batina.

Defensor também das ideias de Platão, Bruno preconizava que Deus é a alma universal do mundo e que todas as coisas materiais são manifestações desse princípio infinito. Tais ideias influenciaram profundamente Espinosa, filósofo holandês, e Leibniz, pensador alemão que, junto com Newton, desenvolveu o cálculo integral e o diferencial.

Giordano Bruno é tido como um pioneiro da filosofia moderna. Por ter afrontado as crenças católicas da época, Giordano Bruno foi considerado um herege pela inquisição romana e condenado a ser queimado vivo numa fogueira em praça pública. Ao ser sentenciado, afirmou a seus juízes: *Talvez sintam maior temor ao pronunciar esta sentença do que eu ao ouvi-la*. Essa barbárie foi consumada em 17 de fevereiro de 1600, não sem antes seus carrascos cravarem uma tábua em sua língua, como castigo pela pregação de ideias consideradas heréticas. Mas, sua luta e a de outros tantos filósofos e cientistas não foram em vão, pois prepararam o terreno para a consolidação das novas ideias que floresceram no Renascimento.

5 RENASCIMENTO E IDADE MODERNA

A transição da Idade Média para a Idade Moderna não foi súbita, mas um lento processo de confronto de ideias entre os filósofos modernos e os nobres/clérigos católicos, a elite da época medieval. Até meados do século XV, conquanto o conhecimento científico tivesse avançado durante a Idade Média num pequeno círculo de eruditos, as ideias que ditavam o comportamento da população eram uma mescla de crenças da antiga Grécia e de ensinamentos da Igreja Católica. Isso começou a mudar com o Renascimento (ou Renascença), pois se instalou uma nova ordem, na qual a razão

²⁵ Processo pelo qual a religião deixa de ser o aspecto cultural agregador da sociedade, transferindo para outra atividade o fator agregador e identificador dessa sociedade.

²⁶ Ramo da filosofia medieval. A questão-chave do pensamento escolástico era a harmonização da fé e da razão.

tornou-se a medida de tudo. A Renascença e a Reforma Protestante tornaram mais fácil a consolidação da Idade Moderna.

O Renascimento foi um profícuo período da história da Europa, entre o século XIII e o século XVII, durante o qual foram redescobertas e revalorizadas as referências culturais da Idade Antiga²⁷. As sementes culturais colhidas da Grécia clássica foram guardadas no Oriente, replantadas na Europa durante o período medieval, e floresceram no final da Idade Média. O resultado foi um extraordinário desenvolvimento, já na Idade Moderna, de áreas tão díspares como artes, filosofia, religião, cultura, política, ciência, tecnologia, além da consolidação de novas áreas de conhecimento, como a física, a química, a biologia, a economia.

A ciência e o método científico ressurgiram com força durante a Idade Moderna. Tal ressurgimento, já na Renascença, reavivou o pensamento científico, produzindo mentes brilhantes como Galileu e Newton. No campo da filosofia, pensadores, como Descartes e Espinosa, moldaram o que viria a ser o Iluminismo²⁸, resgatando finalmente a razão do jugo dos dogmas religiosos. Muitas conquistas científicas iniciaram-se nessa época, que levaram a uma revolução do conhecimento de enormes proporções.

A principal marca diferenciadora entre a revolução científica na Idade Moderna e a revolução da Grécia clássica foi a inclusão da experimentação como um dos pilares do método científico. Para os gregos, a experimentação era desprezada, por considerarem que apenas a mente era suficiente para se chegar à verdade das coisas. A combinação de experimentação e método científico grego serviu de base para o aparecimento da ciência na sua face moderna.

Um dos maiores expoentes do Renascimento foi o polímata Leonardo da Vinci. Nascido na Itália em 1452, ele tinha uma curiosidade insaciável, só igualada pela sua capacidade inventiva. Ele foi cientista, matemático, engenheiro, inventor, anatomista, pintor, escultor, arquiteto, botânico, poeta e músico. Foi o precursor da aviação e da balística e um dos maiores pintores de todos os tempos. Concebeu ideias muito à frente do seu tempo, como helicóptero, ultraleve, tanque de guerra, uso da energia solar, calculadora. Trouxe grandes avanços nos campos da anatomia, engenharia civil, óptica e hidrodinâmica. É considerado por muitos o maior gênio da história, em razão de sua multiplicidade de talentos. Giorgio Vasari, pintor e arquiteto italiano, contemporâneo de Leonardo e um de seus biógrafos, assim expressou sua admiração pelo conterrâneo: *De tempos em tempos, o Céu nos envia alguém que não é apenas humano, mas também divino, de modo que, através de seu espírito e da superioridade de sua inteligência, possamos atingir o Céu.*

Na esteira da retomada do método científico, cita-se ainda o polonês Nicolau Copérnico, nascido em 1473. Além de cônego da Igreja Católica, ele era astrônomo e matemático. Quase dois milênios após a primeira defesa do heliocentrismo por Aristarco de Samos, Copérnico reafirmou a adormecida teoria heliocêntrica. Explicou com precisão o porquê dos equinócios e solstícios e deu uma clara explicação da causa das quatro estações. Ele esperou décadas para publicar seus estudos. Autorizou a publicação apenas quando já se encontrava no seu leito de morte.

²⁷ Período compreendido entre a invenção da escrita (4.000-3.500 A.C.) e a queda do império Romano (453 D.C.)

²⁸ Um dos mais importantes períodos da história intelectual e cultural do Ocidente. A era iluminista é aceita como tendo iniciado nos primeiros anos do século XVIII, e terminado, com o advento das guerras napoleônicas do início do século XIX. Os iluministas pretendiam contribuir para o progresso da humanidade em todas as áreas do conhecimento, e visavam também à superação dos resíduos de tirania e superstição, legados pela Idade Média.

O primeiro grande expoente da ciência moderna foi Galileu Galilei. Nasceu em 1564, em Pisa. Ele foi matemático, astrônomo e filósofo, e é considerado o pai da ciência moderna. Lastreou suas descobertas em observações e experimentos, sob condições rigorosamente controladas. Foi um dos primeiros cientistas modernos a aplicar a matemática no mundo real. Sobre essa aplicação, ele afirmava: *A ciência é escrita na linguagem da matemática*. Newton viria a dar uma demonstração cabal da importância de um casamento indissolúvel entre a física e a matemática.

Dentre as descobertas mais famosas de Galileu, estão o princípio do pêndulo e a lei dos corpos em queda livre, que chegam ao solo no mesmo tempo, independentemente das suas massas. Defendeu o método empírico²⁹, em contraposição ao método aristotélico, que refutava a experimentação como elemento formador do conhecimento. Ele enunciou o Princípio da Inércia³⁰ e o Princípio da Relatividade³¹

Galileu aprimorou o telescópio, instrumento criado pelo holandês Hans Lippershey, em 1609, com o qual descobriu as manchas solares, as montanhas da Lua, quatro satélites de Júpiter, os anéis de Saturno e as estrelas da Via Láctea. Com o telescópio, reuniu ainda provas poderosas de que o Sol era o centro do sistema solar.

As ideias de Galileu foram fundamentais para a compreensão de conceitos como força e movimento, que foram base para Newton desenvolver as suas famosas três leis do movimento, que permitem o cálculo de praticamente todos os movimentos do Universo em velocidades muito menores que a da luz, num espectro que abrange do deslocamento médio dos átomos num gás, a rotação do sistema solar em torno da Via Láctea, e assim por diante.

Em razão de sua defesa do heliocentrismo, em contraposição ao geocentrismo³² propalado pelos teólogos da época, Galileu foi levado a julgamento, por heresia. Declarado culpado, foi condenado e lhe foram dadas duas opções: a morte ou a retratação pública mais a prisão perpétua. Após a retratação pública, reza a lenda que

²⁹ No campo da filosofia, o empirismo é um movimento que acredita nas experiências como as principais formadoras das ideias, em contraposição à noção de ideias inatas. No campo da ciência, o empirismo é utilizado quando se fala de método científico tradicional. Segundo esse método, as teorias científicas devem ser baseadas na rigorosa observação do mundo, em vez de lastreadas na intuição ou na fé.

³⁰ Aristóteles afirmava que os objetos em movimento só permaneceriam em movimento se houvesse uma força que os empurrasse, caso contrário, tenderiam a parar. Isso está de acordo como o senso comum. Galileu contestou esse paradigma multimilenar ao afirmar que um corpo pode, sim, estar em movimento perpétuo onde não há atrito, mesmo que nenhuma força esteja atuando nele: quanto menor o atrito, mais os objetos em movimento se aproximam do movimento perpétuo à velocidade constante, depois de serem empurrados. É o que aconteceria com um astronauta passeando no espaço: se ele desse um impulso para se afastar da nave espacial, ele continuaria se afastando dela a uma velocidade constante, em um movimento perpétuo. Portanto, os objetos têm uma tendência a permanecerem como estão (em repouso ou em movimento), se nenhuma força modificar a sua situação. Esse postulado é conhecido como o Princípio da Inércia de Galileu ou Primeira Lei de Newton.

³¹ O Princípio da Relatividade de Galileu afirma que as leis fundamentais da física são as mesmas, independentemente da referência adotada para medição do movimento, mas o valor das medidas depende do referencial. Em outras palavras, o tempo e o espaço concebidos por Galileu e Newton são absolutos e independentes. Mas os referenciais, não. Por exemplo: dois trens se cruzam em sentido contrário cada um viajando a 100 km/h; para um passageiro que viaje em um dos trens, o outro trem está a 200 km/h, em *relação* ao passageiro. Caso o trem do mesmo passageiro estivesse parado, e o outro cruzasse a 200 km/h, a percepção de velocidade do passageiro parado seria a mesma. A percepção de velocidade do outro trem muda de acordo com a referência, mas as leis que calculam a velocidade serão sempre as mesmas. A discussão em torno desse princípio foi fundamental para Einstein desenvolver a teoria da Relatividade.

³² Segundo esse conceito, a terra seria estática e estaria no centro do universo. Em torno dela, todos os astros girariam. Algumas passagens da Bíblia reforçam essa visão.

Galileu teria dito na saída do tribunal: *contudo, a terra se move*. Conseguiu comutar sua pena de prisão perpétua em prisão domiciliar.

Johannes Kepler, nascido na Alemanha em 1571, foi astrônomo, matemático e astrólogo, e uma das figuras-chave da revolução científica do século XVII. Ele formulou as leis que levam seu nome, que forneceram os fundamentos para a teoria da gravitação universal de Newton. No campo da óptica, desenvolveu ideias fundamentais e inventou uma versão melhorada do telescópio refrator (duas lentes), o que permitiu legitimar as descobertas de seu contemporâneo Galileu Galilei. A primeira lei de Kepler afirma que a Terra gira em torno do Sol. Isso enfureceu os clérigos católicos, mas ele estava a salvo da fúria do santo ofício, uma vez que vivia num país que havia sido o berço da Reforma Protestante³³. Kepler sustentava ainda que os planetas se moviam graças a um efeito magnético irradiado do Sol, o que Newton viria a refutar.

Outros grandes cientistas da época podem ser citados. René Descartes, filósofo, físico e matemático francês, e grande admirador de Galileu, é considerado o fundador da filosofia moderna e o pai da matemática moderna. Nasceu em 1596, na França. Foi o primeiro a publicar um ensaio sobre a fusão da geometria e da álgebra, resultando na geometria analítica; desenvolveu estudos de óptica, tentou medir a velocidade da luz, e afirmava que a luz era formada de corpúsculos; defendeu a ideia de Pitágoras, segundo a qual o universo era totalmente preenchido por um *éter* onipresente. A natureza corpuscular da luz e a existência do *éter* seriam objeto de grandes debates até o início do século XX, quando Einstein e outros cientistas *pacificaram* as duas questões. O Discurso do Método, sua obra mais relevante, tinha como objetivo criar não só um método para resolução de problemas de matemática e física, mas também para encontrar a verdade das coisas.

Outro francês que teve gigantesca influência no desenvolvimento da matemática foi Pierre de Fermat. Jurista e magistrado de profissão, ele é considerado o *Príncipe dos Amadores* de matemática, porque praticava a matemática apenas por diletantismo. Suas habilidades matemáticas eram impressionantes. Seu nome era pouco conhecido à época, haja vista sua crônica resistência em publicar suas descobertas. Seus achados só foram conhecidos graças à troca de correspondências com amigos e às anotações em livros que ele estudava. Uma das fontes de divulgação de seu trabalho foi Marsenne, padre, filósofo e matemático francês. Ao saber da fama de Fermat entre outros matemáticos franceses, passou a se corresponder com ele e se encarregou de divulgar seu trabalho entre outros matemáticos da Europa.

O hobby predileto de Fermat era trocar e resolver desafios. René Descartes iniciou polêmicas com Fermat reiteradas vezes. Fermat, sempre com calma e cortesia, demoliu Descartes em todas as ocasiões. A invenção da geometria analítica é obra de Fermat, incluído no seu trabalho não publicado *Introdução aos Lugares Geométricos Planos e Sólidos*. Sabe-se que Descartes teve acesso à *Introdução* alguns meses antes de publicar seu livro *Geometria*, onde apresentou para o mundo a geometria analítica. Fermat também esteve profundamente envolvido na fundação de outro ramo da matemática: o cálculo infinitesimal. Esse ramo teve papel fundamental para a revolução científica que se seguiria, pois permitiu o desenvolvimento do cálculo diferencial e integral, consolidados por Newton e Leibniz. Contribuiu também para a teoria dos

³³ A Reforma Protestante foi um movimento reformista cristão do século XVI, que confrontou os dogmas da Igreja Católica da época, culminando com o enfraquecimento do poder clerical católico. Na Alemanha, foi liderada por Martinho Lutero. Na França e Suíça, por João Calvino e Ulrico Zuínglio.

números. Sua obra foi garantida para a posteridade em razão do meticuloso trabalho de seus filhos, que se encarregaram de publicá-la.

Blaise Pascal nasceu na França em 1623. Era matemático, filósofo e teólogo. Contribuiu enormemente para o desenvolvimento da geometria projetiva, da teoria das probabilidades e da análise combinatória. A teoria das probabilidades nasceu a partir de uma troca de cartas entre Pascal e Fermat. Ambos eram contumazes praticantes de jogos de azar, e entabularam comunicação para darem um tratamento científico que calculasse as chances de se ganhar nesses jogos.

No campo da física, Pascal esclareceu os conceitos de pressão, vácuo e de variações na pressão atmosférica. Criou a primeira calculadora mecânica para soma e subtração. Estabeleceu também o *princípio de Pascal*, que é o fundamento para a construção de macacos hidráulicos. Pascal considerava Fermat o maior matemático de seu tempo.

A multiplicação e a divisão de números, até então difíceis de executar com calculadoras, foram enormemente facilitadas pelo desenvolvimento de logaritmos, pelo escocês John Napier. Nascido em 1550, Napier era matemático, astrólogo e teólogo. Junto com Henry Biggs, desenvolveu os logaritmos, o que facilitou enormemente as multiplicações e divisões, pois eles permitiam transformar essas operações em soma e subtração, respectivamente.

Os logaritmos permitiram o desenvolvimento do mais importante instrumento de cálculo da história, até o advento do computador: a régua de cálculo. Trata-se de um verdadeiro computador mecânico analógico. Durante mais de trezentos anos, até a década de 1970, a régua de cálculo foi utilizada por universitários de todo o mundo, por físicos, por engenheiros, no projeto e na construção de obras as mais complexas. Foi um insubstituível instrumento de cálculo para dezenas de gerações de profissionais das ciências exatas. Ela permitia cálculos aproximados de problemas extremamente complexos e foi fundamental para viabilizar, inclusive, a ida do homem à Lua. A régua de cálculo foi inventada pelo matemático inglês William Oughtred em 1638.

Outro cientista de grande valor para a história da ciência foi o holandês Christiaan Huygens. Nasceu em 1629. Era matemático, astrônomo e físico. Descobriu os anéis de Saturno, que Galileu havia apenas vislumbrado sem nenhuma nitidez, e descobriu Titã, a maior lua de Saturno. No campo da física, desenvolveu a teoria de que a luz seria uma onda que se propagava no éter, diferentemente da visão de Newton, que defendia a teoria corpuscular da luz, apresentada por Descartes. Foi o primeiro cientista a sistematizar a teoria das probabilidades, desenvolvida por Pascal e Fermat.

Destacaram-se também Hans Janssen e seu filho, holandeses, fabricantes de óculos. Inventaram o primeiro microscópio em 1590. O primeiro a utilizar esse aparelho para explorar o mundo microscópico foi o holandês Antonie van Leeuwenhoek. Ele observou e descreveu detalhadamente os embriões de plantas, os glóbulos vermelhos e os espermatozoides em sêmen de animais. Descobriu também a existência de *micróbios*, hoje conhecidos como microorganismos.

Francis Bacon, político inglês, defendia ideias semelhantes às de seu contemporâneo Descartes. Nascido na Inglaterra em 1561, Bacon desprezava as falsas noções, responsáveis pelos erros cometidos pelos homens que diziam fazer ciência. Essas falsas noções eram baseadas somente em algumas observações não testadas. Por isso, defendia um novo padrão de precisão, por meio de um paciente acúmulo de dados.

O grande legado da filosofia de Bacon foi estabelecer uma organização que permitisse compartilhar os resultados do método científico e os da pesquisa. Ao final do século XVII, suas ideias já estavam consolidadas, da seguinte forma: 1) de início, o cientista propõe uma hipótese; 2) em seguida, busca evidências experimentais, sob condições controladas e passíveis de serem repetidas por outros pesquisadores; 3) depois, divulgação de suas descobertas aos seus pares, para que eles realizem rigorosas análises e testes que a sustentem ou a contestem. Bacon morreu de resfriado, adquirido ao rechear uma carcaça de galinha com neve, para ver se a carne podia ser conservada. Sua obra influenciou diretamente Robert Boyle, Robert Hooke e Isaac Newton.

Experimentador entusiasta, o irlandês Robert Boyle era físico e químico. Nasceu em 1627, e fez notáveis descobertas. Enunciou a lei dos gases³⁴, desenvolveu um indicador para detecção de substâncias ácidas (usado até hoje), descobriu o enxofre, a acetona, o sulfato de mercúrio, o álcool metílico, isolou o hidrogênio, provou que o ar é uma mistura. Ele refutou as teorias de Aristóteles e da alquimia sobre os quatro elementos, aceitas durante mais de dois milênios. É considerado o pai da química moderna. Foi membro fundador da Real Sociedade³⁵. Apesar de muito rico, vivia modestamente, e usava sua fortuna para financiar as pesquisas científicas. Tratava seus subalternos como seus iguais. Recusou convites para se tornar presidente da Real Sociedade, para se tornar nobre e mesmo para se tornar um bispo da igreja anglicana.

O inglês Robert Hooke também foi um notável cientista experimental e, em razão de seu talento, foi convidado a ser assistente de Boyle. Nasceu em 1635. Fez relevantes contribuições no ramo da óptica. Sua experiência nesse ramo o levou à invenção do microscópio de três lentes, à construção do primeiro telescópio refletor e à descoberta da primeira estrela binária (duas estrelas girando uma em torno da outra). Desenvolveu também uma bomba de vácuo de precisão, utilizada por Boyle nos estudos sobre o comportamento dos gases, que tiveram como base os trabalhos do italiano Torricelli, discípulo de Galileu. Com essa bomba, Boyle e Hooke mostraram que o som precisava de um meio para se propagar. Juntamente com Boyle, inventou o barômetro. Estudou o comportamento das molas, e enunciou uma lei que leva o seu nome. Hooke e Edmond Halley observaram que as órbitas dos planetas pareciam obedecer a uma ordem quadrática inversa, e pediram para Newton dar roupagem teórica a essa observação experimental. Surgiria daí a Lei da Gravitação Universal.

Edmund Halley nasceu em 1656. Astrônomo e matemático britânico, ele descobriu o cometa que leva o seu nome. Mostrou que os cometas são objetos dotados de um ciclo de aparecimento, e que muitos dos cometas avistados no passado eram os mesmos que apareciam novamente ao campo de visão dos homens. Previu com precisão o ciclo de 76 anos para o cometa Halley. Foi astrônomo real britânico. Mostrou que a distância entre a Terra e o Sol poderia ser calculada a partir dos trânsitos de Mercúrio e Vênus. Descobriu que as estrelas tinham movimento próprio. Descobriu também a relação entre a pressão atmosférica e a altura acima do nível do mar. Mapeou o campo magnético superficial da Terra e apresentou a primeira justificativa racional para a aurora boreal.

³⁴ A Lei dos Gases é também conhecida como Lei de Boyle, apesar de ele ter transparentemente atribuído os créditos a seu assistente Robert Hooke e a Henry Power, o autor da hipótese de variação da pressão atmosférica com a altura

³⁵ Instituição inglesa dedicada à divulgação do conhecimento científico. Foi fundada em 1660.

Isaac Newton³⁶ foi o principal cientista da Era Moderna e um dos maiores de todos os tempos. Newton nasceu na Inglaterra em 1643, mesmo ano em que morreu Galileu, e é mais conhecido por seus feitos nas áreas de física e matemática, embora tenha sido também astrônomo, alquimista, filósofo natural e teólogo. Após um tio materno ter observado seu extraordinário talento para a construção de engenhos, sua mãe o levou para estudar em Cambridge, aos 17 anos. No Trinity College, estudou *Os Elementos*, de Euclides, *Geometria* de Descartes, *Óptica* de Kepler. Estudou ainda as obras de Galileu e de Fermat.

Na realidade, Newton era um autodidata. Aos 21 anos, já havia atingido as fronteiras do conhecimento em matemática e física da sua época, e estava pronto para dar as suas próprias contribuições. Antes de formar, aos 22 anos, já havia inventado o algoritmo conhecido *Método de Newton* para a solução aproximada de raízes de uma função. Esse algoritmo é considerado ainda hoje, entre os especialistas em análise numérica, o melhor método para encontrar a solução aproximada de zeros de funções por computador.

Logo após se formar, voltou para sua casa, em Lincolnshire, para fugir da peste que vinha assolando Londres. Esses meses que passou em sua casa foram os mais produtivos da vida de Newton. Aos 23 anos realizou quatro de suas maiores descobertas: 1) o teorema binomial, 2) o cálculo integral e diferencial, 3) a lei da gravitação universal e 4) a natureza das cores. Esse ano é conhecido entre os historiadores da ciência como um *annus mirabilis*³⁷. O estudo de todos esses assuntos ainda hoje é obrigatório para os estudantes das áreas científicas dos ensinos médio e universitário de todo o mundo.

Aos 24 anos, Newton voltou para Cambridge. Aos 25 anos, manufaturou um telescópio compacto e extremamente eficaz para a época, cujo princípio de funcionamento é base para os telescópios modernos. Ele seria utilizado para comprovar experimentalmente a universalidade de sua teoria da gravitação. Aos 26 anos tornou-se professor de matemática no Trinity College, onde havia estudado. Ao dar aulas de óptica, já lecionava suas próprias descobertas. Aos 29 anos, foi eleito para a Real Sociedade e, já na posse, comunicou seu trabalho sobre telescópios e sua teoria corpuscular da luz contidos no livro *Philosophical Transactions*. Sua teoria corpuscular confrontava com a teoria ondulatória da luz, proposta por seu contemporâneo Huygens. Mas as experiências mostravam que a luz tinha comportamento dúbio; os cientistas tinham argumentos experimentais para defender tanto uma como a outra teoria. Apesar disso, a teoria ondulatória tinha a preferência majoritária de cientistas do século XIX, principalmente porque as evidências do comportamento ondulatório da luz eram mais eloqüentes do que as do comportamento corpuscular. Mas, em 1860, Maxwell mostraria que a luz era uma onda, unificando a convicção dos cientistas da época. Ainda assim, a celeuma foi retomada por Einstein no início do século XX para pacificá-la definitivamente.

Durante muitos anos, Newton reservou para si suas extraordinárias descobertas. Seu amigo Halley o convenceu de divulgá-las, encarregando-se das despesas com a publicação. Newton, então escreveu sua coleção mais portentosa: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Princípios Matemáticos da Filosofia Natural), em três volumes.

³⁶ <http://www.educ.fc.ul.pt/docentes/opombo/seminario/newton/biografia.htm>

³⁷ Expressão latina que significa *ano milagroso*. No contexto da história da ciência, é usado principalmente para os anos de 1665, pelos trabalhos de Newton, e de 1905, pelos trabalhos de Einstein.

Halley publicou-a em 1687, quando Newton tinha 35 anos. É, provavelmente, a obra científica de maior influência jamais publicada. Nela estão contidas as leis de Newton para o movimento dos corpos – fundamento da mecânica clássica, disciplina estudada até hoje nos cursos de física; a lei da gravitação universal; a demonstração das leis de Kepler. Para demonstrar suas teorias no campo da física, Newton desenvolveu uma inédita ferramenta matemática: o cálculo diferencial e o integral, que até hoje é ferramenta fundamental para os ramos avançados de matemática, física, engenharia e até de economia. Seus estudos tiveram profunda repercussão no pensamento científico e nas invenções práticas.

Aos 50 anos, desgostoso com uma controvérsia com Leibniz sobre quem havia descoberto o cálculo, Newton passou a tratar de outros assuntos. Mas nunca deixou de resolver desafios propostos por outros matemáticos. Um problema (denominado *brachistochrona*), que se tornou clássico na época, foi proposto pelo matemático suíço Jean Bernoulli. Leibniz havia apresentado uma solução que desafiava a compreensão dos matemáticos da época. Newton então apresenta anonimamente sua solução à Real Sociedade. Bernoulli, ao ver a solução, identificou na hora que se tratava de Newton, e exclamou: *reconheço o leão pelas suas patas!* Foi herói inglês ainda em vida, e declarado cavaleiro pela rainha Anna, aos 58 anos. Sir Isaac Newton faleceu aos 85 anos e foi enterrado junto aos reis da Inglaterra.

A obra de Newton deve influência direta no desenvolvimento das engenharias civil, mecânica e elétrica e da física. Durante quase duzentos anos, as leis de Newton seriam o estado da arte no campo da física e da engenharia. E até hoje elas descrevem com incrível precisão os fenômenos físicos do movimento dos astros e do movimento de quaisquer invenções feitas pelo homem³⁸.

Para concluir esse capítulo, um espaço merece ser destinado ao maior matemático de todos os tempos: o alemão Johann Carl Friedrich Gauss. Nasceu em 1777. Era filho de um rude pedreiro, que não desejava que seu filho estudasse. Só o permitiu por intervenção da mãe e de um tio, que viu no seu sobrinho enorme talento. Aos três anos, já sabia somar e corrigia as contas de seu pai. Aos dez anos, quando seu professor solicitou à turma o resultado da soma dos cem primeiros números, Gauss apresentou a resposta correta em poucos segundos: 5050. Ele acabara de inventar a fórmula da soma de uma progressão aritmética.

Insatisfeito com demonstrações pouco rigorosas e imprecisas dos matemáticos que o antecederam, Gauss primava pelo extremo rigor nas suas demonstrações. Suas demonstrações eram irretocáveis, tal a perfeição das soluções. Aos treze anos, preencheu os vazios que ele havia identificado na teoria dos números. Aos dezesseis, reformulou a geometria de Euclides, utilizada desde a Grécia clássica, dando consistência matemática à *geometria não-euclidiana*³⁹, mas nada publicou sobre o assunto.

³⁸ Conta-se que, em 1969, no dia em que Neil Armstrong pisou na Lua pela primeira vez – 242 anos após a morte de Newton, um grupo de estudantes deixou um cartaz sobre o túmulo de Newton, com os dizeres: “A *Águia* (nome do módulo lunar) *pousou. Obrigado Newton*”.

³⁹ O nome foi cunhado por Gauss, mas ele manteve em segredo suas descobertas sobre a nova geometria, pelo fato de a filosofia de Kant dominar a Alemanha da época. Kant afirmava dogmaticamente serem as ideias de Euclides as únicas possíveis. Em carta a Bessel, outro grande matemático da época, Gauss afirmou: *não irei dedicar muito de meus esforços para escrever algo publicável sobre esse assunto (fundamentos da geometria), pois tenho horror aos gritos histéricos que ouviríamos dos beócios se eu tornasse claros meus pensamentos sobre o assunto.* Fonte:

http://educacaomatematica.vilabol.uol.com.br/histmat/a_nova_geometria.htm, acessado em 1/3/11.

Apesar de Gauss ter sido o primeiro a tratar do problema, os primeiros a publicarem sobre geometrias não-euclidianas foram o russo Nicolai Ivanovitch Lobachevsky e o húngaro Janos Bolyai. Encorajado por essas publicações, Gauss propôs o assunto como tese de doutorado a seu orientando George Friedrich Bernhard Riemann. Ainda que não tenha sido vasta, a obra de Riemann é considerada uma das mais importantes de todos os tempos, por ter aberto novos caminhos importantíssimos para a matemática. Suas grandes contribuições para a análise matemática e para a geometria diferencial permitiram o desenvolvimento da Teoria Geral da Relatividade de Einstein. Foi o primeiro a propor o uso de dimensões maiores do que quatro para descrever a realidade física. Hoje essa proposição é base para a compreensão de vários ramos da matemática e da física.

Esse e outros desenvolvimentos matemáticos foram obtidos apenas em razão da capacidade de abstração dos seus formuladores, sem nenhum vislumbre prático. Mas, frequentemente, os resultados terminam servindo, posteriormente, de ferramentas para formulação de modelos físicos da natureza. Por exemplo, a geometria não-euclidiana que viria a ser utilizada por Einstein na teoria geral da relatividade, inicialmente, era matemática pura. A afirmação de Galileu sobre a linguagem matemática tem sido sistematicamente corroborada pelos fatos.

Aos dezoito anos, Gauss inventou o método dos mínimos quadrados, que minimiza os erros de medição, ferramenta hoje fundamental em econometria, em pesquisas geodésicas e em análises de resultados experimentais. Esse trabalho também o levou ao desenvolvimento da curva de Gauss, hoje fundamental nos estudos probabilísticos e estatísticos, incluindo as pesquisas eleitorais.

Aos vinte e um anos, ainda estudante, publicou o livro *Disquisitiones*, um marco na história da matemática. Aos vinte e dois anos, defendeu sua tese de doutorado. Ainda adolescente, ele dizia haver tal volume de novas ideias que trovejavam em sua mente, que ele só tinha tempo para registrar uma pequena fração delas. *Disquisitiones* era um livro de difícil entendimento, até para os especialistas da época.

Após a publicação de seu livro, que lhe trouxe fama, deu adeus à matemática pura e passou a se interessar por aplicações práticas. Fez enormes contribuições para a astronomia. Previu milimetricamente a trajetória de um novo planeta-anão que havia aparecido no céu, denominado Ceres. Seu desaparecimento em seguida causou perplexidade entre os astrônomos. Mas não em Gauss, que previu quando e onde Ceres reapareceria. Nove meses depois, como previsto, Ceres reapareceu exatamente onde Gauss calculara. Ele escreveu um livro sobre mecânica celeste, utilizando exaustivamente a matemática. Tornou-se professor de astronomia em Göttingen, onde permaneceria até sua morte.

Na celeuma que surgiu quando da observação de Ceres por alguns cientistas e sua classificação como planeta-anão, o filósofo Hegel disse: *Poderiam eles dar alguma atenção à filosofia? Se o fizessem, reconheceriam imediatamente que só podem existir sete planetas, nem mais nem menos. Sua busca, portanto, é uma estúpida perda de tempo.* Essa afirmação dogmática foi prontamente refutada por Gauss, que havia levado a sério a existência de Ceres. Gauss mostrava desprezo pelos filósofos que se ocupavam de assuntos científicos que não compreendiam. Na verdade, a ciência havia chegado a tal ponto de avanço, que não havia mais espaço para generalistas e especuladores. Os filósofos tiveram inestimável papel no desenvolvimento científico, mas chegara a hora de deixarem de protagonizar a cena científica e darem lugar aos especialistas.

Juntamente com seu colaborador Wilhelm Weber, Gauss assentou as bases matemáticas do eletromagnetismo, fenômeno que já vinha sendo divulgado por Michel Faraday, e cujo entendimento é crucial para as telecomunicações, a geração e transmissão de energia elétrica, o estudo da luz, do calor e das partículas subatômicas. E, com base nos inventos do galvanômetro, em 1820, e do eletroímã, em 1825, Gauss inventou o telégrafo, apenas para se comunicar o amigo Weber, entre o observatório e o laboratório de física, distantes 3 km um do outro.

Outra fonte de legados de Gauss foram suas anotações no diário. Nelas, havia riquíssimos tesouros matemáticos não publicados, circunscritos em dezenove pequenas páginas contendo 146 descobertas extremamente resumidas. Como ele não nutria vaidade pela primazia das descobertas, não se preocupou em publicar aquelas contidas em seu diário. A publicação só viria a ocorrer em 1898, por meio de seu neto. Só os matemáticos de meados do século XIX em diante é que conseguiram perceber a real grandiosidade da obra desse gênio da raça. Caso Gauss tivesse divulgado em vida o que sabia, a matemática teria alcançado o estágio do final do século XIX cinquenta anos mais cedo, pois teria poupado décadas de esforços de outros grandes matemáticos que o sucederam, como Abel e Jacobi.

Até este ponto do presente Texto, deu-se uma ideia das contribuições de vários cientistas para o acúmulo de conhecimentos do homem. Inúmeros outros poderiam ter sido citados, e a extensa lista de cientistas que deram importantes contribuições para o conhecimento científico possivelmente não caberia aqui. Por isso, optou-se por trazer apenas uma amostra dos principais cientistas que contribuíram para esse acúmulo de conhecimentos associados às fontes de energia e que propiciaram enormes avanços para a humanidade.

O casamento entre a matemática e as ciências básicas (a física, a química, a termodinâmica, por exemplo) ensejou o surgimento da engenharia como profissão. As ciências básicas buscam representar a natureza por meio de modelos mentais traduzidos em linguagem matemática, que serão tão bons quanto mais se aproximarem do comportamento da natureza que se quer modelar. E a engenharia utiliza-se desses modelos para prever comportamentos e desenvolver tecnologias. A engenharia passou a desempenhar papel fundamental na vida das pessoas a partir da Primeira Revolução Industrial.

Antes de seguir adiante, destacar-se-ão alguns detalhes do estilo de vida no final do século 18. A maioria da população era de camponeses, vivendo em precárias condições. Viviam em choupanas de palha e apenas sobreviviam. Nas cidades, a iluminação residencial se resumia ao uso de velas de sebo e de lamparinas. A iluminação pública era feita por candeeiros. As construções eram feitas pela força humana e animal.

Os meios de transporte se resumiam ao uso de equinos, asininos, carroças, carruagens e navios. Dificilmente, o deslocamento diário em terra superava seis léguas⁴⁰. A grande maioria das pessoas dificilmente conhecia sítios além de um raio de mil quilômetros de seu local de nascimento. No Brasil do início do século XIX, uma viagem de 1000 km demorava cerca de um mês.

⁴⁰ Uma légua é equivalente a seis quilômetros.

O tráfico de escravos, prática comum na Idade Moderna, havia ressurgido na Europa em função da colonização, principalmente a da América. A indústria existente era lastreada na manufatura de bens e não havia quase nenhuma mecanização.

6 A PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Durante milênios, pouco se fez no campo da energia visando a utilizá-la de forma mais racional. Sua aplicação permaneceu, por longo tempo – até o século XVIII, restrito a usos simples, sem aproveitamento eficiente de seu potencial. A partir do final da Idade Moderna isso iria mudar drasticamente. O método científico havia contribuído enormemente para a liberdade de pensamento e preparado as bases para uma revolução tecnológica. Doravante, os limites do homem passariam a ser balizados, principalmente por sua criatividade.

No início do século XIX, o Ocidente estava maduro para o notável avanço que se seguiria: a Primeira Revolução Industrial. O acelerado acúmulo de conhecimentos científicos, tecnológicos e econômicos ocorrido desde a Renascença criou condições para que o uso combinado do conhecimento e da energia promovesse um salto no estilo de vida mundial. E a máquina a vapor foi um marco nesse processo.

A primeira máquina a vapor foi inventada pelo ferreiro e mecânico Thomas Newcomen, em 1712. Seu invento hoje é considerado um dos mais importantes de todos os tempos⁴¹. Ela foi inicialmente concebida para extrair água do fundo de uma mina de carvão, permitindo escavações cada vez mais profundas. Entretanto, a eficiência do invento era muito baixa, de cerca de apenas 1%. Isso representava enorme perda de energia. A fonte de calor para fazer vapor era o carvão.

Esse invento tomou como base os trabalhos de Torricelli, e do físico francês Denis Papis que, ao descobrir a panela de pressão, inventou também, sem saber, o princípio da máquina a vapor, ao colocar um êmbolo na tampa. O aparecimento da máquina a vapor, já no século XVIII, deu grande impulso à indústria têxtil. Mas, até a primeira metade do século XVIII, quase nada havia mudado em relação à tecnologia e manufatura da tecelagem utilizada há milênios. Em 1755 surgiu uma máquina que tecia lã com mais velocidade e largura do que conseguiriam as mãos humanas. Em 1768, a máquina de tecelagem, com substanciais aprimoramentos, foi associada à máquina a vapor. A troca da lã pelo algodão facilitou bastante a tecelagem e impulsionou a indústria têxtil mecanizada, principalmente no sul dos Estados Unidos.

O engenheiro escocês James Watt, em 1765, aumentou a eficiência da máquina ao utilizar a pressão do vapor para movimentar o pistão, dispensando a pressão atmosférica. Essa máquina de Watt ganhou o mundo, e ela passou a movimentar equipamentos em carpintarias, minas, tecelagens, indústrias, em várias partes do planeta, substituindo o trabalho braçal. As melhores máquinas de Watt alcançavam eficiência de 6%.

O engenheiro inglês Richard Trevithick deu o passo seguinte no uso da máquina a vapor. Em 1801, ele foi o responsável pela invenção da locomotiva, primeira máquina

⁴¹ Tal juízo de valor, feito aqui e em outros pontos do texto, pode parecer despropositado em razão de se tratar hoje de uma invenção banal quando comparada aos desenvolvimentos muito mais sofisticados nos dias atuais. Mas essa e outras classificações comparativas que aparecem no Texto, como *maior*, *melhor*, *mais importante*, devem ser consideradas em face do impacto que tiveram na história, e não em face do contexto do século XXI.

a vapor não-estacionária, que viabilizaria o transporte de passageiros e de carga. Criou também algumas invenções a vapor avançadas para a época: barcos a vapor, dragas, debulhadoras.

A vantagem do veículo automotor sobre a tração animal era enorme: enquanto o cavalo era a força motriz, havia limitação de distância percorrida por dia e de volume de mercadorias transportadas, e a necessidade de troca de animais de transporte. Logo, as indústrias adotaram a locomotiva para transporte de minérios e outros produtos. Com o advento das linhas férreas, aumentou muito a distância percorrida e o volume de produtos transportados. A primeira locomotiva para uso industrial surgiu em 1814 e transportava 30 toneladas de minério a 6 km/h, velocidade de um cavalo. Já em 1825, foi inaugurada a primeiro comboio de transporte de passageiros, ligando Manchester a Liverpool. Ela percorria, em uma hora, o que os cavalos demoravam quase um dia para percorrer (cerca de 30 km/h).

A mudança no tipo de transporte não saciou o apetite dos industriais por novas tecnologias. Era fundamental aumentar a eficiência das máquinas. Em meados do século XIX, a eficiência das máquinas a vapor chegaria a 25%. A máquina a vapor continuou dominando a cena durante quase todo o século XIX, recebendo contínuos aprimoramentos visando a aumentar sua eficiência e sua capacidade de geração de força motriz.

Três fatores combinados propiciaram a Revolução Industrial: o liberalismo econômico concebido por Adam Smith, a acumulação de capital da classe burguesa e a capacidade de gerar movimento a partir de uma fonte de energia, em substituição ao trabalho braçal. Isso causou profundo impacto no processo produtivo e no nível econômico e social dos países e das pessoas, alterando sua mentalidade com espantosa velocidade. Um dos impactos mais relevantes da Revolução Industrial foi o combate à escravidão nas colônias, resultado do surgimento da ciência econômica na Europa, que considerava a escravidão uma atividade extremamente ineficiente, e do ideal liberal, que considerava tal prática moralmente reprovável.

O período pré-industrial era dominado por atividades produtivas manuais e artesanais. Em regra, o mesmo artesão cuidava concomitantemente da obtenção da matéria-prima, da produção e da comercialização dos produtos finais. Outras vezes trabalhavam em indústrias manufatureiras, mas sem perder o conhecimento de todo o processo produtivo.

Com a Revolução Industrial, os artesãos perderam a competitividade frente a um processo produtivo mecanizado que tornavam os preços dos produtos extremamente baixos e as mercadorias muito mais abundantes. E as indústrias passaram por um processo de mecanização que forçou os artesãos a se tornarem operários especializados, o que os fez perder a noção da agregação de valor dos seus serviços. Com isso, a classe burguesa, detentora do capital, passou a dominar o processo produtivo. Modificaram-se profundamente as relações de trabalho prevalentes na época e as relações internacionais. Iniciava-se assim a era do capitalismo. Alguns problemas sócio-econômicos foram solucionados, mas outros se aprofundaram, como o aumento das desigualdades sociais, o que ensejou o início do movimento trabalhista. Mas, em média, a qualidade de vida das pessoas melhorou muito.

Apesar de todo o sucesso da máquina a vapor, a compreensão do comportamento dos gases ainda era incompleta, o que limitava o seu desenvolvimento. Partindo dos estudos de Boyle e Hooke, e da bomba de vácuo, o francês Sadi Carnot publicou seu único livro *Réflexions sur La Puissance Motrice du Feu et sur les Machines Propres à*

*Développer Cette Puissance*⁴². Nele, Carnot explicou o funcionamento da máquina a vapor e como o calor movimentava os objetos. Ele também estabeleceu os fundamentos da Segunda Lei da Termodinâmica. Inicialmente, Carnot considerava o calor como um fluido, denominado *calórico*. Mais tarde, rejeitou essa ideia e associou o calor ao movimento de átomos e moléculas. Com isso, ele chegou à conclusão de que calor era energia.

Um ano antes de morrer, Carnot propôs o primeiro modelo teórico sobre máquinas térmicas, propiciando a compreensão do comportamento das máquinas a vapor e, mais adiante, do motor diesel e do motor a gasolina. Em particular, mostrou como converter a energia contida no calor em movimento mecânico: sempre que o calor flui de um corpo quente para um corpo frio, parte do calor pode ser convertida em movimento. E ele mostrou que a forma mais eficiente de extração era durante o ciclo de variações de temperatura e pressão de um gás. Essa ideia abriu caminho para o desenvolvimento do motor a combustão interna. Com sua obra fundamental, Carnot ofereceu aos engenheiros o modelo básico para a compreensão do funcionamento das máquinas a vapor, e o que fazer para aumentar sua eficiência. Mas isso foi só no início do total domínio da termodinâmica.

Coube a Rudolf Clausius concluir que a conservação da energia poderia ser considerada a Primeira Lei da Termodinâmica. Ele mostrou ainda uma inconsistência entre o ciclo de Carnot e a Primeira Lei da Termodinâmica. Clausius eliminou a inconsistência ao introduzir o conceito de perda irreversível de energia, à qual denominou *entropia*. Ato contínuo, ele enunciou a Segunda Lei da Termodinâmica, sobre a entropia.

A Terceira Lei da Termodinâmica foi proposta pelo irlandês Lord Kelvin. Ao resfriar um corpo frio, por meio da retirada de calor, ele concluiu que os átomos se moviam cada vez menos, e que devia haver uma temperatura na qual esse movimento cessasse totalmente. Ele chamou essa temperatura de *zero absoluto*, e a calculou com precisão (-273,15°C). A Terceira Lei da Termodinâmica afirma existir uma temperatura mínima na qual o movimento dos átomos deve cessar. Em outras palavras, a entropia tende a zero quando a temperatura cai para o zero absoluto. Para comprovar essa lei, Kelvin criou o que chamou *bomba térmica*, capaz de transferir energia de um corpo frio para um corpo quente. Com essa criação, Kelvin havia demonstrado o princípio que serviu de base para o desenvolvimento dos refrigeradores e condicionadores de ar.

Com o aprofundamento de sua compreensão, a Termodinâmica tornou-se essencial em vários outros campos do conhecimento: física, química, engenharia química, engenharia aeroespacial, engenharia mecânica, engenharia biomédica, biologia, ciência dos materiais, economia e cosmologia.

As leis da Termodinâmica são fundamentais para a compreensão do universo. Para ressaltar a essencialidade da Termodinâmica, Seth Lloyd, professor do MIT⁴³ afirmou, em 2004: *só existem três coisas certas no mundo: a morte, os impostos e as leis da Termodinâmica*. Antes dele, ao manifestar sua profunda admiração pela Termodinâmica, Einstein assim se pronunciou: *uma teoria é mais impressionante quanto maior for a simplicidade de suas premissas, quanto maior for o número de*

⁴² Reflexões Sobre Potência Motriz do Fogo e Sobre as Máquinas Próprias para Desenvolverem essa Potência.

⁴³ Massachusetts Institute of Technology, uma das mais prestigiosas universidades de engenharia do mundo.

coisas diferentes relacionadas com ela e mais extensa for a sua área de aplicação. Daí veio a profunda impressão que tive da termodinâmica. É a única teoria física de conteúdo universal a qual, dentro do domínio de seus conceitos básicos, nunca será superada. Considerado o pai da Termodinâmica, Carnot morreu de cólera aos 36 anos.

Outras evoluções no campo científico preparavam terreno para o surgimento de novas fontes de energia. A compreensão dos fenômenos elétricos e magnéticos aumentou enormemente durante o século XIX, e alguns cientistas de renome contribuíram para isso.

O inglês Michel Faraday era filho de ferreiro. Nasceu em 1791. Sua educação se resumiu a dominar a leitura, a escrita e as operações aritméticas. Em parte, essa deficiência na educação formal foi largamente compensada pelo seu autodidatismo e por sua inata vocação para realizar experiências. Começou a trabalhar aos treze anos numa gráfica, onde podia ler os livros que seriam publicados. Mesmo sem formação acadêmica, tornou-se um dos mais influentes cientistas de todos os tempos. Seus trabalhos não foram uma conquista solitária, mas antes um trabalho colaborativo entre vários cientistas de sua época. É considerado o maior experimentalista da história e seu trabalho provocou e ainda provoca enorme impacto na vida das pessoas de todo o mundo. Não dominava a matemática avançada, mas compensava essa lacuna com sua enorme capacidade de imaginação.

O contato de Faraday com o mundo acadêmico se deu por meio de Humphry Davy, médico e brilhante químico inglês, e de quem Faraday se tornou assistente. Davy fez pesquisas muito importantes na química e isolou vários elementos, incluindo o potássio e o sódio. Mas quando lhe perguntavam qual havia sido sua maior descoberta, ele respondia sem titubear: Michael Faraday.

Até o início do século XIX, pensava-se que a eletricidade e o magnetismo eram fenômenos independentes, e, por isso, eram estudados isoladamente. Em 1820, o dinamarquês Hans Christian Oersted descobriu que havia uma conexão entre eletricidade e magnetismo, quando, inadvertidamente, pôs uma bússola ao lado de um fio. Cada vez que ele ligava o fio a uma bateria, o ponteiro da bússola mudava de direção. Assim, provou que a corrente elétrica produz um campo magnético em torno do fio condutor por onde ela flui. Ele descobriu que eletricidade produzia magnetismo. Seis meses depois, o francês André-Marie Ampère mostrou que dois fios conduzindo corrente elétrica podem se atrair ou se repelir e, a partir dessa observação, enrolou os fios como um carretel e inventou o primeiro solenóide, com efeitos semelhantes a um ímã em barra. Com a descoberta de Oersted, Ampère e o alemão Johann Schweiger desenvolveram o galvanômetro, equipamento que permite a leitura da corrente elétrica.

Algum tempo depois, o inglês William Sturgeon descobriu que, se se colocasse uma barra de ferro dentro do solenóide, o campo magnético aumentava substancialmente, emulando os ímãs permanentes. Estava criado o eletroímã. O americano Joseph Henry chegou a fabricar um eletroímã que suspendia 340 kg. Os eletroímãs ainda hoje são muito utilizados, por exemplo, para transportar material metálico em ferro-velho e em campanhas residenciais. Joseph Henry inventou também o relé.

A telegrafia só se desenvolveu a partir da combinação dos três inventos: relé, eletroímã e galvanômetro. A tecnologia do telégrafo já permitia a comunicação a grandes distâncias. Faltava apenas a linguagem de comunicação. Coube aos americanos Samuel Morse e Alfred Vail criarem o código Morse, usado na telegrafia até recentemente. Consistia de pulsos de correntes codificados e inseridos em um cabo,

transmitindo frases codificadas para a outra extremidade do cabo. Em 1860, foi inventado o telefone pelo italiano Antonio Meucci⁴⁴, com base no conhecimento dos fenômenos eletromagnéticos. Em 1866, a Europa e os Estados Unidos foram unidos por cabos de telégrafo.

Um ano após a descoberta de Oersted, Faraday descobriu uma forma de explorar as forças eletromagnéticas para fazer um fio girar continuamente, e construiu o primeiro dínamo, mostrando o seu princípio de funcionamento, mas ainda sem aplicação prática. Dez anos depois, Faraday descobriu que um campo magnético variável produz uma corrente elétrica. Em outras palavras, Faraday descobriu que magnetismo produzia eletricidade.

Os fenômenos eletromagnéticos estão por trás do funcionamento dos dínamos, geradores elétricos, motores elétricos, transformadores e outros equipamentos fundamentais na vida das pessoas. Exemplos de algumas aplicações onde esses equipamentos se encontram: elevadores, eletrodomésticos, campainhas, aparelhos de DVD, condicionadores de ar, computadores pessoais, relógios analógicos automáticos, locomotivas elétricas, carros elétricos e híbridos, usinas hidroelétricas e termoeletricas, saneamento, irrigação, plataformas de petróleo, mineração, navios, aviões, veículos a combustão interna, aceleradores de partículas.

Faraday foi o primeiro a construir a gaiola que leva o seu nome. Ele próprio entrou nela para mostrar que uma pessoa, ao entrar na Gaiola de Faraday, não sofre nenhuma descarga elétrica mesmo que a gaiola esteja sob o impacto de milhões de volts. Esse fenômeno é o que permite, por exemplo, que eletricitistas façam manutenção em linhas de transmissão de 750.000 volts ou mais, sem necessidade de desligá-las.

No campo da química, Faraday também foi profícuo. Ele fundou a eletroquímica, descobriu o benzeno e a forma de liquefazer gases, tornando possíveis os métodos de refrigeração que surgiram no futuro. Tornou-se membro da Real Sociedade em 1824. Em 1833, tornou-se professor de química da Royal Institution. Sua brilhante carreira como químico foi ofuscada pelas fundamentais descobertas no campo do eletromagnetismo. Por duas vezes, recusou a presidência da Real Sociedade e declinou títulos de nobreza, afirmando que preferia continuar sendo apenas Mr. Faraday até o fim de sua vida. Morreu aos 76 anos.

Todos esses fenômenos eletromagnéticos foram apenas constatados, a partir de experimentações, mas não havia um modelo mental para eles, apesar de tentativas infrutíferas de vários cientistas. Coube ao escocês James Clerk Maxwell dar esse passo. Na década de 1860, com base nas ferramentas matemáticas desenvolvidas por Gauss, ele apresentou um conjunto de quatro equações que descreve com precisão as propriedades do campo elétrico, campo magnético, sua inter-relação, e mostrou que a luz é uma onda eletromagnética.

As equações de Maxwell modelaram com extrema precisão o fenômeno eletromagnético, permitindo aos cientistas e engenheiros desenvolverem novos modelos bastante precisos de inúmeras aplicações que mudaram a qualidade de vida das pessoas. Com isso, inúmeros outros desenvolvimentos surgiram no final do século XIX e no século XX, como o das telecomunicações, da internet, da transmissão e geração de

⁴⁴ Há muita controvérsia quanto à paternidade do telefone. O mais aceito é que tenha sido inventado pelo escocês Alexander Graham Bell. Mas o Congresso Americano reconheceu, em 2002, a primazia ao italiano, em razão de sua invenção ter sido divulgada dezesseis anos antes da de Bell, e por ele ter vendido a patente a Bell nos anos 1870.

energia, da física das partículas. De suas equações decorre o cálculo preciso da velocidade das ondas magnéticas, incluindo a luz, muito próxima aos valores medidos experimentalmente. Ele mostrou também que o calor era uma onda eletromagnética e que, portanto, o corpo dos seres vivos são fontes de ondas eletromagnéticas.

7 A SEGUNDA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Apenas 70 anos depois do início da Primeira Revolução industrial, os países já dispunham de transporte a longa distância. Em meados do século XIX, já havia mais de 10.000 km de linhas ferroviárias no Reino Unido e mais de 30.000 km nos Estados Unidos. As grandes indústrias produziam produtos nunca antes vistos, melhorando a qualidade de vida das pessoas. Elas se utilizavam de ferrovias para o recebimento de matérias-primas e a distribuição dos produtos acabados.

A comunicação a longas distâncias também já era possível com o telégrafo e com o telefone. A migração do campo para as cidades se acelerou em razão da necessidade de mão-de-obra e da busca por melhores condições de vida. Apesar de as condições de vida nas cidades serem insalubres e precárias, ainda eram melhores do que a vida no campo da época.

Na maior parte do século XIX, a indisponibilidade de energia elétrica em todos os pontos das cidades tornava inviável o uso de motores elétricos recém-construídos. Só havia baterias rudimentares criadas a partir do invento do físico italiano Alessandro Volta, insuficientes para qualquer uso em motores. Só eram possíveis aplicações que requeriam pouca potência, como o eletroímã. Mesmo o carro elétrico, inventado pelo escocês Robert Anderson em 1835, precisou aguardar até 1881, quando o engenheiro francês Camille Fauré inventou a bateria de chumbo, com grande capacidade de armazenar energia. Em 1899, um carro de corrida elétrico bateu o recorde de 110 km/h. Em 1900, 28% dos veículos produzidos nos Estados Unidos eram movidos a eletricidade.

No último quarto de século XIX, havia uma premente necessidade de energia abundante para as indústrias. A máquina a vapor não mais atendia essa necessidade. A energia elétrica já era vista como uma potencial fonte de energia abundante. E coube ao engenheiro Nikola Tesla viabilizar esse potencial. Croata de etnia sérvia, Tesla criou os fundamentos para a implantação dos sistemas elétricos em todo o mundo. As atividades de geração, transmissão, distribuição, a partir dos trabalhos experimentais sobre eletromagnetismo, marcaram a tal ponto a vida das pessoas, já no final do século XIX, que ensejaram a classificação do seu impacto como um dos dois pilares da Segunda Revolução Industrial.

Contrariamente ao que se afirma, não foi Marconi quem inventou o rádio, e sim Tesla. Ele foi o primeiro cientista a criar uma usina hidroelétrica nas cataratas do Niagara, sob o patrocínio financeiro de George Westinghouse, e transmitir energia elétrica em corrente alternada para iluminar a cidade de Buffalo. Ao concluir essa obra, Tesla foi considerado o vencedor da *batalha das correntes* contra seu ex-patrão e rival Thomas Alva Edison, experimentalista americano que apregoava as vantagens da corrente contínua. Durante essa batalha, Edison terminou por inventar a cadeira elétrica, só para mostrar que a corrente alternava matava. O fato é que a corrente alternada se mostrou muito mais eficiente e mais barata do que a corrente contínua, para transmissão de energia a curtas e longas distâncias. E ela também se mostrou segura para usos domésticos.

Tesla desenvolveu ainda o primeiro controle remoto e contribuiu para o desenvolvimento da robótica, do radar, das ciências da computação, da balística, da física nuclear e da física teórica. Ele tinha um talento único no seu processo criativo. A reflexão sobre um problema técnico específico era seguida algum tempo depois por supostas alucinações que, na realidade, eram uma visão da solução do problema. Ele encontrou a solução de vários problemas complexos dessa forma. Foi um dos poucos cientistas que podia dispensar a experimentação como instrumento de validação de uma ideia. Costumava dizer que bastava realizar o experimento na sua mente para saber se um dado invento funcionaria.

Tesla viveu a maior parte de sua vida nos Estados Unidos. Durante muitos anos, tentou convencer o governo americano a financiar seu projeto de transmissão de energia pelo solo, para distribuir energia gratuita para toda a humanidade. Não conseguiu realizar seu sonho.

Paralelamente ao desenvolvimento do sistema elétrico por Tesla, o engenheiro inglês Charles Parsons desenvolveu a primeira turbina a vapor que podia ser conectada a um gerador para gerar eletricidade. Ainda hoje, seu invento é a base para as usinas termoelétricas atuais. As tecnologias de geração termoelétrica e hidroelétrica estavam, enfim, disponíveis para produção em massa de energia elétrica. E a tecnologia de transmissão de energia por fios estava pronta também para levar energia elétrica a todos os cantos do planeta.

O desenvolvimento eficiente dessas tecnologias deve-se, em parte, ao enorme avanço obtido na química e na ciência dos materiais no século XIX. A identificação de novos elementos e de compostos de elementos conhecidos permitiu o desenvolvimento da ciência dos materiais, que passou a ofertar produtos baratos e adequados para tais aplicações.

Uma palavra deve ser dita sobre a iluminação elétrica. Em seus experimentos, o cientista francês Joule verificou que fios condutores, ao serem percorridos por uma corrente elétrica, aqueciam e emitiam tanto mais luz quanto maior fosse a temperatura. O problema era que o aquecimento fazia os fios derreterem. O uso desse princípio para produzir iluminação elétrica passou a ser objeto de várias tentativas infrutíferas de se criar uma lâmpada.

Entabulou-se então uma corrida entre o químico inglês Joseph Swan e Thomas Edison pela primazia da invenção da primeira lâmpada. Coube a Swan, em 1879, o crédito pelo desenvolvimento da lâmpada com filamento de carvão puro mantido no vácuo produzido em um bulbo de vidro. Mas a lâmpada de Edison com ligas metálicas é precursora da lâmpada incandescente a tungstênio, usada atualmente. Quando questionado sobre as mais de dez mil tentativas para tornar as lâmpadas mais duráveis, Edison afirmou: *eu não falhei, apenas descobri dez mil maneiras que não funcionavam*.

O segundo pilar da Segunda Revolução Industrial foi o desenvolvimento dos motores movidos a hidrocarbonetos⁴⁵. Durante a maior parte do século XIX, as máquinas a vapor dominaram a cena. Mas seu tamanho dificultava uma série de aplicações práticas, além de serem muito ruidosas. O petróleo vinha sendo explorado ao longo daquele século, mas não se via uma aplicação em grande escala para esse hidrocarboneto, até o surgimento dos motores a combustão interna.

⁴⁵ São compostos químicos constituídos essencialmente de hidrogênio e carbono. É o caso de petróleo, do gás natural, dos óleos vegetais.

Com base em trabalhos prévios de outros engenheiros e experimentadores, os alemães Nikolaus August Otto e Rudolf Diesel inventaram, respectivamente, os motores a combustão (gasolina) e a compressão (diesel). O curioso é que o protótipo de Diesel era movido a óleo de amendoim *in natura*, e ele era franco defensor dos óleos vegetais com combustíveis de seu invento.

Esses dois motores, juntamente com os motores elétricos, mostraram-se enormemente vantajosos em relação aos motores a vapor e, praticamente, decretaram o desaparecimento das máquinas a vapor da cena industrial e residencial, salvo em aplicações específicas, como a geração termoelétrica de energia. Além de mais silenciosos que as máquinas a vapor, os motores tinham a enorme vantagem da portabilidade, o que viabilizava o uso em veículos automotores, para transporte de passageiros e de carga. O automóvel e o caminhão foram consequências imediatas dessas invenções. A universalização do uso de motores a gasolina e a óleo diesel nos países alavancou a indústria do petróleo e a automobilística por todo o mundo. A popularização dos veículos automotores trouxe novamente um enorme impacto na vida das pessoas.

O advento da Primeira Guerra Mundial ensejou a necessidade de substituição de produtos naturais por produtos sintéticos. Nasceria dessa necessidade a petroquímica⁴⁶. O primeiro passo nessa direção foi dado pela descoberta do craqueamento térmico⁴⁷ de petróleo, em 1891, pelo russo Vladmir Sukhov. A gasolina resultante do craqueamento tem como subproduto o propeno. Esse derivado do petróleo ou do gás natural é a matéria-prima da indústria petroquímica. Logo após a Primeira Guerra Mundial, em 1920, surgiu a primeira indústria petroquímica do mundo, nos Estados Unidos.

Elementos inorgânicos pouco abundantes na natureza são extraídos de petróleo visando a sintetizar partes constituintes de fertilizantes indispensáveis para o aumento da produtividade na agricultura.

Com esses dois pilares – energia elétrica e combustíveis, o mundo estava pronto para a Segunda Revolução Industrial. A energia elétrica e os veículos automotores logo se tornariam imprescindíveis para vida das pessoas, propiciando uma renovada melhora nas condições médias de vida da população mundial. E essa melhora só iria crescer ao longo do século XX. Cabe ressaltar que ela não foi captada em toda a sua potencialidade, em face das crescentes desigualdades sociais, que privavam e privam bolsões de pobreza do acesso às tecnologias. Mas esse problema não foi e não é criado pela tecnologia em si, que deve ser vista como uma solução para melhoria da qualidade de vida das pessoas.

Deve-se observar que vários outros campos de conhecimento científico tiveram também um extraordinário desenvolvimento durante o século XIX. Citam-se a precisão de medidas, fundamental para a aferição de uma hipótese científica, o desenvolvimento das ciências dos materiais e o enorme desenvolvimento da química, da medicina, da indústria farmacêutica, para citar alguns. Destaca-se apenas o químico sueco Svante August Arrhenius, Prêmio Nobel de Química de 1903. Ele foi o primeiro a cunhar o termo *efeito estufa* ao teorizar o fenômeno de aquecimento global em face da emissão de CO₂ na atmosfera, resultante da queima de combustíveis fósseis.

⁴⁶ Ramo da indústria do petróleo que produz materiais sintéticos.

⁴⁷ Craqueamento de petróleo é o processo de quebra de moléculas longas em moléculas mais curtas, como gasolina, nafta, óleo diesel, piche. Nesse processo, usam-se o calor e catalisadores.

Deve-se mencionar também a grande evolução no campo social, político, jurídico, econômico que ocorreram na Idade Moderna, e continuam ocorrendo, concomitantemente aos avanços científicos.

8 O SÉCULO XX

O século XIX terminou com tal efervescência de ideias criativas, que a quantidade de novos inventos explodiu. A energia entrou em cena na vida das pessoas com tal força, que ela passaria a ser essencial para sustentar o estilo de vida que se desenhava. Os avanços na medicina e nas políticas sanitárias fizeram aumentar a expectativa de vida da população e reduzir enormemente a mortalidade infantil. O resultado foi um aumento acelerado da população mundial, decorrendo daí o aumento da demanda por produtos que traziam cada vez maior qualidade de vida para a população.

Nesse quadro de efervescência de ideias, ao longo do século XX, surgiram ou foram aprimoradas várias aplicações: iluminação pública a eletricidade, veículos automotores para transporte em pequenas e grandes distâncias, aviões, trens elétricos, radiofonia, telefonia, telegrafia, cinema, elevadores, televisores, fogões a gás, geladeiras, freezers, fornos elétricos, aspiradores de pó, liquidificadores, enfim, uma enorme gama de novas tecnologias usando derivados de petróleo e eletricidade. Isso sem citar os enormes ganhos de produtividade e eficiência na produção das indústrias, propiciando ganhos de escala e redução de preços. Não se devem olvidar também as aplicações de interesse coletivo, principalmente em infraestrutura, tais como as construções de pontes, viadutos, prédios, arranha-céus, metrô, túneis, a exploração de minérios, de petróleo, a construção de barragens, o manuseio de cargas em portos, em aeroportos. **Nada disso se faz sem energia elétrica ou combustível.**

Na virada do século XIX para o século XX, a quantidade de novidades recém-inventadas era tamanha que, em 1899, Charles H. Duell, diretor do Departamento de Patentes dos Estados Unidos, propôs dogmaticamente o fechamento da sessão de registro de novas patentes, porque *tudo o que podia ser inventado já o foi*. Como disse Jean de La Bruyère, escritor francês do século XVII: *É a ignorância profunda que inspira o tom dogmático*. Einstein, que também viria a trabalhar num Departamento de Patentes (em Berna, na Suíça), logo se encarregaria de mostrar o quanto Duell estava errado.

Havia e continua havendo muito mais a ser inventado. O século XX ainda reservava novos saltos de conhecimento, que viriam a ensejar, após algumas décadas, o que alguns classificam como a *Terceira Revolução Industrial*, ou a Era da Informação. Esse seria o século em que a visão do homem, enormemente ampliada pelos cada vez mais potentes telescópios e microscópios, além de avançadas máquinas fotográficas, alcançaria os confins do universo e os tijolos fundamentais da matéria, respectivamente.

Antes dessa nova revolução, vários cientistas contribuíram para o advento da chamada *era atômica*. Destacar-se-ão alguns. O alemão Wilhelm Conrad Röntgen descobriu os raios X, e fez a primeira radiografia da história da mão de sua esposa. Rapidamente a medicina vislumbrou a revolução que estava por trás dessa invenção. Em 1900, os raios X já eram usados também para tratar câncer de pele. Por esse invento, Röntgen recebeu o primeiro Prêmio Nobel de Física, em 1901.

Ao pesquisar os raios X, o francês Antoine Henri Becquerel descobriu o fenômeno da radioatividade. Ele mostrou que o fenômeno era devido a partículas carregadas, pois elas mudavam de direção sob a ação de um campo magnético. Becquerel ganhou o Prêmio Nobel de Física em 1903, juntamente com seus ex-alunos Marie e Pierre Curie.

A polonesa Marie Curie e seu marido, o francês Pierre Curie, fizeram pesquisas fundamentais para entender a radioatividade, fenômeno inexplicável até então. Coube aos Curie descobrir outros elementos radioativos, além do conhecido urânio. Por esse trabalho, eles receberam o Prêmio Nobel de Física em 1903. Marie se tornara a primeira mulher a ganhar o prêmio Nobel. Foi também a primeira mulher a lecionar na Sorbonne. A paixão de Marie Curie pela pesquisa levou-a a afirmar: *a vida não é para ser temida, mas entendida*.

Apesar da morte do marido em acidente, em 1906, Marie continuou as pesquisas e isolou o rádio puro, em 1910, tendo feito meticuloso trabalho sobre extração e propriedades desse elemento. Por esse feito, tornou-se a primeira pessoa a ser laureada duas vezes com o prêmio Nobel, em 1911, e também a primeira a receber o prêmio em duas disciplinas diferentes (física e química). Sem conhecer ainda os efeitos nocivos da radioatividade, ela manipulava os elementos radioativos sem nenhuma segurança, inclusive guardando o rádio em gavetas de sua casa. Isso a levou a contrair leucemia, doença que decretaria sua morte, em 1934.

O neozelandês Ernest Rutherford foi outro expoente da era atômica. Ele descobriu o núcleo atômico. E, em 1908, ganhou o Prêmio Nobel de Química, por dar a prova cabal de que a radioatividade era produzida por desintegração de átomos pesados, decaindo para átomos menos pesados.

Rutherford ainda percebeu um padrão no decaimento que ele denominou *tempo de meia vida*. O padrão era o seguinte: o tempo para que a metade de uma amostra de átomo pesado decaia em átomo menos pesado é o mesmo tempo para que a metade da amostra decaia para um quarto da amostra inicial, e assim por diante. Esse fenômeno é a base para datações arqueológicas, paleontológicas e geológicas. Por exemplo, o tempo de meia vida do carbono 14 é de 5730 anos, e o tempo de meia vida do urânio é de cinco bilhões de anos.

O ano de 1905 não foi apenas o da obtenção do doutorado do físico alemão Albert Einstein, mas também um *annus mirabilis* em razão dos quatro artigos seminais de sua autoria, que pautariam a física do século XX. O primeiro artigo tratou do efeito fotoelétrico, pacificando a divergência entre Newton e Huygens: a luz podia tanto ser partícula quanto onda. Ele ainda mostrou que o éter não é necessário para a propagação das ondas eletromagnéticas no vácuo, inclusive a da luz. Foi um passo enorme na compreensão dos tijolos da matéria. Esse artigo se tornaria um dos dois pilares da mecânica quântica, e abriria as portas para o uso da energia atômica. Por esse artigo, ele ganhou o Prêmio Nobel de Física de 1921. O outro pilar foi desenvolvido pelo também físico alemão Max Planck, que receberia o Prêmio Nobel de Física em 1918. Planck e Einstein tinham gosto pela música. Einstein tocava violino; e Planck, além de compositor, tocava piano, órgão e violoncelo. Por diletantismo, os dois gênios e amigos costumavam executar duetos em Berlim.

O segundo artigo abordou o movimento browniano, uma evidência experimental da existência dos átomos, até então tratados como um conceito útil, mas de existência duvidosa. O atomismo de Demócrito estava definitivamente cancelado pela ciência.

Para isso, Einstein utilizou ferramentas estatísticas que se tornariam o primeiro método de contagem de átomos.

No terceiro e mais audacioso artigo, Einstein introduziu a Teoria da Relatividade Restrita⁴⁸ (TRR), mostrando que as leis do movimento de Newton não se aplicavam a velocidades comparáveis à da luz. Por exemplo, a velocidade da luz medida por uma pessoa parada na superfície terrestre é 300.000 km/s; se essa pessoa agora se movesse à velocidade da luz, em sentido contrário ao do feixe de luz cuja velocidade se quer medir, Newton e Galileu afirmariam que a velocidade da luz em relação ao novo referencial seria de 600.000 km/s. Entretanto, Einstein mostrou que, mesmo nessa situação, a luz tem a mesma velocidade de 300.000 km/s para a pessoa que mede. Se a pessoa viajasse à velocidade da luz no mesmo sentido do raio cuja velocidade se quer medir, a velocidade medida não seria zero, mas 300.000 km/s. Por mais perplexidade que possa despertar, a constância da velocidade da luz independentemente do referencial foi demonstrada, em 1887, pela famosa experiência dos norte-americanos Albert Michelson (Prêmio Nobel de Física de 1907) e Edward Morley.

Para explicar esse resultado inesperado, Einstein usou trabalhos teóricos do holandês Hendrik Antoon Lorentz (Prêmio Nobel de Física de 1902), de Maxwell e do matemático francês Henry Poincaré. Ele teorizou que o tempo e o espaço não são absolutos, como preconizaram Newton e Galileu. Isso porque a constância da velocidade da luz, independentemente do referencial, impõe que o tempo transcorra cada vez mais vagarosamente num relógio à medida que ele se aproxima da velocidade da luz. Além disso, as dimensões do relógio a essas velocidades se contraem. Com isso, ele mostrou que as leis do movimento de Newton não se aplicavam em velocidades relativísticas (próximas à da luz).

A TRR mostra um modo de viajar para o futuro. Para tanto, considere dois gêmeos de dezoito anos. Um é colocado numa nave espacial que viajará a uma velocidade próxima à da luz durante algum tempo, e o outro fica na Terra. Quando o viajante retornar, ele terá apenas, digamos, 28 anos, enquanto que seu irmão gêmeo que permaneceu na Terra teria 38 anos. O gêmeo-astronauta, de certa forma, teria viajado dez anos para o futuro. Mas, viagens a velocidades relativísticas exigiriam uma quantidade gigantesca de energia, o que não as torna factíveis.

O quarto artigo mostrou que matéria (m) e energia (E) são apenas aspectos de uma mesma coisa, e se relacionam através da conhecida relação: $E = mc^2$. Esse artigo está na base das bombas de fusão e de fissão nucleares, e, obviamente, das usinas termonucleares.

Einstein ainda passaria vários anos matutando sobre a generalização da teoria da relatividade restrita para incluir o efeito da gravidade. Finalmente, em 1915, apresentou a Teoria Geral da Relatividade (TGR), mostrando que tempo e espaço são uma coisa só e que a gravidade não é uma força, como afirmava Newton, mas uma *curvatura no espaço-tempo*. Até a luz se submetia a essa curvatura. Pela nova teoria, o tempo era dilatado não só pela velocidade da luz, mas também pela gravidade. A TGR serve de base para a cosmologia atual e deu a ferramenta necessária para os cientistas entenderem as características do universo. Repentinamente, o universo se tornou um gigantesco laboratório de física.

⁴⁸ É restrita porque não considera os efeitos da gravidade na formulação.

Mas a TGR era uma teoria de difícil entendimento mesmo para os cientistas e, salvo se houvesse uma comprovação científica, ela seria remetida ao ostracismo. Sua comprovação experimental veio através de um eclipse lunar na cidade de Sobral, no Ceará. Se a luz realmente se curvasse sob o efeito da gravidade do Sol, então seria possível ver uma estrela que estivesse atrás do Sol, numa situação em que a luminosidade do Sol se reduzisse drasticamente, como num eclipse. E foi exatamente isso que ocorreu. Ao ser comprovada experimentalmente essa generalização, em 1919, o jornal *The Times* estampou a seguinte manchete: *Revolução na ciência: nova teoria do universo destrói as ideias de Newton*. Não é bem assim; para velocidades compatíveis com a nossa realidade, as leis de Newton funcionam, e muito bem.

A teoria quântica surgiu em meados da década de 1920, para explicar os estranhos comportamentos das partículas subatômicas. Ela foi desenvolvida por vários cientistas⁴⁹. A física quântica não é intuitiva. A teoria é baseada nas observações que mostram ter a realidade atômica um comportamento probabilístico: não é possível, no nível atômico, conhecer simultaneamente a velocidade e a posição de uma partícula, informações essenciais para descrever a mecânica do seu movimento. Só é possível calcular a sua probabilidade. O mundo determinístico de Newton ruía, para velocidades relativísticas e para dimensões subatômicas. E, das ruínas, surgia outra realidade, a dualidade onda-partícula: não só a luz, mas também os *tijolos da matéria* se comportam ora como ondas, ora como partículas.

O comportamento das ondas eletromagnéticas (inclusive a luz visível) é, hoje, bem compreendido, fruto das teorias da relatividade e quântica e da evolução da química, no que tange o comportamento de elementos e substâncias submetidos à luz visível. Essa compreensão permite aos cosmólogos contemporâneos tirarem consistentes conclusões sobre planetas, estrelas, galáxias e o *big-bang*, a partir da luz que chega à Terra.

Einstein sempre discordou da mecânica quântica. Ele sempre buscou uma explicação determinística para o funcionamento do universo. Mas os experimentos invariavelmente têm mostrado que a mecânica quântica está certa ao descrever esse estranho comportamento probabilístico e dual dos tijolos fundamentais da matéria. O físico e escritor Brian Greene afirmou: *a mecânica quântica se converteu na fonte das previsões numéricas mais corretas e precisas de toda a história da ciência*⁵⁰.

Mas a mecânica quântica causou e ainda causa enorme estranhamento entre os físicos. Eis algumas citações de físicos famosos manifestando esse estranhamento:

- *a mecânica quântica vai se impor. Mas uma voz interior me diz que ainda não é a teoria certa. A teoria diz muito, mas não nos aproxima do segredo do Velho (the Old One). Eu estou convencido que Ele não joga dados.* Einstein, em carta ao físico Max Born, em 1926.
- *quem não estivesse chocado com a teoria quântica, não a tinha entendido.* Niels Bohr, em 1958.

⁴⁹ Citamos os principais: o dinamarquês Niels Bohr (Nobel de Física de 1922), o príncipe francês Louis de Broglie (Nobel de Física de 1929), o alemão Werner Heisenberg (Nobel de Física de 1932), o austríaco Erwin Schrödinger e o inglês Paul Dirac (vencedores do Nobel de Física de 1933), o austríaco Wolfgang Pauli (Nobel de Física de 1945), o alemão Max Born (Nobel de Física de 1954), o norte-americano Richard Feynman (Nobel de Física de 1965).

⁵⁰ Brian Greene – O Universo Elegante – Companhia das Letras, 2001

- *houve uma época em que os jornais diziam que só havia doze pessoas no mundo que entendiam a teoria da relatividade. Acho que essa época nunca existiu. Pode ter havido uma época em que só uma pessoa entendia, porque foi o primeiro a intuir a coisa e ainda não havia formulado a teoria. Mas depois que as pessoas leram o trabalho, muitas entenderam a teoria da relatividade, de uma maneira ou de outra; certamente mais de doze. Por outro lado, acho que posso dizer, sem medo de errar, que ninguém entende a mecânica quântica.* Richard Feynman, em 1965.

A física quântica continuou sua busca pelos tijolos mais elementares da matéria. E César Lattes, um dos maiores físicos brasileiros da história, teve papel-chave nessa busca. Sobre ele, a enciclopédia eletrônica Wikipedia assim se expressa:

“Ainda jovem (23 anos), César Lattes foi trabalhar no H. H. Wills Laboratory da Universidade de Bristol, dirigida por Cecil Frank Powell. Após melhorar uma nova emulsão nuclear usada por Powell, pedindo à Kodak Co. para adicionar mais boro a ela, em 1947, realizou com o grupo do Laboratório uma grande descoberta experimental – uma nova partícula atômica, o méson pi (ou pion), a qual desintegra em um novo tipo de partícula, o méson mu (muon). Foi uma grande reviravolta na ciência. Até então, aceitava-se que os átomos eram formados por somente 3 tipos de sub-partículas ou partículas elementares (prótons, nêutrons e elétrons). Alguns cientistas contestaram os resultados, mas o apoio do dinamarquês Niels Bohr, um dos maiores físicos da história, pesou na aceitação da novidade que daria início a uma nova área de pesquisa, a Física de Partículas.

Embora Lattes tenha sido o principal pesquisador e primeiro autor do histórico artigo da Nature descrevendo o méson pi, o único agraciado com o Prêmio Nobel de Física, em 1950, foi Cecil Powell, pelo *seu desenvolvimento de um método fotográfico de estudo dos processos nucleares e sua descoberta que levou ao descobrimento dos mésons*. A razão para esta aparente negligência é que a política do Comitê do Nobel até 1960 era dar o prêmio para o líder do grupo de pesquisa, somente. O brasileiro, no entanto, nunca foi contemplado.”

César Lattes foi um dos mais convictos críticos de Einstein e da teoria da relatividade. Ao longo de sua vida, tentou provar que era uma teoria equivocada, e ainda há cientistas que sustentam tal afirmação⁵¹. Longe se serem consideradas errôneas, posturas críticas como a de Lattes foram e continuam sendo fundamentais para acelerar a evolução da ciência⁵². Mas, em relação à TGR, os “advogados do diabo” não vêm tendo sucesso. Várias têm sido as evidências experimentais que invariavelmente reforçam a validade da TGR.

Um dos mais importantes resultados dessas extraordinárias ideias de Einstein e da física quântica, no campo que nos interessa, foi o uso da energia nuclear para geração de energia e o potencial uso da fusão nuclear. As primeiras usinas termonucleares surgiram na década de 1940, e, hoje, são a fonte obrigatória em vários países, chegando a ser preponderante em alguns países, como a França e a Lituânia. Assim sendo, os

⁵¹ www.wbabin.net/saraiva/saraiva35p.pdf e www.alfredo-braga.pro.br/discussoes/barth-einstein.html, acessados em 20/12/2010.

⁵² Além dos questionamentos à teoria da relatividade, Lattes também se juntou àqueles que defendem que Einstein seria uma fraude, acusando-o de plágio dos trabalhos de Henri Poincaré e de Lorentz. Foi em razão dessa dúvida que Einstein não ganhou o prêmio Nobel pela TGR. <http://www.alfredo-braga.pro.br/discussoes/cesarlattes.html> acessado em 20/12/2010.

principais insumos da cena energética mundial estavam postos já na primeira metade do século XX.

9 ENERGIA NO SÉCULO XX E A ERA DA INFORMAÇÃO

Voltar-se-á agora o foco para a evolução do uso da energia no século anterior e neste século XXI. Ao longo do século XX, evidenciou-se uma estreita correlação entre o consumo de energia e a qualidade de vida das populações.

Já na primeira metade do século XX, a grande melhoria da eficiência do ciclo a vapor e, posteriormente, o domínio do ciclo do urânio permitiram que usinas de geração de energia movidas a carvão e as termonucleares também compartilhassem a cena com as hidroelétricas, assumindo um papel preponderante no mundo. Mais recentemente, entraram em cena o gás natural, para uso em usinas a ciclo combinado⁵³, e a biomassa, para uso em co-geração⁵⁴, aumentando ainda mais a eficiência da produção de energia de origem térmica. Também as chamadas fontes alternativas⁵⁵ – como a eólica – começam a ganhar alguma competitividade em relação às fontes convencionais⁵⁶.

⁵³ No Brasil, o termo *ciclo combinado* é mais utilizado na caracterização de um sistema de geração de eletricidade a partir de combustível fóssil (gás natural ou óleo combustível), ao qual se acopla uma ou mais turbinas a vapor de forma a aproveitar o calor dos gases resultantes da queima para produzir mais eletricidade. Já o termo *cogeração* é utilizado prevalentemente em sistema de geração de eletricidade, no qual o calor rejeitado após a queima dos combustíveis (gás natural, óleo combustível, biomassa) é usado diretamente no processo produtivo, e não para gerar mais eletricidade. Exemplo disso é a queima do bagaço da cana para produção simultânea de eletricidade e calor para o processo de produção de álcool e/ou açúcar

⁵⁴ “Cogeração ou ciclo combinado refere-se ao emprego de mais de um ciclo termodinâmico num certo processo de produção de energia elétrica com o objetivo de aumentar a eficiência desse processo. Em outras palavras é a produção e utilização combinada de calor e electricidade, proporcionando o aproveitamento de mais de 70% da energia térmica proveniente dos combustíveis utilizados nesse processo. Sendo uma tecnologia que permite o aproveitamento eficiente dos combustíveis necessários à produção de energia útil, a cogeração pode assegurar um aproveitamento elevado da energia primária e, por essa razão, responde favoravelmente aos objetivos das políticas energéticas nacionais.

A cogeração responde eficazmente também a preocupações de natureza ambiental, uma vez que, ao fornecer a mesma energia final com um menor consumo de energia primária, reduz significativamente as emissões para o ambiente. A cogeração assume assim, um papel muito importante na redução das emissões de CO₂ para a atmosfera, e no consequente cumprimento das metas assumidas no protocolo de Kyoto. A cogeração é, com efeito, o sistema mais eficiente de produção de electricidade a partir de qualquer combustível.

⁵⁵ A fonte de energia pode ser classificada quanto à capacidade de reposição do recurso natural. Exemplo:
Fonte renovável – os recursos naturais renováveis, em tese, são inesgotáveis; é o caso da fonte solar, eólica, hidráulica, maremotriz, biomassa. Há um maior interesse nessas fontes, em razão de sua correlação com externalidades negativas aceitáveis e com a segurança energética.
Fonte não-renovável – os recursos naturais não-renováveis é finito; é o caso do urânio enriquecido, do carvão mineral, do gás natural, do óleo diesel;

⁵⁶ A fonte de energia ainda pode ser classificada em função de seu impacto ambiental. Exemplo:
Fonte convencional – a utilização dessa fonte (recurso natural) impõe externalidades (impactos ambientais) cada vez mais questionadas pela sociedade; é o caso de usinas térmicas de fontes não-renováveis e de usinas hidroelétricas. Enquanto as hidroelétricas têm impacto local, as usinas térmicas têm impacto regional e global;
Fonte alternativa – trata-se de um recurso natural, renovável cujas externalidades são de mais fácil aceitação pela sociedade; é o caso de PCHs, usinas eólicas, usinas solares, a painel solar ou térmica, e biomassa, utilizada em co-geração;

Foi nesse cenário que se experimentou uma enorme melhoria do índice de desenvolvimento dos países. A criatividade humana tem propiciado tamanha multiplicidade de tecnologias lastreadas no uso da energia, que trouxe enormes melhorias no conforto das pessoas. Não há comparação entre o estilo de vida nas últimas décadas do século XX e o do final do século XIX.

A partir da década de 1970, começaríamos a vivenciar a Era do Conhecimento (ou Era Digital), resultado dos enormes desenvolvimentos abertos pela Teoria Geral da Relatividade e pela física quântica, no início do século XX.

A viagem rumo aos tijolos da matéria propiciou aplicações as mais diversas. Destacam-se a medicina nuclear, a radiologia, a esterilização de alimentos, a datação de objetos e solos, a comunicação por satélite, transmissão por fibra óptica, GPS⁵⁷, o raio laser, a criação do transistor e, posteriormente a evolução dos circuitos impressos que conduziram aos microprocessadores. Computadores de grande porte foram inicialmente construídos com esses microprocessadores, e, logo começou a era dos computadores pessoais. A interligação dos computadores pessoais, cada vez mais populares, resultou na criação da internet. A fibra óptica tornou-se um meio de interligação preferencial, em face de sua confiabilidade. O telefone celular tornou-se item de uso obrigatório para os cidadãos.

Através da rede mundial, cresceu exponencialmente a oferta de conhecimento para as pessoas. Programas de computador e a robótica facilitaram enormemente a automação dos processos produtivos, e tornaram ainda mais eficientes as atividades empresariais e comerciais.

A contínua evolução da rede mundial só é possível mediante o aumento da capacidade de telecomunicação entre redes. As empresas de telecomunicação investem continuamente em tecnologias cada vez mais modernas, tanto para aumentar a velocidade de transmissão dos dados, quanto para evitar o colapso de uma rede mundial de computadores cada vez maior.

Na segunda metade do século XX, verificou-se uma gradual redução de postos de trabalho na indústria e um crescente aumento de oportunidades para o trabalhador que detém informação ou conhecimento sobre determinado assunto. Cada vez mais, a capacitação deve ser contínua, e o trabalhador é valorado pelo seu conhecimento sobre assuntos os mais variados e, não raro, inéditos. A tecnologia atual desempenha papel fundamental nesse processo. As opções de aprendizado por internet, por satélite, a circulação cada vez mais intensa de novas informações, tornam a aquisição de conhecimento uma necessidade premente. Essa intensidade faz com que o dia-a-dia do homem pareça transcorrer com maior velocidade. A percepção é que a passagem do tempo está mais acelerada do que antes.

Não se alongará mais sobre a Era da Informação, porque ainda se vive o seu desenrolar. Mas uma característica deve ser, mais uma vez, reforçada. Como se poderia esperar, essa nova revolução é lastreada no binômio conhecimento-energia. Faltando um desses dois pilares, a revolução cessaria, e a curva continuamente crescente de melhoria da qualidade de vida das pessoas sofreria inevitavelmente uma inversão.

⁵⁷ O GPS, sistema de localização por satélite, levaria a erros grosseiros de posicionamento se a TGR não fosse levada em conta. Experiências com relógios atômicos mostram isso.

10 CONFLITO ENTRE ENERGIA E MEIO AMBIENTE

Até este ponto do texto, fez-se uma intencional digressão em torno do binômio conhecimento-energia. Não se trata de uma fuga do tema apresentado na Introdução, mas uma tentativa de dar ao leitor uma perspectiva mais profunda das afirmativas que se seguirão em torno do conflito hodierno entre a exploração de fontes de energia e a preservação do meio ambiente.

O início da Era da Informação coincidiu com o alerta de cientistas sobre impactos ambientais que vêm ameaçando a biodiversidade. Nos últimos trinta anos, diante da crescente preocupação de um número cada vez maior de pessoas quanto a essa ameaça, a implantação de novas fontes convencionais de energia, para sustentar o crescimento populacional e o da qualidade de vida das sociedades, tem experimentado uma crescente resistência dos ambientalistas. O paradigma energético que prosperou no século XX começa a ser cada vez mais questionado. O resultado do questionamento reflete-se na crescente pressão sobre o uso das fontes mais usadas, que sustentam o crescimento dos países e o estilo de vida das sociedades:

- o petróleo e o carvão tornaram-se uma das principais fontes de CO₂, um dos gases de efeito estufa, e devem ser substituídos;
- a instalação de usinas termonucleares foi praticamente interrompida no mundo, em face do acidente de Chernobyl, em 1986, e da percepção de risco de morte que esse acidente provocou na população. Mais recentemente, após o tsunami devastador que atingiu o Japão em 2010, seguido dos acidentes nas usinas termonucleares de Fukushima, reacendeu-se o debate em torno banimento de usinas nucleares;
- as usinas hidroelétricas têm sido alvo preferencial da encarniçada luta de movimentos sociais e de ambientalistas radicais contra sua construção.

Como proposta de solução, alguns ambientalistas recomendam a substituição dessas fontes convencionais por fontes alternativas. Entretanto, tecnicamente, essa não é uma solução adequada, porque as fontes alternativas não propiciam a segurança energética interna demandada pelas sociedades. Um país só com fontes alternativas seria submetido anualmente a um alto risco de racionamento de energia. Isso sem contar com o enorme aumento nas contas de luz e nos preços dos combustíveis renováveis.

A segurança energética só é assegurada por fontes cujos combustíveis são passíveis de armazenamento. É crucial, para a segurança energética dos países, que a energia seja armazenada para uso em momentos de carência periódica ou aleatória. Atualmente, só as fontes convencionais oferecem essa segurança. Seus combustíveis – água, carvão, derivado de petróleo, gás natural, pastilhas de urânio – podem ser armazenados, a custo baixo, próximo das plantas de produção de energia.

Derivados de petróleo, o carvão, o gás natural podem todos ser estocados ao lado das usinas termoelétricas, produzindo energia sempre que os consumidores demandarem. As hidroelétricas produzem energia renovável, e sua forma de armazenar energia – água em seus reservatórios – é, de longe, a mais barata; em tese, quanto maiores os reservatórios, mais energia pode ser armazenada. O combustível nuclear pode ser armazenado sob a forma de pastilhas e usado no momento requerido, nas usinas termonucleares. O Brasil é um dos três únicos países do mundo que dominam o ciclo de enriquecimento do urânio e, ao mesmo tempo, têm reservas de urânio em seu território (a sexta maior reserva mundial); os outros dois são Estados Unidos e Rússia.

Por outro lado, no momento atual, as fontes alternativas têm nas baterias o único meio de armazenagem disponível, e elas são extremamente caras. Só para dar um exemplo, um veículo elétrico com potência equivalente ao de um carro popular custa cerca de US\$ 30.000 no Japão. Só a bateria responde por 70% do custo do veículo. Portanto, impor fontes alternativas para prover o crescimento da estrutura da oferta de energia, com segurança energética, no momento atual, seria impor um enorme salto nas tarifas de energia para os consumidores.

Os governos dos países têm prudentemente mesclado as fontes convencionais com as fontes alternativas de energia, mantendo estas com modesta participação na sua matriz de energia, mediante incentivos específicos. As fontes alternativas ainda são muito mais caras do que as convencionais. Um aumento no preço da energia elétrica resultante da adoção só de fontes alternativas no Brasil ensejaria aumento acentuado das tarifas, o que provocaria uma desarticulação da indústria e uma maciça onda de desemprego, em face da enorme perda de competitividade no mercado internacional. É preciso ter bom senso, e dar o devido tempo para que a ciência dê respostas para os problemas ambientais de nosso tempo.

11 POSIÇÕES DA CIÊNCIA PERANTE PROBLEMAS AMBIENTAIS

Ao longo deste Texto, destacou-se o método científico como o instrumento principal para a conquista dos extraordinários avanços tecnológicos da humanidade dos últimos duzentos anos. A metodologia, cujas bases foram assentadas na Grécia clássica e aperfeiçoadas na Idade Moderna, ganhou contornos mais precisos ao longo do século XX.

Essa maior precisão deve-se ao conceito de *Falseabilidade*, introduzido na década de 1930 por Karl Popper – o maior filósofo da ciência do século XX – para corrigir deficiências do raciocínio indutivo. Aceito por Bacon, esse raciocínio usa conclusões de situações singulares para validar conclusões universais⁵⁸. Para Popper, essa é uma deficiência insanável, e a ciência não pode ser baseada em tal inferência. Por outro lado, ele apresentou uma abordagem útil e logicamente consistente: uma observação singular não pode ser usada para mostrar que uma observação universal é verdadeira, mas pode ser usada para mostrar que é falsa. Portanto, Falseabilidade ou Refutação de uma hipótese é o ato de obter uma afirmação ou realizar uma experiência física que mostre que a hipótese é falsa.

Mas, fora da Academia, a Falseabilidade não vem sendo considerada com o devido rigor na previsão de alguns potenciais impactos sobre o meio ambiente. O debate tem tomado ares emocionais, que em nada contribuem para a busca da verdade. Para ilustrar essa afirmação, dar-se-á o exemplo do aquecimento global⁵⁹.

É fato que cientistas têm alertado para os riscos de impactos globais provocados pelo homem, devidos ao seu estilo de vida crescentemente poluidor e consumidor de recursos naturais. Arrhenius, por exemplo, já teorizava o efeito estufa, em 1903, em

⁵⁸ Exemplo simples de conclusão falha com base no raciocínio indutivo: *Já que todos os cisnes que conheço são brancos, então todos os cisnes são brancos*. A descoberta de cisnes negros na Austrália mostrou a falha na conclusão. Esse é um raciocínio claramente inválido em lógica.

⁵⁹ “Aquecimento global virou uma religião. Falar algo contra a corrente dominante virou heresia” - Nigel Calder, ex-editor da revista New Scientist – ver em <http://super.abril.com.br/ciencia/voce-deve-desconfiar-tudo-ou-quase-tudo-ouve-le-aquecimento-global-446939.shtml>, acessado em 30/6/2011.

razão da emissão de CO₂ pela queima de combustíveis fósseis. Contudo, aqueles riscos ainda precisam ser submetidos ao rigor científico antes de terem uma aceitação consensual da comunidade acadêmica.

Percebe-se uma precipitação da sociedade, quando aceita as conclusões catastrofistas de uma parte da comunidade científica, sem que se ouçam outros cientistas que contestam tais conclusões e antes que o consenso científico tenha sido alcançado. Essa afirmação – é preciso deixar muito claro – não significa que se está contestando a existência do aquecimento global ou que a sociedade esteja errada na sua percepção. Ela significa apenas que a ciência, que tem propiciado à humanidade tantos avanços na qualidade de vida dos homens, ainda não chegou a um consenso sobre o assunto e, só por isso, deve-se ter prudência e aguardar a chancela da ciência, antes de se imporem sacrifícios desnecessários, principalmente, aos países pobres.

Enquanto a Academia ainda debate o tema, a grande maioria das pessoas já considera o aquecimento global, causado pela emissão de gases de efeito estufa, como um fato. A maioria dos Países já adotam políticas de redução de gases de efeito estufa, presumindo que o aquecimento global é um fato. Para um leitor convicto disso, pode soar estranha a afirmação de que a ciência ainda discute o tema. Mas é isso que está ocorrendo. Para mostrar que o consenso ainda muito longe de ser alcançado, seria interessante apresentar o pensamento dos céticos – muito pouco ouvidos pelos formadores de opinião, o que dará uma melhor ideia do nível em que a discussão se encontra.

Alguns cientistas do clima vêm detectando possível aumento na temperatura da Terra nos últimos cem ou duzentos anos, que imputam principalmente à queima de combustíveis fósseis, acelerada a partir da Primeira Revolução Industrial. Dados de estações meteorológicas espalhadas pelo mundo alimentam modelos do clima programados em computadores de grande porte, que fazem previsões sobre os efeitos dos gases de efeito estufa sobre o clima. São previsões sombrias, quando não catastróficas. Contrariamente aos argumentos dos céticos, as posições do IPCC são soejamente conhecidas da opinião pública, e não as reproduziremos aqui.

Eis alguns contra-argumentos que deveriam ser considerados pelos que debatem o tema⁶⁰. Eles nem sempre são complementares, às vezes até discordantes entre si, mas são suficientes para caracterizarem o falseamento das afirmações do IPCC:

- os modelos de previsão do aquecimento global são pouco confiáveis. Afinal, se não somos capazes de prever o clima para daqui a uma semana, como poderíamos prevê-lo para daqui a cem anos?
- algumas estações meteorológicas situam-se em *ilhas urbanas de calor*, o que corrompe as medidas reais;
- alguns cientistas afirmam que experimentamos um resfriamento entre 1998 e 2007 no Hemisfério Sul, a despeito da elevação da concentração de CO₂ em 4%. O aquecimento deveria ser global e não hemisférico;
- temperaturas são medidas desde 1850, mas as alterações na camada de gelo da Groenlândia e no Pólo Norte, só recentemente começaram a ser acompanhadas por satélites. Assim, os céticos perguntam: como determinar

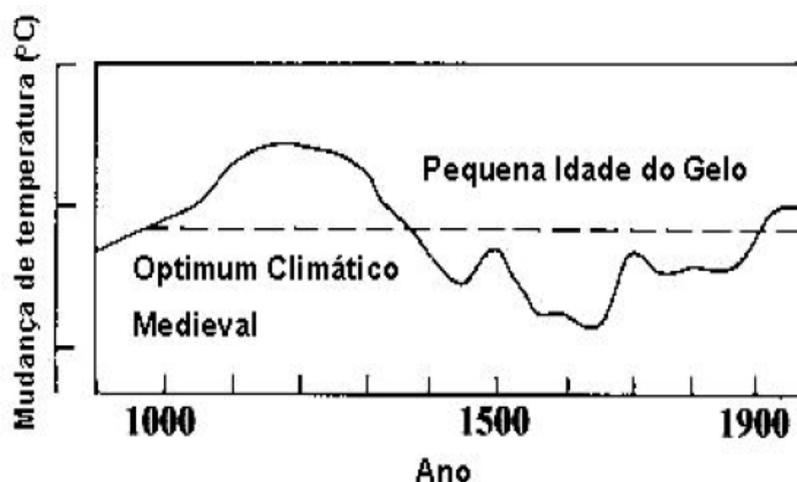
⁶⁰ <http://ambiente.hsw.uol.com.br/ceticos-do-clima1.htm>, acessado em 7/6/2011.

desde quando as geleiras estão em recuo? Ademais, observa-se um aumento da camada de gelo da Antártida;

- os mesmos métodos usados pelo IPCC para afirmar que o aquecimento global é uma realidade, foram usados pelos cientistas céticos para mostrar⁶¹ que, entre os séculos IX e XIV, houve o *período de aquecimento medieval* em algumas regiões do mundo. Após esse período, a Terra experimentou uma Pequena Era Glacial, com resfriamento da temperatura planetária (ver Figura 1). É, pois, concebível, que o Planeta esteja passando por fenômenos semelhantes, que não sejam devidos a gases de efeito estufa. Simplesmente, não se sabe o bastante sobre os sistemas climáticos para afirmar algo com certeza;
- alguns céticos não desconsideram o aquecimento global, mas acreditam que a atividade humana não seja responsável por ele. Estudo publicado na revista *Science*, em 2003, com base em amostras da geleira antártica de 240 mil anos atrás, sugere que o aumento na concentração de CO₂ seria *consequência* e não *causa* do aquecimento. É que o aquecimento leva à liberação de CO₂ aprisionado na natureza;
- outros cientistas negam aquecimento global e sustentam que a Terra está saindo de uma pequena era do gelo;

FIGURA 1

ESTIMATIVAS DA EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA GLOBAL AO LONGO DO ÚLTIMO MILÊNIO (IPCC, 1990)



- o famoso gráfico *Bastão de Hóquei*⁶² (Figura 2), tem sido usado extensivamente pelo IPCC para *provar* o efeito das atividades humanas sobre as alterações climáticas. Após sua publicação, ele foi duramente criticado por outros cientistas, que apontaram grosseiros erros no uso de dados, sugerindo que os dados foram *adaptados* para se chegar à conclusão desejada;

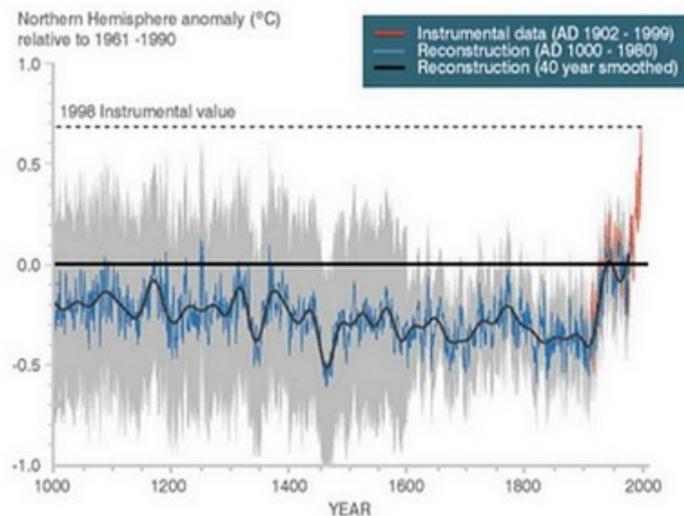
⁶¹ http://www.geografia.fflch.usp.br/graduacao/apoio/Apoio/Apoio_Felicio/mudancas/P02D-AquecGlobal-DaniOncaTacoHoquei.pdf, acessado em 7/6/2011.

⁶² <http://mitos-climaticos.blogspot.com/2007/04/fig-84-taco-de-hquei-fonte-nature.html>

- recentes e-mails trocados entre cientistas ligados ao IPCC, divulgados para a mídia, mostraram que os dados que o Painel Intergovernamental usou para publicar suas conclusões a respeito do *Taco de Hóquei* não estão disponíveis para a devida validação por outros cientistas. Esse resultado não pode, pois, ser validado pela ciência, em face de ele não ser reproduzível;
- a emissão humana de CO₂ é uma fração mínima das emissões naturais de CO₂;
- o vapor d'água é o principal gás de efeito estufa. O CO₂ é o segundo em importância, e tem uma concentração na atmosfera até *cem vezes menor* do que o vapor d'água. Com pode, então, o CO₂ ser o vilão do aquecimento global?
- a população de ursos polares está crescendo no Ártico, e não reduzindo, como apregoam os profetas do apocalipse ambiental;
- houve aquecimento global na primeira metade do século XX, quando a concentração de CO₂ era baixa. Não há correlação entre CO₂ e temperatura;
- o IPCC errou suas previsões quanto às geleiras do Himalaia e quanto à Floresta Amazônica. No caso do Himalaia, foi constatada uma fraude: o que seria o resultado de um estudo circunstanciado sobre o assunto, incluído no relatório de 2007 do IPCC, nada mais era do que um recorte de jornal publicado em 1999, com meras especulações de ambientalistas;

FIGURA 2

TACO DE HÓQUEI MOSTRA QUE A TEMPERATURA MÉDIA DA TERRA ESTARIA SUBINDO NO FINAL DO SÉCULO XX



Bem, obviamente, o IPCC tem também trélicas a todos esses contra-argumentos. O debate científico sobre aquecimento global está longe do seu final. Mas a amostra que se procurou apresentar aqui serve apenas para que os formadores de opinião que já tenham se convencido do aquecimento global considerem a hipótese de dar um passo atrás e voltem sua atenção também para o que dizem os cétricos. O mundo

tem muitos deles. O Brasil também⁶³. E são pessoas do mais alto gabarito, com formação científica extremamente consistente, capazes de contribuir para um debate profícuo em torno do assunto.

O aquecimento global pode até vir a ser chancelado pela ciência, mas um longo caminho deve ser percorrido antes que o consenso científico seja alcançado. Até lá, é prudente não tomar atitudes radicais, como se ele fosse uma realidade. Afinal, em face dos argumentos até agora suscitados, não seria surpreendente que a ciência chegasse ao consenso, futuramente, de que o planeta está passando por um período de resfriamento global, jogando por terra todo o esforço empreendido para controlar os gases de efeito estufa.

12 CONCLUSÃO

O exemplo do aquecimento global foi usado para mostrar a importância do falseamento na análise de afirmações de cunho científico. Outras questões ambientais também envolvem o nome da ciência para contestar certos paradigmas econômicos da atualidade. É certo afirmar que, em muitos casos, com toda a razão: desmatamento irracional, a pesca e caça predatórias, o problema de lixões, de esgotos, a perda de nascentes, de matas ciliares, o risco de extinção de espécies, a ameaça generalizada à biodiversidade. A ciência tem apoiado e impulsionado a maioria desses esforços.

Mas, na questão energética, a pauta ambiental precisa ser vista com cautela. O caráter essencial da energia e sua crescente demanda tornam a produção de energia uma atividade de elevado interesse público, e todo cuidado é pouco para que sua falta não desestabilize os países, inclusive o Brasil. Por energia, países foram, vão e irão à guerra.

A produção de energia na forma atual é resultado da associação entre a criatividade humana e o acúmulo de conhecimentos proporcionados pelo método científico. Olhando a história pelo retrovisor, percebe-se com clareza que a ciência é a grande responsável pela mudança radical na qualidade de vida das pessoas, experimentada nos dois últimos séculos. E as diversas formas de energia são o principal insumo dessa mudança.

O mesmo não se pode afirmar com relação ao conhecimento acerca de algumas teses sobre o ambiente global. Por si só, a enorme complexidade dos fenômenos climáticos recomendaria prudência em relação a conclusões que, futuramente, possam se mostrar inconsistentes. O método científico não chancela teses que podem ser cientificamente falseadas por outras teses. Entretanto, o movimento ambientalista tem usado o nome da ciência em vão, para validar crenças não científicas, ou teses científicas ainda não chanceladas pelos pares. Suas afirmações são sistematicamente de caráter profético ou dogmático, e não podem ser provadas no momento em que a decisão precisa ser tomada. Quando muitas delas são desmentidas posteriormente, já

⁶³ Ver entrevista no Programa “Canal Livre” com o Dr. Luís Carlos Molion, ex-diretor do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e professor da Universidade de Alagoas. Disponível em http://www.youtube.com/watch?v=JxC_JIwat9s.

caíram no esquecimento⁶⁴, e ninguém mais nota a incoerência entre as afirmações do passado e os fatos do presente.

O contínuo avanço científico dos últimos séculos sempre dependeu de uma postura crítica, que protege a humanidade de dogmas criados em torno de teses inconsistentes. A humanidade chegou a esse vertiginoso processo de melhora da sua qualidade de vida em razão da postura crítica, inerente ao método científico. É quase uma compulsão para o verdadeiro cientista questionar sempre as verdades estabelecidas.

Não haveria a tecnologia moderna se a teoria da relatividade não tivesse superado as leis de Newton, que reinaram durante quase dois séculos. E a própria teoria da relatividade continua sendo objeto de contínuo questionamento. Ela não explica todos os meandros do universo, e poderá ser superada futuramente por uma teoria mais apropriada às medições de um universo cada vez mais precisamente descrito. Ciência e paixão não se devem misturar, ainda mais quando a paixão nasce de afirmações científicas não comprovadas.

Nas palavras de Giordano Bruno, *“Deve-se, antes de tudo, duvidar de todas as coisas. Não pode tomar parte num debate antes de ter escutado as diversas opiniões, nem antes de avaliar e comparar as diversas opiniões, nem antes de avaliar e comparar as razões contrárias e a favor. Jamais deve julgar ou censurar um enunciado apenas pelo que ouviu, pela opinião da maioria, pela idade, pelo mérito ou pelo prestígio do orador, devendo por consequência agir de acordo com uma doutrina orgânica que se mantém fiel ao real e uma verdade que pode ser entendida à luz da razão.”*

⁶⁴ Ver Edmundo Montalvão – “Impacto de Tributos, Encargos e Subsídios Setoriais Sobre a Conta de Luz dos Consumidores”, pág. 36 Texto para Discussão nº 62, citando Ivan Dutra Faria – Nota Informática CONLEG nº 3.129, de 2009. Texto disponível no seguinte endereço eletrônico: <http://www12.senado.gov.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td-62-impacto-de-tributos-encargos-e-subsidios-setoriais-sobre-as-contas-de-luz-dos-consumidores>