



AS COISAS SÃO ASSIM

Pequeno repertório científico do mundo que nos cerca

Organização

JOHN BROCKMAN

KATINKA MATSON

Tradução

DIOGO MEYER

SUZANA STURLINI COUTO

4ª reimpressão



Cia. das Letras

Copyright © 1995 by John Brockman e Katinka Matson

Título original  
How things Are

Capa  
Carlos Matuck  
Hélio de Almeida

Preparação  
Marcos Luiz Fernandes

Revisão  
Beatriz de Freitas Moreira  
Cecília Ramos

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

As coisas são assim: pequeno repertório científico do mundo que nos  
cerca/organização John Brockman, Katinka Matson; tradução Diogo Meyer,  
Suzana Slurlini Couto. — São Paulo: Companhia das Letras, 1997.

ISBN 978-85-7164-665-0

1. Ciência — Filosofia — Miscelânea 2. Ciência — Metodologia 3. Ciência —  
Metodologia — Miscelânea — 4. Evolução — Miscelânea 5. Mente I. Brockman,  
John. II. Matson, Katinka

97.2070 CDD-500

Índice para catálogo sistemático:

1. Ciência: Miscelânea 500

Todos os direitos desta edição reservados à  
EDITORA SCHWARCZ LTDA.  
Rua Bandeira Paulista, 702, cj. 32  
04532-002 — São Paulo — SP  
Telefone: (11) 3707-3500  
Fax: (11) 3707-3501  
[www.companhiadasletras.com.br](http://www.companhiadasletras.com.br)

*Para nosso filho, Max*

## SUMÁRIO

### INTRODUÇÃO

#### PARTE I - PENSANDO SOBRE CIÊNCIA

Só isso ou tudo isso? *Marian Stamp Dawkins*  
Sobre a naturalidade das coisas, *Mary Catherine Bateson*  
Boas e más razões para crer, *Richard Dawkins*

#### PARTE II - ORIGENS

O que aconteceu antes do *big bang*? *Paul Davies*  
O fascínio da água, *P. W. Atkins*  
De onde viemos? *Robert Shapiro*  
Quem culpamos pelo que somos? *Jack Cohen*  
O triunfo do embrião, *Lewis Wolpert*  
Do *kefir* à morte, *Lynn Margulis*

#### PARTE III - EVOLUÇÃO

Três aspectos da evolução, *Stephen Jay Gould*  
Nossa gangue, *Milford H. Wolpoff*  
E o incesto? *Patrick Bateson*  
Por que algumas pessoas são negras? *Steve Jones*  
O acaso e a história da vida, *Peter Ward*  
Ninguém gosta de mutantes, *Anne Fausto-Sterling*

#### PARTE IV - A MENTE

Como cometer erros, *Daniel C. Dennett*  
A mente pode fazer mais do que o cérebro? *Hao Wang*  
Como pensar sobre o que ninguém jamais pensou, *William H. Calvin*  
O quebra-cabeça das médias, *Michael S. Gazzaniga*  
*Ceteris paribus* (Tudo o mais sendo invariável), *Pascal Boyer*  
Dar mais uma olhada, *Nicholas Humphrey*  
O que saber e como aprendê-lo, *Roger C. Shank*  
Como nos comunicamos? *Dan Sperber*  
A mente, o cérebro e a pedra de Roseta, *Steven Rose*  
Estude o Talmude, *David Gelernter*

Identidade na Internet, *Sherry Turkle*

## PARTE V - O COSMOS

O que é o tempo? *Lee Smolin*

Aprendendo o que é através do que não pode ser, *Alan H. Guth*

Simetria: o fio da realidade, *Ian Stewart*

Relatividade especial: por que não podemos nos mover mais rápido do que a velocidade da luz? *W. Daniel Hillis*

## PARTE VI - O FUTURO

Quanto tempo durará a espécie humana? (Discussão com Robert Malthus e Richard Gott), *Freeman Dyson*

A singularidade do atual crescimento da população humana, *Joel E. Cohen*

Quem herdará a Terra? (Carta aberta a meus filhos), *Niles Eldredge*

A ciência consegue responder a todas as perguntas? *Martin Rees*



## INTRODUÇÃO

As coisas são assim é uma reunião de obras originais de autoria de alguns dos cientistas e pensadores mais sofisticados do mundo, cada qual contribuindo com uma ideia elementar, um conceito básico, uma ferramenta para o pensamento relevantes para o seu campo da ciência.

O livro nos permite conhecer as questões que cientistas e pensadores ilustres levantam e os métodos empregados para respondê-las, assim como a maneira como raciocinam ao tentar atingir o entendimento de nós mesmos e do mundo que nos cerca. Em suma, temos a chance de observar a sua mente em funcionamento.

Imagine que você se encontrasse numa sala repleta de cientistas famosos e pudesse formular apenas uma pergunta a cada um deles. Estes ensaios, cujos atrativos são o enfoque e a brevidade — um único tema, um ponto de vista surpreendente e uma explicação do motivo por que uma teoria é ou não aceitável —, seriam as respostas a suas perguntas. Algumas perguntas para as quais descobrimos respostas neste volume: O que é natural? Por que existem diferentes tonalidades de pele? Quais as bases biológicas das diferenças raciais? Como entender a atual população mundial, ao longo da história e no futuro? Qual a diferença entre cérebro e mente? Qual é o lado bom de cometer erros? Quais as diferenças entre a matéria viva e a inanimada? O que é evolução? Por que incesto? Como a comunicação humana é possível? De que maneira os computadores mudam o nosso modo de pensar? Quando começou o tempo?

Ler estes textos é como ouvir sem querer uma conversa entre cientistas que jantam numa mesa próxima, de tal forma é acessível a linguagem usada para redigi-los. E, o mais importante, depois de lê-los você terá adquirido uma noção profunda do modo como os cientistas investigam e descobrem que *As coisas são assim*.

Na Parte Um, “Pensando sobre ciência”, temos a zoóloga Marian Stamp Dawkins falando sobre a explicação científica; a antropóloga Mary Catherine Bateson sobre o conceito de “natural”, e o biólogo evolucionista Richard Dawkins sobre a crença.

A Parte Dois, “Origens”, destaca o físico teórico Paul Davies discutindo sobre o *big bang*, o químico Peter Atkins sobre a água; o químico Robert Shapiro sobre as origens da vida; o biólogo Jack Cohen sobre o DNA; o biólogo Lewis Wolpert sobre o milagre das células, e a bióloga Lynn Margulis sobre o que um drinque chamado *kefir* pode nos ensinar acerca da morte.

Na Parte Três, “Evolução”, o zoólogo Stephen Jay Gould escreve sobre a ideia da evolução; o antropólogo Milford Wolpoff sobre a relação entre os seres

humanos e os macacos; o antropólogo Patrick Bateson sobre o desenvolvimento do tabu do incesto; o biólogo Steve Jones sobre a razão de as pessoas terem cores de pele diferentes; o paleontologista Peter Ward sobre o papel do acaso na evolução, e a bióloga evolucionista Anne Fausto-Sterling sobre o normal e o natural versus o anormal e o artificial.

Na Parte Quatro, “A mente”, o filósofo Daniel Dennett nos dá informações sobre a importância de cometer erros; o lógico Hao Wang sobre a mente versus o cérebro; o neurofisiologista William Calvin sobre as maneiras de pensar a respeito do pensamento; o neurobiólogo Michael Gazzaniga sobre os padrões únicos de cada cérebro; o antropólogo Pascal Boyer sobre as ferramentas do pensamento; o psicólogo Nicholas Humphrey sobre ilusão; o psicólogo e pesquisador da inteligência artificial Roger Schank sobre aprender fazendo; o antropólogo Dan Sperber sobre comunicação humana; o neurocientista Steven Rose sobre a dicotomia mente/cérebro; o cientista da computação David Gelernter sobre aprender a ler, e a psicóloga Sherry Turkle sobre como os computadores mudam a nossa maneira de pensar.

Encontramos na Parte Cinco, “O cosmos”, a física Lee Smolin discorrendo sobre a questão do tempo; o físico Alan Guth sobre a importância, dentro da ciência, de pensar acerca do impossível; o matemático Ian Stewart sobre os padrões de simetria na natureza; e o cientista da computação Daniel Hillis sobre o motivo pelo qual não se pode viajar mais rápido do que a velocidade da luz.

Freeman Dyson nos esclarece sobre a questão dos prognósticos científicos na Parte Seis, “O futuro”; o matemático de populações Joel Cohen sobre a razão de o presente crescimento populacional da Terra ser único; o paleontólogo Niles Eldredge sobre o motivo por que o mundo não irá por água abaixo, e o cosmólogo Martin Rees sobre o entendimento das estrelas.

*John Brockman e Katinka Matson  
Bethlehem, Connecticut*

## **Parte I - PENSANDO SOBRE CIÊNCIA**

Você é uma daquelas pessoas que não gostam de ciência por causa daquilo que julgam que ela faz com o “mistério” do mundo? Acha que de alguma forma as pessoas se diminuem ao tentar “explicar” seus comportamentos ou que “a beleza do arco-íris se perde” se falarmos sobre raios de luz passando por gotículas de água?

Se for, posso pedir-lhe que por um momento permita à sua mente admitir uma visão oposta, que talvez lhe pareça totalmente absurda e até repugnante? Se preferir, pode considerar-se como o príncipe capturado na história *The Silver Chair*, de C. S. Lewis — ele precisava ser amarrado todas as tardes, às seis horas, porque, durante alguns desagradáveis minutos, tinha alucinações; depois se recuperava e ficava perfeitamente normal durante as 24 horas seguintes. Em outras palavras, as alucinações não durarão muito. Você estará seguro. Serão apenas cinco minutos de loucura desenfreada.

A ideia totalmente absurda é a seguinte: explicar algo de modo científico não o diminui. Intensifica-o. Deixe-me explicar por quê. Compreender como as coisas funcionam, até seu próprio cérebro, tem uma grandeza e uma glória das quais nenhuma explicação não científica sequer se aproxima.

Não imagino, evidentemente, que você aceite isso sem restrições. Mas peço-lhe que comece por pensar em algo razoável e de modo algum científico — digamos, Abraham Lincoln. Pergunte a si mesmo se sua opinião sobre as realizações dele é melhor ou pior quando se lembra de que ele era “só” um advogado autodidata, do interior. Depois pergunte a si mesmo quem você admira mais: alguém que, com uma formação pouco promissora, realiza grandes feitos graças aos seus próprios esforços e qualidades ou alguém que, vindo de uma família rica e poderosa, chega a altos postos por ter um pai influente. Eu ficaria surpresa se Abraham Lincoln não se saísse bem nessa comparação. Dizer que ele é apenas um caipira não o desmerece.

A seguir, pense nas pirâmides. As realizações dos antigos egípcios são diminuídas se dissermos que foram construídas “apenas” com as mais rudimentares ferramentas e equipamentos de medição? A minha reverência e admiração por eles apenas aumentou quando me dei conta de que moviam gigantescos blocos de pedra sem veículos com rodas e construíram as pirâmides com bases perfeitamente quadradas usando “só” pedaços de corda com nós e estacas no chão. Até mesmo erros mínimos teriam levado toda a estrutura a ficar completamente desalinhada, e no entanto lá estão elas até hoje — fenomenais feitos de engenharia e formas praticamente perfeitas. “Apenas” equipamento simples se torna “tudo isso”, algo longe de desprezível.

Talvez agora você perceba aonde quero chegar. Se você olha o arco-íris e alguém lhe diz como ele se forma, por que você diria que ele o “estragou” ao torná-lo “apenas” um truque de luz e água? Por que não dizer o oposto? A partir de matérias-primas tão pouco promissoras quanto gotas de água e leis da refração surgiu algo tão bonito que atravessa o céu e inspira poetas.

E, quanto aos animais e plantas e todas as incríveis estruturas e comportamentos que eles têm, por que rejeitar uma explicação científica sobre seu surgimento alegando que isso os torna “apenas” os produtos de um processo evolutivo cego? Pelo contrário, você poderia encarar toda a grandeza daquilo que tal processo pressupõe. O pássaro que constrói um ninho e traz alimento para seus filhotes pode ser “apenas” o resultado da evolução por seleção natural. Mas que resultado! Pássaros, assim como nós, devem a sua existência a instruções transportadas em moléculas de DNA. Os cientistas de Jurassic Park que obtiveram dinossauros a partir de moléculas de DNA encontradas em sangue preservado, estavam na trilha certa, apesar de ninguém ter conseguido fazer isso até hoje. Moléculas de DNA de fato carregam informação para a construção de todos os tipos de corpos — dinossauros, aves, sequoias gigantes e até seres humanos.

E as moléculas não param por aí. Cada suspiro que você dá, cada segundo de sua vida depende de centenas de reações químicas, todas acontecendo na hora certa. A vida seria impossível se, por exemplo, o corpo não possuísse uma fonte constante de energia — e esta provém de moléculas como a glicose. A glicose pode fornecer energia pois os três diferentes tipos de átomos que a compõem — carbono, hidrogênio e oxigênio — se mantêm unidos por elos ricos em energia, chamados de ligações químicas. Se algumas dessas ligações são rompidas, de modo que a grande molécula de açúcar é quebrada em moléculas menores de água e gás carbônico, a energia que originalmente mantinha a molécula de glicose unida é liberada. Assim, o corpo saqueia as moléculas, quebrando-as e roubando sua energia para manter-se vivo. Ele não conseguiria fazer nada se não fosse constantemente abastecido por essa energia. Pararia completamente, sem vida e inerte. Você não conseguiria mover um músculo nem pensar sem essa constante moagem molecular que é feita pelo seu corpo, ou sem a energia das moléculas quebradas e transportadas por outras moléculas para os locais onde é necessária. O pássaro não conseguiria construir seu ninho e nós não poderíamos olhar e pensar por que ele o fez. As moléculas foram longe, considerando que são “só” moléculas.

Pronto! Acabaram os minutos de alucinação. Vou desamarrá-lo e você pode voltar a pensar que as explicações científicas diminuem e tornam inferior tudo o que tocam. Mas atenção. O príncipe na história de C. S. Lewis tinha uma alucinação meio estranha. Diariamente, durante aqueles poucos minutos, tinha a intensa ilusão de que existia algo além do sombrio reino subterrâneo em que

vivia. Ele acreditava—pobre alma insana—que havia algo chamado luz do sol e um lugar onde o céu era azul e poderia haver uma brisa fresca em seu rosto. Mas isso só durava alguns minutos. Depois passava.

*MARIAN STAMP DAWKINS* sempre se interessou em compreender como são os mundos de outros animais — isso é, não apenas o que eles veem, ouvem ou cheiram, mas o que sabem sobre seus mundos e, acima de tudo, se têm consciência do que fazem. Ao mesmo tempo, ela acredita convictamente que as respostas para essas questões devem provir não do antropomorfismo, mas de pesquisa científica e, particularmente, de estudos de comportamento animal.

Grande parte de sua própria pesquisa tem tratado do bem-estar dos animais e, em particular, do problema referente à possibilidade de eles “sofrerem”. Marian tem uma série de publicações nessa área, entre elas o livro *Animal Suffering: the Science of Animal Welfare*. Escreveu também *Unravelling Animal Behaviour* e *An Introduction to Animal Behaviour* (com Aubrey Manning). Recentemente publicou *Through Our Eyes Only? The Search for Animal Consciousness*. Sua pesquisa atual lida com a evolução de sinais dos animais, como os pássaros reconhecem uns aos outros individualmente, e por que os peixes de recifes têm um colorido tão intenso. Ela detém o mais alto grau que pode ser obtido por um professor em universidades inglesas em pesquisa no departamento de zoologia da Universidade de Oxford e é membro do Somerville College.

A reflexão clara sobre o mundo em que vivemos é dificultada por algumas confusões bastante primárias, novas e velhas, sobre o uso habitual das palavras natureza e natural.

Parecemos acreditar facilmente que é possível estar fora da natureza — que, com uma ajudinha lá de cima, conseguiríamos nos colocar acima das contingências comuns, fugir às consequências de nossos atos e nos livrar de maneira sobrenatural das realidades excessivamente naturais que são a doença e a morte. Alguns empregos dessas palavras parecem sugerir que é possível estar abaixo da natureza, como é o caso dos atos “não naturais” (às vezes chamados de “subumanos”), ou pais não naturais (aqueles não amorosos ou que faltam com as obrigações da educação, sem nenhuma relação lógica com o “filho natural”, aquele nascido fora do arranjo culturalmente aceito que é o matrimônio).

Esses empregos têm em comum a ideia de que a natureza é algo do qual podemos nos afastar, contornar. Os problemas intelectuais gerados pela delimitação do domínio da “natureza” provavelmente confundem mais do que aqueles criados pelo dualismo cartesiano, apesar de sem dúvida serem relacionados. Descartes estava interessado em definir um domínio para a ciência que estivesse livre da interferência eclesiástica: res extensa, matéria, o corpo físico, separado da mente ou espírito. O efeito disso foi a criação de duas formas de causalidade distintas e esferas de discurso separadas que devem de alguma forma ser reunidas. As definições populares para “natureza” são mais confusas, mas igualmente insidiosas. Assim como com o dualismo cartesiano, elas tendem a enviar o pensamento ético, a separar ao invés de incluir. Na cultura ocidental, já se considerou a natureza como algo a ser controlado pela humanidade, assim como o corpo deveria ser controlado pela mente.

Recentemente, nós complicamos a situação ao rotular mais e mais objetos e materiais, desde comidas até fibras e moléculas, como naturais ou não naturais. Isso cria um domínio limitado e disforme para o natural, carregado de juízos de valor subentendidos: o domínio sugerido no título *The End of Nature*, de Bill McKibben, ou *The American Replacement of Nature*, de Irwin Thompson. No entanto, a natureza não é algo que pode acabar ou ser substituído, tampouco é possível ficar fora dela.

Aliás, tudo é natural; se não fosse, não existiria. As coisas são assim\ naturais. E inter-relacionadas, de maneira que podem (às vezes) ser estudadas para produzir as grandes generalizações que chamamos de “leis da natureza” e as milhares de generalizações interligadas que constituem a ciência. Em algum lugar dessa confusão há questões da maior importância que devem ser

esclarecidas para que seja possível argumentar (de formas não internamente contraditórias) em defesa da preservação da “natureza”, pelo respeito ao “mundo natural”, pela educação nas “ciências naturais” e pela melhor compreensão científica das origens e efeitos das ações humanas. Mas note-se que a natureza presente na expressão “leis da natureza” não é a mesma que existe em “lei natural”, a qual se refere a um sistema de investigação teológico e filosófico que tende a rotular o senso comum do cristianismo ocidental como “natural”.

Nossa espécie é uma entre várias, parte da natureza, com parentes e ancestrais reconhecíveis. Fomos moldados pela seleção natural, adquirindo uma forma particular de adaptação, que depende das vantagens para a sobrevivência oferecidas pela flexibilidade e extensão do aprendizado. Através de milênios, nossos ancestrais desenvolveram os polegares oponíveis que sustentam nossa destreza com ferramentas. Mas o uso de ferramentas rudimentares já foi observado em outros primatas; nem elas nem os resultados de seu emprego são “não naturais”. Os seres humanos se comunicam uns com os outros, transmitindo os resultados de suas explorações, de uma forma mais elaborada do que qualquer outra espécie. As vezes, teóricos argumentam que a linguagem humana difere dos sistemas de comunicação das demais espécies de modo qualitativo ou mesmo absoluto; mas isso não torna a linguagem (ou mesmo as possibilidades de erro e inexatidão que ela intensifica) “não natural”. A linguagem é possível graças às estruturas físicas do sistema nervoso humano, o qual nos permite ainda construir imagens mentais do mundo. Isso ocorre também com os sistemas sensoriais de morcegos, sapos e cascavéis, cada um ligeiramente diferente do outro, adequando-se às suas necessidades de adaptação.

Muitas vezes é possível descobrir o sentido de um termo procurando o seu antônimo. A natureza é frequentemente entendida como o oposto de cultura ou educação. No entanto, os seres humanos, combinando seus grandes cérebros com uma estrutura óssea adequada para a postura ereta e a locomoção bípede, evoluíram de modo a precisar de um longo período de cuidado por adultos após o nascimento. Esse tempo é necessário para a aquisição das variadas formas de adaptação e comunicação que chamamos de cultura. Portanto, como pode a “educação” ser “não natural”? As características da espécie humana que nos diferenciam de outras também têm suas bases na natureza.

Cada vez mais, natureza é contraposta a artefato. No entanto, os seres humanos devem sempre trabalhar dentro de condições naturais para criar seus artefatos, mesmo na produção de sonhos ou fantasia. Ironicamente, no linguajar cotidiano, muitos artefatos são chamados de “naturais”. Se o que queremos dizer com “natural” é “não influenciado por atos humanos”, é muito difícil achar o natural. Passeie num bosque, por exemplo. Padrões de vegetação em diferentes biomas da América do Norte já haviam sido alterados pela habitação humana



muito antes da chegada dos primeiros europeus, e foram mudados novamente pelos colonos. Hoje, há espécies introduzidas de aves, insetos e plantas por todo o país, até mesmo nas áreas consideradas selvagens. As migrações de seres humanos para todos os continentes do mundo transportaram parasitas e simbioses humanos desde tempos pré-históricos. Os seres humanos, à medida que aprenderam a usar o fogo, armas e agricultura, exerceram pressões seletivas em todos os lugares que habitaram — assim como todas as outras espécies. Henry David Thoreau sabia perfeitamente que aquilo sobre o que poderia estudar e refletir, morando ao lado de Walden Pond, já trazia uma marca humana. No entanto, somos sábios em prezar paisagens sobre as quais a marca humana não é óbvia e aprender a partir delas. Isso deve ser o que queremos dizer com “ambiente selvagem” (me pergunto o quanto a natureza à qual Jesus ou João Batista se recolheram era uma criação humana, como são muitos dos desertos que hoje se expandem). “Ambiente selvagem” se revela uma expressão relativa, mas mesmo assim valiosa. Precisamos de áreas livres de construções ou de latas de refrigerante que nos lembrem das atividades humanas. Mas, de qualquer modo, essas áreas são influenciadas por atos humanos.

Se “natural” significa “não afetado por atos humanos”, não será encontrado nas lojas de “comida natural”. A maioria dos produtos alimentares foi produzida por cruzamentos seletivos ao longo dos séculos, transformando plantas selvagens em variedades dependentes de cuidado dos seres humanos e com uma variabilidade profundamente alterada. A maioria é também processada e transportada por formas culturalmente inventadas; afinal de contas, tofu não cresce nas árvores. Fazendeiros “orgânicos” precisam trabalhar com afino e destreza; a natureza não faz o serviço para eles. No entanto, o esforço para produzir alimentos sem fertilizantes químicos e inseticidas que deixam resíduos tóxicos é uma importante área de criatividade e persuasão. Seria bom encontrar um modo de falar sobre isso sem usar palavras absurdas e contraditórias como “natural” e “orgânico” (o que um legume seria se não orgânico?). Alguns dos animais e plantas criados pelo homem conseguem sobreviver sem ajuda humana, como gatos domésticos que se tornam ferozes, estranhos ao seu ambiente, e ameaçadores para outras espécies. Ao viver de um modo mais “natural”, eles podem ser mais perturbadores. Talvez seja útil distinguir entre o que criamos “de propósito” e subprodutos inesperados. Nesse sentido, jardins diferem de desertos criados por certas formas de uso da terra.

Populações humanas existem hoje graças à interferência maciça na “natureza”. Sem a invenção da agricultura e de outras tecnologias, populações humanas teriam permanecido minúsculas, e a maioria dos nossos ancestrais jamais haveria nascido.

Provavelmente, cada um de nós está vivo graças a tecnologias médicas, saúde pública e imunizações. Sem algum tipo de tecnologia, você está morto.

Quando a guerra prejudica elementos como a saúde pública, água limpa, transporte, eletricidade e assim por diante, as taxas de mortalidade refletem essa nova condição “natural”. Mesmo o “parto natural” é uma invenção que depende de ideias modernas sobre higiene, treinamento, retaguarda para emergência — e do uso do relógio para cronometrar contrações. Alguns de nós nos orgulhamos de possuir aparência e comportamento “naturais”, mas tente dar uma olhada no espelho. Você usa condicionador de cabelo, pasta de dente e vitaminas? Até mesmo os produtos chamados de naturais são artefatos humanos — assim como uma tez imaculada, cabelos brilhantes e dentes alinhados.

Tudo isso ficará mais claro se tentarmos observar algo realmente “não natural”: uma barragem hidrelétrica, por exemplo, ou um saco plástico, uma usina nuclear ou um terno de poliéster. Todos os nossos artefatos só existem por se encaixarem dentro de possibilidades naturais — às vezes bem demais. Se não fosse assim, eles não serviriam aos nossos propósitos; pontes desabariam. Invenção, tecnologia, indústria — todas existem em completa deferência à natureza, sujeitas às suas extraordinárias provas e sanções, entropia, deterioração, extinção. Muito daquilo que serve aos nossos propósitos a curto prazo pode voltar-se contra a Terra e nós mesmos, ao longo do tempo.

Os seres humanos moldam o ambiente de maneira que parecem atender aos seus anseios e vontades. Anseios, evidentemente, têm uma origem biológica e são também transmitidos por tradições culturais. A publicidade astuciosamente explora o fato de que, num nível primitivo, anseios e necessidades humanas foram moldados por pressões naturais e pela escassez de recursos, com as quais nossos ancestrais conviviam. Na medida em que as circunstâncias de nossas vidas mudaram, através do emprego de técnicas de adaptação desenvolvidas por seres humanos, a tentativa de atender a alguns anseios pode ter se tornado desajustadora.

Essa é a grande e terrível ironia de “fazer as coisas naturalmente”. O desejo de ter filhos é um produto de épocas remotas, quando bandos de seres humanos mal conseguiam manter sua população. Até metade da prole morria jovem demais para se reproduzir. Altas taxas de sobrevivência infantil são artefatos, de modo algum “naturais”. Alguns grupos religiosos rejeitam a contracepção, por julgá-la “não natural”. Mas o uso de anticoncepcionais permite restaurar antigos equilíbrios; trata-se de usar um artefato para reparar os efeitos de outro artefato. A tentativa de afastar a morte através de tecnologia biomédica é também resultado de anseios que, para a espécie, já foram de adaptação. Uma vez que a escassez tem sido uma realidade ao longo da maior parte da existência humana, avareza, comer demais ou o consumo conspícuo pesam sobre nossas vidas hoje. Talvez o prazer associado aos carros velozes e poderosos seja uma tradução da necessidade de poder correr, seja na fuga de predadores ou no encaço de uma presa. É “natural” querer possuir um monstro devorador de gasolina. E “natural”

se abraçar à vida e à vida dos entes queridos além de qualquer medida razoável. A explosão populacional é “natural.”

Porém, o mais grave de tudo é que a visão da comunidade humana como algo separado da (e em oposição à) natureza se tornou natural. Esse costume, que parece ter sido de adaptação para a nossa espécie pela maior parte da sua história, pode ter deixado de sê-lo. Poucas culturas enfatizam essa distinção de maneira tão acentuada como a tradição ocidental. Mas mesmo onde há tecnologias da Idade da Pedra e diversas mitologias de parentesco com a Terra, essa noção está presente.

O aumento constante do impacto dos seres humanos sobre as demais espécies, sobre a atmosfera, os mares e a superfície da Terra, requer novos padrões de adaptação e novos tipos de percepção, pois o rumo natural de uma espécie que destrói seu ambiente é a extinção. O que devemos conceber agora é um modo de pensar que seja ao mesmo tempo novo e artificial — algo deliberadamente inventado no século XX e aprendido por todos os membros de nossa espécie para proteger a vida e preservar suas opções das futuras gerações. Precisamos inventar novas formas e aprender algumas coisas novas: limites, moderação, menor prole, a aceitação de nossa própria morte. Precisamos olhar mais à frente no futuro, usar mais ciência de boa qualidade, e aprender a pensar com mais clareza sobre nossa interdependência com outras formas de vida. Ao fazer isso, estaremos seguindo a nossa natureza de espécie que sobrevive pelo aprendizado.

MARY CATHERINE BATESON é professora Clarence Robinson de antropologia e inglês na George Mason University em Fairfax, Virginia. Bateson se considera uma outsider automodelada, que possui o talento singular de discernir padrões abstratos que são recorrentes em situações bastante diversas. Ela escreveu sobre uma gama de assuntos linguísticos e antropológicos. E a autora de *With a Daughter's Eye*, um livro de memórias sobre seus pais, Gregory Bateson e Margaret Mead, e *Composing a Life*, entre outros.

Querida Juliet,

Agora que você fez dez anos, quero lhe escrever sobre algo que é muito importante para mim. Você já se perguntou sobre como sabemos as coisas que sabemos? Como sabemos, por exemplo, que as estrelas, que parecem pequenos pontos no céu, são na verdade grandes bolas de fogo como o Sol e ficam muito longe? E como sabemos que a Terra é uma bola menor, girando ao redor de uma dessas estrelas, o Sol?

A resposta para essas perguntas é “provas”. As vezes “prova” significa realmente ver (ou ouvir, ou sentir, cheirar...) que algo é verdade. Astronautas viajaram longe o suficiente da Terra para ver com seus próprios olhos que ela é redonda. As vezes nossos olhos precisam de ajuda. A “estrela-d’alva” parece uma sutil cintilação no céu, mas com um telescópio você pode ver que ela é uma linda bola — o planeta que chamamos de Vénus. Uma coisa que você aprende diretamente vendo (ou ouvindo, ou cheirando...) é chamada de observação.

Frequentemente, a prova não é só uma observação por si só, mas há sempre observações em sua base. Se aconteceu um assassinato, é comum ninguém (menos o assassino e a pessoa morta!) ter visto o que aconteceu. Mas os detetives juntam diversas observações que podem apontar na direção de um suspeito. Se as impressões digitais de uma pessoa coincidirem com as encontradas num punhal, isso é uma prova de que ela tocou nele. Isso não prova que ela cometeu o assassinato, mas pode ser uma informação útil, junto com outras provas. As vezes um detetive consegue pensar sobre várias observações e então de repente perceber que todas se encaixam e fazem sentido se fulano de tal cometeu o crime.

Os cientistas — os especialistas em descobrir o que é verdade sobre o mundo e o universo—frequentemente trabalham como detetives. Eles dão um palpite (chamado de hipótese) sobre o que talvez seja verdade. Depois dizem para si mesmos: “Se isso realmente for verdade, devemos observar tal coisa”. Isso é chamado de previsão. Por exemplo, se o mundo realmente for redondo, podemos prever que um viajante que caminhar continuamente numa mesma direção acabará no ponto de onde partiu. Quando um médico diz que você está com sarampo, ele não olhou para você e viu sarampo. A sua primeira observação lhe fornece a hipótese de que você talvez tenha sarampo. Então ele diz para si mesmo: se ela realmente está com sarampo, devo encontrar... E ele então consulta sua lista de previsões e testa-as usando seus olhos (você está com pintas?), mãos (sua testa está quente?) e ouvidos (seu peito está com um chiado?)

. Só então é que ele toma a decisão e diz: “Meu diagnóstico é que essa criança está com sarampo”. As vezes, os médicos precisam fazer outros testes, como exames de sangue ou raio X, que ajudam seus olhos, mãos e ouvidos a fazer observações.

O modo como os cientistas usam provas para aprender sobre o mundo é muito mais engenhoso e complicado do que consigo dizer numa breve carta. Mas agora quero deixar de lado as provas, que são uma boa razão para crer em algo, e alertá-la sobre três más razões para acreditar em algo. Elas se chamam “tradição”, “autoridade” e “revelação”.

Primeiro, a tradição. Alguns meses atrás, fui à televisão para ter uma conversa com cerca de cinquenta crianças. Essas crianças foram convidadas por terem sido criadas segundo diferentes religiões: algumas como cristãs, outras judias, muçulmanas, hindus ou sikhs. Um homem com um microfone ia de criança em criança, perguntando no que acreditavam. O que elas responderam mostra exatamente o que quero dizer com “tradição”. Suas crenças não tinham nenhuma relação com provas. Elas simplesmente papagaiavam as crenças de seus pais e avós que, por sua vez, também não eram baseadas em provas. Elas diziam coisas como: “Nós, hindus, acreditamos em tal e tal”; “Nós, muçulmanos, acreditamos nisso e naquilo”; “Nós, cristãos, acreditamos numa outra coisa”.

Como todas acreditavam em coisas diferentes, nem todas poderiam estar certas. O homem com o microfone parecia achar que isso não era um problema, e nem tentou fazê-las discutir suas diferenças entre si. Mas não é isso que quero enfatizar no momento. Eu simplesmente quero analisar de onde vieram as crenças. Vieram da tradição. Tradição significa crenças passadas do avô para o pai, deste para o filho, e assim por diante. Ou por meio de livros passados através das gerações ao longo dos séculos. Crenças populares frequentemente começam de quase nada; talvez alguém simplesmente as invente, como as histórias sobre Thor e Zeus. Mas depois de terem sido transmitidas por alguns séculos, o simples fato de serem tão antigas as faz parecer especiais. As pessoas acreditam em coisas simplesmente porque outras pessoas acreditaram nessas mesmas coisas ao longo dos séculos. Isso é tradição.

O problema com a tradição é que, independentemente de há quanto tempo a história tenha sido inventada, ela continua exatamente tão verdadeira ou falsa quanto a história original. Se você inventar uma história que não seja verdadeira, transmiti-la através de vários séculos não vai torná-la verdadeira!

A maioria das pessoas na Inglaterra foi batizada pela Igreja anglicana, mas esse é apenas um entre muitos ramos da religião cristã. Há outras divisões, como a ortodoxa russa, a católica romana e as metodistas. Todas acreditam em coisas diferentes. A religião judaica e a muçulmana são um pouco diferentes; e há ainda diferentes tipos de judeus e muçulmanos. Pessoas que acreditam em coisas um pouco diferentes umas das outras vão à guerra por causa dessas

discordâncias. Então você talvez imagine que eles têm boas razões — provas — para acreditar naquilo que acreditam. Mas, na realidade, suas diferentes crenças são inteiramente decorrentes de tradições.

Vamos falar sobre uma tradição em particular. Católicos romanos acreditam que Maria, a mãe de Jesus, era tão especial que ela não morreu, mas ascendeu ao Céu. Outras tradições cristãs discordam, e dizem que Maria morreu como qualquer pessoa. Outras religiões não falam muito nela e, de modo diferente dos católicos romanos, não a chamam de “Rainha do Céu”. A tradição segundo a qual o corpo de Maria foi levado ao Céu não é muito antiga. A Bíblia não diz nada sobre como ou quando ela nasceu; aliás, a pobre mulher mal é mencionada na Bíblia. A crença de que seu corpo foi levado ao Céu não foi inventada até cerca de seis séculos após a época de Jesus. No início, só foi inventada, da mesma forma que qualquer história, como “Branca de Neve”. Mas, no transcorrer dos séculos, ela se tornou uma tradição e as pessoas começaram a levá-la a sério simplesmente porque a história havia sido transmitida ao longo de tantas gerações. Quanto mais velha a tradição se tornava, mais as pessoas a levavam a sério. Ela foi por fim escrita como uma crença católica romana oficial muito recentemente, em 1950, quando eu tinha a idade que você tem hoje. Mas a história não era mais verdadeira em 1950 do que quando foi inventada, seiscentos anos após a morte de Maria.

Vou voltar à tradição no fim de minha carta, e olhá-la de outro modo. Mas antes preciso tratar das outras duas más razões para crer em alguma coisa: autoridade e revelação.

Autoridade enquanto razão para crer em algo significa acreditar pois alguém importante ordenou que você acreditasse. Na Igreja católica romana, o papa é a pessoa mais importante, e as pessoas acreditam que ele deve estar certo só porque ele é o papa. Num dos ramos da religião muçulmana, as pessoas importantes são velhos barbados chamados de aiatolás. Muitos muçulmanos se dispõem a cometer assassinatos simplesmente porque aiatolás de um país distante deram essa ordem.

Quando digo que só em 1950 os católicos romanos foram finalmente informados que tinham que acreditar que o corpo de Maria havia subido para o Céu, quero dizer que em 1950 o papa disse que isso era verdade, e então tinha que ser verdade! E claro que algumas coisas que o papa disse ao longo de sua vida devem ser verdade e outras não. Não há nenhuma boa razão para você acreditar em tudo que ele diz mais do que você haveria de acreditar nas coisas que muitas outras pessoas dizem, só porque ele é o papa. O papa atual ordenou às pessoas que não controlassem o número de filhos que vão ter. Se sua autoridade for seguida com a obediência que ele deseja, os resultados poderão ser uma terrível escassez de alimentos, doenças e guerras, causadas por superpopulação.

É claro que, mesmo na ciência, às vezes nós mesmos não vemos as provas e

temos de acreditar no que foi dito por outra pessoa. Eu não vi, com os meus próprios olhos, que a luz viaja à velocidade de 300 mil quilômetros por segundo. Mas acredito em livros que me dizem qual a velocidade da luz. Isso parece “autoridade”. Mas na realidade é muito melhor que autoridade, porque as pessoas que escreveram o livro viram as provas, e qualquer um de nós pode examinar as provas com atenção no momento que quiser. Isso é muito confortável. Mas nem mesmo os padres afirmam que há provas para a história de que o corpo de Maria subiu para o Céu.

A terceira má razão para acreditar em algo é “revelação”. Se você tivesse perguntado ao papa, em 1950, como ele sabia que o corpo de Maria tinha subido ao Céu, ele provavelmente teria dito que isso lhe fora revelado. Ele se fechou num quarto e rezou, pedindo orientação. Sozinho, ele pensou e pensou, e na sua intimidade teve mais e mais certeza de suas ideias. Quando pessoas religiosas têm uma simples sensação de que algo deve ser verdade, mesmo que não haja provas de que o seja, eles chamam sua sensação de “revelação”. Não só os papas afirmam ter revelações. Isso também acontece com muitas pessoas religiosas. E uma de suas principais razões para acreditar naquilo que acreditam. Mas isso é bom ou ruim?

Suponha que eu lhe dissesse que seu cachorro está morto. Você provavelmente ficaria muito triste, e talvez dissesse: “Você tem certeza? Como você sabe? Como aconteceu?”. Suponha então que eu respondesse: “Na verdade, eu não sei se Pepe está morto. Eu não tenho provas. Só tenho uma sensação esquisita, bem dentro de mim, de que ele está morto”. Você ficaria muito zangada comigo por tê-la assustado, porque você sabe que uma “sensação” por si só não é uma boa razão para acreditar que um cachorro está morto. Você precisa de provas. Todos temos sensações e pressentimentos de tempos em tempos, e descobrimos que às vezes estavam certos, às vezes não. De qualquer forma, pessoas diferentes podem ter sensações opostas, então como decidir quem teve a intuição correta? O único jeito de ter certeza de que um cachorro está morto é vê-lo morto, ou ouvir que seu coração parou de bater, ou obter essa informação de uma pessoa que viu ou ouviu alguma prova de que ele está morto.

As pessoas às vezes dizem que devemos acreditar em sensações íntimas, senão você nunca teria certeza de coisas como “Minha esposa me ama”. Mas esse é um argumento ruim. Pode haver muitas provas de que alguém ama você. Durante todo o dia em que você está com alguém que a ama, você vê e ouve pequenas provas, e elas se somam. Não é somente uma sensação interior, como a sensação que os padres chamam de revelação. Há outras coisas para apoiar a intuição: olhares, um tom carinhoso de voz, pequenos favores e gentilezas; tudo isso serve de prova.

Certas pessoas têm forte sensação de que alguém as ama sem que isso esteja baseado em provas, e então é provável que estejam completamente enganadas.

Há pessoas com uma forte intuição de que um astro do cinema está apaixonado por elas, mas na realidade o astro de cinema nem sequer as encontrou. Pessoas assim são doentes da cabeça. Sensações íntimas ou intuições precisam ser apoiadas por provas, senão você simplesmente não pode confiar nelas.

As intuições são valiosas na ciência também, mas só para lhe dar ideias que você então testa, procurando provas. Um cientista pode ter um “pressentimento” sobre uma ideia que ele “sente” estar correta. Por si só, isso não é uma boa razão para acreditar nela. Mas pode ser uma razão para passar algum tempo fazendo experimentos, ou à busca de provas. Cientistas usam a intuição o tempo todo para ter ideias. Mas elas não valem nada até que sejam apoiadas por provas.

Eu prometi que voltaria à tradição, para examiná-la de outro modo. Quero explicar por que a tradição é tão importante para nós. Todos os animais são construídos (pelo processo chamado de evolução) para sobreviver no local em que seus semelhantes vivem. Leões são construídos para sobreviver nas planícies da África. O lagostim é construído para sobreviver na água doce, enquanto as lagostas são adaptadas para a vida na água salgada. As pessoas também são animais, e somos construídos para viver bem num mundo cheio de... outras pessoas. A maioria de nós não caça para obter comida, como as lagostas ou os leões; nós a compramos de pessoas que, por sua vez, a compram de outras pessoas. Nós “nadamos” num “mar de pessoas”. Assim como um peixe precisa das brânquias para sobreviver na água, as pessoas precisam do cérebro, que as torna capazes de se relacionarem umas com as outras. Assim como o mar está cheio de água salgada, o mar de pessoas está cheio de coisas difíceis de aprender. Como a linguagem.

Você fala inglês, mas sua amiga Ann-Kathrin fala alemão. Cada uma de vocês fala a língua que lhes permite “nadar” no seu “mar de pessoas”. A linguagem é transmitida por tradição. Não há outra alternativa. Na Inglaterra, Pepe é um dog. Na Alemanha, ele é *ein Hund*. Nenhuma dessas palavras é mais correta ou verdadeira do que a outra. As duas foram transmitidas ao longo do tempo, só isso. Para serem boas em “nadar no seu mar de pessoas”, as crianças têm que aprender a língua de seu país, e muitas outras coisas sobre o seu povo; isso quer dizer que elas precisam absorver, como papel mata-borrão, uma enorme quantidade de informações sobre tradições (lembra que essas informações são aquelas passadas dos avós para pais e destes para filhos). O cérebro da criança tem que absorver informação sobre tradições. Não é de se esperar que a criança consiga separar a informação boa e útil, como as palavras de uma língua, das informações ruins e tolas, como acreditar em bruxas, demônios e virgens imortais.

É uma pena — mas não deixa de ser assim — que, por serem sugadoras da informação sobre tradições, as crianças possam acreditar em qualquer coisa que os adultos lhes digam. Não importa se seja falso ou verdadeiro, certo ou errado.



Muito do que os adultos dizem é verdadeiro e baseado em provas, ou pelo menos sensato. Mas se parte do que é dito é falso, tolo ou até malvado, não há nada para impedir as crianças de acreditarem naquilo também. E quando as crianças crescerem, o que farão? Bom, é claro que contarão as histórias para a próxima geração de crianças. Então, uma vez que uma ideia se torna uma crença arraigada — mesmo que seja completamente falsa e nunca tenha havido uma razão para acreditar nela —, pode durar para sempre.

Será isso o que aconteceu com as religiões? A crença de que há um Deus ou deuses, crença no Céu, crença em que Maria nunca morreu, que Jesus nunca possuiu um pai humano, que as rezas são respondidas, que vinho se torna sangue — nenhuma dessas crenças é apoiada por boas provas. E no entanto milhões de pessoas acreditam nelas. Talvez isso ocorra porque elas foram levadas a acreditar nessas coisas quando eram tão jovens que aceitavam qualquer coisa.

Milhões de pessoas acreditam em coisas bem diferentes, porque diferentes coisas lhes foram ensinadas quando eram crianças. Coisas diferentes são ditas para crianças muçulmanas e cristãs, e ambas crescem totalmente convencidas de que estão certas e as outras erradas. Mesmo entre cristãos, católicos romanos acreditam em coisas diferentes dos anglicanos ou de pessoas como os shakers [adeptos da Igreja milênio] ou quacres, mórmons ou Holy Rolers, e todos estão plenamente convencidos de que estão certos e os outros errados. Acreditam em coisas diferentes exatamente pela mesma razão que você fala inglês e Ann-Rathrin fala alemão. Ambas as línguas são, em seu próprio país, a língua certa para se falar. Mas não pode ser verdade que religiões diferentes estão corretas em seus próprios países, pois religiões diferentes afirmam que coisas opostas são verdadeiras. Maria não pode estar viva na Irlanda do Sul (um país católico) e morta na Irlanda do Norte (que é protestante).

O que podemos fazer sobre tudo isso? Não é fácil para você fazer alguma coisa, porque você só tem dez anos. Mas você pode tentar o seguinte. Da próxima vez que alguém lhe disser algo que parecer importante, pense: “Será que isso é o tipo de coisa que as pessoas sabem por causa de provas? Ou será o tipo de coisa em que as pessoas acreditam só por causa de tradição, autoridade ou revelação?”. E, da próxima vez que alguém lhe disser que uma coisa é verdade, por que não perguntar: “Que tipo de prova há para isso?”. E, se ela não puder lhe dar uma boa resposta, eu espero que você pense com muito cuidado antes de acreditar em qualquer palavra daquilo que foi dito.

De seu querido  
Papai

da Oxford University; membro do New College. Começou sua carreira de pesquisador na década de 60, como um aluno do etólogo agraciado com o prêmio Nobel Nico Tinbergen, e desde então seu trabalho tem focalizado principalmente a evolução do comportamento. Desde 1976, quando seu primeiro livro, *The Selfish Gene*, sintetizou tanto a substância como o espírito daquilo que hoje é chamado de revolução sóciobiológica, ele se tornou muito conhecido, tanto pela originalidade de suas ideias como pela clareza com que as expõe. Num livro posterior, *The Extended Phenotype*, e numa série de programas de televisão, expandiu a ideia do gene como unidade de seleção. A ideia foi aplicada a uma série de casos biológicos tão diversos quanto a relação entre hospedeiros e parasitas e a evolução da cooperação. Seu livro seguinte, *The Blind Watchmaker*, é amplamente lido, citado e um dos trabalhos intelectuais de nossa época realmente influente. Ele é também autor do recém-publicado *River out of Eden*.

## **Parte II - ORIGENS**

## O QUE ACONTECEU ANTES DO *BIG BANG*? - Paul Davies

Afinal de contas, o que é que aconteceu antes do *big bang* Poucas crianças deixaram de humilhar seus pais com esse tipo de pergunta. Em geral ela começa com a perplexidade sobre a possibilidade de o espaço “continuar para sempre”, ou de onde vêm os humanos, ou como se formou o planeta Terra. No fim, a linha de questionamento sempre parece chegar à origem fundamental das coisas: o *big bang*. “Mas por que ele aconteceu?”

As crianças crescem com uma noção intuitiva de causa e efeito. Os eventos no mundo físico não devem “simplesmente ocorrer”. Algo faz com que eles aconteçam. Mesmo quando o coelho surge da cartola, suspeita-se de algum truque. Então poderia o universo inteiro simplesmente “pipocar”, ganhando existência num passe de mágica, sem nenhuma razão específica?

Essa pergunta simples, feita por tantas crianças, tem ocupado o intelecto de gerações de filósofos, cientistas e teólogos. Muitos a evitaram, considerando-a um mistério impenetrável. Outros tentaram afastá-la usando certas definições. A maioria deles, só de pensar no assunto, acabou ficando terrivelmente confusa.

O problema, no fundo, é o seguinte: se nada acontece sem uma causa, então alguma coisa deve ter levado o universo a surgir. E assim enfrentamos a inevitável pergunta sobre o que causou essa alguma coisa. E assim por diante, numa regressão infinita. Algumas pessoas simplesmente decretam que Deus criou o universo, mas as crianças sempre querem saber quem criou Deus, e então essa linha de questionamento vai se tornando incômoda e complicada.

Uma tática evasiva é afirmar que o universo não teve um começo, que ele existiu por toda a eternidade. Infelizmente, há uma série de razões científicas que mostram a fraqueza dessa ideia bastante óbvia. De início, dado um espaço de tempo infinito, qualquer coisa que pode acontecer já terá acontecido, pois, se há uma probabilidade diferente de zero — não importa o quão pequena — de que um processo físico ocorra, num espaço de tempo infinito esse processo tem que ocorrer, com probabilidade igual a um. A essa altura, o universo teria alcançado uma espécie de estado final, no qual todos os possíveis processos físicos teriam se completado. Além do mais, não se explica a existência do universo ao afirmar que ele sempre existiu. Isso equivale a dizer que ninguém escreveu a Bíblia: ela só foi copiada a partir de versões anteriores. Mas, independentemente dessas discussões, há excelentes provas de que o universo surgiu numa grande explosão, o *big bang*, há cerca de 15 bilhões de anos. Os efeitos dessa explosão primordial são claramente detectáveis hoje — no fato de que o universo ainda está se expandindo e encontra-se preenchido por uma incandescência de calor irradiante.

Então enfrentamos o problema sobre o que aconteceu para detonar o *big bang*. Jornalistas adoram escarnecer de cientistas com essa pergunta, quando criticam os recursos gastos em ciência. Na realidade, a resposta (na minha opinião) foi dada há muito tempo, por um certo Agostinho de Hipona, um santo cristão que viveu no século V. Naquela época, anterior à ciência, a cosmologia era um ramo da teologia, e a provocação não vinha dos jornalistas, mas dos pagãos: “O que Deus estava fazendo antes de criar o universo?”, indagavam. “Estava ocupado preparando o Inferno para tipos como vocês!”, era a resposta usual.

Mas Agostinho foi mais sutil. O mundo, ele afirmava, não fora feito “no tempo”, mas simultaneamente “como tempo”.

Em outras palavras, a origem do universo — aquilo que hoje chamamos de *big bang* — não foi o simples surgimento de matéria num vazio preexistente, mas o surgimento do próprio tempo. O tempo começou com a origem cósmica. Não há nenhum “antes”, nenhum oceano infundável de tempo para um Deus, ou processo físico, se desgastar em infinita preparação.

Surpreendentemente, a ciência moderna chegou a mais ou menos a mesma conclusão que Agostinho, com base naquilo que hoje conhecemos sobre a natureza do espaço, tempo e gravitação. Foi Albert Einstein que nos ensinou que tempo e espaço não são meramente uma arena imutável na qual o grande drama cósmico é encenado, mas parte do elenco — parte do universo físico. Como entidades físicas, tempo e espaço podem mudar — sofrer distorções — como consequência do processo gravitacional. A teoria gravitacional prevê que, nas condições extremas que prevaleceram no universo primitivo, espaço e tempo podem ter sido tão distorcidos que tenha existido uma fronteira, ou “singularidade”, na qual a distorção do espaço-tempo era infinita, e consequentemente através da qual espaço e tempo não poderiam ter persistido. Assim, a física prevê que no passado o tempo era de fato delimitado, conforme afirmara Agostinho. Ele não se estendia para trás por toda a eternidade.

Se o *big bang* foi o começo do próprio tempo, então nenhuma discussão sobre o que aconteceu antes do *big bang* ou o que o causou — no sentido habitual de causação física — faz sentido. Infelizmente, muitas crianças, e adultos também, consideram essa resposta um pouco desonesta. Deve haver algo mais do que isso, contestam.

De fato há. Afinal, por que o tempo teria sido subitamente “ligado”? Que explicação pode ser dada para um evento tão singular? Até recentemente, parecia que qualquer explicação para a “singularidade” inicial que marcou o início do tempo teria que estar além do domínio da ciência. Entretanto, tudo depende do que queremos dizer com “explicação”. Como mencionei, todas as crianças têm uma boa ideia da noção de causa e efeito, e normalmente a explicação de um evento requer que se encontre algo que o tenha causado. Mas

há eventos físicos que não possuem causas bem definidas, como se dá com os acontecimentos do dia-a-dia. Esses eventos pertencem a um estranho ramo de investigação científica chamado de física quântica.

Eventos quânticos ocorrem principalmente no nível atômico; nós não os percebemos no dia-a-dia. Na escala de átomos e moléculas, não valem as regras habituais de causa e efeito, que fazem parte de nosso senso comum. O regime de ordem é substituído por um tipo de anarquia ou caos, e as coisas acontecem espontaneamente — sem nenhuma razão específica. Partículas de matéria podem simplesmente pipocar do nada, inesperadamente, e depois sumir de modo igualmente abrupto. Ou, ainda, uma partícula pode subitamente se materializar em outro local, ou inverter a direção de seu movimento. Como disse, esses acontecimentos reais ocorrem numa escala atômica e podem ser comprovados experimentalmente.

Um evento quântico típico é o decaimento radioativo do núcleo. Se você perguntar por que certo núcleo decaiu em determinado momento e não em outro, não há resposta. O evento “simplesmente aconteceu” naquele momento, só isso. Você não pode prever essas ocorrências. Tudo que pode fazer é calcular a probabilidade — há 50% de chance de que certo núcleo decairá em, digamos, uma hora. Essa incerteza não resulta apenas de nossa ignorância das pequenas forças e influências que atuam para fazer o núcleo decair; ela é inerente à natureza, um aspecto básico da realidade quântica.

A lição da física quântica é a seguinte: algo que “apenas acontece” não é necessariamente uma violação das leis da física. O surgimento abrupto e sem causa de algo pode ocorrer dentro do domínio de leis científicas, uma vez que leis quânticas tenham sido levadas em conta. A natureza é capaz de ser genuinamente espontânea.

E claro que há um grande salto entre o aparecimento espontâneo e sem causa de uma partícula subatômica — fato rotineiramente observado em aceleradores de partículas — e o surgimento espontâneo e sem causa do universo. Mas o paralelo está aí. Se, como acreditam os astrônomos, o universo primitivo estava comprimido num tamanho muito pequeno, então efeitos quânticos devem ter sido importantes numa escala cósmica. Mesmo se não tivermos uma ideia precisa do que aconteceu no início, podemos pelo menos ver que a origem do universo a partir do nada não é necessariamente ilícita, não natural ou não científica. Em suma, não precisa ter sido um evento sobrenatural.

E inevitável que os cientistas não queiram interromper a discussão nesse ponto. Gostaríamos de dissecar os detalhes desse conceito profundo. Existe até uma disciplina voltada para ele, chamada de cosmologia quântica. Dois cosmologistas quânticos famosos, James Hartle e Stephen Hawking, chegaram a uma engenhosa ideia que remonta a Einstein. Einstein não descobriu apenas que espaço e tempo são parte do universo físico; descobriu também que ambos estão

interligados de modo muito íntimo. Aliás, espaço e tempo tomados individualmente não são mais conceitos válidos. Ao invés disso, temos que lidar com um contínuo unificado de “espaço-tempo”. O espaço possui três dimensões, o tempo uma, portanto espaço-tempo é um contínuo quadridimensional.

Apesar dessa ligação entre espaço e tempo, espaço é espaço e tempo é tempo, em quase todas as circunstâncias. As distorções que a gravidade pode produzir no espaço-tempo nunca transformam o espaço em tempo ou o tempo em espaço. Uma exceção surge, porém, quando efeitos quânticos são levados em conta. Aquela incerteza intrínseca e fundamental que afeta sistemas quânticos pode ser aplicada também ao espaço-tempo. Nesse caso, a incerteza pode, em condições especiais, afetar as identidades do espaço e do tempo. Por um período muito, muito breve, é possível que tempo e espaço se fundam, de forma que o tempo se torne, por assim dizer, “espacial” — apenas outra dimensão do espaço.

A “espacialização” do tempo não é algo abrupto; é um processo contínuo. Visto ao contrário, como a temporalização (de uma dimensão) do espaço, implica que o tempo pode surgir a partir do espaço, num processo contínuo. (Por contínuo, quero dizer que a qualidade de tempo de uma dimensão, em contraste com sua qualidade de espaço, não é um caso de tudo ou nada; há toda uma gradação. Essa afirmação um tanto vaga pode ser demonstrada matematicamente de modo preciso.)

A essência da ideia Hartle-Hawking é que o *big bang* não foi o momento em que o tempo foi abruptamente “ligado” num primeiro e único instante, mas o surgimento do tempo a partir do espaço, de um modo ultrarrápido porém contínuo. Numa escala humana, o *big bang* de fato foi uma origem abrupta, repentina e explosiva para o espaço, o tempo e a matéria. Mas, observando aquela primeira minúscula fração bem de perto, você descobrirá que não houve um começo preciso ou súbito. Portanto, temos aqui uma teoria para a origem do universo que parece dizer duas coisas contraditórias: primeiro, que o tempo nem sempre existiu; e, segundo, que não houve um primeiro momento de tempo. Tais são as excentricidades da física quântica.

Mesmo com esses detalhes adicionais, muitas pessoas se sentem enganadas. Elas querem saber por que essas coisas estranhas aconteceram, por que há um universo e por que esse universo. Talvez a ciência não consiga responder essas perguntas. A ciência é boa para explicar os comos, mas não muito boa nos porquês. Talvez não exista um porquê. Perguntar “por que” é muito humano, mas talvez não haja resposta, em termos humanos, para perguntas tão profundas sobre a existência. Ou talvez haja, e estejamos olhando para o problema do modo errado.

Bom, não prometi respostas sobre a vida, o universo e tudo mais, mas pelo menos dei uma resposta plausível para a pergunta com a qual comecei: o que

aconteceu antes do *big bang*?

A resposta é: nada.

*PAUL DAVIES* é físico teórico e professor de filosofia natural na University of Adelaide. Publicou mais de cem artigos de pesquisa nas áreas de cosmologia, gravitação e teoria dos campos quânticos, com ênfase particular em buracos negros e a origem do universo. Também se interessa pela natureza do tempo, física de partículas de alta energia, os fundamentos da mecânica quântica e a teoria dos sistemas complexos. Ele lidera um grupo de pesquisa sobre gravidade quântica que atualmente está investigando supercordas, cordas cósmicas, buracos negros de dimensões mais elevadas e cosmologia quântica.

Davies é autor, comunicador e conferencista conhecido. Escreveu mais de vinte livros, desde publicações para especialistas até livros de divulgação científica. Entre suas obras mais conhecidas estão *God and the New Physics*, *Superforce*, *The Cosmic Blueprint* e *The Mind of God*. Seus livros mais recentes são *The Last Three Minutes* e *It's About Time*.

Davies foi descrito pelo Washington Times como “o melhor escritor científico dos dois lados do Atlântico”. Ele gosta de investigar as questões profundas da existência, tais como o modo como o universo surgiu e como vai terminar, a natureza da consciência humana, a possibilidade de viajar no tempo, a relação entre física e biologia, o status das leis da física e a interface entre ciência e religião.



## O FASCÍNIO DA ÁGUA - *P. W. Atkins*

A água pode nos fascinar. Não apenas por sua incrível abundância ou variedade de formas, ou mesmo por seu papel fundamental em moldar nosso planeta e a evolução da vida. Para mim, o fascinante é que propriedades tão ricas possam surgir de uma estrutura tão simples. Além do mais, não é apenas a riqueza da simplicidade da água que é tão inspiradora, pois a sutileza de suas propriedades também me traz grande satisfação. Que suas propriedades incomuns sejam essenciais para o surgimento e manutenção da vida é uma dimensão a mais, a ser acrescentada ao prazer de se contemplar a água.

A água — seja ela uma onda do oceano Pacífico ou uma gota de orvalho da manhã, uma íngreme geleira ou um floco de neve, um gás pulsando através das hélices de uma turbina ou flutuando no ar como a grande contribuição para o tumulto global que chamamos de tempo — é composta de moléculas. Cada molécula de água no mundo, ou em qualquer outro lugar do universo onde possa existir, é idêntica. Cada uma consiste em um átomo central de oxigênio, ao qual se ligam dois átomos de hidrogênio. Só isso. Os oceanos, a vida, a fantasia, todos provêm dessa base simples.

Para ver nessa minúscula entidade o potencial capaz de formar o oceano Pacífico, precisamos saber mais alguns detalhes sobre o hidrogênio, o mais leve dos elementos, e seu companheiro, o oxigênio. Os átomos de hidrogênio são muito pequenos; possuem um núcleo com um único próton de carga positiva, que é rodeado por um único elétron. Uma vantagem de ser um átomo pequeno é permitir que seu núcleo penetre até aproximar-se dos elétrons de outros átomos. Os núcleos de hidrogênio conseguem se espremer em regiões que átomos maiores não alcançam. Além do mais, como há apenas um elétron no átomo de hidrogênio, a carga positiva do núcleo consegue brilhar através da névoa de carga negativa do elétron. Consequentemente, há uma forte atração pelos elétrons que por acaso estiverem por perto.

Já o átomo de oxigênio é muito maior do que o de hidrogênio. Entretanto, ainda é um átomo relativamente pequeno, quando comparado aos de outros elementos, como enxofre, cloro e até mesmo carbono ou nitrogênio. O tamanho reduzido do oxigênio resulta da forte carga positiva de seu núcleo, que atrai seus elétrons para perto de si. Além do mais, por ser tão pequeno e no entanto possuir um núcleo com elevada carga, um átomo de oxigênio pode atrair elétrons de outros átomos, em especial os elétrons de qualquer um dos átomos a que estiver ligado.

Na água, um átomo de oxigênio está ligado a dois pequenos átomos de hidrogênio. O átomo de oxigênio central suga os elétrons das ligações entre

oxigênio e hidrogênio, e assim parcialmente despe o hidrogênio ainda mais de seus elétrons. Dessa forma, o átomo de oxigênio se torna rico em elétrons e os átomos de hidrogênio se tornam pobres em elétrons. Consequentemente, o átomo de oxigênio possui uma carga vestigial negativa (resultando do fato de estar inchado de elétrons) e os átomos de hidrogênio ganham uma carga vestigial positiva, porque a carga positiva do núcleo não é mais anulada pelos elétrons ao seu redor (pois eles foram sugados para perto do oxigênio). A distribuição de cargas resultante — o oxigênio negativo e o hidrogênio positivo —, associada ao tamanho reduzido dos átomos de hidrogênio, está na base das extraordinárias propriedades da água.

Outra característica que colabora com a distribuição de elétrons, e origina oceanos, é a forma da molécula de água. É uma molécula angulosa, na forma de um V aberto, com o átomo de oxigênio no vértice do V. O importante dessa forma, que pode ser deduzida examinando como os elétrons se distribuem em volta do átomo de oxigênio central, é que um lado do átomo de oxigênio fica exposto, e esse lado é rico em elétrons.

Agora vamos ver como essas características se manifestam no mundo real de fenômenos e propriedades tangíveis. O mais importante é a capacidade de as moléculas de água grudarem umas nas outras. A região rica em elétrons do átomo de oxigênio é o local com carga negativa; na molécula vizinha, o átomo de hidrogênio parcialmente despido é o local de carga positiva, e cargas opostas se atraem. A ligação especial entre duas moléculas de água, mediada por um átomo de hidrogênio, é chamada de ponte de hidrogênio. E uma das ligações químicas mais importantes no mundo, pois seus efeitos abrangem desde a operação do código genético (as fitas da dupla hélice de DNA são unidas por pontes de hidrogênio) até a dureza da madeira (as tiras de celulose são mantidas firmemente presas umas às outras por robustas e numerosas pontes de hidrogênio) e — o que nos interessa — as propriedades da água. Pois as moléculas de água são tão leves que, se não fosse pelas pontes de hidrogênio formadas entre elas, a água seria um gás. Ao invés de poças, lagos e oceanos de um líquido precioso, haveria um céu úmido cheio de água gasosa e, embaixo dele, uma terra árida.

Assim como as pontes de hidrogênio entre as moléculas de água obrigam-nas a formar um líquido, mesmo nas temperaturas mornas do dia-a-dia, também ajudam na formação do rígido e sólido gelo, quando ocorrem temperaturas apenas um pouco mais baixas. Porém, quando o gelo se forma a partir de água líquida, uma coisa estranha acontece (e, apesar de estranha, é preservadora da vida). Quando a temperatura é reduzida, as moléculas de água de um líquido são balançadas e abalroadas com menos vigor, e pontes de hidrogênio podem se formar em maior quantidade e durar mais tempo. Portanto, as moléculas deixam de fluir livremente, como num líquido, e um sólido estável se forma. Nesse

momento, a forma da molécula desempenha seu papel. Um átomo de oxigênio na molécula de água em forma de V pode acomodar duas pontes de hidrogênio, uma com cada uma das duas moléculas vizinhas. Cada átomo de oxigênio agora participa de quatro ligações: duas ligações comuns entre o oxigênio e os hidrogênios e duas pontes de hidrogênio com vizinhos — essas quatro ligações apontam para os cantos de um tetraedro. Essa disposição, mantida de vizinho para vizinho através de todo o sólido, resulta numa estrutura muito aberta para o gelo, com as moléculas de água mantidas afastadas, ainda que unidas, numa espécie de andaime de átomos e ligações. Quando o gelo derrete, essa estrutura aberta desmorona, e um líquido mais denso se forma. Quando a água congela, a estrutura desmoronada do líquido se desdobra e expande numa estrutura aberta.

Em outras palavras, de uma maneira praticamente única entre as substâncias, a forma sólida (gelo) é menos densa do que a forma líquida. Uma consequência dessa particularidade é que o gelo se forma e flutua na superfície de lagos. Essa característica é preservadora de vida, pois a lâmina de gelo ajuda a proteger a água abaixo dela do efeito congelante do ar acima, e a vida marinha consegue sobreviver e florescer, apesar de a temperatura estar baixa o suficiente para congelar as camadas superficiais da água.

As pontes de hidrogênio na água e a força com que ligam moléculas são também responsáveis por outras características da água. A cor da água em grandes volumes, que dá ao nosso planeta sua coloração singular, também remonta a elas, assim como a película que se forma na superfície do líquido e dá uma forma arredondada às gotas. A considerável capacidade térmica da água (seu potencial de armazenar energia fornecida na forma de calor) é outra consequência dessas ligações, e essa característica é aproveitada em sistemas de aquecimento residenciais, nos quais um pouco de água pode ser usado para distribuir uma grande quantidade de calor pela casa.

Outra propriedade extraordinária da água é sua capacidade de atuar como ótimo solvente. Essa característica também resulta do arranjo peculiar das cargas elétricas e átomos na molécula de água. Muitos compostos consistem em íons, que são átomos com cargas elétricas. O sal comum (ou cloreto de sódio), por exemplo, é composto por íons de sódio com carga positiva e íons de cloro com carga negativa. No sólido, cada íon positivo está cercado por íons negativos, e cada íon negativo está cercado por íons positivos. A água, porém, com seu sistema de cargas positivas e negativas, consegue emular os dois tipos de íons. Assim, quando expostos à água, os íons de sódio de um cristal podem ser cercados por moléculas de água que expõem seus átomos de oxigênio de carga negativa, dessa forma emulando íons de cloro. De modo similar, íons de cloro podem ser cercados pelos átomos de hidrogênio da água, que possuem carga positiva, emulando o efeito dos íons de sódio no cristal original. Cada tipo de íon é seduzido; os íons de sódio são carregados por moléculas de água que emulam

íons de cloro, e os íons de cloro saem fluuando cercados pelas moléculas de água que usam seus átomos de hidrogênio para emular íons de sódio. A água tem uma grande capacidade de atuar dessa forma, razão pela qual é um solvente tão bom (ou uma substância química tão perigosa, nos casos em que ela corrói). E essa capacidade da água que talha paisagens a partir de pedras. Ela transporta nutrientes através do solo e os leva até as plantas. A água permeia nossos corpos e, pela sua capacidade de promover o movimento dos íons e outras moléculas que ela dissolve, cria um ambiente propício para a vida.

A água é uma substância realmente incrível; de estrutura tão delicada, e no entanto tão portentosa na sua estatura química e física. Que uma entidade tão simples possa se portar de modo tão grandioso é um microcosmo da ciência moderna, que busca gigantes de simplicidade e assim acrescenta fascínio à nossa admiração por esse mundo maravilhoso.

*PETER W. ATKINS* é membro do Lincoln College, na Oxford University; professor de físico-química desde 1965; professor visitante em várias instituições, inclusive universidades na França, Japão, China, Nova Zelândia e Israel. Recebeu, em 1969, a Meldola Medal da Royal Society of Chemistry e um título honorário da Universidade de Utrecht por suas contribuições à química.

Entre seus livros estão *Physical Chemistry*, *Inorganic Chemistry* e *General Chemistry*. Escreveu também vários livros de divulgação científica, incluindo *The Second Law*, *Molecules e Atoms*, *Electrons and Change*. Seu campo de interesse abrange cosmologia e a contribuição da ciência para a cultura. Seu tema central é a comunicação da ciência, pela qual busca partilhar com os leitores a emoção e o prazer que os insights científicos oferecem.

Meu filho brincou com muitas coisas durante sua infância, mas uma era especial. Seu nome era Frizzle. Ela era uma bola de pelos, curiosa e com apenas alguns centímetros de comprimento, que a loja de animais classificou como um gerbo. Frizzle passou a maior parte de sua breve vida explorando a residência de diversos cômodos que havíamos preparado para ela, e tentando escapar de lá. Quando ela morreu, sentimos saudade.

Por diversas razões, eu não tive bichos de estimação quando era jovem. Mas durante algum tempo tentei criar um pequeno cacto. Suas atividades eram menos interessantes do que as do gerbo; crescia um pouco, mas não tentava fugir. Mesmo assim, fiquei triste quando ele ficou cinzento e murchou, e percebi que ele havia perdido a luta pela sobrevivência.

Desde pequenos, aprendemos que os seres vivos se transformam profundamente quando morrem. Também percebemos como os seres vivos que conhecemos são uma pequena parte de um universo maior que nos cerca, composto de coisas como a água, as pedras e a Lua. Coisas que não são — e nunca foram — vivas. Essa sabedoria, entretanto, pertence à nossa época. Durante séculos, muitos observadores, inclusive cientistas talentosos, não aceitavam que coisas mortas não se tornam vivas. Achavam, por exemplo, que cobras podiam surgir da lama e vermes podiam nascer da carne crua num processo chamado de geração espontânea. Foi somente graças a vários experimentos cuidadosamente controlados, culminando numa série brilhante feita no século XIX por Louis Pasteur, que essa teoria foi refutada. Hoje sabemos que a vida só se origina a partir de vida preexistente, assim como uma chama que podemos dividir e espalhar mas, uma vez extinta, não pode ser reavivada.

Mas como é que a vida surgiu pela primeira vez, neste ou em qualquer outro lugar do universo onde possa existir? Muitas religiões e algumas filosofias se esquivam dessa questão ao supor que a vida, na forma de uma deidade ou de algum ser imortal, sempre existiu. A ciência, que procura respostas naturais ao invés de sobrenaturais, pode oferecer uma resposta alternativa: a vida surgiu da “não-vida” pelo menos uma vez, em algum momento após a formação do universo.

E claro que não podemos contar com registros ou lembranças humanas para aprendermos sobre a origem da vida. Ao invés disso, precisamos buscar provas armazenadas na própria Terra. Essas informações são deixadas na forma de fósseis, presentes em sedimentos cuja idade pode ser inferida a partir da quantidade de radioatividade presente nas rochas a seu redor. Por exemplo, um

isótopo instável de potássio fica selado numa rocha vulcânica quando ela se solidifica a partir de lava. Metade desse isótopo decai a cada 1,3 bilhão de anos, parte dele sendo convertido ao gás estável argônio, que fica preso nas rochas. Medindo as quantias remanescentes do isótopo de potássio e do argônio aprisionado, e fazendo alguns cálculos simples, podemos determinar a idade da rocha.

O registro fóssil conta uma maravilhosa história sobre o surgimento da vida. Ela começa há 3,5 bilhões de anos, com seres unicelulares que se assemelham a bactérias e algas, e chega à arrebatadora diversidade de formas vivas atuais, incluindo nós. A própria Terra é apenas 1 bilhão de anos mais velha do que os primeiros registros de vida já descobertos. Se compararmos a idade da Terra à de um homem de sessenta anos, o tempo necessário para que a vida aparecesse na Terra é comparável ao tempo que o homem demorou para atingir a adolescência. O tempo geológico ocupado por toda a história humana seria mais ou menos equivalente à última meia hora de sua vida. Infelizmente, o registro fóssil se torna minguaado para coisas mais antigas do que 3,5 bilhões de anos. Não há rochas que contem coisa alguma sobre como surgiram os primeiros seres, semelhantes às bactérias. Esse processo permanece um profundo mistério.

Entretanto, um ser humano é muito mais do que uma bactéria. Se conseguirmos compreender o processo evolutivo que nos originou a partir de seres unicelulares, e as etapas do desenvolvimento que transformam um óvulo fertilizado unicelular num adulto multicelular, então por que é difícil entender como uma bactéria poderia ter se originado a partir de matéria não viva?

Para avaliar essa questão precisamos explorar a estrutura da vida em sua forma atual. É claro que esse assunto poderia preencher vários livros, mas agora só quero me ater a um aspecto que permite distinguir o vivo do não-vivo: os seres vivos são altamente organizados. Escolhi uma palavra familiar; alguns cientistas preferem expressões como entropia negativa, mas de modo geral a ideia é a mesma. Ao usar a palavra organizado, pretendo descrever a qualidade que distingue as obras completas de William Shakespeare de uma série de letras batidas aleatoriamente numa máquina de escrever, ou uma sinfonia dos sons obtidos quando deixamos uma pilha de pratos cair no chão. Claramente, coisas produzidas pelas atividades da vida, como as obras de Shakespeare, por exemplo, também podem ser organizadas. Mas coisas não relacionadas à vida — uma pedra na superfície da Lua, por exemplo — o são muito menos. Quando comparada com matéria não viva, uma bactéria realmente é algo muito organizado. A comparação entre uma partícula de poeira e uma bactéria seria equivalente à comparação entre uma sequência aleatória de letras e uma peça de Shakespeare.

Alguns cientistas que investigaram a origem da vida acreditavam que o hiato entre a organização de coisas vivas e não vivas poderia ser transposto pelo mero

acaso, se tentativas suficientes fossem feitas. Eles obtiveram grande estímulo de um famoso experimento concebido por Stanley Miller e Harold Urey. Miller e Urey mostraram, em 1953, que certos aminoácidos poderiam ser facilmente formados quando energia elétrica passava através de uma simples mistura de gases. Os aminoácidos são os tijolos que constroem as proteínas, um dos elementos-chaves para a vida. Se substâncias químicas podem surgir tão prontamente, será que o resto da vida fica muito atrás?

Infelizmente, a vida é muito mais organizada do que as misturas químicas “pré-bióticas” formadas nos experimentos de Miller-Urey. Imagine que com batidas ao acaso no teclado você componha a palavra ser. Você poderia então lembrar da famosa passagem “ser ou não ser: eis a questão”. Com uma boa dose de imaginação você poderia ser levado a acreditar que o restante de Hamlet surgiria a partir de batidas aleatórias numa máquina. Mas qualquer cálculo mais ajuizado revela que produzir uma peça ou mesmo um soneto desse modo é algo irrealizável, mesmo se todos os átomos de matéria da Terra fossem uma máquina de escrever, produzindo textos ininterruptamente nos últimos 4,5 bilhões de anos.

Outros pensadores, entre os quais várias pessoas religiosas, argumentaram que a formação da vida a partir de matéria não viva, por meios naturais, é impossível. Eles citam a segunda lei da termodinâmica e afirmam que ela proíbe a formação de matéria organizada a partir de matéria desorganizada. Mas a segunda lei se aplica apenas aos sistemas isolados (ou fechados). Não proíbe as substâncias químicas não vivas da Terra de absorverem energia de uma fonte externa, como o Sol, e se tornarem organizadas. Nesse caso, o ganho de organização na Terra seria compensado por uma perda de organização no Sol, e a segunda lei seria respeitada.

A energia absorvida por sistemas químicos, entretanto, é normalmente usada para aquecê-los ou formar novas ligações, sem levar a um ganho de organização. Não conhecemos a receita essencial — o conjunto de ingredientes especiais e as formas de energia capazes de conduzir sistemas químicos pelo caminho da organização, nos primeiros passos da vida. Tais circunstâncias podem ser bastante raras ou difíceis. Ou talvez, depois que o segredo tenha sido descoberto, tão simples quanto fermentar cerveja ou vinho.

Como descobrir mais? Novos experimentos pré-bióticos ajudariam. E claro que já foram feitos muitos, mas geralmente à procura de substâncias químicas típicas de formas de vida atuais, ao invés de tentar identificar o processo de auto-organização. É pouco provável que as substâncias bioquímicas que existem hoje, altamente desenvolvidas — proteínas, ácidos nucleicos e outras formas complexas —, estivessem presentes nos primeiros e títu-beantes passos da vida. O que precisamos é conhecimento sobre como substâncias químicas simples, tais como minerais, sabões e elementos do ar, se comportarão quando expostos a

urna fonte de energia abundante e contínua, como a luz ultravioleta. O material simplesmente se transformaria em piche, ou teria sua energia dissipada sob a forma de calor? Na maioria das vezes isso aconteceria, e não aprenderíamos nada muito interessante. Mas talvez, se a mistura correta fosse escolhida, ciclos químicos complexos se estabeleceriam e continuariam evoluindo. Então, teríamos ganho uma importante pista sobre o início da vida. Alguns desses experimentos poderiam ser feitos em laboratórios de faculdades ou até mesmo de escolas, pois não requerem equipamento caro ou sofisticado. Essa é uma das áreas em que amadores poderiam trazer uma importante contribuição para a ciência básica.

Outra abordagem científica para investigar as nossas origens é bastante cara, mas provocaria grande entusiasmo e inspiração. Na última geração, a capacidade de exploração de nosso sistema solar foi aprimorada, mas sem que se dessem razões boas o suficiente para fazê-lo. Refiro-me a metas que captariam a atenção do grande público, motivando-o a apoiar os investimentos, ao invés de apelar apenas aos cientistas, que já estão profundamente absorvidos nas suas especialidades. O sistema solar oferece uma fascinante coleção de mundos, cada um com sistemas químicos peculiares, que estiveram expostos à energia por bilhões de anos. Alguns deles podem ter caminhado no sentido de adquirir organização. Ao descobrir um sistema que tenha começado tal caminho, mesmo que diferente daquele seguido pelo nosso planeta, poderemos obter pistas vitais sobre os princípios da auto-organização e da natureza de nossos próprios primeiros passos. Tal “caça ao tesouro” entre os mundos que cercam o nosso Sol poderá ou não levar à descoberta de formas incipientes de vida, mas com certeza daria nova vida ao nosso programa espacial.

“De onde viemos?” No título do ensaio, apresentei a questão sobre a origem da vida como um problema de localização, como uma criança o faria. Alguns cientistas argumentam que a vida começou em algum outro lugar e depois migrou para a Terra. Mesmo que fosse esse o caso, a questão principal, que diz respeito ao mecanismo, não estaria resolvida: “Como é que surgimos?”. Porém, o local pode ser fundamental de outra forma: para aprender como começamos, mesmo que tenha sido aqui, talvez tenhamos que nos aventurar no vasto universo que nos aguarda.

*ROBERT SHAPIRO* é professor de química na New York University. É autor ou co-autor de mais de noventa artigos, principalmente na área de química do DNA. Ele e seus colaboradores têm estudado sobretudo formas como substâncias químicas presentes no ambiente danificam nosso material genético, causando mudanças que podem levar a mutações ou câncer. Suas pesquisas são apoiadas por diversos financiamentos do National Institute of Health, do Department of



Energy do governo norte-americano, da National Science Foundation e outras organizações.

Além de suas pesquisas, o professor Shapiro escreveu três livros para o grande público. Os temas incluem a distribuição da vida no universo (*Life Beyond Earth*, com Gerald Feinberg), a origem da vida na Terra (*Origins: a Skeptic's Guide to the Creation of Life on Earth*) e o esforço atual para ler o código genético humano (*The Human Blueprint*).

## QUEM CULPAMOS PELO QUE SOMOS? - *Jack Cohen*

Observe uma mosca. Não, não basta pensar nela. Encontre uma mosca de verdade e examine-a. Veja suas perninhas correrem num ritmo perfeito, sua pequena cabeça girar, observando os acontecimentos. Observe-a decolar: num momento ela está parada, e a seguir está no ar, zunindo pelos arredores sem trombar em nada. Se puder, assista à sua aterrissagem. E a parte mais impressionante: ela acelera na direção de uma parede, se inclina, freia e... lá está ela, na superfície, totalmente serena, limpando sua tromba com as pernas dianteiras. De onde vem toda essa maquinaria de uma precisão tão bela?

Como é que essa mosca, esse indivíduo, surgiu? Veio do ovo de uma mosca, você diz. Mais ou menos. Veio de uma larva, e a larva saiu de um ovo. Estamos tão acostumados com coisas complicadas saindo de ovos, que isso nos parece uma explicação. Pintinhos fofos saem de ovos um tanto insípidos, botados (é claro) pela galinha. Basta dar um pouco de calor. Você veio de um ovo, também.

Ovos são estruturas biológicas pouco complicadas. Comparados ao que sai deles, são realmente muito simples. No ovo de uma galinha fértil, as dúzias de células sobre a gema, a partir das quais o pintinho se originará, não são nem um pouco especiais quando comparadas a um pedaço do cérebro do pintinho, ao seu rim ou mesmo à sua pele. Uma pena em crescimento é, pelos nossos critérios de medição, mais complexa do que as células a partir das quais o pintinho inteiro se origina. Como isso é possível? Como pode a complexidade surgir da simplicidade? Haverá um “princípio organizador”, um “espírito da vida”?

Hoje em dia, a resposta comum é sim. É o projeto escrito no DNA. Este é formado por moléculas imensamente compridas, ao longo das quais há uma enorme quantidade de informação, escrita numa língua de quatro letras (que são nucleotídeos), presentes no núcleo de cada célula. Essa molécula supostamente diz ao organismo em desenvolvimento — a mosca, o pintinho ou você — como se construir. De acordo com essa visão simplista do DNA e do desenvolvimento, o organismo é a informação do DNA transformada em carne e osso. O DNA de mosca faz moscas, o DNA de galinha faz galinhas, o DNA de gente faz gente. Mas na verdade não é assim que o DNA atua no desenvolvimento, apesar de isso ser difícil de entender a partir do que aparece em jornais e revistas ou até mesmo nos livros didáticos de biologia.

Há várias formas de se encarar o DNA. Uma solução de DNA humano, picotado em pedaços relativamente curtos, é apenas um líquido pegajoso num tubo de ensaio. Em cada minúsculo núcleo das células humanas, há cerca de dois metros de fios de DNA. Se o núcleo de uma célula humana fosse aumentado mil vezes — seria então do tamanho de um comprimido de aspirina —, haveria

quase dois quilômetros de fiação de DNA empacotados lá dentro! Sem dúvida, há uma imensa quantidade de espaço para muitas informações e projetos, numa fita de DNA tão longa. Mas o DNA não faz nada para que essa informação seja transformada em moscas, galinhas ou pessoas. Ele fica lá, parado. Assim como as receitas para uma maravilhosa refeição ficam num livro na estante, ele também fica à espera.

Portanto, como é que o DNA “faz” a mosca? A resposta direta é que ele não faz. Mas um raciocínio um pouco complicado é necessário para compreender por que não, e é por isso que a maioria das pessoas pensa que o DNA faz a mosca — e que para fazer um dinossauro basta um pouco de DNA de dinossauro. Mas dinossauros e moscas não são feitos de DNA, assim como vitela cordon-bleu não é feita do papel e da tinta do livro de receitas.

Vamos pensar no DNA bacteriano. As bactérias são como simples oficinas, repletas de ferramentas químicas. Algumas dessas ferramentas leem a fita de DNA; outras fazem novas ferramentas em função do que foi lido na fita (inclusive as próprias ferramentas para ler a fita). Outras são estruturais, ou bombas químicas, ou lidam com comida e energia. A pequena “oficina” produz ativamente novas peças para ela mesma, máquinas, tijolos para suas paredes; ela cresce. Algumas das ferramentas duplicam o DNA — como quando copiamos uma fita cassete —, enquanto outras ferramentas que estão em excesso se acumulam. Em certo momento, algumas ferramentas realizam uma divisão, e o processo continua em duas células bacterianas “filhas”.

Um ovo é um bocado mais complicado do que uma bactéria (mas muito menos do que o que sai dele). Ele é feito do mesmo material, e muitas das ferramentas são as mesmas — mas os processos vitais são completamente diferentes. Ele não cresce e se divide. Ele se desenvolve; transforma-se em algo diferente. Em consequência daquilo que as ferramentas fizeram no princípio, ele se transforma numa estrutura diferente, geralmente maior, chamada de embrião. O embrião usa a gema como fonte de energia e material de construção, e também produz algo diferente. Talvez seja uma larva, como a da mosca, ou um feto humano que depois se transforma num bebê. A oficina bacteriana faz apenas mais da mesma coisa — mas o ovo faz novos tipos de ferramentas e equipamentos a cada etapa. Quando o ovo da mosca produz uma larva que se alimenta por conta própria, isso equivale à “oficina” bacteriana ter se transformado numa caminhonete capaz de ir até uma loja de ferragens para comprar material e passar à próxima etapa. De modo semelhante, o embrião humano faz uma placenta para obter alimento e energia do sangue da mãe, para que possa continuar a se construir e entrar na próxima fase. Vamos levar essa analogia adiante, no caso da larva, para mostrar como o desenvolvimento é realmente milagroso. A “caminhonete” da larva vai se construindo, tornando-se cada vez maior, e então se dirige a uma tranquila rua no interior para construir

uma pequena garagem (a pupa). Lá dentro, ela se reestrutura. Torna-se então... um avião, a mosca adulta. Um minúsculo avião autoimpulsionado, com controle automático, capaz de se autoabastecer — e metade das moscas possuem pequenos “ovos-oficina” dentro delas, prontos para começar o processo novamente.

O DNA sempre participa, especificando as ferramentas a serem usadas. Algumas seqüências de DNA — genes — especificam ferramentas bioquímicas que funcionam como relógios, braçadeiras, tornos, bancadas, planilhas e cronogramas que controlam como o trabalho é feito. Mas o DNA não possui uma descrição de mosca, um molde para o pintinho ou para você. Não possui sequer um molde de asa ou de nariz. E muito melhor imaginar que cada característica (como o nariz) recebe contribuições de *todos* os genes do DNA, e que cada gene contribui para todos os caracteres, do que pensar que cada característica possui seu pequeno repertório de genes que a “faz”. Entretanto, podemos (em princípio, e quase na prática) listar todos os genes de uma mosca e assinalar aqueles que, quando modificados, causam mudanças (geralmente problemas) nas asas, por exemplo. A tentação à qual muitos geneticistas e quase todos os repórteres sucumbem é pensar que esses genes são o “kit para a asa” da mosca. Não é um “kit para a asa”, pois quase todos os genes afetam outras coisas, também. Uma das mutações, *asa vestigial*, por exemplo, danifica o funcionamento de uma bomba molecular presente em todas as células. Um de seus muitos efeitos é que a asa não consegue se inflar adequadamente quando a mosca sai da pupa. Há alguns genes, chamados de “homeóticos”, cujas modificações trazem resultados mais drásticos, ainda que mais específicos. Mudanças em seqüências homeóticas podem alterar a especificação de um órgão e produzir algo diferente: a mutação *antennapedia* substitui uma antena por uma perna; *cockeyed* troca olhos por estruturas genitais. Essas seqüências de genes, em nossa analogia com uma oficina, especificam a geografia da oficina — onde as coisas devem ser construídas. Mutações homeóticas mudam as cores do mapa embrionário de modo que as células na antena incipiente “pensam” que estão na posição de células rudimentares de perna — e então fazem pernas perfeitas, mas no lugar errado.

Há muitas coisas que o DNA não precisa especificar—ou não consegue mudar. Não precisa tornar a água molhada ou as gorduras insolúveis, ou tornar cristais de cloreto de sódio cúbicos (mas consegue mudar o ponto de congelamento de substâncias aquosas ao fabricar proteínas anticongelantes). Há muitas realidades físicas e químicas que “já vêm prontas”. E há também várias regularidades biológicas que “já vêm prontas” quase da mesma forma que esses mecanismos físicos e químicos. Certas ferramentas muito importantes e antigas copiam o DNA com uma fidelidade quase perfeita; e algumas espécies de troca de energia, existentes há muito tempo, também são comuns a muitas formas de

vida. Até 60% da porção do DNA que contém informações consiste nessas “sequências conservadas”, iguais na mosca, na galinha e no ser humano. De fato, muitos desses genes “de manutenção” são idênticos em carvalhos e bactérias. Portanto, a maior parte do que acontece na formação de uma mosca é igual ao que acontece para formar você.

Então por que os organismos são tão diferentes? Sejamos mais imaginativos, por um instante. Diferenças entre organismos, *por maiores que sejam*, não são necessariamente consequência de grandes mudanças no DNA. Em princípio, uma minúscula diferença poderia mudar o caminho do desenvolvimento. A mosca e a galinha *poderiam* até possuir DNA idêntico, com exceção daquele controle inicial onde os caminhos de seus desenvolvimentos divergem. A diferença no desenvolvimento, o botão imaginário mosca/galinha, nem precisa existir no nível do DNA. Se as galinhas gostam de calor e chocam seus ovos e as moscas preferem o frio, então o programa da galinha poderia produzir galinhas com desenvolvimento em altas temperaturas e o programa das moscas produziria moscas nas baixas temperaturas. Elas poderiam, em princípio, usar o mesmíssimo DNA. Esse tipo de “exercício de imaginação” demonstra que é simplesmente impossível saber qual organismo será “feito” por um kit de DNA, ou qual DNA “fará” determinado organismo. Como dizem os matemáticos, não há um “mapeamento” entre a sequência de DNA e a estrutura do organismo em cujo desenvolvimento ele atua.

O DNA no ovo não consegue iniciar o desenvolvimento por conta própria; as ferramentas para ler e trabalhar o DNA devem estar disponíveis e funcionando perfeitamente. Elas são fornecidas pelas regiões do ovo ao redor do núcleo original. O desenvolvimento de quase todos os animais começa no ovário da mãe, quando as células-ovo são construídas. O desenvolvimento do embrião na realidade não requer as mensagens do seu próprio DNA até que a estrutura do ovo tenha moldado a arquitetura básica do futuro animal. Só então os genes *homeobox* — genes homeóticos, que controlam o desenvolvimento — sabem onde estão e o que devem fazer. De certa forma, a fertilização ocorre tardiamente no desenvolvimento. O ovo estava preparado para começar a construção de um animal e o espermatozoide serviu apenas para dar um “cutucão” (além da sua contribuição de DNA, que difere pouco daquela do ovo). O ovo é como uma arma carregada. Uma analogia melhor é ver as porções não nucleares do ovo como um toca-fitas e o DNA nuclear como a fita. As primeiras etapas do desenvolvimento requerem que a fita seja colocada no local certo para ser tocada; ajustar o volume e a velocidade do aparelho; escolher quais trechos serão ouvidos e em que ordem; e então apertar a tecla para ouvir a fita.

Prosseguindo com nossa fantasiosa reflexão do parágrafo anterior, sobre “dois animais diferentes com o mesmo DNA”, poderíamos imaginar animais com pequenas diferenças no funcionamento do toca-fitas de seus ovos. Os ovos

de mosca poderiam ler os genes no DNA em certa ordem (digamos, a, b, c, d) e fazer moscas cujos ovários produzissem ovos que também funcionassem assim, enquanto ovos de galinha poderiam ler a fita z, y, x, w — e resultar numa galinha. Se trocássemos o DNA da galinha com o da mosca nesse caso hipotético, não faria a mínima diferença, pois estamos supondo que os DNAs são idênticos. Até mesmo os diferentes ovários (assim como todos os demais órgãos) seriam consistentemente diferentes — e seriam gerados descendentes férteis.

Podemos usar um argumento oposto para mostrar quão absurda é a ideia de que o DNA “contém as instruções para fazer o animal”. Vamos colocar DNA de mosca num ovo de galinha (DNA de mosca mesmo, não o DNA imaginário igual em moscas e galinhas). Mesmo que a fita pudesse ser lida, de maneira organizada o suficiente para que um embrião pudesse ser obtido, o que conseguiríamos com o desenvolvimento de uma mosca numa estrutura básica de ave? Mesmo que um milagre acontecesse, e obtivéssemos uma larva funcional, como é que a mosca sairia da casca? O contrário é pior: mesmo que o embrião do pintinho pudesse começar sua formação com o material da mosca, rapidamente acabaria a gema e o minúsculo embrião do pintinho não seria muito eficaz em conseguir comida para continuar seu desenvolvimento. Portanto, DNA de dinossauro, obtido de sangue de dinossauro preservado num carrapato em âmbar, não *faz* um dinossauro. Para tocar a fita de DNA de um dinossauro, você precisa de um ovo de dinossauro da mesma espécie: o toca-fitas adequado. O DNA não basta, é só metade do sistema. Para que serve uma fita sem o seu (exato) toca-fitas? Portanto, nada de *Jurassic park*.

Talvez pudéssemos inventar sistemas experimentais que “retocam” um animal extinto e escolher algo mais fácil do que dinossauros. Mas haveria, tanto em princípio como na prática, enormes dificuldades. É esclarecedor pensar como tal empreendimento de bioengenharia seria difícil; custaria muito mais do que o filme *Parque dos dinossauros*, mesmo para um desafio muito menor. Que tal mamutes, cuja carne possuímos congelada (e cujo DNA está menos degradado do que o de dodôs)? Isso seria quase tão divertido quanto dinossauros e *muito, muito* mais fácil. Tudo que teríamos que fazer é descobrir doses de hormônios que nos forneçam ovos de elefante viáveis; descobrir as soluções salinas que agradam aos ovos de elefante; fixar a temperatura, as concentrações de oxigênio e gás carbônico para que se desenvolvam de modo saudável. Foram necessários cerca de 1 milhão de ovos para conseguir o sistema para camundongos (e ainda não conseguimos substituir núcleos com diferentes DNAs); cerca de 2 milhões de ovos para conseguir esse sistema em gado; e ainda não conseguimos fazê-lo de modo confiável com *hamsters*, depois de mais de 4 milhões de ovos em cultura. O sistema de bebê de profeta humano é muito robusto, e nós o desenvolvemos com certa facilidade (alguns milhares de ovos), pois as condições são surpreendentemente parecidas com as do camundongo.

Vamos imaginar que o elefante de proveta funcione após apenas 1 milhão de ovos. Após dez anos e mil elefantes, com dez ciclos experimentais por ano (super) produzindo dez ovos a cada ciclo, obtivemos um sistema que de vez em quando aceita um núcleo de mamute perfeito. (Por sinal, não possuímos nenhum núcleo de mamute perfeito — Deus não os congela com o cuidado necessário). Então descobrimos (se a mãe elefante não reagir contra as proteínas estranhas do mamute, presentes no embrião) que leite de elefante não funciona para mamutes — quantos filhotes de mamutes vamos gastar até descobrir isso? Aliás, eles *não* serão filhotes de mamutes; eles serão aquilo que se obtém quando se toca fita de DNA de mamute num ovo de elefante, e então se matura o resultado num útero de elefante. Quase-mamutes? Se você conseguisse que os quase-mamutes cruzassem uns com os outros, talvez a geração seguinte possuísse o ovário antigo correto, e sua progênie seria de quase-mamutes — mas como saber? Provavelmente não vale a pena gastar dinheiro, como fazem os físicos e astrônomos, para produzir esse novo organismo — mamutes reais estão *extintos*. Ponto final. Os dodôs também. O esforço necessário para reconstruir um programa de desenvolvimento é imenso. Não embarque na ideia, promovida por artigos de jornal ingênuos, de que nós conseguimos “conservar” um animal — ou planta — quando temos seu DNA. O exemplo do mamute ilustra algumas das dificuldades.

E isso basta quanto à ideia de que o DNA *determina* como um organismo é; ele não faz nada disso. Não há, em princípio, nenhuma relação direta, nenhum mapeamento entre as seqüências de DNA e as características. (E claro que podemos mapear *diferenças* entre caracteres — como albinismo ou mal de Parkinson — e diferenças específicas no DNA). Todo o processo de desenvolvimento, desde o ovo fabricante-de-ovários até o ovário-fabricante-de-mães, funciona como um bloco. Cada pedaço da informação sobre o contexto (como os mecanismos presentes no ovo) é necessário e específico para cada pedaço de informação de conteúdo (como aquela contida no DNA). O que faz a mosca ou você é todo o processo de desenvolvimento. Ele inteiro. Você pode culpar seu DNA pela sua letra torta e engraçada, por sua paixão por Fats Waller ou gatos birmaneses, por seus olhos azuis? Bem, talvez este último, mas não os outros. Você não pode culpar o DNA por aquilo que você se tornou. Você, o processo, é responsável pelo que você é, o que faz. E pelo que se torna.

*JACK COHEN* é um biólogo reprodutivo de fama internacional que dá consultoria para laboratórios de bebês de proveta e infertilidade. Professor universitário por cerca de trinta anos, publicou quase cem trabalhos científicos. Entre seus livros estão *Living Embryos*, um clássico cujas três edições venderam mais de 100 mil exemplares; *Reproduction; The Privileged Ape*, uma visão

diferente da evolução humana. Atualmente trabalha com o matemático Ian Stewart, explorando questões sobre a complexidade, o caos e a simplicidade em seu primeiro livro conjunto, *The Collapse of Chaos*.

Cohen é consultor de grandes autores de ficção científica como McCaffrey, Gerrold, Harrison, Niven e Pratchett; elabora criaturas e ecossistemas alienígenas, evitando que os autores cometam erros científicos. Participa frequentemente de programas de rádio na BBC; iniciou e trabalhou na produção de diversos programas de televisão (*Horizon Genesis*, da BBC; *Take Another Look*, série da ITV; *Fancy Fish*, série da BBC/Channel 2), para os quais fez boa parte da filmagem, especialmente da fotografia quadro a quadro no microscópio.



## O TRIUNFO DO EMBRIÃO - *Lewis Wolpert*

Como algo tão pequeno e sem graça quanto um ovo pode originar um complexo ser humano? Qual é a maquinaria capaz de transformar aquela pequena célula no conjunto de tecidos do corpo? Como os genes, o material hereditário, podem controlar esses processos e gerar a espantosa variedade de formas vivas? Essas são algumas das maiores questões da biologia. E o progresso que está havendo para respondê-las é extremamente empolgante.

Uma vez fertilizado, o óvulo origina uma multidão de células — bilhões, nos seres humanos — que se organizam na forma de estruturas como olhos, narizes, membros, corações e cérebros. Como estarão as estruturas — ou pelo menos os planos para fazê-las — embutidas no ovo? Elas não podem estar todas pré-formadas no ovo —: o desenvolvimento não é a simples expansão de uma estrutura que já existe — e é clara a existência de mecanismos de organização atuando. Mesmo quando são removidos pedaços de um jovem embrião, ele consegue se regular e se desenvolver normalmente, apesar da perturbação sofrida. O desenvolvimento de gêmeos idênticos em seres humanos pode resultar da divisão do embrião quando centenas de células já estão formadas.

Para compreender o desenvolvimento, devemos observar células e genes. Ele é melhor entendido em termos do comportamento celular, que é controlado por genes. As células são as unidades básicas do embrião em desenvolvimento. O ovo se divide e se multiplica, originando-se diferentes tipos de células. Podemos constatar essa variedade nas células musculares, nervosas, da pele, do cristalino, e assim por diante. Nossos corpos possuem cerca de 250 tipos de células diferentes. Mas o desenvolvimento é mais do que a geração de novas formas de célula. As células precisam ser submetidas aos processos de formação do padrão corporal e de morfogênese — mudança de forma. Por exemplo, elas formam estruturas como braços e pernas, cada uma das quais possui células muito parecidas. Isso requer a formação de um padrão corporal que dá à célula uma identidade posicional, para que ela possa se desenvolver do modo adequado. A formação do padrão corporal se relaciona à organização espacial — colocar músculo e osso no lugar certo, para que braços difiram de pernas e as asas de morcegos das de aves. A morfogênese diz respeito aos mecanismos físicos pelos quais o embrião altera a sua forma. Por exemplo, no início do desenvolvimento nosso cérebro é uma camada de células plana que se enrola, assumindo a forma de um tubo. Isso ocorre graças à movimentação ativa das células e a mudanças nas propriedades adesivas que as mantêm unidas. Em geral, a formação do padrão corporal precede a morfogênese e instrui as células sobre onde devem mudar de forma ou alterar sua aderência.

E a diferença na formação do padrão corporal, e consequentemente na organização espacial, que nos distingue de outros vertebrados. Pode haver pequenas diferenças entre as nossas células de cérebro ou músculo e as deles, mas o modo como estão espacialmente organizadas é que importa. Não há, em nossos cérebros, nenhum tipo de célula que os chimpanzés não possuam.

Ao longo do desenvolvimento, as células se multiplicam, mudam suas características, exercem forças, enviam e recebem sinais. Todas essas atividades estão sob controle da informação contida nos genes, presentes no DNA dos cromossomos. Mas o DNA é uma substância química bastante passiva e estável, e regula o comportamento celular ao controlar quais as proteínas produzidas pela célula. As proteínas é que são magos das células, capazes de fazer as coisas acontecerem. Elas controlam tanto as reações químicas como as estruturas da célula. Aliás, uma célula é caracterizada pelas proteínas específicas que possui. As proteínas geram movimento celular, determinam a forma da célula e permitem que ela se multiplique. Cada célula possui seu próprio conjunto de proteínas — como a hemoglobina nas hemácias ou a insulina nas células do pâncreas. Mas como o DNA contém instruções para fazer todas as proteínas, e cada proteína é codificada por um gene, a presença ou ausência de uma proteína numa célula dependerá de seu gene estar ligado ou desligado. Portanto, ligar e desligar genes é a característica fundamental do desenvolvimento, pois assim se controla quais proteínas são feitas e o comportamento celular resultante. Todas as células possuem a mesma informação genética recebida do ovo; portanto, as diferenças entre elas resultam de diferentes genes serem ligados e desligados.

Como surgem essas diferenças na atividade dos genes? Algumas aparecem porque o ovo não é tão sem graça quanto fiz crer. Em sapos e moscas, por exemplo, há proteínas especiais em certas regiões do ovo, depositadas quando ele foi feito pela mãe. Assim, quando o ovo se divide, algumas células recebem um tipo de proteína e outras recebem outros tipos, e essas proteínas podem ativar genes bastante diferentes. Mas essas diferenças no ovo definem apenas domínios grosseiros. E a comunicação celular que atua como o principal método para definir o padrão corporal do embrião. Os embriões humanos parecem utilizar exclusivamente a comunicação intercelular, uma vez que não há nenhuma razão para supor que existam quaisquer diferenças no ovo. E, é claro, a capacidade de embriões se regularem — isto é, desenvolverem-se normalmente mesmo quando perturbados — depende totalmente de comunicação. Afinal, de que outra forma um defeito poderia ser corrigido?

Como as células do embrião sabem o que fazer? A resposta é, em parte, que elas precisam “conhecer” sua posição. E melhor deixar de lado os embriões — que são bastante complicados — e pensar em bandeiras. Pense na bandeira francesa. Imagine que há uma longa linha de células, capazes de se tornar azuis, brancas ou vermelhas. Qual mecanismo seria capaz de gerar o padrão da

bandeira francesa — isto é, tornar as células no primeiro terço da linha azuis, as do terço seguinte brancas e as do terço final vermelhas? Isso não está tão longe quanto pode parecer do problema enfrentado pelas células do jovem embrião, pois num estágio inicial ele também está dividido em várias regiões, que originarão o esqueleto, os músculos, as vísceras e a pele.

Há várias soluções para esse problema, mas provavelmente a mais interessante e geral é que cada célula precisa de identidade posicional. Se as células “conhecem” sua posição em relação ao final da linha, poderiam descobrir em qual terço se encontram, para então usar suas instruções genéticas — que são idênticas em todas — a fim de se tornarem azuis, brancas ou vermelhas. Isso poderia funcionar com o auxílio de uma substância química — um morfógeno — cuja concentração forma um gradiente ao longo de uma linha; ao ler a concentração do morfógeno, as células saberiam sua posição. Em concentrações elevadas, células vermelhas se formariam, e assim por diante. De modo mais geral, se as células têm suas posições especificadas e possuem instruções genéticas que as instruem quanto ao que fazer em cada local, uma ampla gama de padrões corporais poderia ser gerada.

Um belo exemplo de como as células sinalizam sua posição é dado por um experimento clássico, feito no início do desenvolvimento do sapo. O padrão corporal embrionário é especificado nas camadas superficiais do embrião esférico que resultou da divisão do ovo. Isso resulta num padrão bidimensional, e regiões como as que originarão o esqueleto ou as vísceras ainda estão do lado de fora do embrião. Elas agora se movem para dentro, num processo chamado de gastrulação. O local por onde entram no embrião é uma região sinalizadora, responsável pelo estabelecimento do padrão do eixo corporal. Se essa região for enxertada em outro embrião, ela dá um sinal ao receptor que é capaz de induzir a formação de um novo embrião completo, com cabeça e corpo. ,

Outro exemplo de sinalização de posição ocorre na formação dos membros. A região sinalizadora está na margem posterior do broto e dá aos dígitos sua identidade posicional; se essa região for enxertada na margem anterior de outro broto, seu sinal resulta na formação de um membro “espelhado”, com dois conjuntos de dígitos. Um modo de compreender isso é pensar que o sinal cria um gradiente “espelhado” de um morfógeno.

As células também precisam gravar sua identidade posicional e recordar-se dela. Estudos sobre o início do desenvolvimento de insetos tiveram grande êxito em identificar os genes responsáveis pela formação do padrão corporal do jovem embrião. Descobriu-se que a identidade das diferentes partes do corpo dos insetos é controlada por genes com características especiais, chamados de genes homeóticos. Mutações nesses genes podem transformar uma parte do corpo em outra — uma antena se torna uma perna —, num processo conhecido como homeose. Esses genes possuem uma região em comum, chamada de *homeobox*.

Surpreendentemente, os genes que contêm o *homeobox* estão também presentes em outros animais, onde aparentemente desempenham funções semelhantes, registrando a identidade posicional. Há um padrão bem estabelecido de expressão de genes homeóticos ao longo do eixo\* corporal de embriões de camundongos e sapos, provavelmente dando às células sua identidade posicional. Se esses genes não forem expressos no lugar certo, as costelas poderão se desenvolver no local errado, por exemplo. De modo semelhante, no *homeobox* dos membros os genes estão presentes num padrão bem definido. Além do mais, quando se faz um membro “espelhado” ao enxertar uma nova região sinalizadora, uma resposta inicial é uma alteração na expressão dos genes homeóticos. Mas ainda temos que conhecer muitos detalhes para saber como obter, por exemplo, os cinco dedos da mão, com seu complexo arranjo de músculos, ossos e tendões, a partir de sinais e genes homeóticos.

Por mais que uma mosca pareça diferente de um camundongo ou de um ser humano, o que os recentes avanços na embriologia nos mostram é que eles se desenvolvem por mecanismos muito semelhantes. Até usam genes bastante parecidos. Já existem evidências de que os genes e sinais que dão forma à asa da mosca e ao membro de um vertebrado são semelhantes. São diferenças sutis nos genes que mudam o comportamento celular ao longo do desenvolvimento, e assim geram a diversidade de formas animais.

LEWIS WOLPERT é professor de biologia aplicada à medicina no University College e na Middlesex School of Medicine. Suas áreas de pesquisa são biologia celular e do desenvolvimento.

Em 1968, recebeu a medalha científica da Zoological Society. Tornou-se membro da Royal Society em 1980 e é presidente do Committee for the Public Understanding of Science (Copus). Recebeu a Companion of the Order of the British Empire em 1990. É também presidente do Medical Research Council Committee on the Genetic Approach to Human Health.

Em 1986, Wolpert proferiu as palestras de Natal da Royal Institution e na primavera de 1990 as Palestras Radcliffe na University of Warwick. Foi apresentador do programa de televisão sobre ciência *Antenna* (BBC 2) em 1988-9, e realizou 25 entrevistas com cientistas na Radio 3. A primeira série de rádio foi publicada em *A Passion for Science*. Realizou uma série de documentários, inclusive *The Dark Lady of DNA* e *The Virgin Fathers of the Calculus*. Ele é autor de *Triumph of the Embryo* e *The Unnatural Nature of Science*. Seu livro mais recente, *Is Science Dangerous?*, está na coleção *Contemporary Papers*, da W. H. Smith.

## DO KEFIR A MORTE - Lynn Margulis

Acontece como “indivíduo”. A morte é a interrupção do processo autopreservador que chamamos de metabolismo, a suspensão, em determinado ser, da incessante reafirmação química da vida. A morte, sinalizando a desintegração e dispersão daquilo que foi um indivíduo, não estava presente na origem da vida. Diferentemente dos seres humanos, nem todos os organismos envelhecem e morrem ao final de um período de tempo. O próprio processo de envelhecimento e morte evoluiu, e hoje temos uma noção sobre quando e onde. O envelhecimento e a morte originalmente surgiram em alguns de nossos ancestrais microbianos, pequenos nadadores, membros de um imenso grupo chamado de “protoctistas”. Uns 2 bilhões de anos atrás, esses ancestrais desenvolveram o sexo por fertilização e a morte programada. Não são animais ou plantas, nem mesmo fungos ou bactérias. Os protoctistas constituem um grupo diverso — e obscuro — de seres aquáticos, a maioria dos quais só é visível ao microscópio. Protoctistas conhecidos incluem amebas, euglenas, ciliados, diatomáceas, algas vermelhas e algas em geral, fungos limosos e fungos aquáticos. Protoctistas pouco conhecidos têm nomes estranhos: foraminíferos, heliozoários, ellobiópsidas e xenofióforas. Estima-se que existam 250 mil espécies, a maioria delas praticamente não estudada.

A morte significa a perda das fronteiras nítidas de um indivíduo; com a morte, o ser se dissolve. Mas a vida prossegue sob outras formas — como bactérias ou fungos decompositores, ou como um filho ou neto que permanece vivo. O ser se torna moribundo por causa da desintegração de seus processos metabólicos, mas o metabolismo em si não é perdido. Qualquer organismo deixa de existir por causa de circunstâncias que escapam a seu controle: o ambiente se torna quente, frio ou seco demais por muito tempo; um predador voraz o ataca ou gases venenosos proliferam; a comida desaparece e a fome se instala. As causas de morte em bactérias fotossintéticas, algas e plantas incluem a falta de luz e a escassez de nitrogênio ou fósforo. Mas a morte também acontece quando o tempo está ótimo, independentemente de efeitos ambientais diretos. Essa morte “embutida” — como, por exemplo, a do milho indiano que morre no final da estação ou a de elefantes saudáveis que sucumbem após um século de vida — é programada. A morte programada é o processo pelo qual protoctistas microscópicos — como o *Plasmodium* (o parasita malárico) ou uma massa de fungos limosos — secam e morrem. A morte acontece quando, por exemplo, uma borboleta ou uma flor de lírio, formadas por muitas células, amadurecem e se desintegram, no curso normal do desenvolvimento.

A morte programada ocorre em vários níveis. Todo mês, o revestimento do

útero das mulheres é vertido na menstruação, à medida que suas células mortas (o sangue menstrual) passam através da vagina. Cada outono, nas árvores e arbustos decíduos das regiões temperadas, fileiras de células na base de cada pecíolo morrem. Sem a morte dessa estreita camada de células, acionada pela redução dos dias, nenhuma folha cairia. Usando técnicas de engenharia genética, pesquisadores como meu colega da University of Massachusetts, o professor Lawrence Schwartz, conseguem colocar determinados “genes para a morte” em células cultivadas no laboratório, que não são programadas para morrer. As células imortais, ao receberem esse DNA, morrem tão subitamente que a abrupta interrupção de seu metabolismo pode ser cronometrada com precisão. As células que não recebem os “genes para a morte” vivem indefinidamente. O sangue menstrual, a morte das células no pecíolo, a rápida autodestruição das células que recebem “genes para a morte” e também o lento — e às vezes assustador — envelhecimento dos nossos pais e de nós mesmos são exemplos de morte programada.

Diferentemente dos animais e plantas que crescem a partir de embriões e morrem na hora programada, todas as bactérias, a maioria dos seres nucleados microscópicos (os protoctistas menores e fungos como os mofo e as leveduras), permanecem eternamente jovens. Os habitantes desse microcosmo crescem e se reproduzem sem a necessidade de qualquer parceiro sexual. Em algum momento na evolução, o sexo meiótico — que requer gêneros distintos e a ocorrência de fertilização — tornou-se correlacionado a uma necessidade absoluta de morte programada. Como teria a morte evoluído nesses ancestrais protoctistas?

Um homem idoso pode fertilizar uma mulher de meia-idade, mas o filho deles será necessariamente jovem. O espermatozoide e o óvulo se fundem para formar o embrião que se torna o feto e depois o bebê. Quer a mãe tenha treze ou 43 anos, o recém-nascido começará a vida jovem. A morte programada acontece com um corpo e suas células. Em contraste, a renovada vida do embrião é a fuga desse tipo de morte previsível. Cada geração restabelece o *status quo* ante, a forma microbiana de nossos ancestrais. Por um caminho tortuoso, parceiros que se fundem sobrevivem, enquanto os que não estabelecem uma parceria sexual acabam por perecer.

Em algum momento, os micróbios ancestrais produziram células germinativas que freneticamente buscaram e encontraram umas às outras. Fundindo-se, restauraram a juventude. Todos os animais, incluindo as pessoas, realizam sexo meiótico; uma herança dos micróbios, que realizavam meiose (divisões celulares que reduzem pela metade o número de cromossomos) e sexo (que pela fertilização dobra o número de cromossomos).

Bactérias, fungos e até mesmo muitos protoctistas eram — e são — indivíduos que se reproduzem sem realizar sexo tal como o fazemos. Eles se

reproduzem sem parceiros, mas nunca morrem a não ser que algo os mate. A inevitabilidade da morte celular e a mortalidade do corpo é o preço que alguns de nossos ancestrais protoctistas pagaram — e nós ainda pagamos — pelo sexo meiótico.

Surpreendentemente, uma bebida nutritiva e efervescente chamada *kefir*, apreciada nos montes Cáucaso, no sul da Rússia e na Geórgia, nos instrui sobre a morte. E, o que é ainda mais incrível, também ilustra como funciona a simbiogênese — o surgimento de uma nova espécie por simbiose. A palavra *kefir* (também escrita *kephyr*) refere-se tanto à bebida láctea como ao coalho e os grânulos que fermentam o leite, produzindo a bebida. Esses grânulos, assim como nossos ancestrais protoctistas, evoluíram por simbiose.

Abe Gomei, empresário canadense e proprietário dos laticínios Liberté, fabrica um autêntico kefir do Cáucaso georgiano em sua linha de produtos. Ele e sua aplicada colaboradora, Ginette Beauchemin, descem diariamente à sala dos tanques de laticínios da fábrica para examinar o desenvolvimento aquecido da substância espessa e leitosa que está prestes a tornar-se o kefir comercial. Como bons produtores de kefir, eles sabem que todas as manhãs, entre as nove e dez horas — inclusive nos finais de semana —, devem transferir os grânulos mais roliços e vicejantes para um leite mais fresco. Apesar de quase todos os habitantes da Rússia, Polônia e mesmo da Escandinávia beberem kefir, esse “iogurte champanhe” dos povos caucasianos ainda é praticamente desconhecido na Europa ocidental e nas Américas. Abe Gomei e Ginette Beauchemin só conseguiram treinar dois ajudantes, que precisam vigiar constantemente os dois recipientes em que o processo ocorre continuamente.

Diz a lenda que o profeta Maomé entregou os primeiros grânulos de kefir aos cristãos ortodoxos do Cáucaso, na Geórgia, próximo ao monte Ebrus. Deu ordens expressas para que nunca fossem dados para outras pessoas. No entanto, os segredos do preparo dos “grânulos de Maomé”, supostamente capazes de prolongar a vida, foram partilhados. O coalho de kefir em crescimento é um ser esférico e irregular, com a aparência de um coalho de queijo *cottage* cerca de um centímetro de diâmetro. Os grânulos individuais de kefir crescem e metabolizam os açúcares e as proteínas do leite, formando o kefir, a bebida láctea. Quando o metabolismo ativo que assegura sua individualidade cessa, grânulos de kefir dissolvem-se e morrem, sem envelhecer. Assim como espigas de milho num campo, fermentos ativos em cubas de fermentação ou ovos de truta em incubadoras, também o kefir exige cuidados. Sementes de milho mortas não geram plantas, leveduras mortas não produzem pão ou cerveja, peixes mortos não são negociáveis e, da mesma forma, indivíduos de kefir, após a morte, deixam de ser kefir. Comparável à levedura úmida mas “inativa” ou aos ovos de truta em deterioração, o coalho de kefir morto pulula com uma forma de vida que é algo diferente do kefir; uma papa malcheirosa de bactérias e fungos

irrelevantes, vicejando e metabolizando, mas não mais de um modo integrado, crescendo sobre cadáveres daquilo que antes eram indivíduos vivos.

Assim como nossos ancestrais protoctistas, que evoluíram a partir de simbioses entre bactérias, indivíduos de kefir evoluíram a partir da união de cerca de trinta micróbios diferentes, dos quais pelo menos onze são conhecidos graças a estudos recentes (veja tabela, p. 88). Essas bactérias e leveduras específicas precisam se reproduzir em conjunto—por intermédio da divisão celular coordenada e sem a ocorrência da fertilização ou de qualquer outro aspecto de sexo meiótico — para manter a integridade do estranho indivíduo microbiano que é o coelho do kefir. A simbiogênese originou seres complexos que morrem (como o kefir e a maioria dos protoctistas) antes de a sexualidade levar a organismos que precisavam morrer (como elefantes oonós). Um indivíduo de kefir, como qualquer outro, depende de reafirmação comportamental e metabólica. Ao longo da preparação desse iogurte especial, sem que tivessem percebido, as pessoas produziram os indivíduos de kefir. Ao escolher a melhor “semente” para fazer a bebida, moradores do Cáucaso “naturalmente selecionaram”, o que significa que fomentaram o crescimento de certas populações e interromperam o de outras. Essas pessoas, sem perceber, transformaram uma frouxa confederação de micróbios em robustas populações de indivíduos, bem maiores e com a capacidade de morrer. Tentando agradar a seus paladares e estômagos, os consumidores de kefir da Geórgia, sem se dar conta, criaram uma nova forma de vida.

KEFIR: Lista de componentes, micróbios vivos Cada indivíduo (ver figura) é composto por:

Reino Monera (bactérias)

*Streptococcus lactis*

*Lactobacillus casei*, *Lactobacillus brevis*

*Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus bulgaricus*

*Leuconostoc mesenteroides*

*Acetobacter aceti*

Reino Fungo (leveduras, mofos)

*Kluyveromyces marxianus*, *Torulaspora delbrueckii*

*Candida kefir*, *Saccharomyces cerevisiae*

e pelo menos mais quinze tipos de micróbios desconhecidos

Os minúsculos seres que constituem os grânulos de kefir podem ser vistos num microscópio (veja figura, p. 89): fungos e bactérias específicos, inextricavelmente unidos por materiais complexos, carboidratos e proteínas de fabricação própria — indivíduos cercados por sua própria pele, por assim dizer.



No kefir saudável, os componentes bacterianos e fungos organizam-se num coalho, uma substância encapsulada que se reproduz como uma única entidade. Quando um coalho se divide em dois, os dois se tornam quatro, oito, dezesseis, e assim por diante. O kefir que se reproduz está formando o líquido que, após cerca de uma semana de crescimento, se torna a bebida láctea. Se as quantidades relativas dos micróbios que o constituem forem alteradas, o coalho morre e se obtém uma papa azeda.

Os micróbios do kefir estão completamente integrados num novo ser, assim como são integradas as bactérias simbióticas que se tornaram componentes das células de protoctistas e animais. A medida que cresce, o coalho de kefir transforma o leite numa bebida efervescente. A “semente”, — os coalhos do kefir caucasóide original — precisam ser devidamente cuidadas. O kefir não pode ser feito pela “mistura certa” de micróbios ou substâncias químicas, da mesma forma que não conseguiríamos formar carvalhos ou elefantes.



*Um grão de kefir: o complexo "indivíduo de kefir" vivo, visto por microscopia de baixa força (magnificação de cinco vezes). No alto, um indivíduo; abaixo, três indivíduos.*

Com o auxílio de estudos de sequências de DNA, os cientistas foram levados a crer — ou pelo menos ficaram seriamente inclinados a acreditar — que as estruturas consumidoras de oxigênio das células nucleadas evoluíram por simbiose. Isso ocorreu quando certos micróbios fermentadores relativamente grandes (arqueobactérias termófilas) se juntaram a bactérias menores, que respiravam oxigênio.

As mitocôndrias, que combinam oxigênio com açúcares e outros compostos alimentares para gerar energia, são encontradas de modo quase universal nas células de protoctistas, fungos, plantas e animais. Nós, assim como todos os mamíferos, herdamos nossas mitocôndrias dos ovos de nossas mães. Assim como o kefir, nós e todos os organismos feitos de células nucleadas, de amebas a baleias, não somos apenas indivíduos, mas agregados. A individualidade emerge da agregação, comunidades cujos membros se fundem e se cercam com materiais de sua própria fabricação. Assim como as pessoas inconscientemente selecionaram a nova forma de vida que é o kefir, outros seres também levaram ao surgimento de novas formas de vida — inclusive nossos ancestrais. Isso ocorreu à medida que micróbios se alimentavam uns dos outros, tomando suas gorduras, proteínas, carboidratos e sobras, mas digerindo-as apenas parcialmente. Desse modo, selecionaram uns aos outros e acabaram se fundindo.

As plantas descendem de ancestrais que selecionaram uns aos outros, sem se digerir completamente. Células aquáticas ancestrais, com um voraz apetite, engoliram micróbios fotossintéticos verdes chamados cianobactérias. Algumas resistiram à digestão e sobreviveram dentro das células maiores, e continuaram a realizar fotossíntese. Com a integração, a comida verde crescia como parte de um novo ser. A bactéria de fora era agora uma parte independente dentro da célula. A partir de uma cianobactéria e um voraz nadador transparente, evolui um novo indivíduo, a alga. A partir das células de algas verdes (protoctistas) vieram as células das plantas.

O kefir é uma esplêndida demonstração de que os processos de integração pelos quais nossas células evoluíram ainda acontecem. Ele também nos ajuda a compreender como a origem de um novo e complexo indivíduo precedeu a morte programada do indivíduo numa escala de tempo evolutiva. O kefir nos instrui, por sua própria existência, sobre como os gostos e escolhas de uma espécie (nós) influem na evolução de outras, os trinta micróbios entrelaçados que se tornam kefir. Apesar de o kefir ser um indivíduo complexo, produto de agregados de bactérias e fungos em intensa interação, ele se reproduz simplesmente por crescimento e divisão. Nele, o sexo não evoluiu, e em contraste com elefantes e pés de milho, que se originam a partir de embriões produzidos de forma sexuada, os grânulos de kefir sofrem pouquíssimo desenvolvimento e não apresentam sexualidade meiótica. No entanto, quando

maltratados, morrem. E, uma vez mortos, como qualquer indivíduo, nunca voltam à vida como aquele mesmo indivíduo.

Saber que simbioses se tornam novos organismos ilumina a individualidade e a morte. A individuação, que evoluiu nos primeiros protoctistas de forma semelhante ao que se deu no kefir, precedeu a sexualidade meiótica. O envelhecimento e a morte programada foram uma profunda inovação evolutiva, restrita aos descendentes dos protoctistas sexuados que se tornaram animais, fungos e plantas.

O desenvolvimento da morte na hora programada, a primeira das doenças sexualmente transmissíveis, evoluiu em paralelo com nossa forma peculiar de sexualidade, um processo que o kefir não domina, e sem o qual sempre se virou bem. O privilégio da fusão sexual — o ciclo “fertilização-meiose” desempenhado pelos dois pais de muitos protoctistas, pela maioria dos fungos e por todas as plantas e os animais — é punido pelo imperativo da morte. O kefir, por não ter adquirido o sexo ao longo da evolução, se esquivou de uma morte programada.

*LYNN MARGULIS* é bióloga e professora emérita no departamento de biologia da University of Massachusetts em Amherst. Ela recebeu a bolsa Sherman Fairchild no California Institute of Technology (1977) e uma bolsa Guggenheim (1979). É membro da National Academy of Sciences. De 1977 a 1980 presidiu o Space Science Board Committee on Planetary Biology and Chemical Evolution da National Academy of Science, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias de pesquisa da NASA. Por esse trabalho recebeu uma premiação por serviços públicos da NASA, em 1981.

Suas publicações abrangem uma ampla gama de assuntos científicos, dirigidos tanto a profissionais como ao público infantil, e incluem: *The Origin of Eukaryotic Cells* (1970), *Early Life* (1981) e *Symbiosis in Cell Evolution* (segunda edição, 1993). Ela é co-autora, com Karlene V. Schwartz, de *The Five Kingdoms: an Illustrated Guide to the Phyla of Life on Earth* (segunda edição, 1988), com Dorion Sagan, *Microcosmos* (1986), *Origins of Sex* (1986), *Mystery Dance* (1991) e *What is Life?* (1995). Participou do desenvolvimento de materiais para o ensino de ciências para cursos desde primeiro grau até os de pós-graduação. Colabora com James E. Lovelock, F.R.S., em investigações sobre sua “hipótese de Gaia”. Também participa de pesquisas sobre biologia celular e evolução microbiana.

## **Parte III - EVOLUÇÃO**

## 1. O QUE A EVOLUÇÃO NÃO É

De todos os conceitos fundamentais nas ciências da vida, a evolução é o mais importante e também o mais mal compreendido. Mas como podemos entender um assunto melhor ao reconhecer aquilo que ele não é, e o que não pode ser, devemos começar com algumas refutações, reconhecendo para a ciência aquilo que G. K. Chesterton considerou tão importante para as humanidades: “Arte é limitação; a essência de cada pintura é a moldura”.

Primeiramente, a evolução, assim como qualquer área de ciência, não é capaz de sondar a questão das origens fundamentais ou significados éticos. (A ciência, como um empreendimento, busca explicar fenômenos e regularidades do universo empírico, sob o pressuposto de que leis naturais são uniformes no espaço e no tempo. Essa restrição delimita um infundável e fascinante mundo dentro do “quadro”; a maioria das questões relegadas à “moldura são impossíveis de responder, de qualquer forma.) Assim, a evolução não é o estudo da origem primordial da vida no universo ou do significado intrínseco da vida entre os objetos da natureza; essas questões são filosóficas (ou teológicas) e não fazem parte do domínio da ciência. (Também desconfio que não possuam respostas universalmente satisfatórias, mas isso é assunto para outro momento.) Esse aspecto é relevante pois fundamentalistas fervorosos, disfarçados de “criacionistas científicos”, afirmam que a criação deve ser equiparada à evolução e receber tempo proporcional nas escolas, uma vez que ambas são igualmente “religiosas” ao lidar com mistérios primordiais. Entretanto, a evolução não trata desses assuntos de modo algum, e portanto permanece plenamente científica.

Em segundo lugar, à evolução foi acrescentado um conjunto de conceitos e significados que representam mais antigos preconceitos sociais e crenças psicológicas da cultura ocidental do que uma descrição da realidade natural. Tal “bagagem” pode ser inevitável em qualquer campo que se relacione de modo tão íntimo com preocupações humanas profundas (veja a parte 3 deste ensaio), mas esse forte viés social impediu-nos de levar a termo a revolução de Darwin. O mais pernicioso e limitante desses preconceitos é a ideia de progresso, a noção de que a evolução possui uma motivação ou manifesta uma poderosa tendência de caminhar em direção à maior complexidade, ao projeto biomecânico mais eficiente, a cérebros maiores ou alguma outra definição paroquial de progresso. Esse preconceito baseia-se num antigo desejo que os seres humanos têm de se colocar no ápice do mundo natural — e dessa forma afirmar um direito natural

de dominar e explorar nosso planeta.

Evolução, na formulação de Darwin, é adaptação a ambientes que mudam, não “progresso” universal. Elefantes que evoluem para uma pelagem mais pesada à medida que as placas de gelo se aproximam, até que se tornem mamutes peludos, não são necessariamente superiores, apenas animais melhor adaptados às condições locais de um frio cada vez mais intenso. Para cada espécie que se torna mais complexa ao adaptar-se a seu ambiente, você encontrará parasitas (às vezes muitas espécies deles) dentro de seu corpo. Parasitas geralmente possuem uma anatomia muito simplificada, em comparação à de seus ancestrais de vida livre. E no entanto esses parasitas são tão bem adaptados ao ambiente interno de seu hospedeiro quanto o próprio hospedeiro que evoluiu para enfrentar os desafios de seu ambiente externo.

## 2. O QUE A EVOLUÇÃO É

Em sua formulação minimalista, nua e crua, a evolução é uma ideia simples com uma surpreendente gama de implicações. A asserção básica inclui um par de afirmações interrelacionadas que fundamentam as duas disciplinas centrais da história natural: a taxonomia (ou a ordenação das relações entre organismos) e a paleontologia (ou a história da vida). Evolução significa (1) que todos organismos partilham ancestrais comuns e portanto possuem elos de genealogia e descendência nas ramificações da árvore da vida e (2) que as linhagens mudam sua forma e diversidade ao longo do tempo por intermédio de um processo natural de mudança— “descendência com modificação”, nas palavras de Darwin. Esse insight, simples porém profundo, responde de imediato à grande questão biológica de nossa época: qual a base para o “sistema natural” de relações entre organismos (gatos mais próximos de cachorros do que de lagartixas; todos os vertebrados mais próximos uns dos outros do que de um inseto — um fato amplamente reconhecido, considerado ao mesmo tempo belo e misterioso, muito antes de a evolução oferecer uma resposta). As explicações anteriores eram insatisfatórias porque não podiam ser testadas (o toque criativo de Deus originando cada espécie por decreto, com as relações taxonômicas representando a ordem do pensamento divino) ou eram obscuras (as espécies como unidades naturais, como os elementos da tabela periódica, ordenando a matéria orgânica). A explicação evolutiva para o sistema natural é maravilhosamente simples: a relação é a genealogia; os seres humanos são parecidos com macacos pois partilhamos um ancestral comum recente. A ordem taxonômica é um registro histórico.

Mas a existência de genealogia e mudança — descendência com modificação — não basta para caracterizar a evolução como uma ciência. A ciência possui duas missões: (1) registrar e descobrir os aspectos factuais do

mundo empírico e (2) propor e testar explicações sobre por que o mundo funciona de uma forma particular. A genealogia e a descendência atendem à primeira meta — uma descrição do fato da evolução. Precisamos também conhecer os mecanismos pelos quais a mudança evolutiva ocorre — explicar as causas da descendência com modificação, que é a segunda meta. Darwin propôs o mecanismo mais famoso e documentado para mudança na forma do princípio> que chamou de “seleção natural”.

O fato da evolução é tão bem documentado quanto qualquer coisa que conhecemos na ciência — tão seguro quanto nossa convicção de que a Terra gira ao redor do Sol, e não o contrário. Porém, o mecanismo da evolução permanece o centro de empolgantes controvérsias — e a ciência é mais animada e frutífera quando há importantes debates sobre as causas de fatos bem documentados. A seleção natural de Darwin foi confirmada por copiosos e elegantes estudos como um mecanismo poderoso, especialmente na evolução de características que tornam os organismos adaptados ao seu ambiente — aquilo que Darwin chamou de “o aperfeiçoamento de estruturas e a coadaptação que merecidamente incitam nossa admiração”. Mas a história da vida numa escala maior inclui fenômenos que talvez necessitem de outros mecanismos (efeitos aleatórios, por exemplo, são fundamentais na definição da história da vida—quais grupos sobrevivem e quais morrem, em episódios de extinção catastrófica).

### 3. QUE DIFERENÇA ISSO FAZ PARA NÓS?

A resposta mais profunda e visceral para essa questão encontra-se na psique humana, e por razões que mal consigo começar a compreender. Somos fascinados por elos físicos de ancestralidade; sentimos que nos entenderemos melhor, saberemos quem somos de um modo fundamental, quando descobrirmos nossa origem. Rondamos cemitérios e registros de paróquias; mergulhamos nas biblias familiares e procuramos parentes idosos, tudo isso para preencher as lacunas de nossa árvore genealógica. A evolução é o mesmo fenômeno numa escala muito mais ampla — nossas raízes muito além da família. A evolução é a árvore genealógica de nossas raças, espécies e linhagens — não apenas do nosso sobrenome, restrito e local. A evolução responde, na medida em que a ciência pode solucionar tais questões, as perturbadoras e fascinantes perguntas sobre “quem somos?”, “a quais outras criaturas somos aparentados, e como?”, “qual a história de nossa interdependência com o mundo natural?” e “por que estamos aqui?”. Indo além, creio que a importância da evolução no pensamento humano é melhor captada num famoso comentário de Sigmund Freud, que observou, com sua ironia ácida e certa, que todas as grandes revoluções científicas têm algo em comum: a derrubada da arrogância humana de seu pedestal anterior, afastando convicções sobre nossa posição



central e dominadora no universo. Freud menciona três dessas revoluções: a copernicana, que removeu nosso planeta do centro das atenções de um reduzido universo e o deslocou à condição de um pequeno e periférico pedaço de rocha, numa inconcebível vastidão; a darwiniana, por “nos relegar, humanos, à descendência do mundo animal”; e (numa das afirmações menos modestas da história intelectual) a sua própria, por descobrir o inconsciente e ilustrar a não-racionalidade da mente humana. Nada melhor para abalar nossa vaidade e nos libertar do que a mudança entre nos vermos como “apenas um pouco abaixo dos anjos”, criados como mestres da natureza, feitos à semelhança de Deus para moldar e dominar a natureza, para o conhecimento de que somos não apenas produtos naturais de um processo universal de descendência com modificação (e portanto parentes de todas as demais criaturas), como também um ramo pequeno e em última instância transitório, que desabrochou tardiamente na frondosa árvore da vida, e não o ápice predestinado da escada do progresso. Afaste a certeza complacente e desperte as chamas do intelecto.

*STEPHEN JAY GOULD* é evolucionista, paleontólogo e geneticista de caramujos; professor de zoologia na Harvard University; bolsista da Fundação MacArthur. É autor de vários livros, entre eles *Ontogeny and Phylogeny*, *The Mismeasure of Man*, *The Flamingo's Smile*, *Wonderful Life* e *Bully for Brontosaurus*. É internacionalmente reconhecido por suas contribuições na área da paleontologia e biologia evolutiva e pela capacidade de comunicar suas ideias ao grande público.

Talvez mais do que qualquer outra ciência, a paleoantropologia é notória pela importância das novas descobertas. Os jornais a adoram, e repetidas vezes anuncia-se dramaticamente um novo fóssil que supostamente surpreende cientistas ou refuta conclusões antigas. Mas, se os paleoantropólogos fossem constantemente surpreendidos, suas teorias não seriam muito boas. Certa vez me irritei tanto com essas notícias, e com a maneira negativa como refletiam a capacidade da paleoantropologia de desenvolver teorias sólidas sobre evolução humana, que num surto de humor negro me propus a apresentar, no encontro nacional de antropologia biológica, um trabalho intitulado “Nova descoberta fenomenal derruba todas as teorias anteriormente aceitas sobre evolução humana”. E, no que deve ter sido um surto de humor ainda mais negro, a comissão organizadora aceitou o título, obrigando-me a escrever o artigo.

A ciência requer um corpo de conhecimento que precisa ser explicado, e ela parece progredir à medida que novas descobertas criam a necessidade de alterar explicações anteriores. No entanto, os verdadeiros avanços que fazemos na compreensão de nosso passado vêm de descobertas intelectuais, das ideias inéditas que novas reflexões trazem à nossa forma de organizar o mundo, pois o modo que nós o organizamos torna-se o modo como o compreendemos. Nossas construções mentais — nossas teorias — baseiam-se em fatos, pois são eles que desejamos explicar; e no entanto apresentam uma independência da realidade, uma vida própria. Ao propor inter-relações, as teorias vão muito além dos fatos, e sua organização e explicação dos dados acabam por torná-las tão convincentes que fica difícil refutá-las, mesmo diante de informações contraditórias. Pode ser chamado de insight ou devaneio, mas a construção de teorias é onde há verdadeiro progresso.

A evolução, o fato de que todas as formas vivas estão relacionadas entre si por descendência comum e que alterações genéticas levam à diversidade da vida na Terra, é um desses avanços revolucionários na organização de nosso conhecimento. E possivelmente o avanço revolucionário da biologia. E, no entanto, apesar do fato de a evolução ser uma explicação de nossa ancestralidade e nossa diversidade, ou talvez por causa disso, ela é largamente desacreditada. As implicações que a descendência com modificação traz para a compreensão de nossa verdadeira relação com os outros animais são particularmente ofensivas aos céticos — parecem minar aquilo que todos sabemos: que nós, humanos, somos únicos e especiais. O mais difícil de engolir é aquilo que toda criança aprende na escola, que “o homem veio dos macacos”. Isso é mesmo verdade?

Recentemente, assistindo a *Inherit the wind* [O vento será tua herança], uma

versão cinematográfica do julgamento de Scopes de 1925 (julgamento do professor John T. Scopes, acusado pelo estado do Tennessee do crime de ensinar a teoria de evolução darwiniana na escola. Scopes foi condenado, mas conseguiu ficar livre graças a detalhes técnicos do processo - N. T.). fiquei impressionado pela maneira como o clima carnavalesco que tomou conta da cidade foi retratado, logo ao lado do tribunal onde o julgamento seria realizado. Há um fundo musical com “Give me that old-time religion”, e cenas com placas e pôsteres proclamando que “o homem *não* evoluiu dos macacos”. E então, como que para atingir o ápice do ridículo, uma apresentação circense traz um chimpanzé fumando cigarros, sentado embaixo de uma placa onde se lê: DARWIN ERROU — OS MACACOS EVOLUÍRAM DO HOMEM! Agora, gerações após o julgamento e muito tempo depois da realização do filme, pergunto-me o quão ridícula essa mensagem realmente é. Não a primeira, mas a segunda. Qual é o nosso parentesco com os macacos?

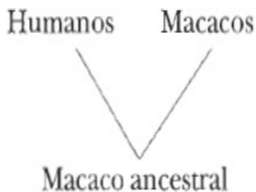
Em parte, minha sondagem e questionamento de algo que parece uma paródia da ciência evolutiva, numa cena que visa demonstrar a força do sentimento antievolutivo, é uma consequência direta do conhecimento cada vez maior que temos de nosso passado. Em outras palavras, nós vemos as coisas com mais clareza do que quando Scopes desafiou o estado do Tennessee, embora eu reconheça que nossa visão permanece, sob qualquer referencial, no mínimo bastante nebulosa.

Para compreender as frustrações que acompanham um cientista evolucionário no estudo do passado, imagine um par de espelhos frente a frente. Se você se posicionar entre eles da maneira adequada, poderá enxergar-se no primeiro espelho exatamente da maneira como você se encontra diante dele. Você também verá uma outra imagem menor, refletida do segundo espelho no primeiro, e uma imagem ainda menor refletida do primeiro espelho no segundo e de volta para o primeiro, e assim por diante. Já que estamos imaginando, vamos supor que os espelhos não são perfeitos e que uma inspeção minuciosa das imagens mostre que a primeira, maior, é um pouco diferente de você. A segunda, um pouco menor, é um pouco mais diferente, e a seguinte mais diferente ainda. Justamente quando há diferenças suficientes para tornar a comparação das imagens interessante, elas estão tão pequenas que não é mais possível enxergá-las com nitidez. Essas imagens fora de foco são as provas que temos sobre o que mudou, a base para a ciência evolutiva. De vez em quando surge uma imagem especialmente nítida, uma “nova descoberta”. E, no entanto, por mais importantes que sejam, as imagens não são da evolução, mas daquilo que a evolução explica. O progresso na compreensão da evolução humana jamais resultaria de uma inspeção direta do passado. Nossas expectativas são muito mais importantes do que as descobertas capazes de confirmá-las ou rejeitá-las. Não sou o primeiro a dizer que não vemos as coisas como elas são,

mas como nós somos.

A investigação de nosso passado levanta algumas questões filosóficas, pois implica questionar a posição da humanidade na natureza. Levanta também questões de taxonomia, a teoria e a prática de classificar organismos conforme seu grau de parentesco. A taxonomia deve refletir o processo evolutivo — as espécies mais parecidas geralmente são aceitas como mais proximamente aparentadas. Mas neste século aprendemos que semelhança pode ser um indicador enganoso de parentesco. Ao debater quais as características mais importantes para a classificação, tornou-se fácil perder de vista o fato de que a taxonomia não é uma classificação de semelhanças, mas uma genealogia de espécies. Títulos taxonômicos e sua disposição numa árvore genealógica de espécies refletem relações históricas e não semelhanças, assim como os nomes que designam parentesco para humanos (pai, primo) refletem a genealogia das pessoas, e não o quanto eles se parecem. Mas, assim como qualquer produto do pensamento científico (a história evolutiva é, afinal de contas, uma hipótese científica sobre aquilo que acreditamos ter acontecido no passado), a taxonomia é em grande parte um reflexo dos preconceitos e juízos de valor de taxonomistas. E quando o objeto da discussão taxonômica é a humanidade, a taxonomia torna-se uma ferramenta para confirmar a importância de nossa posição e nosso domínio, colocando a humanidade à parte e estabelecendo um tipo de “eles contra nós”. De fato, o valor que atribuímos à singularidade da humanidade tem impedido a compreensão de nossa posição na natureza e de nossa verdadeira relação com as demais espécies do planeta.

“O homem e os macacos” não é apenas uma forma de expressar uma relação taxonômica, mas também uma frase infeliz, que além de discriminatória hoje parece ser excessivamente antropocêntrica. Os grandes macacos (em inglês chamados de *apes* - N. T.) — mais especificamente o gorila e o chimpanzé africanos, o orangotango e o recentemente extinto *Gigantopithecus* do Sul e Sudeste da Ásia — há tempos são tomados como contrapontos evolutivos do homem. Esses primatas são encarados quase como tentativas fracassadas de tornar-se humano, ao serem descritos em termos das características humanas que apresentam, ou das que não possuem. A afirmação “o homem se originou dos macacos” traz uma noção implícita de quão pouco prezamos esses pobres primatas que nunca evoluíram. Considerando que humanos não poderiam ter se originado de macacos vivos, essa frase pode apenas significar que esses grandes primatas são parecidos com nosso ancestral comum (figura 1). Nesse sentido, pressupõe-se que, enquanto a evolução humana caminhou para os níveis atuais, para os grandes macacos a evolução parou antes mesmo que tivesse uma chance de começar. Nós somos os bípedes sem penas, com um grande cérebro no topo de um corpo nu e com mãos livres das obrigações de locomoção, podendo carregar e usar ferramentas e manipular o ambiente.



*Figura 1. A visão darwiniana clássica sobre origem humana*

Os outros, em contraste, possuem braços longos, são bestiais, peludos e habitam as árvores. São a turma do Tarzan, e nunca foram muito longe. Os taxonomistas refletem isso em sua classificação dos grandes primatas: os homínídeos e os pongídeos (ou, caso você prefira a formalidade e o latim, *Hominidae* e *Pongidae* — duas famílias na classificação dos primatas antropóides). Os homínídeos são os humanos e todos os nossos ancestrais desde que nos separamos dos grandes macacos, os pongídeos são os grandes macacos e todos os seus ancestrais desde a separação dos humanos. Assim, por meio dessa classificação óbvia, somos formalmente separados deles — e por que não? Não somos *realmente* diferentes?

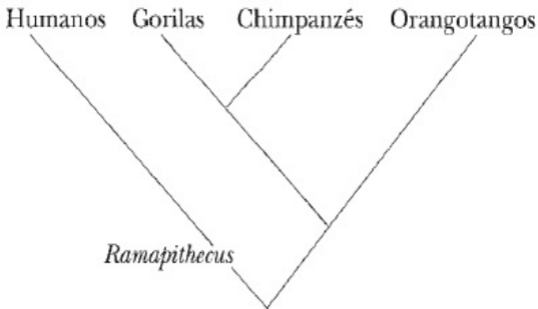
Sabemos que há um hiato entre humanos e macacos, uma série de diferenças consistentes que ajudam a definir nossa condição humana. Algumas dessas diferenças dizem respeito a características unicamente humanas — por exemplo, o bipedalismo (postura ereta, locomoção sobre duas pernas), um grande cérebro e os comportamentos extremamente complexos que ele viabiliza (interações sociais, linguagem, divisão de tarefas), um corpo fraco e nu que torna humanos dependentes de conhecimento e tecnologia, habilidade e astúcia para sobreviver e persistir. Outras diferenças são visíveis nas características comuns aos grandes macacos, e que nós não possuímos. Essas incluem semelhanças de hábitat (muitos vivem nas densas florestas tropicais), semelhanças de tamanho e forma (por exemplo, membros dianteiros muito longos em relação aos traseiros, uma coluna lombar curta), uma estranha mistura de movimentos arbóreos (capacidade de escalar, pender pelos braços, segurar com os pés e de locomoção arbórea de braço após braço chamada de braquiação) e uma adaptação terrestre demonstrando que esses mesmos primatas são capazes de andar de forma bípede ou sobre os quatro membros, apoiando-se no chão tanto sobre os nós dos dedos ou punhos como sobre as palmas das mãos.

Uma vez que a taxonomia à primeira vista é apenas uma forma de exprimir esses fatos de modo formal e sistemático, ela parece ser inquestionável. Mas há um problema. O contraste taxonômico entre homínidos e pongídeos diz respeito à relação entre espécies próximas, que chamamos de grupos irmãos. Essa expressão quer dizer exatamente o que parece: espécies irmãos são grupos proximamente relacionados que partilham um ancestral comum imediato. Você e seu irmão ou irmã são um exemplo de um grupo irmão constituído de indivíduos. Entretanto, você e seu primo não constituem um grupo irmão, pois seu irmão partilha um ancestral comum mais recente com você do que seu primo.

O fato de o ancestral comum do “homem e do macaco” não ter sido humano ou macaco é sabido há muito tempo, apesar de versões populares ainda nos colocarem como descendentes dos macacos (é mais comum esse argumento ser usado para atacar a evolução do que para ensiná-la). Porém, não é esse o problema. O problema vem das pesquisas da última década que mostram que os humanos não são o grupo irmão dos grandes macacos! Boa parte dessa pesquisa é paleontológica. Ela se apoia em grande parte na análise e interpretação de um primata fóssil com cerca de 10 a 14 milhões de anos chamado *Ramapithecus*—um primata que já foi considerado o ancestral direto dos humanos.

A relação entre o *Ramapithecus* e a linhagem humana (figura 2) foi inicialmente determinada a partir de um estudo das características de fragmentos de mandíbulas e dentes descobertos nas colinas de Siwalik, no subcontinente indiano, poucos anos depois do julgamento de Scopes. Quando os primeiros ossos e dentes fósseis do *Ramapithecus* foram encontrados, acreditou-se que eram restos de um ancestral humano, pois se encaixavam na teoria darwiniana sobre a origem dos humanos.

Darwin investigou as quatro características que acreditava serem únicas à humanidade: locomoção bípedal, uso de ferramentas, redução dos dentes caninos e aumento no tamanho do cérebro. Ele afirmou que os primeiros humanos resultaram de uma adaptação para o modo de vida terrestre e de uma mudança para uma dieta baseada em caça, a partir de uma anterior, rica em folhas e frutas. De acordo com sua linha de raciocínio, o uso de ferramentas tornou-se importante na obtenção de carne (foi então que os caninos passaram a se reduzir); o bipedalismo livrou as mãos para carregar e usar ferramentas e armas; e o tipo de aprendizado muito mais complexo que a tecnologia demandava (assim como a necessidade de controle social que ela criou) levou a mudanças no cérebro.



*Figura 2. A classificação convencional*

Os primeiros remanescentes do *Ramapithecus* pareciam ter os pequenos dentes caninos que o modelo de Darwin previa. Eles seriam consequência da substituição da função cortante dos caninos pelo uso de ferramentas, na época em que os humanos estariam se originando. Isso fazia parte de uma relação de *feedback* positivo entre as quatro características humanas fundamentais que Darwin enxergara. À medida que mais restos de *Ramapithecus* foram sendo lentamente encontrados, tentativas foram feitas para mostrar como continuavam a se encaixar nesse modelo darwiniano. Desencadeou-se até mesmo uma busca pelas ferramentas de pedra que esses primeiros homínidos “tinham” que estar fazendo. Muito antes que qualquer osso dos membros do *Ramapithecus* tivesse sido encontrado, afirmou-se que ele era um bípede. Tão grande é a força da teoria sobre as provas, que os vestígios fragmentários do *Ramapithecus* eram “sabidamente” os do primeiro homínido, pois se encaixavam no modelo de Darwin sobre a origem dos homínidos.

Outra importância do *Ramapithecus* foi que ele indicou a antiguidade da linhagem humana. Ancestrais humanos estavam presentes no meio do Mioceno, pelo menos 14 milhões de anos atrás, muito antes de as linhagens dos grandes macacos terem se separado umas das outras. Isso parecia mostrar aquilo que anatomistas comparativos haviam postulado, que os humanos são o grupo irmão de todos os grandes macacos. O que mudou esse conceito foram duas

descobertas — uma de certos fósseis e outra num laboratório de genética —, além da noção de que a taxonomia deve expressar genealogia e não necessariamente similaridade.

Os problemas surgiram quando restos de *Ramapithecus* mais completos foram encontrados. Espécimens mais preservados mostraram que as interpretações anteriores eram equivocadas. O verdadeiro parentesco desse antigo primata asiático não é com humanos, mas com grandes macacos asiáticos, como os orangotangos atuais. De fato havia semelhanças com os humanos, mas quando analisadas num contexto que incluía materiais mais completos ficou evidente para os cientistas que essas semelhanças refletiam a anatomia de um ancestral comum entre todos os grandes macacos e os humanos, e não eram características partilhadas exclusivamente por *Ramapithecus* e humanos devido a uma relação especial entre eles. A questão seria quem divergiu antes. A ideia mais antiga era que humanos divergiram antes e portanto se tornaram o grupo irmão de todas as espécies asiáticas e africanas de grandes macacos. Os fósseis mais completos de *Ramapithecus* indicam que os orangotangos divergiram antes (figura 3) e são o grupo irmão dos grandes macacos africanos (chimpanzês e gorilas) e dos humanos.

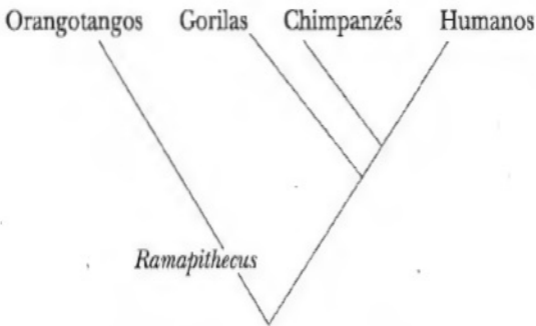


Figura 3. A classificação atual

Provas adicionais sobre o parentesco entre os grandes macacos e os humanos



baseiam-se numa fonte bastante diferente — comparações genéticas entre espécies vivas. Inicialmente, há algumas décadas, relações genéticas eram estimadas a partir de estudos indiretos dos produtos gênicos, tais como proteínas. Essas pesquisas mostraram que os orangotangos eram igualmente aparentados aos grandes macacos africanos e aos humanos; isto é, eles divergiram antes. Essa divergência teria ocorrido na época do *Ramapithecus*, que, portanto, não poderia ser um hominídeo. Como esses resultados entravam em conflito com a interpretação de que o *Ramapithecus* era um hominídeo, muitos paleoantropólogos apostaram nos dados que conheciam melhor e continuaram apoiando a interpretação do *Ramapithecus* como hominídeo, pois acreditavam ser isso que os fósseis mostravam. Antropólogos geneticistas, evidentemente, apostaram na genética, que conheciam melhor, e uma duradoura inimizade teve início. Hoje em dia, tornou-se rotineira a comparação das próprias estruturas do DNA (isto é, a sequência exata de bases numa molécula de DNA) com o intuito de inferir a ordem dos eventos de divergência. Atualmente podemos determinar, com uma confiança razoável, qual par de espécies, dentre um grupo de três, divergiu mais recentemente (ou seja, quais são espécies irmãs).

A surpresa é que a espécie irmã para os humanos não é o grupo de grandes macacos (figura 1), como a taxonomia sugere, e nem mesmo o grupo de grandes macacos africanos (chimpanzé e gorila), como indicado pelos dados genéticos, mas é quase certamente apenas o chimpanzé (figura 3). Para o grupo irmão de humanos e chimpanzês, o parente mais próximo é o gorila. O grande macaco asiático, o orangotango, é um grupo irmão de todas essas três espécies de primatas africanos, um fato coerente com as interpretações paleontológicas.

Portanto, os dados genéticos mostram que o orangotango divergiu da linhagem africana antes. Isso resulta num conjunto de espécies composto por grandes macacos africanos e por humanos. Para indicar esse parentesco, precisamos de um nome especial para esse grupo africano; sugeri *anthropithecine*, da subfamília latina *Anthropithecinae*. Mais tarde, dentre as espécies africanas, o gorila divergiu da linhagem chimpanzé/humana, e mais recentemente chimpanzês e humanos divergiram um do outro.

Geneticistas e paleoantropólogos têm uma história de interpretações conflitantes sobre evolução, conflitos que frequentemente descambaram para afirmações do tipo “minhas provas são melhores do que as suas”. Mas a relação adequada entre essas ciências surge quando uma é usada como um teste independente para as hipóteses geradas pela outra. Usando a genética e a paleoantropologia dessa forma, há algumas previsões que as relações genéticas entre espécies vivas fazem sobre o registro fóssil africano; por exemplo, espera-se que a anatomia do gorila se assemelhe à condição primitiva das espécies africanas. A genética permite também estimar a data de divergência entre humanos e chimpanzês. Quando ocorreu essa separação? Entre 5 e 7 milhões de

anos atrás, estima-se atualmente com base em estudos do DNA mitocondrial. Minha leitura do registro fóssil é que essas previsões podem ser confirmadas.

O que isso significa para nós? Esses detalhes podem parecer pouco relevantes para a questão mais geral sobre como (e por que) os humanos estão relacionados com os primatas. Mas, na prática taxonômica, cada grupo de uma classificação deve ser como a família perfilada na foto de Natal — ninguém deve ficar de fora. Grupos taxonômicos, sejam eles formados pelos membros de sua família ou o grupo de espécies ao qual toda a humanidade pertence, devem ser monofiléticos, incluindo um ancestral e todos os seus descendentes. Caso alguém seja deixado de fora do grupo, ele deixa de ser monofilético, pois não incluiria todos os descendentes de determinado ancestral (um pai ou avô, por exemplo). Deixar de fora algumas ovelhas negras da família pode tornar a foto mais aceitável, mas os taxonomistas não a apreciariam, pois o grupo deixaria de ser natural. Para a família humana, é fácil estabelecer um grupo monofilético — basta incluir todos os humanos vivos. Isso resolve a nossa questão, mas quem mais estará em nossa gangue?

Sabemos quem: os grandes macacos. Mas quando examinamos esse grupo à luz das relações evolutivas que hoje conhecemos, ele não pode ser considerado um grupo monofilético. Não há nenhuma família formada só por grandes macacos, nenhum termo aceitável dentro de um esquema de classificação que se refira a efes, e apenas efes. A exigência de que nenhum membro da família deve ser deixado de fora *significa que os humanos devem ser deixados dentro!* Caso contrário, seria como tirar uma foto de sua família com seus irmãos e irmãs, pais e avós, tias e tios, e todos os seus primos, mas sem você. Nossa posição na natureza, e a verdadeira relação entre humanos e macacos, está agora revelada: para que os grandes macacos sejam um grupo monofilético, os humanos devem ser incluídos junto com eles. Se não há nenhum grupo taxonômico que possa incluir os grandes macacos sem nos incluir, significa que nós somos macacos, em qualquer sentido dessa palavra.

Essa nova perspectiva sobre quem está em nossa gangue traz algum *insight* sobre nós mesmos. Frases como “o macaco nu” já foram largamente usadas, cunhadas devido à visão de descendência dos macacos que predominava acerca da evolução humana. Essa visão foi amplamente refutada, pois se baseava numa percepção incorreta. Descendência dos macacos estava errado pois era a maneira errada de ver nossa relação com os macacos. O fato é que, em termos de relações genealógicas, nós *somos macacos*, se bem que de um tipo muito especial. As origens humanas não nos tornaram o que somos, e não é nossa genealogia que nos torna especiais. Nossos primórdios nos colocaram num rumo que levou a um sucesso extraordinário, inexistente neste planeta antes de nós e, pelo que sabemos, sem semelhante no universo à nossa volta. Se há algo que temos a aprender sobre nós mesmos, a partir de nossa nebulosa pré-história, será

encontrado nos passos dados ao longo desse trajeto, e não no ponto de partida desse caminho.

*MILFORD H. WOLPOFF*, professor de antropologia e pesquisador científico associado adjunto do Museum of Anthropology na University of Michigan em Ann Arbor, é muito conhecido por suas críticas francas à teoria da “Eva”, que sustenta que humanos modernos são uma nova espécie que se originou apenas na África entre 100 e 200 mil anos atrás. Nos últimos catorze anos, o professor Wolpoff vem trabalhando na questão de origens dos humanos modernos com colegas dos Estados Unidos, Austrália e China, descobrindo evidências fósseis que desafiam a existência da Eva. Seus trabalhos e teorias receberam cobertura no *New York Times*, *New Scientist*, *Discover* e *Newsweek*, entre outras publicações. Ele está trabalhando num livro chamado *The Death of Eve*.

## E O INCESTO? - Patrick Bateson

Imputa-se a sir Thomas Beecham, que foi um grande maestro inglês e um homem de opiniões firmes, o seguinte conselho: “Fique longe do incesto e da dança Morris” (dança folclórica inglesa - N. T). Ele provavelmente considerava essas atividades aspectos infelizes da vida camponesa. Até hoje, num esforço vaidoso de recriar uma Inglaterra medieval, homens podem ser vistos durante o verão, nos gramados de vilas inglesas, saltitando e sacudindo bexigas de porco infladas. Outros, em segredo, abusam sexualmente de suas filhas ou irmãs, sem se importar com a época do ano ou se a localização é rural.

O abuso sexual dentro de famílias, sobre o qual o silêncio era ensurdecedor até recentemente, parece ser dolorosamente comum. Isso talvez explique por que as prescrições contra incesto são tão difundidas, presentes em praticamente todas as culturas. De acordo com esse ponto de vista, os tabus do incesto protegem as mulheres dos homens. Entretanto, se esse é o caso, por que as mulheres não são também protegidas de outras formas de violência masculina? A limitação de uma explicação puramente sociológica leva à formulação de um argumento bastante diferente. Os tabus do incesto, sugere-se, são normas de segurança, protegendo as pessoas dos custos biológicos de suas ações. Essa explicação também tem seus problemas, pois a maior parte das pessoas é mal informada sobre as consequências biológicas do endocruzamento. Nas sociedades modernas os custos biológicos em geral são imensamente exagerados, mas os membros de certas sociedades parecem nada saber sobre os efeitos nocivos, apesar das proibições de manter relações sexuais com parentes próximos. Mesmo que seus antepassados soubessem mais do que eles, uma explicação puramente biológica não se aplica satisfatoriamente a muitos dos detalhes dos tabus de incesto.

Se você vir o *Book of Common Prayer*, um livro anglicano, encontrará uma manifestação do tabu. No verso há uma tabela, “Parentesco e afinidade”, “onde quem for mencionado fica proibido pela Igreja anglicana de se casar”. Um homem não pode se casar com sua mãe, irmã, filha e uma série de outros indivíduos com os quais mantêm elos genéticos. Logicamente, o mesmo se aplica para as mulheres e, entre outros, ela não pode se casar com um tio, sobrinho, avô ou neto. Então você dirá: “Viva a biologia!”. Mas a lista continua com as seguintes proibições: um homem não pode se casar com a mãe do pai de sua esposa ou a mulher do filho de sua filha. A cuca funde. Como poderia ser a vida na Idade Média se a Igreja julgava necessário incluir tais proibições? E será que eles viviam tanto tempo, tornando possível sequer pensar nesses casamentos? Mas não vamos nos distrair. O fato é que pelo menos seis dentre os 25 tipos de

relacionamento que impedem casamento não envolvem nenhum elo genético — e muitos outros são ambíguos nesse sentido.

É interessante que a Igreja anglicana não se preocupe com o casamento entre primos de primeiro grau. Outras culturas sim, mas novamente inconsistências marcantes são encontradas. Em muitas culturas, casamentos entre primos de primeiro grau paralelos são proibidos, enquanto casamentos entre primos cruzados não são apenas permitidos mas, em muitos casos, ativamente estimulados. Primos paralelos são aqueles cujos pais são irmãos ou as mães são irmãs. Nos primos cruzados, o pai de um é irmão da mãe do outro. O problema, em relação à explicação biológica dos tabus de incesto, é que primos paralelos e cruzados, tratados de maneira tão diferente pelas regras de muitas culturas, não diferem geneticamente.

Muitos animais fazem um tremendo esforço para evitar o acasalamento com parentes muito próximos. Será que podemos aprender sobre as origens do tabu de incesto pelo que conhecemos da evolução dos mecanismos que evitam endocruzamento em animais? Repare que “incesto”, termo que se refere às proibições verbalmente transmitidas pelos humanos, não deve ser usado para animais. Se isso ocorresse, estaríamos fazendo um exercício fútil de comparação, pois o que queremos investigar é justamente se a inibição de cruzamento nos animais é equivalente à proibição nos humanos. De qualquer forma, em alguns animais, o endocruzamento pode representar um elevado custo quando a espécie teve uma longa história de exocruzamento. Por exemplo, se o macho de um animal altamente móvel como um pássaro for cruzado no laboratório com sua irmã, e seus descendentes de sexo oposto forem cruzados entre si, e assim por diante, durante várias gerações, a linhagem geralmente logo morre. Isso ocorre porque genes ocorrem em duplas, que podem ou não ser iguais entre si. Alguns genes são inofensivos quando pareados com um gene diferente, porém letais quando presentes com um idêntico. Tais genes, conhecidos como letais recessivos, apresentam maior probabilidade de serem pareados com um idêntico quando uma linhagem se torna mais endocruzada.

Fazendo uma breve digressão, esses custos associados ao endocruzamento, que são aqueles com os quais as pessoas normalmente se preocupam, não explicam por que o exocruzamento se originou. A ocorrência de genes letais recessivos é consequência do exocruzamento. Isso ocorre porque o endocruzamento leva os genes a se acumularem imperceptivelmente no genoma, pois os efeitos dos letais são suprimidos pelo gene dominante do par. A necessidade de exocruzamento provavelmente relaciona-se à evolução do sexo. O sexo é no fundo um modo de minimizar infecções e, nesse sentido, é inútil sem exocruzamento. Se um animal pratica endocruzamento, seria melhor para ele se propagar sem o esforço da corte e cópula. A reprodução sexual permite aos organismos detectar parasitas muito mais prontamente do que se ela não

ocorresse, pois o parasita, disfarçado para não ser detectado pelo sistema imune de seu hospedeiro, é rapidamente detectado nos tecidos geneticamente distintos dos filhos do hospedeiro. Sem reprodução sexual nos hospedeiros, mutações genéticas no hospedeiro também tornariam o parasita visível ao seu sistema imune. Porém, os parasitas são capazes de mutar rapidamente e assim acompanhar mudanças no hospedeiro. Uma vez que eles geralmente se reproduzem mais rapidamente do que seus hospedeiros, a fuga do parasitismo é difícil nas espécies sem reprodução sexual.

Membros de muitas espécies preferem parceiros que não sejam parentes muito próximos, como irmãos. Ou, mais especificamente, preferem parceiros que sejam primos de primeiro ou segundo grau. Como sabem quem é seu primo? Um mecanismo, bem estudado em pássaros, funciona da seguinte maneira. Quando as aves são jovens, aprendem sobre seus pais e irmãos, obtendo dessa forma modelos dos parentes. Uma vez adultas, preferem pequenos desvios em relação a esses padrões aprendidos, dessa forma minimizando os efeitos nocivos tanto do endocruzamento como os da reprodução com indivíduos geneticamente diferentes demais. É possível fazer experimentos em que codornas japonesas são criadas com indivíduos não aparentados. Quando elas crescem, preferem indivíduos com aparência ligeiramente diferente daqueles que conheceram quando jovens.

Experimentos naturais, semelhantes aos realizados com as codornas, foram feitos com seres humanos. O caso melhor estudado foi em Taiwan, no século XIX e durante a primeira parte do século XX, quando este estava sob domínio japonês. Os japoneses mantiveram registros detalhados do nascimento, casamento e morte de todos na ilha. Assim como em muitas regiões do Sudeste asiático, os casamentos eram arranjados e aconteciam principalmente, e interessantemente, de duas formas. A forma “para maiores” era a convencional, na qual os parceiros se conheciam quando adolescentes. Na forma mais rara, “de menores”, a futura esposa era adotada ainda jovem pela família de seu futuro marido. Nesse caso, portanto, o casal crescia junto, como se fossem irmãos. Consequentemente, eram tratados como a codorna do experimento, criados com uma pessoa do sexo oposto com quem não eram relacionados geneticamente. Mais adiante em suas vidas, seu interesse sexual pelo parceiro era colocado à prova.

Arthur Wolf, um antropólogo da Stanford University, analisou meticulosamente esses registros japoneses. Quer ele medisse divórcio, infidelidade conjugal ou o número de crianças produzidas, os casamentos “de menores” tinham visivelmente menos “sucesso” do que aqueles entre “maiores”. O jovem casal, tendo crescido junto desde a infância, como irmão e irmã, não se tornam muito interessados sexualmente um pelo outro quando chega o momento de realizar o casamento. Uma vez que muitas explicações vêm sendo oferecidas

para esse fenômeno, Wolf utilizou os dados de forma elegante para discriminar entre as hipóteses, e demonstrou de modo conclusivo que uma importante influência sobre a escolha de parceiros sexuais em humanos são as experiências que ocorrem desde a juventude.

Como esses aspectos do comportamento humano podem nos ajudar a compreender o tabu de incesto e suas diferentes formas, encontradas mundo afora? Para explicar, apresentarei uma especulação originalmente proposta por Edward Westermarck, há um século, no livro *The History of Human Marriage*. Westermarck sugeriu que, quando as pessoas veem outras fazendo coisas que elas mesmo não fariam, tentam detê-las. No passado, canhotos eram temidos e obrigados a adotar hábitos destros, por algo mais do que “para seu próprio bem”. Os gays também tiveram uma vida difícil na maior parte das culturas. Da mesma forma, ele sugeriu, aqueles que cometeram incesto foram discriminados. Pessoas acostumadas a membros do sexo oposto desde a infância não se sentiam muito atraídas por esses indivíduos, e quando encontravam outros que eram, desaprovavam. Não tinha nada a ver com a sociedade não querer cuidar de crianças retardadas que resultaram do endocruzamento, pois em muitos casos não se tinha nenhuma ideia de que o endocruzamento tinha preços biológicos. Tratava-se da supressão de comportamentos anormais e desarmonizadores. Hoje tal conformismo parece severo, apesar de termos muitos exemplos dele em nossas próprias sociedades. Porém, no ambiente em que os humanos evoluíram, a união na hora de agir era tão importante que comportamento rebelde poderia ser nocivo para todos. Não é difícil imaginar por que o conformismo teria se tornado um traço poderoso no comportamento social humano.

A etapa final para explicar a variação nos tabus de incesto é sugerir que pessoas que se conhecem desde pequenas são as que mais provavelmente serão incluídas no tabu. Isso explicaria todos os estranhos vetos de casamento nas regras da Igreja anglicana. A explicação funciona especialmente bem para as sociedades nas quais o casamento entre primos paralelos é proibido, mas o de primos cruzados é favorecido. Nessas culturas, os primos paralelos são normalmente criados juntos, pois irmãos ficam com irmãos e irmãs com irmãs. Os primos cruzados se conhecem muito menos pois irmãos e irmãs normalmente vão morar em lugares diferentes depois do casamento.

Se essas ideias estiverem corretas, uma relação entre biologia e tabus de incesto poderá ser encontrada, mas ela não se baseia na noção simples de que o tabu evoluiu porque evita endocruzamento e minimiza os custos biológicos. Em essência, a proposta é que no decorrer da evolução biológica dois eficientes mecanismos surgiram. Um dizia respeito à obtenção de um balanço adequado entre endocruzamento e exocruzamento na escolha do parceiro sexual. O outro lidava com conformismo social. Quando esses eram unidos, o resultado era a rejeição daqueles que escolhiam parceiros de sua família próxima. Quando

essa reprovação uniu-se a uma linguagem evoluída, surgiram regras verbais que podiam ser transmitidas de geração para geração por tradição oral, e finalmente pela linguagem escrita. A proposta de Westermarck é atraente, pois ela nos ajuda a compreender não só por que os tabus são parecidos, mas também por que diferem.

Sir Thomas Beecham tinha uma visão convencional sobre o incesto. Ele era também convencional como músico, pois ao tocar seguia as partituras rigidamente. Qualquer um que conhecesse o trabalho que ele estava regendo saberia como terminaria. Sugeri que o surgimento dos tabus de incesto em culturas humanas se assemelha mais às formas de jazz em que os músicos improvisam e desenvolvem suas ideias musicais a partir daquilo que os outros acabaram de tocar. A medida que surgem novos temas, a apresentação adquire vida própria e termina num lugar que não poderia ter sido previsto no início. Tanto a censura à escolha de um parceiro sexual conhecido desde os primeiros anos de vida como o conformismo devem ter sido produzidos pela evolução biológica. Coloque-os juntos, e os humanos passam a desaprovar o sexo entre parentes. Junte isso à linguagem, e humanos ganham os tabus de incesto. Poucos processos complicados correm em trilhos.

*PATRICK BATESON* é professor de etologia (o estudo biológico do comportamento) na *University of Cambridge*. E também diretor do *King's College* em Cambridge e membro da *Royal Society*. Teve formação em zoologia e apresenta um interesse antigo na pesquisa sobre o desenvolvimento do comportamento. Seu interesse no tabu do incesto humano surgiu de seu próprio trabalho sobre os efeitos de experiências precoces na escolha de parceiros em aves. É autor de *Measuring Behaviour* (com Paul Martin) e editor de *The Development and Integration of Behaviour*.



## POR QUE ALGUMAS PESSOAS SÃO NEGRAS? - Steve Jones

Todos sabem—não é mesmo? — que muitas pessoas têm a pele negra. Mais ainda, as pessoas negras se concentram em certas regiões — sobretudo na África — e, até as grandes diásporas dos últimos séculos, eram raras na Europa, na Ásia e nas Américas. Por que isso ocorre?

Parece uma pergunta simples. Sem dúvida, se não podemos dar uma resposta simples, há algo de errado com a compreensão que temos de nós mesmos. Mas na realidade não há nenhuma explicação simples para essa marcante característica da humanidade. Sua ausência é reveladora das forças e fraquezas da teoria da evolução e daquilo que a ciência é capaz de dizer sobre o passado.

Qualquer livro de anatomia explica por que as pessoas são diferentes. Os médicos adoram palavras pomposas, especialmente quando se referem a outros médicos que viveram há muito tempo. As pessoas negras têm pele escura, dizem seus livros, pois apresentam uma camada malpighia - na característica. Trata-se de uma camada da pele que recebeu o nome do anatomista italiano Malpighii, que viveu no século XVII. Ela contém muitas células chamadas *melanócitos*. Dentro destas há um pigmento escuro chamado melanina. Quanto mais houver, mais escura a pele. Malpighii descobriu que a pele africana tinha mais melanina do que a de europeus. A questão parecia resolvida.

Esse é um exemplo daquilo que às vezes chamo de “explicação Piccadilly”. Uma das principais ruas de Londres chama-se Piccadilly — uma palavra estranhamente não inglesa. Tenho um livro divertido que explica como as ruas londrinas ganharam seus nomes. O que ele tem a dizer sobre Piccadilly resume as fraquezas de explicações que, assim como a dos anatomistas, simplesmente são uma descrição mais detalhada do problema. A rua recebe seu nome, diz o livro, dos alfaiates que certa vez moraram lá e faziam colarinhos altos chamados de *piccadills*. Tudo bem; mas certamente isso deixa a pergunta interessante sem resposta. Por que um colarinho teria sido chamado de *piccadill*? Não é uma palavra óbvia para uma peça do vestuário do dia-a-dia. Quanto a isso, porém, meu livro, lamentavelmente, nada revela.

A explicação de Malpighii pode ser suficiente para médicos, mas não satisfaz uma pessoa curiosa. Ela responde à pergunta *como*, mas não ao mais interessante — *por que* a pele africana possui mais melanina.

Uma vez que os pais, avós e — presumivelmente — ancestrais distantes das pessoas negras são negros, e aqueles dos brancos são brancos, a solução deve estar no passado. E essa é uma dificuldade para o método científico. É impossível verificar exatamente o que estava acontecendo quando os primeiros negros ou os primeiros brancos apareceram na Terra. Ao contrário, dependemos de provas

indiretas.

Há uma teoria que é, pelos menos, simples e consistente. Chegou-se nela repetidas vezes. Depende somente de crença; e, se há crença, a questão de provas não surge. Por isso, essa teoria fica de fora da ciência.

Ela diz que cada grupo teria sido criado separadamente por ação divina. A versão judaico-cristã diz que Adão e Eva foram criados no jardim do Éden. Depois, houve um gigantesco dilúvio; apenas um casal, os Noé, sobreviveu. Eles tinham filhos: Cam, Sem e Jafé. Cada um originou um ramo distinto da raça humana. De Sem vieram os semitas, por exemplo. Os filhos de Cam tinham pele escura. Deles surgiram os povos da África. Isso, para muitas pessoas, é o suficiente para explicar a pergunta proposta neste ensaio.

A história de Noé é apenas uma afirmação histórica um tanto tosca. Alguns mitos da criação se aproximam mais da ciência. Eles buscam explicar por que as pessoas são diferentes. Uma versão africana diz que Deus criou homens a partir da argila, soprando vida em sua criação depois que ela fora assada. Só os africanos foram totalmente assados — e ficaram pretos. Os europeus não foram concluídos e ficaram com um tom róseo lamacento, pouco satisfatório.

O problema com essas ideias é que elas não podem ser refutadas. Recebo muitas cartas de pessoas que acreditam apaixonadamente que a vida, com toda a sua diversidade, apareceu na Terra há apenas alguns milhares de anos como resultado direto da intervenção de Deus. Não há nada que possa convencê-las de algo diferente. Se provarmos que havia dinossauros milhões de anos antes dos humanos, aparecem com “pegadas” em pedras mostrando, dizem elas, que homens e dinossauros viveram juntos como amigos. Elas são tão convictas de sua verdade que insistem para suas opiniões aparecerem nos livros didáticos.

Se qualquer prova, seja lá qual for, só pode ser interpretada como apoio a uma teoria, então não vale a pena entrar numa discussão. Aliás, se a crença na teoria for forte o suficiente, nem vale a pena buscar provas. A certeza é o que bloqueou a ciência por séculos. Os cientistas são, no mínimo, pessoas com incertezas. Suas ideias precisam ser constantemente testadas à luz de novos conhecimentos. Se falharem nessa prova, são rejeitadas.

Hoje, nenhum biólogo acredita que os seres humanos foram criados num ato milagroso. Todos estão convencidos de que eles evoluíram a partir de formas de vida anteriores. Apesar de as provas da ocorrência da evolução serem fortíssimas, ainda há muito espaço para as controvérsias sobre como ela ocorreu. Em nenhum lugar isso fica tão claro quanto no debate sobre a cor da pele.

A biologia evolutiva moderna começou no século XIX, com o biólogo inglês Charles Darwin. Ele formou suas ideias depois de ter estudado geologia. Em sua época, muitas pessoas acreditavam que grandes formações, tais como montanhas ou vales profundos, só poderiam se originar por súbitas catástrofes, como terremotos ou erupções vulcânicas. Seria pouco provável que fossem vistas

por cientistas, por serem tão raras. Mas Darwin percebeu que, dado um tempo suficiente, até mesmo um pequeno riacho é capaz de esculpir um cânion profundo, desgastando lentamente as rochas. O presente, ele disse, é a chave para o passado. Olhando o que acontece na paisagem de hoje, é possível inferir os eventos de milhões de anos atrás. Da mesma forma, o estudo de seres vivos pode mostrar o que aconteceu na evolução.

Em *A origem das espécies*, publicado em 1859, Darwin propôs um mecanismo pelo qual novas formas de vida poderiam evoluir. Descendência com modificação, como ele o chamou, é uma maquinaria simples, constituída de duas partes principais.

Uma gera diversidade, que é herdada. Hoje, esse processo é conhecido como mutação. A cada geração há uma chance, pequena porém perceptível, de ocorrer um erro, quando genes são copiados para fazer espermatozoides e óvulos. Às vezes vemos os resultados da mutação na cor da pele; uma pessoa em cerca de mil é albina, completamente desprovida de pigmento para a pele. Os albinos são encontrados em todo o mundo, inclusive na África. Eles descendem de espermatozoides ou óvulos que tiveram seus genes para pigmento danificados.

A segunda parte da maquinaria é um filtro. Ele separa as mutações que são boas para lidar com os desafios ambientais daquelas que não são. A maioria das mutações — o albinismo, por exemplo — são prejudiciais. As pessoas que portam o gene mutante têm menos chance de sobreviver e ter filhos do que aquelas que não o carregam. Tais mutações desaparecem rapidamente. Às vezes, porém, aparece uma que é melhor para lidar com as adversidades da vida do que as anteriores. Talvez o ambiente tenha mudado, ou o gene alterado simplesmente desempenhe sua função melhor. Aqueles que o herdam têm mais chance de sobreviver; eles têm mais filhos e o gene se torna mais comum. Graças a esse mecanismo simples, a população evoluiu por seleção natural. A evolução, imaginou Darwin, era uma série de erros bem-sucedidos.

Se a máquina de Darwin funcionasse por bastante tempo, então novas formas de vida — novas espécies — apareceriam. Dado tempo suficiente, toda a diversidade da vida poderia emergir a partir de ancestrais simples. Não havia necessidade de invocar eventos remotos e únicos (como um único evento de criação) que não poderiam ser estudados ou reproduzidos. Ao invés disso, o próprio mundo vivo era a prova de que a evolução acontecia.

O que a máquina de Darwin tem a nos dizer sobre a cor de pele? Como acontece com frequência na biologia, o que temos é uma série de pistas intrigantes, ao invés de uma explicação completa.

Há vários tipos de prova sobre como as coisas evoluem. A melhor vem dos fósseis: os remanescentes de épocas remotas. Estes contêm em si mesmos informação sobre sua idade. A composição química de ossos (ou das pedras nas quais foram transformados) muda com o tempo. As moléculas se degradam

numa taxa conhecida, e certas substâncias mudam de uma forma para outra. Isso nos dá uma dica sobre quando o dono original daqueles ossos morreu. Pode ser possível reconstruir a história de uma família de criaturas extintas a partir das mudanças que vemos à medida que novos fósseis sucedem os antigos.

O registro fóssil humano não é bom — é muito pior, por exemplo, do que o dos cavalos. Apesar das imensas lacunas, restou o suficiente para deixar claro que criaturas não muito diferentes de nós surgiram pela primeira vez há cerca de 150 mil anos. Muito antes disso, havia animais simiescos com feições claramente humanas, mas que não seriam incluídos em nossa própria espécie se estivessem vivos hoje. Ninguém traçou uma linha ininterrupta entre esses animais extintos e nós. Porém, as evidências mostrando que criaturas antigas se transformaram nos seres humanos modernos são fortíssimas.

Como não há peles humanas fossilizadas, os fósseis não dizem nada diretamente sobre a cor da pele. Mas mostram que os primeiros seres humanos modernos surgiram na África. Os africanos atuais são negros. Talvez, portanto, a pele negra tenha se originado antes da branca. As partes do mundo onde as pessoas têm pele clara — no norte da Europa, por exemplo — não foram povoadas até cerca de 100 mil anos atrás, de modo que a pele branca evoluiu rapidamente.

Darwin propôs outra forma de inferir o que ocorreu no passado: comparar seres vivos atuais. Se duas espécies possuem anatomia semelhante, elas provavelmente se separaram de seu ancestral comum há menos tempo do que outra que apresenta um padrão corporal diferente. Às vezes é possível adivinhar qual a estrutura corporal de uma criatura extinta observando seus descendentes vivos.

Essa abordagem pode ser aplicada não apenas aos ossos, mas também a moléculas, como o DNA. Muitos biólogos acreditam que o DNA evolui sob uma taxa constante: a cada geração uma fração pequena mas previsível de suas subunidades muda de uma forma para outra. Se isso for verdadeiro (e muitas vezes é), então contar as mudanças entre duas espécies indica quanto elas são relacionadas. Mais ainda, se elas partilham um ancestral que foi datado usando fósseis, é possível usar o DNA como um “relógio molecular”, medindo a velocidade da evolução. A velocidade com a qual esse relógio caminha pode então ser usada para calcular quando outras espécies se separaram, baseando-se na comparação de seu DNA, mesmo quando não há fósseis disponíveis.

Chimpanzés e gorilas parecem ser nossos parentes, com base em seu plano corporal. Seus genes sugerem a mesma coisa. De fato, cada um partilha 98% de seu DNA conosco, mostrando que nos separamos recentemente. O relógio sugere que a separação se deu há cerca de 6 milhões de anos. Tanto o chimpanzé quanto o gorila têm pele negra. Isso também sugere que os primeiros humanos eram negros e que a pele branca evoluiu posteriormente.

Porém, não explica porque a pele branca evoluiu. A única dica que vem dos fósseis e dos chimpanzés é que a mudança se deu quando os humanos se afastaram dos trópicos. Somos, sem dúvida, animais essencialmente tropicais. E muito mais difícil para homens e mulheres lidar com o frio do que com o calor. Talvez o clima tenha algo a ver com a cor da pele.

Para checar essa ideia precisamos, como fez Darwin, observar seres vivos. Por que a pele negra haveria de ser favorecida em lugares quentes e ensolarados e a branca onde é frio e nebuloso? É fácil inventar teorias, algumas das quais parecem bem convincentes. Mas é muito mais difícil testá-las.

A ideia mais óbvia é errada. E que a pele negra protege do calor. Qualquer pessoa que sentar num banco de ferro preto num dia ensolarado logo descobrirá que objetos escuros se aquecem mais do que os brancos, quando expostos ao sol. Isso é porque eles absorvem mais energia solar. O sol controla a vida de muitas criaturas. Lagartos ficam indo e vindo, entre o sol e a sombra. Se eles se afastarem mais de dois metros do abrigo, num dia quente no deserto californiano, morrem de insolação antes que consigam voltar. As savanas africanas são lugares mortos ao meio-dia, quando a maior parte dos animais está escondida na sombra, sem conseguir enfrentar o sol. Em muitas espécies de animais, as populações que habitam lugares quentes são mais claras — e não mais escuras — para reduzir a absorção de energia solar.

As pessoas também acham difícil aguentar o sol forte — os negros mais do que brancos. A pele negra não protege aqueles que a possuem do calor do sol. Pelo contrário, ela agrava o problema.

Porém, com um pouco de criatividade, é possível mexer um pouco na teoria para que ela encaixe bem. Talvez seja bom ter pele escura no frio da alvorada africana, quando as pessoas começam a se esquentar depois de uma noite de sono. No braseiro do meio-dia, sempre é possível procurar abrigo embaixo de uma árvore.

Os raios do sol são poderosos. Eles danificam a pele. A melanina ajuda a combater isso. Um dos primeiros indícios de lesão é um bronzeado pouco saudável. A pele está depositando uma camada do pigmento melanina, numa emergência. Aqueles com pele clara têm um risco muito maior de câncer de pele do que os de pele escura. A doença atinge seu ápice em Queensland, na Austrália, onde pessoas claras se expõem ao sol forte deitando na praia.

Com certeza, é por isso que a pele escura é comum em lugares ensolarados — mas, novamente, um pouco de reflexão mostra que não é bem assim. O melanoma maligno, o câncer de pele mais perigoso, pode ser uma doença atroz, mas é um mal de pessoas de meia-idade. Mata suas vítimas depois de elas terem passado seus genes de cor de pele para os filhos. A seleção natural é muito mais eficaz quando atua precocemente na vida. Se as crianças não passarem pela prova de sobrevivência, então seus genes somem junto com elas. A morte de

uma pessoa velha é irrelevante, pois seus genes (para cor de pele ou qualquer outra coisa) já foram passados para a próxima geração.

A pele pode ser vista como um órgão, capaz de muitas coisas surpreendentes. Uma delas é a síntese de vitamina D. Sem isso, as crianças sofrem de raquitismo: ossos fracos e flexíveis. Obtemos a maior parte das vitaminas (substâncias químicas essenciais, necessárias em minúsculas quantias) a partir da comida. A vitamina D é diferente. Pode ser feita na pele a partir da ação da luz solar numa substância química que está naturalmente presente em nosso corpo. Para fazer isso, o sol precisa entrar no corpo. Consequentemente, pessoas negras expostas ao sol produzem muito menos vitamina D do que aquelas com pele clara. A vitamina D é especialmente importante para crianças, que é a razão pela qual os bebês (africanos ou europeus) são mais claros do que os adultos.

Portanto, parece que os genes para pele relativamente clara foram favorecidos durante a saída da África para as nuvens e chuvas do norte. Talvez isso explique por que europeus são brancos — mas será que revela por que africanos são negros? Um excesso de vitamina D é perigoso (como descobrem as pessoas que tomam pílulas de vitamina). Porém, nem mesmo a pele mais alva consegue produzir o suficiente para causar mal. O papel da pele escura não é proteger contra excesso de vitamina D.

Porém, talvez seja importante para preservar outras vitaminas. O sangue viaja ao redor do corpo em alguns minutos. Em seu caminho, passa perto da superfície da pele através de vasos sanguíneos estreitos. Neles, está exposto aos efeitos nocivos do sol. Os raios destroem vitaminas — de modo tal que uma pessoa clara, bronzando-se com entusiasmo, corre o risco de deficiência vitamínica. Pior ainda, a luz solar que penetra danifica anticorpos, as proteínas de defesa feitas pelo sistema imunológico. Na África, onde infecções são comuns e, às vezes, a comida é escassa, o balanço vitamínico e o sistema imunológico já estão sob estresse. O fardo imposto pela luz solar pode ser o suficiente para levar a pessoa da saúde para a doença. O pigmento de pele escura pode ser essencial para a sobrevivência. Ninguém nunca mostrou diretamente se isso é verdade.

Há várias outras teorias explicando por que há pessoas negras. Para um africano fugindo do sol sob uma árvore, a pele escura é uma camuflagem perfeita. O interesse sexual pode até ter algo a ver com a evolução da cor da pele. Se, por alguma razão, as pessoas escolhem seu parceiro com base na cor da pele, então os genes mais atraentes serão passados adiante de forma mais eficaz. Uma preferência ligeira (e talvez completamente acidental) por pele escura na África e por pele clara na Europa seria o suficiente para explicar as diferenças. Esse tipo de coisa com certeza ocorre com pavões — nos quais as fêmeas preferem machos com caudas intensamente desenhadas —, mas não há nenhuma prova de que isso acontece em humanos.

O acaso pode também ser importante de outra maneira. Provavelmente

poucas pessoas saíram da África há cerca de 100 mil anos. Se, por acaso, algumas levaram genes para pele relativamente clara, então parte da diferença entre a aparência de africanos e seus descendentes no norte decorre do mero acaso. Há uma aldeia de índios na América do Norte onde os albinos são comuns. Por mero acaso, uma das poucas pessoas que há muito tempo fundou a comunidade possuía a mutação albina, que continua abundante lá.

Toda essa aparente confusão mostra como é difícil para a ciência reconstruir a história. A ciência deveria ser algo capaz de testar e, talvez, refutar hipóteses. Como vimos, não faltam ideias sobre por que há diferenças na cor de pele das pessoas. Talvez nenhuma das teorias esteja certa; ou talvez uma, duas ou todas estejam. Seja lá o que foi que originou diferenças na cor de pele em diferentes regiões do mundo, aconteceu há muito tempo, e portanto ninguém pode verificar diretamente o que aconteceu.

Mas a ciência nem sempre requer provas experimentais diretas. Uma série de dicas indiretas pode ser quase tão boa. As dicas de que os humanos evoluíram a partir de ancestrais mais simples e são aparentados a outros seres que vivem hoje são tão convincentes que é impossível ignorá-las. Por enquanto, faltam fatos e sobram opiniões, para que possamos ter certeza sobre todos os detalhes de nosso próprio passado evolutivo. Porém, a história do estudo da evolução me deixa confiante que, algum dia, as diversas dicas delineadas neste ensaio de repente se transformarão numa prova convincente sobre exatamente por que algumas pessoas são negras e outras brancas.

STEVE JONES é biólogo e professor de genética no University College, Londres, e chefe do departamento de genética e biometria no Galton Laboratory na UCLA. Seus interesses de pesquisa são a genética do processo evolutivo em animais, desde moscas-de-frutas até seres humanos. Grande parte de seu trabalho de campo foi sobre a genética ecológica de caramujos, mas também publicou muitos trabalhos sobre genética humana e evolução. Esteve especialmente envolvido em análises matemáticas dos padrões de mudanças genéticas nos seres humanos modernos, em relação a flutuações nos tamanhos populacionais, mas também publicou muitos artigos sobre as implicações genéticas do registro fóssil humano e a natureza biológica da raça humana.

O professor Jones contribui regularmente para a sessão “News and views” do periódico *Nature* e para os programas de rádio da BBC sobre ciência, na Radio 4 e no World Service. É autor de *The Language of the Genes* e co-editor (com Robert Martin e David Pilbeam) da *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution*.

É um traço humano comum aceitar o que é familiar como certo. Tome, por exemplo, a extraordinária diversidade de mamíferos que hoje habita o planeta. As florestas, os prados, os oceanos, até os céus foram colonizados e de certa forma conquistados por espécies de mamíferos. Há tantos mamíferos, e eles são tão dominantes, que há tempos os geólogos referem-se à era geológica atual como a Era dos Mamíferos. E, no entanto, a assim chamada Era dos Mamíferos tem sido a ordem reinante das coisas por apenas uma breve fração da existência da vida nesta Terra. De fato, o registro fóssil nos diz que os mamíferos estiveram aqui por 250 milhões de anos, mas dominantes apenas nos últimos 50 milhões desse longo período. Talvez devêssemos nos perguntar: por que a Era dos Mamíferos tem duração curta, e não mais longa, e por que os mamíferos (inclusive os seres humanos) agora dominam a Terra?

Como bons mamíferos, há tempos somos doutrinados pela noção um tanto chauvinista de que os mamíferos são os membros dominantes da fauna terrestre por sua superioridade em relação às outras classes de vertebrados terrestres — aves, répteis e anfíbios. As aves são claramente as soberanas dos céus, mas há poucas que sejam puramente terrestres. Répteis e anfíbios são raros, em comparação com mamíferos, na maioria dos habitats terrestres. A maior parte dos cientistas concorda que as “qualidades mamíferas” que dão grande superioridade competitiva aos mamíferos são o metabolismo de sangue quente, um cérebro altamente desenvolvido, um bom casaco de pele para enfrentar invernos frios e o cuidado que os pais têm com os jovens.

Quando estava na escola, a história da ascensão dos mamíferos dizia mais ou menos o seguinte: as primeiras criaturas com coluna vertebral se arrastaram para fora do mar (ou dos lagos, rios e charcos) há cerca de 400 milhões de anos. Esses primeiros pioneiros terrestres eram anfíbios. Eles, por sua vez, foram os ancestrais evolutivos dos répteis, que se distinguiram pela capacidade de botar ovos e de se desenvolver desde jovens até adultos num ambiente completamente terrestre, além de apresentarem mudanças na arquitetura do esqueleto, em relação ao desenho anfíbio original. Dessas mudanças surgiram os primeiros mamíferos verdadeiros, há cerca de 225 milhões de anos. Os primeiros mamíferos, entretanto, não dominaram a Terra imediatamente, mas tiveram que fazer um longo estágio com os soberanos terrestres de então, os dinossauros. Finalmente, a qualidade atingiu seu ápice, e os dinossauros tornaram-se obsoletos; devido às forças de mudanças climáticas e aos ataques por hordas de pequenos mamíferos comedores de ovos, os dinossauros se extinguíram, tendo como pano de fundo copiosas explosões vulcânicas. Nesse cenário, os dinossauros tiveram a



generosidade de passar a administração dos continentes para seres melhor adaptados à vida terrestre. Portanto, os mamíferos hoje controlam a Terra pois são inerentemente superiores do ponto de vista fisiológico e ecológico. Essa, pelo menos, é a história.

Mas reexaminemos esse cenário, por meio de um “exercício de imaginação” paleontológico. “Exercícios de imaginação” são há tempos um dos exercícios prediletos dos físicos; Albert Einstein os adorava. Em nosso exercício de imaginação paleontológico, vamos nos divertir tanto quanto qualquer físico; vamos reintroduzir dinossauros na Califórnia.

A beleza dos exercícios de imaginação é que não precisamos nos preocupar com o orçamento, portanto não vamos poupar recursos. Façamos uma gigantesca cerca ao redor do condado de Mendocino, na Califórnia. Agora, vamos introduzir uma fauna de dinossauros de 70 milhões de anos, ou do Cretáceo superior, nesse parque. (Vamos chamá-lo de Cretaceous park?) Em nosso parque temos grandes dinossauros, como tricerátops, vários dinossauros de bico-de-pato, alguns saurópodos de pescoço longo (mas como eles tinham quase desaparecido no fim do Cretáceo temos apenas alguns), vários dinossauros pequenos com nomes impronunciáveis que sempre esqueço e, é claro, alguns grandes carnívoros como o inevitável T rex. Como o condado de Mendocino tem algumas florestas do Cretáceo superior ainda intactas (as sequoias são fósseis vivos, que existem desde a época dos dinossauros), haveria bastante comida familiar para nossos dinossauros herbívoros; não é só possível mas também provável que nossos novos imigrantes californianos não apenas sobreviveriam, mas proliferariam.

Mas nosso parque não é povoado apenas por dinossauros; vamos também deixar as populações nativas de mamíferos, como veados, alces, porcos-espinhos, lince e uma ou duas suçuaranas. Agora vamos nos afastar por 10 mil anos e deixar essa mistura da Era dos Répteis e da Era dos Mamíferos se virar. Quais espécies encontraríamos ao voltar? Venceriam os mamíferos, com seu cuidado parental e sangue quente, levando os dinossauros à extinção numa competição por território e comida? Ou os dinossauros conseguiriam aguentar? Poderia sobrar uma estranha e maravilhosa combinação entre mamíferos e dinossauros? Meu palpite é que os dinossauros não só teriam êxito em competir com os mamíferos por território e alimento, mas poderiam aniquilar a maior parte dos grandes mamíferos, ao longo do tempo. Talvez nossos dinossauros de Mendocino até escapassem de sua prisão californiana e, como os californianos de hoje, se mudassem para lugares mais “habitáveis” como Seattle ou Pittsburgh, até finalmente dominarem a Terra de novo. Michael Crichton pode estar certo: é melhor mantermos os malditos bichos longe do continente, a qualquer custo.

Agora vamos repetir nosso experimento imaginário mais cem vezes. Seria o conjunto de animais vivos no fim de cada experimento sempre o mesmo? O

experimento se repetiria a cada rodada? Acho muito pouco provável. Assim como a história humana, a história da vida é aparentemente suscetível a influências ou efeitos sutis, que se amplificam em mudanças gigantescas com o passar do tempo.

Então por que os dinossauros não estão mais por aqui, se eram tão bem adaptados? A resposta é que o acaso, e não o determinismo, regeu o desenrolar da evolução. A morte dos dinossauros talvez seja o melhor exemplo. Há 65 milhões de anos a Terra foi atingida por um asteroide enorme, que deixou uma cratera de mais de trezentos quilômetros de diâmetro na região de Yucatán, no México. A chance de ser atingido por um corpo celeste dessas proporções é absolutamente ínfima — mas o fato é que fomos atingidos. Os dinossauros tinham se virado bem durante os 100 milhões de anos anteriores à colisão do asteroide. A gigantesca catástrofe removeu com eficiência todos os dinossauros e abriu o caminho para a evolução da atual Era dos Mamíferos. Se o impacto desse asteroide não tivesse acontecido, certamente não veríamos os animais e plantas da Terra que existem hoje, e há uma boa chance de que os animais dominantes ainda seriam os dinossauros. E, se isso fosse o caso, teria nossa espécie evoluído? Creio que não.

O papel do acaso na história da vida pode também ter afetado a evolução da cultura humana. No verão de 1993, uma descoberta surpreendente foi feita na Groenlândia. Análises de massas de gelo mostraram que os últimos 10 mil anos foram uma época de relativamente pouca mudança climática na Terra. Antes desse longo período de estabilidade climática, a Terra havia sofrido mudanças rápidas e súbitas, levando a glaciações bruscas, seguidas por períodos mais mornos. Mudanças globais na temperatura de até dez ou quinze graus podem ter ocorrido em intervalos de décadas, e não de milênios, como se acreditava antes. Alguns cientistas (inclusive eu) agora desconfiam que a ascensão da agricultura e da civilização humana é em grande parte o resultado do período de estabilidade climática que estamos experimentando. Nossa espécie esteve na Terra por mais de 100 mil anos, mas apenas nos últimos 5 mil dominamos a agricultura e construímos cidades. O que estávamos fazendo durante os outros 95 mil anos? Éramos iguais aos outros animais, não muito intimidados diante de colossais dinossauros, porém escravos das drásticas oscilações climáticas? Mais uma vez o acaso, na forma de um raro período de estabilidade climática, afetou a história da vida neste planeta.

Nossa espécie, agora tão numerosa e aumentando a cada dia, certamente afetará a biota de nosso planeta tão severamente quanto o grande asteroide que eliminou os dinossauros. Nós, humanos, somos sem dúvida um resultado do acaso, que certamente trará um fim à Era dos Mamíferos como a conhecemos. A ironia dessa situação toda é que parece que, quando Deus entrou na Era dos Mamíferos, deu-se mal.

PETER DOUGLAS WARD é professor de ciências geológicas e de zoologia, curador de paleontologia e presidente dos setores de geologia e paleontologia no Burke Museum, University of Washington em Seattle. É professor adjunto no California Institute of Technology em Pasadena.

Sua carreira científica tem sido um tanto esquizofrênica, dividida entre estudos do registro fóssil e pesquisas sobre a natureza das comunidades marinhas atuais. Desde que recebeu seu PhD, em 1976, Ward publicou mais de oitenta artigos científicos sobre esses assuntos. Atualmente, preside um grupo internacional sobre a extinção do Cretáceo-terciário e foi editor do recentemente publicado *Global Catastrophes in Earth History*, patrocinado pela National Academy of Science e pela NASA. Ele é conselheiro do Lunar and Planetary Institute (NASA) sobre extinção no registro geológico. Foi eleito membro da California Academy of Science em 1984 e indicado para a Schuchert Medal, oferecida pela Paleontological Society. Foi recentemente eleito conselheiro sênior na Paleontological Society e está participando da criação de um novo museu de história natural em Seattle, Washington.

Ward escreveu cinco livros, incluindo *In Search of Nautilus*, *On Methuselah's Trail*, *The End of Evolution*—os dois últimos foram indicados para o Los Angeles Times Book Prize (categoria de ciência). *On Methuselah's Trail* também recebeu o Golden Trilobite Award da Paleontological Society como melhor livro de divulgação de 1992.

O reverendo John Mather (escrevendo em 1636) e o Homem-Aranha (falando em 1994) discordariam. Mather se referia à sodomia como “imundície não natural”, enquanto o Homem-Aranha exclama que “a natureza prova que Deus nunca quis que todos fôssemos iguais”. Ambos recorrem à biologia para justificar uma crença sobre como os seres humanos devem ser. Mather julgava um comportamento não natural com severidade, sugerindo que a sodomia fosse considerada crime capital. Um pouco mais simpático à difícil situação dos mutantes de histórias em quadrinhos, detestados e temidos por pessoas normais, o Homem-Aranha usa a natureza para explicar a normalidade das diferenças humanas. Implícita e explicitamente, os dois usam e confundem dois conceitos básicos da biologia e da medicina — o normal e o natural.

Do ponto de vista de um evolucionista, a reprodução é o que está na base da evolução. Então, sob uma ótica evolutiva, o que poderia ser menos valioso, mais não natural, do que uniões sexuais incompatíveis com a geração de descendentes? Como será possível que na última metade do século XX biólogos comportamentais tenham documentado vários casos de animais onde ocorre união sexual entre membros do mesmo sexo? O respeitado biólogo comportamental Frank Beach detalhou a frequência de cópulas macho-macho e fêmea-fêmea. Nos mamíferos, tal comportamento ocorre em pelo menos treze espécies diferentes, vindas de até cinco ordens taxonômicas distintas. Às vezes, no mundo animal, interações entre membros do mesmo sexo desempenham funções sociais que não estão ligadas à reprodução. Se expandíssemos nossa definição de normalidade além da questão reprodutiva, facilmente consideraríamos tais interações naturais.

Além do mais, às vezes a cópula entre animais do mesmo sexo está ligada à reprodução. Há uma raça de lagartos no Sudoeste americano que é exclusivamente feminina. Elas se reproduzem partenogeneticamente — a fêmea produz um ovo que consegue manter ou restaurar o número de cromossomos adequado e dar a largada ao processo de desenvolvimento embrionário sem a ajuda de um espermatozoide. O biólogo David Crews notou — com algo mais do que uma ligeira surpresa — que essas fêmeas copulavam. Uma fêmea mudava de cor para tornar-se mais parecida com machos de populações heterossexuais e montava as outras. Ao invés de inserir um pênis, entretanto, elas esfregavam suas cloacas. A seguir, a fêmea que fora montada botava ovos — muito mais do que se não tivesse copulado. Após certo tempo, a fêmea que havia montado as outras perdia suas características masculinas, seu ovário desenvolvia óvulos prontos para ovular, e ela então poderia ser montada por uma fêmea “macho” que já

tivesse botado todos os seus ovos maduros. Crews havia mostrado em consideráveis detalhes como esse comportamento homossexual incrementa o sucesso reprodutivo ao aumentar a postura de ovos.

Para que discutir lagartos homossexuais? Não estou argumentando que a homossexualidade humana tenha se originado da animal (embora isso seja possível), tampouco estou propondo que contatos entre seres humanos do mesmo sexo sejam apenas impulsos animais inatos. Meu objetivo é muito mais simples: como a homossexualidade ocorre no mundo biológico sob diferentes circunstâncias, não é possível usar a natureza para argumentar que ela não é natural. Se é a natureza que define o que é natural, a homossexualidade e a heterossexualidade são igualmente lícitas.

Podemos anotar um a zero para o Homem-Aranha, mas a batalha não terminou. Se John Mather estivesse conosco hoje, ele poderia se defender. “Não natural”, ele opinaria, “era apenas uma maneira de dizer anormal, no século XVII.” O que ele realmente queria dizer é que, com ou sem exemplos animais, a homossexualidade é um comportamento anormal. Agora demos um pulo para longe de argumentos baseados em simples exemplificação — os animais fazem ou não fazem — e mergulhamos em dois tipos diferentes de argumentação, uma moral e a outra estatística.

A argumentação moral inevitavelmente apela a Deus ou alguma entidade mais elevada. Mather poderia argumentar que Deus nunca quis que os seres humanos praticassem sexo sem finalidade reprodutiva, e definiria como padrão moral as relações sexuais voltadas para a geração de crianças. Outros comportamentos seriam anormais aos olhos de Deus. Com essa mudança na argumentação, a natureza e o natural tornam-se irrelevantes. O Homem-Aranha pode apenas retrucar com um contra-argumento sobre o que Deus queria que a natureza nos mostrasse. Quando o debate é colocado nesse território moral, é claro que trocamos argumentos científicos pelos teológicos. E argumentos teológicos se complicam quando buscam justificativas no mundo natural. Pelo contrário, devem embasar-se na crença, que só pode ser corroborada pela fé.

Nesse contexto, lagartos homossexuais são claramente irrelevantes.

Ao passo que biólogos e cientistas da área médica raramente se referem a um fenômeno como não natural, podem tratá-lo como anormal sem maiores problemas. Ao fazê-lo, saem de uma discussão sobre presença/ausência para uma estatística. Considere a característica herdável chamada de polidactilia. Ela ocorre raramente em populações humanas e causa o nascimento de uma criança com mais do que os dez dedos habituais nas mãos e nos pés. Os médicos a consideram anormal — a criança normal tendo vinte dígitos. Frequentemente, o médico removerá cirurgicamente um ou dois dos dedos sobressalentes da criança, para que ela se pareça e se sinta “normal” (aí está, mais uma vez, essa palavra problemática).

A polidactilia é natural, pois é conhecida na natureza, mas é estatisticamente pouco habitual. Se você tomasse uma amostra de 1 milhão de crianças recém-nascidas e contasse seus dedos, descobriria que a esmagadora maioria possui um total de vinte, enquanto algumas podem ter mais e outras menos. Se essa variação digital fosse apresentada de forma gráfica, você encontraria aquilo que os estatísticos chamam de curva normal. No papel, ela parece um sino e portanto é chamada de curva do sino. A maior parte da área sob a curva refere-se às pessoas com dezenove, vinte ou vinte e um dígitos. Mas áreas menores — as chamadas caudas — representariam as poucas crianças com dezesseis, dezessete, dezoito (ou menos) e 22, 23, 24 (ou mais) dígitos. Um médico consideraria normais todas as crianças com dez dedos nas mãos e nos pés. De fato, elas são uma média estatística. O médico rotularia as outras de anormais e relataria seus defeitos de nascimento.

A questão pode parecer clara quando falamos sobre dedos. Mas e as características mais variáveis, como altura? Como podemos decidir quando alguém é tão pequeno a ponto de ser chamado de anão ou tão alto que pode ser chamado de gigante? A prática médica com um baseia-se num procedimento que é arbitrário em seu âmago — calcular o desvio-padrão, uma medida da quantidade de variação ao redor da média da curva do sino. Estatísticos médicos normalmente rotulam como anormal qualquer coisa maior ou menor do que duas vezes o desvio-padrão. Claramente, esses casos estão lá longe, nas beiradas da curva normal — os adultos de 60 cm ou 220 cm podem ser julgados anões ou gigantes, anormais em sua altura adulta.

Do ponto de vista prático, tal anormalidade estatística pode ser bastante importante. Afinal de contas, projetistas desenham camas, bebedouros, carros, pia de cozinha, privadas e forros para atender aos que estão na média, ou próximos dela. Alguém com 2,20 m requer uma cama especial e roupas feitas sob medida. Uma pessoa com oito dedos em cada pé pode penar para caminhar, e cirurgiões podem fazer uma operação para tornar o pé mais normal. Aquilo que começa como uma diferença estatística torna-se um problema social ou médico. O raro torna-se o anormal.

Os humanos aprenderam a alterar a natureza. Recentemente, por exemplo, pesquisadores aprenderam como transformar bactérias em fábricas capazes de produzir hormônio de crescimento humano (responsável pelo crescimento dos ossos longos e, portanto, pela altura das crianças) em grandes quantidades. Antigamente, quando o hormônio de crescimento tinha que ser extraído de glândulas pituitárias humanas (que eram, obviamente, difíceis de obter), só recebiam o tratamento as crianças cuja altura estava na cauda dos muito baixos, na curva normal. Isso ajudava alguns que teriam ficado nanicos a alcançar alturas

mais próximas da média. Mas o mercado de hormônio de crescimento para

nanicos não é lucrativo. Simplesmente não há tantos deles assim. Portanto os médicos (e os institutos nacionais de saúde nos Estados Unidos) definiram uma nova doença denominada “baixa estatura”. É uma doença estatística; também parece preocupar os homens mais do que as mulheres. Nessa nova doença, meninos que provavelmente não vão passar de 1,50 m tornam-se candidatos ao tratamento com o hormônio de crescimento (para torná-los normais, é claro). Mas o novo tratamento também irá mudar a curva do sino, a distribuição normal que define a própria baixa estatura.

Ao mudar as medidas que estão sob a curva-padrão, estamos criando algo não natural? Caso o uso do hormônio de crescimento se torne suficientemente difundido, criaremos uma nova população com uma distribuição diferente de alturas, anteriormente inexistente na natureza. É correto fazer isso? Aqui, mais uma vez, voltamos à questão moral: há coisas que Deus ou o Grande Espírito, ou seja lá o que for que expresse o nosso sentido espiritual, simplesmente não queria que fizéssemos? Adultos baixos são anormais? É moralmente errado negar-lhes o remédio que irá “curar” sua doença? Homossexuais são não naturais? Caso não sejam, serão anormais? O não-natural, o natural, o normal, o anormal, o moral, o imoral se misturam. Ao discuti-los, tentemos pelo menos ser o mais claros possível. Assim, pelo menos, poderemos discutir juntos um mesmo assunto. John Mather e o Homem-Aranha talvez nunca cheguem a um acordo. Mas poderão ter mais clareza sobre onde seus caminhos divergem.

ANNE FAUSTO-STERLING é professora de ciência médica na divisão de biologia e medicina na Brown University, Providence, Rhode Island. É membro da American Association for the Advancement of Science e recebeu bolsas e verbas nas áreas de ciências e humanidades.

Além disso, como autora de publicações científicas na área de genética do desenvolvimento de *Drosophila* (moscas-de-frutas), escreveu vários artigos que analisam criticamente o papel de preconceitos sexuais na estruturação de teorias de desenvolvimento.

A professora Fausto-Sterling também escreveu sobre o papel de raça e gênero na construção de teorias científicas, e o papel de tais teorias na construção de ideias sobre raça e gênero. Ela é autora de *Myths of Gender: Biological Theories About Women and Men*, e atualmente está trabalhando em dois livros. O primeiro aborda a biologia e a construção social da sexualidade, enquanto o segundo examina as interseções de raça e gênero nas origens da biologia moderna. Ela é uma firme defensora da ideia de que a compreensão da ciência é de importância fundamental para acadêmicas e estudantes feministas e que a compreensão dos *insights* feministas sobre a ciência é essencial para estudantes de ciências e pesquisadores.

## **Parte IV - A MENTE**



Cometer erros é a chave para o progresso. Há momentos, é claro, em que é importante não cometer erro algum — pergunte a qualquer cirurgião ou piloto de avião. No entanto, não se constata tão facilmente que existem horas em que cometer erros é o segredo do sucesso. Não me refiro apenas ao que diz a sabedoria popular: quem não arrisca não petisca. Apesar de essa máxima incentivar uma atitude saudável frente ao risco, não aponta os benefícios evidentes de se arriscar a cometer erros e de cometê-los de fato. Em vez de evitar os erros, eu sustento que você deveria cultivar o hábito de cometê-los. Em vez de renegar seus enganos, você deveria se tornar um *connoisseur* de seus próprios erros, analisando-os como se fossem obras de arte, o que, de certo modo, eles são. Você deveria procurar oportunidades para cometer grandes erros, só para então se recuperar deles.

Primeiro a teoria e depois a prática. Os erros não são apenas oportunidades valiosas para aprendermos; eles são, de forma significativa, a única oportunidade para aprendermos algo realmente novo. Antes que possa existir o aprendizado, precisam existir os aprendizes. Estes aprendizes devem ter evoluído por si mesmos, ou então, ter sido orientados e criados por outros aprendizes já evoluídos. A evolução biológica se dá através de uma grande e inexorável sequência de tentativas e erros — e sem os erros as tentativas não teriam levado a nada. Isso é verdadeiro sempre que ocorra qualquer processo criativo, não importa o quão inteligente ou estúpido seja o seu criador. Seja qual for a pergunta ou processo criativo em foco, se você ainda não tem uma resposta (é claro que você pode ter a solução porque alguém já matou a charada antes ou porque Deus lhe disse), a única maneira de encontrar uma solução é dar alguns passos no escuro e observar os resultados. Você, que sabe muito — mas não sabe justamente a resposta daquela pergunta em especial—, pode dar esses passos baseando-se, de alguma forma, naquilo que já sabe; não precisa ficar adivinhando ao acaso.

Para a evolução, que nada sabe, esses passos exploradores do novo são dados às cegas, através das mutações, que consistem em réplicas de “erros” do DNA. A maior parte desses erros é fatal, na verdade. Como a maioria das mutações é prejudicial, o processo de seleção natural trabalha para manter a taxa de mutações muito baixa. Felizmente para nós, esse processo não chega à perfeição, pois se o fizesse a evolução se paralisaria, tendo secado suas fontes de novidades. Essa pequena mácula, essa “imperfeição” no processo, é a fonte de todo o maravilhoso *design* e complexidade do mundo dos seres vivos.

A reação fundamental a qualquer erro deveria ser a seguinte: “Bem, eu não

farei isso de novo!”. A seleção natural lida com esse “pensamento” se livrando dos trapalhões antes que se reproduzam. Algo que possua uma força seletiva semelhante — os especialistas em comportamento denominaram-no “reforço negativo” — deve atuar no cérebro de qualquer animal que seja capaz de aprender a não fazer aquele barulho, tocar aquele fio ou comer aquela comida. Nós, seres humanos, levamos os problemas a um nível muito mais sofisticado e eficiente. De fato, podemos pensar sobre o pensamento, refletir sobre o que acabamos de fazer. E quando refletimos nos deparamos diretamente com o problema a ser resolvido por qualquer um que cometa um erro: o que na verdade aconteceu? O que foi que acabei de fazer que me colocou nessa encrenca? O truque é aproveitar os detalhes específicos da confusão que você armou para que sua próxima tentativa se enriqueça com eles, e não seja apenas mais um golpe no escuro. Em que direção deveria ser a próxima tentativa, já que esta falhou?

De maneira simplificada, essa técnica aprendemos no ginásio. Lembre-se de como as divisões longas pareciam estranhas e proibitivas no início. Você era confrontado por dois números imponderavelmente grandes e tinha que decidir por onde começar. O divisor cabe no dividendo seis, sete ou oito vezes? Quem poderia saber? Você não precisava saber; só precisava chutar qualquer número que quisesse e verificar o resultado. Eu me lembro de ficar quase chocado quando me ensinaram que deveria começar apenas “adivinhando”. Aquilo não era *matemática*? Você não deveria ficar brincando de adivinhar coisas num assunto tão sério, não é? Mas, afinal, vim a apreciar a beleza daquela tática. Se o número escolhido fosse pequeno demais, era só escolher um maior e começar tudo de novo; se fosse grande demais, era só diminuí-lo. O bom das divisões longas era que elas sempre davam certo, mesmo que você fosse absurdamente estúpido em sua primeira tentativa — caso em que apenas demoraria um pouco mais.

Essa técnica geral de adivinhar de forma mais ou menos ordenada, trabalhar as implicações dessa conjectura e usar o resultado para corrigir a próxima fase tem muitas utilidades. Os navegadores, por exemplo, determinam sua posição no mar primeiramente adivinhando onde estão. Eles estimam — até a milha mais próxima — qual sua latitude e longitude exatas e depois determinam a que altura do céu o Sol deveria ser visto, caso aquela fosse (por uma incrível coincidência) sua posição real. Então medem a elevação real do Sol e comparam os dois valores. Com mais alguns cálculos triviais, estabelecem a correção a ser feita em relação à estimativa inicial. É útil ter uma boa estimativa inicial, mas não importa se ela for incorreta; o mais importante é cometer o erro, com gloriosos detalhes, para então ter algo sério a corrigir.

É claro que quanto mais complexo o problema mais difícil é a análise. Isso é conhecido pelos pesquisadores de inteligência artificial (IA) como a questão de “atribuição de crédito” (também poderia ser chamada de atribuição de culpa).

Muitos dos programas de IA são projetados para “aprender”, ou seja, ajustarem-se quando detectam um desvio em seu desempenho, mas decidir quais pontos do programa levam o crédito e quais levam a culpa é um dos problemas mais intrincados da IA. Esse também é um problema sério — ou, pelo menos, fonte de dúvida e confusão — na teoria da evolução. Todo organismo vivo na Terra morre, mais cedo ou mais tarde, após uma ou outra história de vida complicada. Como é que a seleção natural poderia ver através da neblina de todos esses detalhes, de modo a discernir os fatores positivos dos negativos, para “recompensar” os bons e “punir” os maus? Será realmente que alguns de nossos ancestrais morreram sem descendentes porque suas pálpebras tinham o formato errado? Se não, como o processo de seleção natural poderia explicar o fato de nossas pálpebras terem o formato elegante que têm?

Uma técnica para facilitar a questão da atribuição de crédito é organizar as oportunidades de erro em uma hierarquia — uma espécie de pirâmide de níveis, com uma rede de segurança a cada degrau. *Grosso modo*, não se intrometa nas partes que estão funcionando bem e se arrisque oportunamente. Isto é, organize seu projeto de modo que, a cada passo, você possa verificar os erros e tomar um caminho alternativo. Então você pode se lançar na execução, pronto para tirar proveito dos sucessos improváveis e para lidar, dignamente, com os prováveis fracassos. Essa é uma técnica que os mágicos — pelo menos os melhores — exploram com resultados espantosos. (Não pretendo incorrer na ira dos mágicos ao revelar este truque a você, já que isso não é um truque e sim um profundo princípio geral.) Um mágico que seja bom em cartas sabe uma série de truques que dependem de sorte — eles nem sempre dão certo, e podem até mesmo falhar frequentemente. Existem certos efeitos — eles mal podem ser considerados truques — que funcionam em apenas uma a cada mil tentativas! Mas eis aqui o que é feito. Você começa dizendo à plateia que vai realizar um truque e, sem lhes contar qual é, tenta o efeito que funciona uma vez a cada mil. Ele quase nunca dá certo, então você passa imperceptivelmente para uma segunda tentativa, dessa vez de um efeito que talvez funcione uma vez a cada cem. Quando este também falhar (como ocorre na maioria das vezes), você tenta o efeito número três, que só funciona uma vez a cada dez, e portanto é melhor que você já esteja pronto para o efeito número quatro, que dá certo na metade das vezes (diríamos); e se tudo o mais falhar (e a essa altura, normalmente, uma daquelas redes de segurança mencionadas há pouco já teria entrado em ação, para livrá-lo dos piores infortúnios) você tem um efeito à prova de falhas, que não impressionará muito a multidão mas, ao menos, é seguro. No decorrer de um espetáculo inteiro, você teria que ser realmente azarado para precisar confiar sempre em sua rede de segurança final; além disso, cada vez que você obtiver um dos efeitos extravagantes, a plateia ficará perplexa. “Impossível! Como é que você poderia saber qual era a minha carta?” Aha!

Você não sabia, mas tinha um jeito esperto de dar golpes esperançosos no escuro que valeram a pena. Ocultando os erros, você criou um “milagre”.

A evolução funciona da mesma forma: todos os erros tolos tendem a ser invisíveis, assim tudo o que vemos é uma sequência estupenda de triunfos. Por exemplo, mais de 90% das criaturas que viveram sobre a Terra morreram sem deixar descendentes, mas nem ao menos um dos ancestrais do homem teve esse sombrio destino. Que linhagem de vidas encantadas!

A principal diferença entre ciência e magia é que, no caso da ciência, você comete seus erros em público. Você os exhibe para que todos — e não apenas você — aprendam com eles. Desse modo, você se beneficia da experiência de todos os outros, e não somente de seu caminho idiossincrático através do universo dos erros. Aliás, é isso que nos torna tão mais inteligentes que qualquer outra espécie. Não é tanto o fato de que nossos cérebros são maiores ou mais potentes, e sim compartilharmos os benefícios que cada cérebro conseguiu individualmente, através de sua história particular de tentativa e erro.

O segredo é saber quando e como cometer erros, de forma que ninguém se prejudique e todos possam aprender com a experiência. Para mim, é espantoso o número de pessoas realmente inteligentes que não compreendem isso. Eu conheço pesquisadores renomados que avançarão apenas distâncias ridículas, para não terem que reconhecer que estão errados sobre algo — mesmo que seja algo relativamente trivial. O que eles aparentemente não perceberam é que a terra não engole as pessoas quando elas dizem: “Opa, você tem razão. Acho que cometi um erro”. Você verá que as pessoas adoram apontar seus erros. Se elas tiverem espírito generoso, o apreciarão ainda mais por ter lhes dado a oportunidade de ajudá-lo e por reconhecer o quanto foram úteis; se forem mesquinhas, gostarão de incomodá-lo. De qualquer jeito, você saiu ganhando, assim como todos nós.

Claro que as pessoas não gostam de corrigir erros estúpidos dos outros. Você precisa ter algo interessante e atrevido a dizer. Algo original a respeito do que possa estar certo ou errado, e isso requer a consolidação daquele tipo de pensamento piramidal acerca de como se arriscar, que vimos nos truques do mágico com as cartas. E ainda existe um bônus surpresa: se você é do tipo que se arrisca para valer, as pessoas até se divertirão muito corrigindo seus erros, que mostram que você não é tão especial, e sim que comete equívocos como o resto de nós. Eu conheço filósofos que, aparentemente, nunca cometeram um só erro em seu trabalho. A especialidade deles é apontar os erros dos outros, e este serviço pode ser valioso, mas ninguém perdoa os erros *deles* com um tapinha amigável nas costas.

Normalmente não precisamos arriscar nossas peles para aprender com nossos erros, mas temos que observá-los atentamente e, realmente, prestar atenção neles. A chave para isso é, primeiro, não tentar escondê-los. Se você os

ocultar pode, como o mágico, melhorar sua reputação, mas essa solução a curto prazo acabará por persegui-lo a longo prazo. Em segundo lugar, você precisa aprender a não negar para si mesmo seus próprios erros nem tentar esquecê-los. Isso não é fácil. A reação humana natural frente aos erros é o embaraço e a raiva e você tem que se esforçar muito para superá-los. Tente adquirir o estranho hábito de saborear seus erros, deleitar-se em revelar os estranhos ardis que o desencaminharam. Assim, uma vez que você tenha extraído todo o benefício de ter cometido aqueles erros, pode esquecê-los alegremente e passar para a próxima grande oportunidade.

Você cometerá uma porção de erros em sua vida e alguns deles, a não ser que você realmente leve uma vida encantada, serão prejudiciais — a você e aos outros. Há algumas formas de lidar bem com isso, já que, à medida que você aprende com os erros inofensivos, torna-se menos provável que cometa os horrendos.

O filósofo *DANIEL C. DENNETT* é diretor do Center for Cognitive Studies e renomado professor de ciências e artes na Tufts University em Medford, Massachusetts. É membro da American Academy of Arts and Sciences e da Academia Scientiarum et Artum Europaea. Seus livros o tornaram conhecido para um grande público de leitores. *Brainstorms* foi elogiado por Douglas Hofstadter no *The New York Review of Books* como “uma das contribuições mais importantes já escritas a respeito do pensamento sobre o pensamento”. Isso levou Dennett a procurar Hofstadter para que ele contribuísse em *The Mind's I*, que vendeu 50 mil exemplares de capa dura e muitas centenas de exemplares em brochura. Mais recentemente, Dennett escreveu *Consciousness Explained e Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meaning of Life*, a ser publicado.

O professor Dennett é muito requisitado para palestras em faculdades e universidades e é frequentemente convidado por *Time*, *Newsweek*, *The New York Times*, *The Wall Street Journal* e outros periódicos americanos para comentar ou opinar acerca de novas histórias sobre mente, cérebro, computadores e inteligência artificial. Como reconhecimento por ter tido um programa de inteligência artificial aprovado pelo rígido teste Turing, tornou-se presidente do comitê julgador do Loeb Prize (no valor de 100 mil dólares).

## A MENTE PODE FAZER MAIS DO QUE O CÉREBRO? - Hao Wang

A mente pode fazer mais que o cérebro? Seria esta uma pergunta científica?

Os cientistas e filósofos da atualidade em geral entendem que mente e cérebro se equivalem, que há uma correspondência integral entre os estados mental e físico do cérebro de alguém. Um termo cientificamente reconhecido para essa hipótese é o “paralelismo psicológico”, o qual tanto Kurt Gödel quanto Ludwig Wittgenstein classificaram como um preconceito dos nossos tempos. É claro que um preconceito não é necessariamente falso. E, sim, uma crença fortemente aceita e não garantida pelas evidências disponíveis, sendo a intensidade da convicção desproporcional em relação às evidências que a sustentam.

Segundo a experiência cotidiana, localizar o sítio de atividades mentais não é algo óbvio. Por exemplo, a mesma letra chinesa *hsin* ou *xin*, frequentemente traduzida como *mente-coração* ou *mente-corpo*, significa tanto *mente* quanto *coração*, sugerindo que as atividades mentais ocorram no órgão do coração. O filósofo grego Empédocles também pensava que a mente se localizava no coração, tomado como órgão material. É claro que, hoje em dia, temos consciência da existência de evidências empíricas que associam o cérebro de uma pessoa diretamente à sua atividade mental. Por exemplo, se algumas porções do cérebro são danificadas, removidas ou desconectadas, certas atividades mentais cessam.

Mas as evidências disponíveis estão longe de provar que todo estado mental corresponde a um único estado físico do cérebro. Pelo que sabemos, certas mudanças súbitas na mente podem não corresponder a nenhuma alteração física no cérebro. Essa é a razão pela qual o paralelismo psicológico é, em relação ao nosso conhecimento atual, apenas uma hipótese. Parece que fomos capazes de observar mais diferenças mentais do que diferenças físicas no cérebro. Por exemplo, se pensarmos sobre os atributos espetaculares das mentes de Franz Schubert ou Albert Einstein, estamos longe de poder discernir diferenças físicas suficientes, entre os cérebros deles e outros fisicamente similares, que nos possibilitem enumerar as diferenças drásticas nas respectivas produções.

Mesmo no que diz respeito a experiências comuns, é difícil excluir a possibilidade de que nossas mentes façam mais distinções que nossos cérebros. Por exemplo, tentei reconstruir minha discussão com Gödel da década de 1970 com a ajuda de rascunhos que fiz na época. Essas notas me lembram de muitas coisas. Presumivelmente, meu cérebro contém certos vestígios fisicamente discerníveis que não são representados por notas e rascunhos. Mas também é possível que minha mente se recorde de mais coisas, além daquelas que estão

incorporadas nesses vestígios no cérebro.

Wittgenstein sugeriu um experimento com pensamentos que parece fornecer uma formulação mais precisa para essa possibilidade. Ele imaginou que, enquanto um texto é ditado, alguém faz apontamentos necessários e suficientes para que possa reproduzir o texto. Ele prosseguiu: “O que eu chamo de apontamentos não seria uma versão do texto, nem mesmo uma tradução com outros símbolos. O texto não seria armazenado nos apontamentos. Então por que seria armazenado em nosso sistema nervoso?”. Em outras palavras, alguns lembretes escritos são capazes de trazer de volta a reprodução da informação correta. Por tudo quanto sabemos, esse também pode ser o caso do cérebro: ou seja, é mais provável que ele contenha lembretes do que duplicatas de tudo que há na mente.

Uma razão para a crença no paralelismo psicológico é, sem dúvida, a generalização indutiva do grande sucesso da física — não só ao lidar com os fenômenos físicos, mas também ao tratar de assuntos biológicos, notadamente em nível molecular. De fato, à medida que a ciência avança, tendemos a detectar correlações cada vez mais próximas entre eventos mentais e neurológicos. No entanto, dada nossa experiência com a gritante diferença entre o físico e o mental, não é claro, de modo algum, o quanto nosso limitado conhecimento de tais correlações nos leva a inventar coisas, a partir da teoria do paralelismo.

Ao mesmo tempo, nos deparamos com o contraste entre a maturidade de nosso estudo do mundo físico e o estado primitivo de nossas tentativas de lidar diretamente com os fenômenos mentais. Existe uma tendência natural a chamar de “ciência” aquela que trata do mundo físico. Conseqüentemente, as pessoas acreditam que, se a mente não pode ser explicada em termos da ciência do mundo físico, então não pode ser explicada em termo científico algum. Dada essa crença, o paralelismo psicológico se torna condição necessária para possibilitar um tratamento científico dos fenômenos mentais.

Apesar de, por enquanto, termos fracassado em estudar os fenômenos mentais tão sistematicamente quanto os fenômenos físicos, esse fato por si só não prova que o paralelismo é verdadeiro ou mesmo irrefutável. Nós não sabemos se seremos ou não capazes de estudar fenômenos mentais diretamente, de uma maneira efetiva.

Em nossa discussão de 1972, Gödel presumiu que o paralelismo era falso e que será refutado cientificamente — talvez pelo fato de que não há neurônios suficientes para executar as operações mentais observadas. Nesse contexto, as operações observadas incluem, indubitavelmente, as de memória, reflexão, imaginação etc., as quais são diretamente observadas apenas por introspecção. Como sabemos, o que é observado por introspecção pode ser frequentemente comunicado aos outros, de tal forma que eles também possam testar tais

observações com a ajuda de observações introspectivas análogas. Não há motivo pelo qual devêssemos excluir completamente as evidências introspectivas.

A suposição de que não existam neurônios suficientes para executar as operações mentais observáveis ilustra, de forma significativa, o que queremos dizer quando nos referimos a um problema “científico”. Certamente a capacidade do neurônio é um tópico natural e central do estudo da neurologia. Ao mesmo tempo, as operações mentais observáveis também são coisas que somos capazes de saber. Esse é, inquestionavelmente, o motivo pelo qual nossa reação inicial é concordar com Gödel no que diz respeito à verossimilidade de sua pressuposição, apesar de muitas pessoas acharem que conclusões por presunção mais provavelmente são falsas.

O que é atraente a respeito da suposição é a aparente veemência de seu sabor quantitativo. Mas o número de neurônios no cérebro é estimado em  $10^{11}$  ou  $10^{12}$ , e existem muito mais sinapses que neurônios. Não estamos habituados a lidar com as implicações de um número tão grande, e nosso conhecimento de suas capacidades reais — em particular da diferença prevista entre suas configurações possíveis (por combinação) e as que são realmente observadas — é muito limitado. Além disso, como sabemos, a mente aumenta sua potência através de instrumentos, tais como lápis, papel, computadores etc., através do aprendizado com outras pessoas e através do uso de livros ou anotações próprias como um tipo de memória externa.

Temos pouco conhecimento de até que ponto o cérebro faz o mesmo tipo de coisa. Portanto, a situação do cérebro pode ser menos clara do que Gödel parecia achar. Ao mesmo tempo, atualmente estamos longe de possuir qualquer ideia promissora que nos guie em direção à determinação quantitativa de todas as operações mentais observáveis.

Apesar de estarmos longe de poder decidir se a teoria de Gödel é falsa ou verdadeira, é difícil negar que ela é significativa e científica. De fato, tal teoria me parece ilustrar a possibilidade de uma resolução definitiva da controvérsia perene entre o materialismo e o idealismo, que de diversos modos tem sido considerada tão importante.

*HAO WANG* é professor de lógica na The Rockefeller University, em Nova York há aproximadamente três décadas. De 1961 a 1967, foi professor Gordon McKay de matemática lógica e matemática aplicada na Harvard University e, de 1955 a 1961, mestre em filosofia John Locke e depois docente de filosofia da matemática na University of Oxford. É autor de diversos artigos e vários livros sobre lógica, computação e filosofia, incluindo *From Mathematics to Philosophy, Beyond Analytic Philosophy, Reflections on Kurt Gödel e Computation, Logic, Philosophy*.



## COMO PENSAR SOBRE O QUE NINGUÉM JAMAIS PENSOU - *William H. Calvin*

O caminho mais curto é tirar uma soneca e sonhar com alguma coisa. Nossos sonhos estão repletos de originalidade. Seus elementos são todos velhos, nossas memórias do passado, mas as combinações são originais. As combinações compensam em variedade o que lhes falta em qualidade, como quando sonhamos com Sócrates dirigindo um ônibus no Brooklyn e conversando com Joana d'Arc sobre beisebol. Nossos sonhos misturam tempo, lugares e pessoas.

Acordados, possuímos um fluxo de consciência que também contém uma série de erros. Mas podemos rapidamente corrigi-los antes de expressá-los em voz alta. Podemos melhorar a frase mesmo enquanto falando. De fato, a maioria das frases que pronunciamos nunca foi dita por nós antes. Nós as elaboramos no ato. Mas *como* fazemos para que, quando pronunciamos algo que nunca dissemos antes, as frases não saiam tão alteradas como os nossos sonhos?

Nós também prevemos o futuro de uma forma que nenhum outro animal pode fazer. Já que ainda não aconteceu, temos que imaginar o que poderia acontecer. Frequentemente antecipamos o futuro tomando atitudes correspondentes ao que supomos que acontecerá. Somos capazes de pensar antes de agir, supondo como objetos ou pessoas podem reagir diante de determinado curso da ação.

Essa capacidade no ser humano é extraordinária quando comparada à de todos os outros animais. Ela leva certo tempo para se desenvolver nas crianças. Na época em que elas começam a ir à escola, os adultos passam a esperar que sejam responsáveis por prever consequências: “Você deveria ter percebido que...” e “Pense antes de fazer algo assim!” não são coisas ditas seriamente para bebês e para a maioria dos pré-escolares — ou para nossos animais de estimação. Realmente, não esperamos que nossos cães e gatos avaliem uma situação inusitada — como um peixe caindo da geladeira — pensando que seria melhor guardá-lo para os convidados que virão para o jantar.

A habilidade de prever as consequências do curso de uma ação é o fundamento da ética. O livre-arbítrio não implica somente escolher entre as opções já conhecidas, mas também imaginar alternativas inusitadas e transformá-las em algo de qualidade. Muitos animais usam a tentativa e erro, mas nós, humanos, fazemos muito disso “nos bastidores”, antes de agir de fato no mundo real. O processo de contemplação e ensaio mental, que aperfeiçoa as novas variações, parece estar incluído no âmago de alguns dos atributos humanos mais estimados. *Como* fazemos isso?

Criar novidades não é difícil. Novos arranjos de velhas coisas são suficientes.

Todos pensam que as mutações (como quando um raio cósmico atinge uma base do DNA, permitindo que outra entre em seu lugar) representam a origem de novos genes. A natureza, na verdade, possui dois outros mecanismos mais importantes: copiar os erros e embaralhar as cartas. Qualquer um que possua um *disk drive* sabe que copiar erros é uma coisa comum, e que certos procedimentos tiveram que ser inventados para detectar tais erros (assim como aquelas enfadonhas somas para mera conferência) e corrigi-los (como os códigos para correção de erros que são atualmente banais). Tudo o que se precisa para encontrar novidades é deixar de ficar na defensiva.

Mas a natureza, ocasionalmente, se esforça muito por misturar bem as coisas cada vez que um espermatozoide ou óvulo é produzido; os genes de ambos os cromossomos de um par são trocados (o que é conhecido como o *crossing over* da meiose) antes de serem segregados ao novo arranjo cromossômico do espermatozoide ou óvulo. E, é claro, a fertilização de um óvulo pelo espermatozoide de outro indivíduo cria um terceiro indivíduo, que tem a escolha de usar (na maioria dos casos) um gene herdado da mãe ou aversão desse mesmo gene herdada do pai.

A qualidade é o maior problema, e não tanto a inovação. A abordagem usual da natureza em relação à qualidade é tentar uma porção de coisas e ver quais funcionam, deixando que as outras se percam no caminho. Por exemplo, muitos espermatozoides são defeituosos, não apresentando cromossomos essenciais; se eles fertilizassem um óvulo, o desenvolvimento embrionário fracassaria em algum ponto, normalmente tão prematuro, que a gravidez nem seria notada. Por essa e outras razões, mais de 80% das concepções em seres humanos fracassa, a maioria nas primeiras seis semanas de gestação (essa taxa de aborto espontâneo é muito mais significativa do que a mais alta taxa de aborto induzido).

Existem também altas taxas de mortalidade infantil e juvenil; apenas uns poucos indivíduos de cada espécie sobrevivem tempo suficiente para se tornarem sexualmente maduros e poder procriar. Assim como Charles Darwin observou pela primeira vez em 1838, essa é a forma pela qual as plantas e animais mudam, ao longo das gerações, para versões que se adaptem melhor às condições ambientais. A natureza lança muitas variações a cada nova geração, algumas delas melhor adaptadas ao ambiente que outras. Por fim, um tipo de qualidade acaba emergindo desse processo de adaptação.

Quando Darwin explicou como a natureza poderia produzir animais cada vez mais complexos, fez com que os psicólogos comesçassem a pensar sobre o próprio pensamento. A mente trabalharia através do mesmo mecanismo proposto por Darwin na seleção de novas espécies? Um novo pensamento poderia ser moldado através de um processo semelhante de variação e seleção?

A maior parte das variações, que ocorrem ao acaso num comportamento padrão, mesmo quando apenas a ordem das ações é mudada, é menos eficiente,

e até mesmo perigosa. De novo, a qualidade é o problema, e não a novidade em si. A maioria dos animais se limita a soluções bem testadas e comprovadas pelos seus ancestrais, que sobreviveram tempo suficiente para se reproduzir de forma bem-sucedida. Novas combinações são testadas por vezes nas brincadeiras dos filhotes, mas os adultos são bem menos brincalhões.

Em 1880, num artigo no *Atlantic Monthly*, o pioneiro psicólogo americano William James (que inventou o termo literário “fluxo de consciência”) tinha a ideia básica:

As novas concepções, emoções e tendências ativas que surgem são originalmente *produzidas* sob a forma de imagens ao acaso, fantasias, explosões acidentais de variações espontâneas na atividade funcional do cérebro humano, excessivamente instável, as quais o ambiente exterior somente confirma ou refuta, preserva ou destrói — seleciona, em resumo, da mesma forma que faz com as variações morfológicas e sociais decorrentes de um acidente molecular ou coisa que o valha.

Seu contemporâneo francês, Paul Souriau, escrevendo em 1881, disse algo muito semelhante:

Nós sabemos como a sequência de nossos pensamentos deve acabar mas [...] é evidente que não há outra forma de começar que não seja ao acaso. Nossa mente segue o primeiro caminho que encontra disponível, percebe que é uma rota falsa, retrança seus passos e toma outra direção. [...] Através de um tipo de seleção artificial, nós podemos [...] aperfeiçoar substancialmente nossos próprios pensamentos e torná-los cada vez mais lógicos.

James e Souriau estavam elucubrando sobre a ideia ainda mais básica de Alexander Bain, sobre tentativa e erro. Escrevendo na Escócia, em 1855, Bain empregou pela primeira vez a expressão *tentativa e erro*, referindo-se ao domínio de atividades motoras, como a natação. Por meio de esforço persistente, disse Bain, o nadador topa por acaso com a “feliz combinação” de movimentos requeridos para, então, conseguir praticá-los. Ele sugeriu que o nadador precisava da noção do efeito a ser produzido e do comando dos elementos para, então, usar a tentativa e erro até conseguir produzir o efeito desejado. Isso é o que um processo darwiniano usaria para dar forma a um pensamento — que é, afinal, planejar um movimento, assim como a próxima coisa a ser dita.

Surpreendentemente, ninguém sabia o que fazer depois para ligar a ideia básica do pensamento darwiniano ao resto da psicologia e da neurobiologia. Por mais de um século, essa ideia-chave tem ficado abandonada como uma semente lançada em solo pobre, tentando germinar. O problema é que é fácil (mesmo

para cientistas) adotar uma versão fantasiosa do darwinismo — sobrevivência dos mais adaptados, ou sobrevivência seletiva — e simplesmente esquecer o resto do processo.

A ideia darwiniana básica é enganosamente simples. Os animais sempre se reproduzem, mas nem todos os descendentes conseguem crescer e produzir seus próprios filhos — há uma superprodução. Existe muita variação entre os filhotes gerados pela mesma dupla de pais; cada filhote (com exceção de gêmeos idênticos e clones) carrega um conjunto diferente de cromossomos recombinados.

Atuando nessa diversidade gerada está a sobrevivência seletiva. Algumas variações sobrevivem melhor que outras até a vida adulta, e, portanto, as variações da geração seguinte são baseadas nos genes dos sobreviventes. Alguns são melhores, a maioria é pior; mas os primeiros, apesar de poucos, contam com o fato de que os piores tendem a morrer jovens. E a próxima geração é, devido à média dos sobreviventes que chegam à vida adulta, ainda melhor adaptada às especificidades de clima, alimentos disponíveis, predadores, abrigos para tocas e ninhos etc.

Normalmente pensamos em termos de milênios como unidade de tempo na evolução de uma nova espécie. Com a seleção artificial, usada por criadores de animais, efeitos substanciais podem ser produzidos em uma dúzia de gerações. Mas esse mesmo processo pode ocorrer na escala de tempo da resposta imune, em que novos anticorpos são criados à medida que eliminam com sucesso moléculas invasoras; dentro de uma ou duas semanas, as formas dos anticorpos podem evoluir a ponto de serem tão específicas quanto chave e fechadura em relação a uma molécula estranha. Poderia o mesmo processo ser adequado para a escala de tempo dos pensamentos e ações?

Vale a pena reformular os seis princípios do processo darwiniano de forma um pouco mais abstrata, para que possamos separar princípios de particularidades:

- Existe um padrão envolvido (tipicamente uma sequência de bases de DNA — mas também pode ser uma melodia ou algum padrão cerebral associado ao pensamento).
- De alguma maneira são feitas cópias desse padrão (como quando uma célula se divide, mas também quando alguém assobia uma melodia que ouviu).
- Variações no padrão ocorrem ocasionalmente, tanto pela cópia de erros quanto por um processo de embaralhar cartas.
- Os padrões modificados ou variantes competem por um espaço limitado (como quando a grama e as ervas daninhas competem pelo seu quintal).
- O sucesso relativo do padrão variante é influenciado por um ambiente

multifacetado (para a grama seriam as horas de luz solar, tipo de solo, nutrientes disponíveis, frequência com que é regada, frequência com que é aparada etc.).

- E, mais importante, o processo é cíclico. A próxima geração baseia-se nas variantes que sobreviveram até alcançar a maturidade, e isso muda as bases a partir das quais as próximas gerações lançarão suas apostas reprodutivas. E assim por diante. Essa sobrevivência diferencial significa que o processo de variação não acontece tão ao acaso. Em vez disso, baseia-se naqueles padrões que sobreviveram ao processo seletivo de um ambiente multifacetado. Um leque de variáveis é criado a partir dos bem-sucedidos; a maioria será pior, mas alguns serão melhores.

Nem todo processo que realiza cópias ou réplicas se qualificará como darwiniano. As fotocopiadoras e máquinas de fax fazem cópias de padrões impressos em papel, mas não possuem o elemento cíclico.

Se você fizer cópias e mais cópias, por dezenas de gerações, notará alguns erros (principalmente se forem fotografias em preto e branco, onde se usa uma escala de tonalidades cinza). Agora estão satisfeitas as três primeiras condições—mas ainda não existem a competição pelo mesmo nicho, influenciada por um ambiente multifacetado, nem a vantagem na reprodução de certas variantes.

De modo semelhante, pode haver sobrevivência seletiva não acompanhada pelo resto do processo darwiniano. Você verá muito mais Volvo de quinze anos do que Fiat com a mesma idade. Mas o Volvo de quinze anos não se reproduz. Assim como não se reproduzem os neurônios — apesar de as conexões (sinapses) entre eles serem revisadas ao longo do tempo. No cérebro de uma criança, há muitas conexões entre neurônios que não persistem na vida adulta. Mas essa sobrevivência seletiva (conexões ao acaso que provaram ser úteis) também não é propriamente darwiniana, a não ser que as conexões que persistem arranjam um modo de se reproduzir em outro lugar daquele cérebro (ou talvez, através de mimetismo, no cérebro de outra pessoa). E, mesmo se as sinapses se reproduzissem, esse padrão de cópia ainda teria que satisfazer a necessidade de um processo cíclico, onde a reprodução com novas variantes busca a maior eficiência.

A sobrevivência seletiva é um mecanismo muito poderoso, capaz de produzir tanto cristais em matéria inorgânica quanto padrões econômicos na evolução cultural. A sobrevivência seletiva é um problema para qualquer empresa, principalmente para as pequenas, mas leva — ao menos nas teorias de livre oferta e procura do capitalismo — a uma melhor adaptação ao “funcional”.

A sobrevivência seletiva de qualquer tipo é chamada frequentemente de darwiniana (Darwin ficou aborrecido quando Herbert Spencer começou a falar de darwinismo social). Mas a sobrevivência seletiva, por si só, pode ser vista

mesmo em sistemas inanimados, tal como quando a correnteza leva os grãos de areia e deixa os seixos intatos numa praia.

O darwinismo maduro é ainda mais poderoso, mas requer reprodução diferencial dos mais bem-sucedidos. A economia apresenta alguns exemplos recentes nas franquias de cadeias de *fast-food*, em que se produzem cópias do mais bem-sucedido de uma primeira geração. De fato, elas parecem competir com suas variantes por um limitado campo ou “espaço de trabalho”. Se fecharem o ciclo gerando variantes a partir dos pontos mais bem-sucedidos (imagine um MacEntretenimentos ou um MacEconomia se desligando da cadeia original), podem ser outro exemplo do processo darwiniano, evoluindo em direção à complexidade.

Quando as pessoas dizem que algo é “darwiniano”, normalmente se referem somente a uma parte do processo, algo que se encaixa em apenas alguns dos seis fundamentos. E, dado o poder das palavras que usamos, essa terminologia excessivamente imprecisa mostrou que as pessoas (incluindo os cientistas) não perceberam o que foi deixado de fora.

Na verdade, a segunda razão pela qual a ideia de pensamento darwiniano não se materializou antes é que levou certo tempo para que se percebesse que os pensamentos podem ser copiados — e que as novas versões podem precisar competir com outras versões de pensamentos alternativos. Já que não temos conseguido explicar a atividade neural por trás dos pensamentos, não temos sido capazes de pensar sobre cópias. Mas copiar é uma das maiores pistas sobre como deve ser o processo de pensamento; é um confinamento que reduz as possibilidades consideravelmente.

No início dos anos 50, durante a busca pelo código genético, os especialistas em biologia molecular estavam bastante conscientes da necessidade de um processo molecular que pudesse, de algum modo, fazer cópias de si mesmo durante a divisão celular. A razão pela qual a estrutura da dupla hélice foi tão satisfatória, em 1953, é que ela resolvia o problema da duplicação ou cópia do DNA. Nos anos subsequentes, o código genético (a tabela que correlaciona as tríades do DNA às sequências de aminoácidos) foi desvendado. Talvez também possamos desvendar o código cerebral que representa um objeto ou ideia com o auxílio do conhecimento de quais padrões cerebrais podem ser copiados com certa precisão.

Os pensamentos são apenas combinações de sensações e memórias — ou, vistos de outro modo, os pensamentos são movimentos que ainda não aconteceram (e podem nunca acontecer). O cérebro produz movimentos através de uma linha de impulsos nervosos indo em direção aos músculos, sejam dos membros ou da laringe. Mas o que determina os detalhes dessa linha?

Às vezes, é apenas um ritmo inato, como os que produzem os movimentos de mastigar, respirar e andar. Noutras vezes há oportunidade para muitas correções,

como quando você ergue a xícara de café e descobre que ela pesa menos do que você pensava; antes que ela bata em seu nariz, você encontra uma maneira de aplicar correções aos músculos de seu braço. Mas alguns movimentos são tão rápidos (completamente finalizados em menos de um oitavo de segundo) que não possibilitam *feedback* nenhum: arremessar, martelar, golpear, chutar, cuspir (incluindo “cuspir palavras”). Nós os chamamos de movimentos balísticos; eles são particularmente interessantes pois requerem a criação de um plano completo antes de sua realização. Durante a preparação você tem que elaborar o plano perfeito. O plano de um movimento é como o rolo de uma pianola, 88 notas, cada uma correspondendo a uma tecla, e os tempos em que cada tecla deve ser acionada. Para martelar ou arremessar, de fato são necessários aproximadamente 88 músculos, então pense em uma partitura como um plano para um padrão espaço-temporal — todas aquelas cordas, melodias e padrões entrelaçados, os quais denominamos música.

Em 1949, o psicólogo canadense Donald Hebb formulou sua hipótese de reunião celular, afirmando que evocar uma memória implica reconstituir um padrão de atividade de um grupo inteiro de neurônios. Agora pensamos na teoria de reunião celular de Hebb de forma mais geral, como um padrão espaço-temporal no cérebro que representa um objeto, uma ação ou uma abstração, como uma ideia. Cada um é como uma melodia e, calculo eu, ocupa tanto espaço no cérebro quanto a cabeça de um alfinete (imagine que a cabeça deste alfinete seja hexagonal).

As memórias são apenas padrões congelados no tempo — partitura esperando por um pianista ou as valetas de uma estrada esburacada, imóveis, à espera de que algo surja para interagir com elas e produzir um padrão espaço-temporal, em forma de música ao vivo ou de um carro em colisão. Um modelo darwiniano da mente sugere que uma memória ativada pode interagir com outros planos de ação e competir por um mesmo espaço de trabalho. Uma memória passiva, como valetas na estrada, pode servir também como um aspecto do ambiente que influencia uma competição — em resumo, tanto o ambiente criado pelo tempo atual quanto aqueles criados pelas memórias podem influenciar o processo competitivo que conforma um pensamento.

Então temos um padrão — aquele pensamento no cérebro que se assemelha a uma música — e temos a sobrevivência seletiva orientada por um ambiente multifacetado. Como os pensamentos podem ser copiados para que originem uma dúzia de cabeças de alfinete idênticas? Como suas variantes podem competir por um espaço de trabalho, da mesma forma que grama e erva daninha competem pelo quintal? Como o ciclo pode ser fechado?

Acredita-se que todos os códigos cerebrais presentemente ativos em nosso cérebro — representem eles objetos como maçãs ou movimentos digitais coordenados como a discagem de um número de telefone — sejam padrões

espaço-temporais. Transportar um código de uma parte do cérebro para outra não pode ser um processo físico como a postagem de uma carta. Em vez disso, o código deve ser copiado de forma parecida com o trabalho de um fax, que copia um padrão de uma folha de papel para outra, numa localidade remota. A transmissão de um código neural envolve a cópia de um padrão espaço-temporal, às vezes uma cópia distante através das fibras do *corpus callosum*, mas frequentemente uma cópia bem próxima, de maneira parecida com a formação de um cristal.

O córtex cerebral, que é onde, provavelmente, surgem os pensamentos, tem circuitos para copiar padrões espaço-temporais numa região imediatamente adjacente, não mais distante que um milímetro. Todos os primatas têm essas conexões, mas a frequência com que as utilizam não é conhecida. O córtex cerebral é uma enorme folha—se fosse cortado em camadas e estendido, pareceria uma massa de farinha de trigo grande o suficiente para cobrir quatro tortas. Existem, pelo menos, 104 subdivisões conhecidas. Enquanto algumas áreas podem estar inteiramente comprometidas em trabalhos especializados, outras podem frequentemente abrigar um sistema de cópias paralelo, representando um espaço de trabalho passível de ser “apagado” e reutilizado nos processos darwinianos de adaptação e melhoramento.

A imagem que surge quando abordadas essas considerações teóricas é a de uma colcha de retalhos, na qual o tamanho dos retalhos depende do código que é dominante. Quando você hesita entre pegar uma maçã ou uma laranja da fruteira em cima da mesa, o código cerebral para maçã pode competir com o código para laranja. Quando determinado código tem cópias ativas suficientes para desencadear uma ação, você pega a maçã. No entanto, os códigos para laranja não desapareceram por completo; eles podem permanecer como pano de fundo, sob a forma de pensamentos subconscientes.

Quando você tenta se lembrar do nome de alguém e, no início, suas tentativas são em vão, os códigos referentes à pessoa em questão podem continuar sendo copiados, com variações, pela próxima meia hora, até que, de repente, o nome “surge como que por encanto em sua mente”. Nossos pensamentos conscientes podem ser apenas o padrão dominante entre as cópias, sendo que muitas outras variantes estão competindo pela dominância (assim como a grama e a erva daninha), até que uma delas vença, posterior mente, no momento exato em que sua mente parece mudar de foco.

O processo darwiniano parece um mecanismo negligente, no qual muitas cópias estão sendo feitas, portanto podemos esperar que o cérebro esteja sempre bastante ocupado utilizando-as. Talvez o pensamento humano seja mais complicado que isso, com atalhos que dominam a cena tão completamente que acabam por tornar os aspectos darwinianos menos importantes. Certamente, o mecanismo de linguagem em nosso cérebro deve envolver muitos atalhos bem



determinados, a julgar pelo modo como as crianças fazem transições relativamente repentinas no que se refere à troca das frases simples por outras muito mais complicadas, durante seu terceiro ano de vida. Pode ser que os processos darwinianos sejam apenas a cobertura do bolo. Todo o resto é rotineiro e ditado por regras.

Mas a cobertura do bolo não é só escrever poesias ou criar teorias científicas (como esta). Nós frequentemente lidamos com situações novas de maneira criativa, como quando decidimos o que preparar para o jantar. Fazemos um levantamento do que já há na geladeira e nos armários da cozinha. Pensamos sobre algumas alternativas, mantendo em mente o que mais teríamos que comprar no supermercado. E, às vezes, misturamos esses elementos num cozido, ou numa combinação de pratos que nunca experimentamos antes. Tudo isso pode passar pela mente em questão de segundos — e este é, provavelmente, um processo darwiniano, da mesma forma que o é a especulação sobre o que pode acontecer amanhã.

WILLIAM H. CALVIN é neurofisiologista teórico da faculdade de medicina da University of Washington. Atualmente não é pago pela faculdade e, em vez de lecionar para sustentar suas pesquisas, escreve livros para o público em geral. *The Throwing Madonna*, *The Cerebral Symphony* e *The Ascent of Mind* falam sobre cérebro e evolução; *The River that Flows Uphill* fala sobre sua viagem de duas semanas pelas corredeiras do rio Colorado, nas profundezas do Grand Canyon; *How the Shaman Stole the Moon*, que tem por cenário os cânions do Sudoeste dos EUA, é seu livro de cabeceira e diz respeito aos métodos de previsão de eclipses que foram elaborados antes do surgimento das ruínas de Stonehenge. Em *Conversations with Neil's Brain: the Neural Nature of Thought and Language*, que teve o neurocirurgião George Ojemann como co-autor, Calvin narra um dia de cirurgia para epilepsia, focalizando a maneira como uma voz interna é gerada, às vezes, se expressando em alto e bom som. Algumas vezes Calvin se desvia um pouco do tema evolução e neurociência, como em seu artigo para a *Whole Earth Review* sobre mudanças abruptas de clima e previsões de eclipses e em seu comentário sobre o artigo de Verner Vinge sobre singularidades tecnológicas.

## O QUEBRA-CABEÇA DAS MÉDIAS - *Michael S. Gazzaniga*

Números, massageados com um pouco de estatística, tornam-se fatos. Números sem estatísticas tornam-se anedotas. No decorrer do treinamento científico, é um empreendimento nobre ensinar aos jovens pesquisadores que uma simples observação pode não revelar o verdadeiro padrão ou comportamento da mãe natureza. São necessárias inúmeras observações, a partir das quais as informações obtidas devem ser transformadas em médias e testadas para verificar-se sua importância. A presença respeitável de fenômenos do acaso é sempre uma possibilidade, e como a ciência tem por objetivo distinguir os eventos casuais dos processos legítimos, os cientistas têm que estar sempre atentos para essas casualidades.

Mas coisas estranhas podem acontecer quando buscamos elaborar médias a partir de todas as nossas informações, enquanto nos esforçamos por tornar nossas observações mais fortes. Não há área alguma onde os problemas se tornem tão absurdos quanto na área de pesquisas estatísticas. Estudos demonstraram que no ano X existiam tantas pessoas morando na cidade A. No ano Y, a cidade B cresceu vertiginosamente e a cidade A teve um declínio populacional. A inferência mais comum é a de que a força de trabalho migrou da cidade A para a cidade B. Entretanto, quando os cidadãos são estudados individualmente, vê-se que muito poucos mudaram da cidade A para a cidade B. É verdade que eles se mudaram de A, mas rumo às cidades C, D e E. Falar sobre médias é particularmente desencorajador nas ciências sociais, com as quais aprendemos o que a média das pessoas pensa ou sente. A mentalidade das médias está em todo lugar. Alguma vez você já se perguntou o que significa cada família americana ter 2,3 filhos? Eu suponho que essa quantificação auxilie demógrafos e urbanistas, mas não indica o que se passa na vida pessoal de cada um. Viver através das médias é assustador.

Recentemente, George Miller, o decano dos psicólogos americanos, me contou sobre um estudo que uma colega sua, Joyce Weil, empreendeu há muitos anos, sobre o desenvolvimento da linguagem em crianças. Existia uma história comum naquela época que dizia que as crianças passavam por fases ordenadas no seu desenvolvimento linguístico, assim como crianças de quatro anos faziam coisas que as de três anos não faziam, e as de três anos faziam coisas que as de dois não conseguiam fazer. Crianças dessas idades foram estudadas em relação à sua capacidade de comunicação e os padrões obtidos colocados na forma de médias. Quando fizeram as médias dos dados, um padrão regular surgiu e os psicólogos se apoderaram dele como apoio para suas teorias ordenadas sobre o desenvolvimento da linguagem. Mas Weil estudou também o que cada criança,

como indivíduo, fazia no decorrer de seu desenvolvimento. Essa abordagem longitudinal revelou que as crianças, individualmente, não seguiam de forma alguma o padrão da média. O padrão da média e a teoria desenvolvida a partir de sua observação eram apenas anomalias ou defeitos estatísticos e não refletiam nenhum aspecto do mundo real. Weil não conseguiu publicar seus estudos. A crença da comunidade científica nas médias havia criado uma teoria que agora se encontra arraigada dentro dela.

Eu trouxe esse assunto à baila pois também me deparei com uma verdade simples no que diz respeito a médias. Elas têm a ver com a nossa necessidade perene de encontrar relações entre dados que, de outra forma, seriam um tanto confusos. Neste caso, procurávamos por áreas únicas nos dois hemisférios cerebrais que mostrassem assimetria. Por mais de cem anos estudos clínicos indicaram que o hemisfério cerebral esquerdo é especializado em funções cognitivas, em particular a linguagem. A procura dessa parte específica do hemisfério esquerdo, muitos cientistas sugeriram que determinado pedaço do lobo temporal era maior do lado esquerdo que do lado direito. Mas hoje sabemos que essa assimetria tão anunciada reflete apenas o padrão dos giros cerebrais e não sua superfície verdadeira. Desde que esses estudos anatômicos foram originalmente realizados, em meados dos anos 60, houve um grande avanço nas análises computadorizadas do cérebro. Esses novos métodos nos permitem fotografar um cérebro vivo e analisar sua estrutura tridimensional detalhadamente. Um processo que corrige todos os erros inerentes às análises bidimensionais. Quando um cérebro humano normal é analisado por esse método, as assimetrias no lobo temporal desaparecem.

No entanto, essa mesma tecnologia nos permite dividir cada hemisfério cerebral em aproximadamente 27 regiões de interesse e comparar os lados esquerdo e direito do cérebro para procurar outras assimetrias. E claro, fizemos as médias das áreas de superfície de cada região e depois comparamos o lado esquerdo com o direito. Dentro dos limites do que escolhemos chamar de assimétrico, não existe nenhum tipo de assimetria no cérebro humano. O problema, no entanto, é que cada cérebro analisado apresentava um perfil único. Alguns eram assimétricos tendendo para a esquerda e outros para a direita. Alguns apresentavam áreas assimétricas maiores nos lobos frontais, outros nos lobos occipitais e outros ainda nos lobos temporais.

As médias, nesse caso, constroem a imagem de um cérebro idealizado. No mundo biológico real, os cérebros são obviamente muito assimétricos e a variação é enorme. Quando todas essas variações são transformadas em média, construímos um cérebro que não existe na natureza. Cada cérebro tem um tipo de assimetria, e esse fato significa que qualquer alegação que relacione uma assimetria em particular com determinada função mental está fadada ao erro. Em resumo, as médias podem ser produzidas e, como acabamos de ver, podem

até ser sistematicamente falsas. Pode ser que, de fato, os padrões únicos de nosso cérebro sejam responsáveis pela nossa mente única.

*MICHAEL S. GAZZANIGA* é diretor do Center of Neuroscience e professor de psicologia na University of California, Davis. Nos últimos trinta anos dedicou-se a uma análise mais profunda de pacientes portadores de hemisférios cerebrais desconectados. Sua pesquisa nessa área começou em 1960, trabalhando com Richard Sperry, ganhador do prêmio Nobel e, juntamente com Ronald Myers, descobridor do fenômeno dos hemisférios cerebrais desconectados—um fato que se dá quando as fibras que conectam os dois hemisférios são danificadas e a informação dada visualmente a uma das metades não é transferida para a outra. Gazzaniga é o autor de *The Social Brain, Nature's Mind e Mind Matters*.

*Dedicado a um estudante que me disse que algumas teorias que eu expliquei (não minhas) eram “muito simplistas”, e que ficou chocado quando respondi que essa era a maior virtude delas.*

Caro L.,

O pensamento de qualidade requer estilo intelectual. O estilo consiste principalmente em evitar alguns erros cruciais, os quais, infelizmente, são tão difundidos quanto prejudiciais. Pensar requer o uso de instrumentos adequados, e o instrumento sobre o qual quero lhe falar é, talvez, o mais modesto de todos. Uma ferramenta tão discreta em algumas teorias que algumas pessoas nem notam sua existência. Ainda assim, esse instrumento é usado; e não apenas isso, se ele não for usado você não pode “fazer” ciência. E, sob o meu ponto de vista, você nem ao menos pode pensar sobre qualquer problema, científico ou não, de um modo que realmente faça sentido. Deixe-me ir ainda mais adiante. Existe uma diferença entre aqueles que usam esse instrumento e aqueles que não o fazem. A comunicação entre esses dois tipos de pessoa é sempre difícil. O instrumento tem um nome em latim que o torna respeitável e misterioso, *ceteris paribus*, e uma tradução em português que é, de fato, mais enganosa por ser tão simples: *tudo o mais* (ou *outras coisas*) *sendo invariável*. Se você despender algum tempo pensando sobre o que essa frase significa realmente, e como pode ser usada, logo perceberá alguns aspectos muito importantes do estilo intelectual.

Para que eu possa explicar a importância desse instrumento, deixe-me dar um exemplo apenas parcialmente imaginário. Vamos supor que você esteja se perguntando como as pessoas tomam decisões em situações nas quais não têm acesso a todas as informações relevantes. As pessoas compram bilhetes da loteria sem saber quais números serão sorteados; concorrem por postos de trabalho sem saber se são os melhores candidatos; comportam-se amigavelmente com pessoas que talvez deveriam evitar. Nessas situações, as pessoas tendem a tomar certas decisões se acharem que elas trarão o resultado esperado, e que o resultado esperado será desejável. Você percebeu, e essa foi sua grande descoberta, que a probabilidade de as pessoas tomarem decisões pode ser estimada multiplicando-se esses dois fatores. Isto é, se você puder medir a probabilidade de sucesso de um certo desfecho e o quanto ele é desejado. Depois, o produto dessas duas medidas lhe fornecerá a probabilidade de um sujeito tomar a atitude em questão. (Deixaremos de lado as tecnicidades do caso, que, a essa altura, devem estar resolvidas pela sua mente matematicamente bastante competente.) Esse princípio tem consequências

interessantes. Por exemplo, parece prever que as pessoas são *igualmente* propensas a tomar certa decisão, em duas situações diferentes: (a) quando o desfecho é altamente desejável mas não muito provável e (b) quando o desfecho não é muito desejável mas mais provável de ser alcançado. Esta é uma das consequências dessa ideia de multiplicação: um produto é o mesmo quando um fator é aumentado e o outro diminuído na mesma proporção. Você se sente bem em relação à sua descoberta, porque parece se aplicar muito bem a diversas situações. Você pode explicar dessa forma o porquê de algumas loterias serem mais populares que outras; você também pode explicar por que as pessoas concorrem a vagas em empregos que têm pouquíssima chance de conseguir, mas que são altamente desejáveis.

Vamos supor que você exponha sua descoberta a vários públicos. Nessa situação imaginária, ninguém pensou ainda sobre tomada de decisões, e muito menos em aspectos formais do processo, portanto seu “princípio” é bastante novo. Posso prever que você obterá dois tipos de reações, deixando de lado aquelas pessoas que nem entenderão o que você está tentando dizer. Primeiro, algumas pessoas farão todo tipo de objeções à sua teoria. Por exemplo, dirão que você não deveria falar sobre probabilidade de sucesso e o quanto um desfecho é desejado, e sim sobre o que as pessoas *entendem* por esses aspectos. O comportamento das pessoas não se baseia no que as coisas realmente são, mas no que pensam que são. A plateia também lhe diria que seu princípio seria mais realista se você adicionasse um terceiro fator: o custo envolvido na tomada daquela decisão. Dada uma chance igual de ganhar certa quantia, as pessoas provavelmente comprarão o bilhete lotérico mais barato. Haverá muitas outras objeções desse tipo. Tudo isso pode ser um pouco doloroso de ouvir, já que mostra que sua teoria está longe de ser perfeita. Mas você é um cientista genuíno e a verdade importa mais que o orgulho. Então, de volta à prancheta.

Infelizmente, é provável que seja feito outro tipo de crítica à sua teoria. Algumas pessoas terão objeções não à maneira como você construiu sua teoria, e sim à própria ideia de criar tal teoria. Elas lhe dirão o seguinte:

“Não faz sentido falar de maneira abstrata sobre pessoas tomando decisões, sem levar em conta o contexto. Primeiro, as decisões são tomadas em diferentes situações. Comprar um bilhete de loteria não é, de jeito algum, comparável à disputa por um cargo, então por que deveria haver uma lógica comum para essas duas situações? Com certeza, o que quer que façam com bilhetes de loteria depende da ideia que fazem de loterias, e o que fazem com concursos profissionais depende de sua ambição, então você deveria estudar esses dois contextos detalhadamente. Segundo, todos nós conhecemos pessoas que agem de forma irracional. Elas podem estar bêbadas quando comprarem seus bilhetes de loteria; podem ter noções pouco realistas de sua capacidade

profissional; e, em muitos casos, são movidas por anseios irracionais e paixões. Portanto, seu princípio não faz sentido algum.”

Você fica chateado novamente, dessa vez porque as pessoas não se impressionaram com a sua teoria — mas nessa situação imaginária você está certo e eles errados, e eu acho que é importante entender o porquê disso. Uma vez que você tenha superado a raiva, provavelmente pensará que eles apenas não entenderam o ponto em que você quis chegar. E esta pode ser sua resposta ferina:

“Em primeiro lugar, não era minha intenção explicar tudo sobre loterias ou empregos, mas descrever suas características comuns. Se você descreve o que duas situações têm em comum, não é porque pensa que elas têm tudo em comum, e sim porque acha que os aspectos comuns a elas podem ser importantes. Em segundo, eu estava tentando descrever o que uma pessoa sensata tende a fazer quando procura alcançar resultados desejáveis e evitar os indesejáveis. Eu preferi ignorar casos um tanto excepcionais, nos quais as pessoas, perversamente, tentam fracassar ou têm distúrbios mentais. Então como vocês puderam fazer objeções tão irrelevantes?”

Eles o fizeram porque não entenderam que seu princípio, quando formulado, tinha subentendido a frase *tudo o mais sendo invariável*. Talvez você mesmo não tenha percebido isso. Eles discutiram pontos irrelevantes porque não entenderam o que essa frase significa, ou porque não gostam do estilo intelectual que ela representa. Para muitas pessoas, fazer ciência consiste em descobrir “o que realmente acontece”, além dos preconceitos e conhecimentos adquiridos. Os cientistas são vistos como pessoas que descrevem as coisas como elas realmente são. Assim, parece que as teorias de alguém deveriam sempre ser “fiéis à vida”. Isso tudo é muito lisonjeador para os cientistas, mas é uma grande besteira. As teorias científicas são “fiéis à vida” somente no sentido de que a *evidência* é o único tribunal a julgar o certo e o errado na ciência. Um fato embaraçoso e inexplicável tem mais peso que uma teoria elegante e satisfatória, e isso é o que torna a ciência às vezes tão frustrante. Em outras palavras, ideias científicas não são, não podem ser, *nem deveriam* ser “fiéis à vida”. E isso é, basicamente, o que significa a frase *tudo o mais sendo invariável*. Não há nada de terrivelmente complicado sobre ela. De fato, no parágrafo acima, você acabou de explicar o que ela significa através de sua resposta àquelas objeções tolas. Para definir as coisas em termos mais abstratos: produzir uma teoria não significa levar em conta todos os possíveis aspectos do fenômeno que você procura descrever. Pelo contrário, significa que você se concentrou em alguns aspectos que podem ser descritos por meio de generalizações abstratas, assumindo, em prol da simplicidade, que todos os outros aspectos estão “neutralizados”, ou seja, que são

“invariáveis” ou imutáveis. Nesse ponto algumas pessoas ficarão perturbadas e lhe dirão que tudo o mais não é invariável, que tudo muda de acordo com a situação. Como você pode simplesmente *decidir* não considerar o que realmente acontece, em toda a sua riqueza e complexidade?

Seja lá qual for o fenômeno que queira explicar, você deve lembrar que todas as teorias baseiam-se na decisão de considerar todas as demais coisas iguais ou imutáveis. Sem isso, você não é capaz de descrever nem mesmo o fenômeno mais simples. De fato, temos demonstrações disso na nossa vida cotidiana. Deixe-me usar um exemplo simples que não envolva ciência avançada. Quando seus olhos são examinados, sua acuidade visual em geral é medida, perguntando-se até que ponto você pode ler as letras na tela, colocada a cerca de três metros da sua cadeira. São letras maiúsculas isoladas, projetadas num painel iluminado; o resto da sala se encontra na penumbra, de modo que a tela fique destacada. Os oftalmologistas se satisfazem em medir sua capacidade visual e prescrever lentes com base no seu desempenho nesse tipo de teste. Se você não tiver conhecimento do princípio do *ceteris paribus*, pode não concordar com esse procedimento, já que o teste não “leva em conta” o contexto natural da visão. O que normalmente lemos são palavras que fazem sentido, frases, e não letras maiúsculas isoladas; raramente lemos numa tela luminosa, numa sala escura; e, na maioria dos casos, os objetos mostram uma cor, uma textura e conexões com outros objetos. Portanto, o que o oftalmologista mediu não pode ser sua acuidade visual “real”.

Deixe-me voltar à sua teoria científica sobre a tomada de decisões. Com essa “teoria” (a qual considero extremamente simples, tendo a vantagem de ser verdadeira), você acabou de começar uma brilhante carreira como especialista em tomada de decisões em situações incertas. Você não deveria ficar indevidamente perturbado com objeções irrelevantes. Você deve ter consciência, no entanto, de que seu caminho estará repleto desses argumentos absurdos. E isso acontece porque você se deparará mais frequentemente, onde quer que vá, com pessoas que não entendem o *ceteris paribus* do que com as que entendem. Elas têm dois modos de pensar diferentes e pertencem a culturas diferentes. Isso é o que o escritor russo Alexander Zinoviev quis dizer quando escreveu, em *Yawning Heights*, sobre os “dois princípios” que regem a atividade intelectual: “O princípio científico produz abstrações, o anticientífico as destrói com o argumento de que isso ou aquilo não foi levado em conta. O princípio científico estabelece conceitos rígidos, o anticientífico os torna ambíguos a pretexto de, com isso, revelar sua verdadeira espécie”.

Mas, volto a dizer, por que deveríamos aceitar esse programa intelectual? A principal razão para pensarmos assim, para isolarmos fatores diferentes e idealizar coisas distantes da realidade, é que isso é o que precisamos para fazer ciência, e a ciência tem sido o empreendimento intelectual mais bem-sucedido



de todos até o momento. Explicou mais sobre o mundo do que qualquer outra forma de pensamento. Portanto, é apenas melhor... com tudo o mais sendo invariável, é claro.

Pascal Boyer

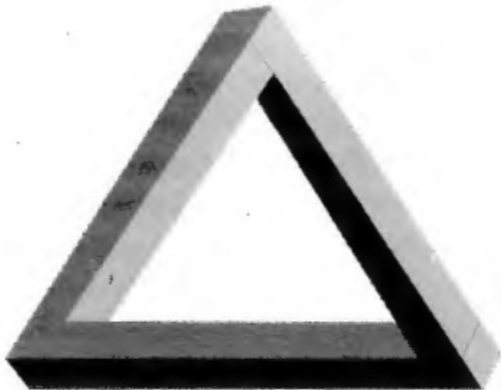
*PASCAL BOYER* é pesquisador livre associado do King's College, Cambridge. O tema principal de sua pesquisa é a interface da antropologia e as ciências cognitivas, mostrando a variedade de fenômenos culturais que são reprimidos pelas características universais da mente humana. Nos últimos cinco anos ele se dedicou a representações religiosas e está realizando um trabalho cognitivo experimental com crianças e adultos. O ponto central dessa pesquisa é demonstrar que a mente humana é particularmente suscetível a acolher representações que violam seu entendimento tácito e intuitivo do mundo natural. As ideias religiosas não são respostas às perguntas universais do ser humano, nem mesmo fornecem explicações para experiências complexas. São mais um efeito colateral do tipo de capacidade cognitiva que a evolução nos deu. Os aspectos antropológicos da pesquisa são apresentados em seus livros *Tradition as Truth and Communications* *The Naturalness of Religious Ideas*.

Quantas vezes eu lhe disse”, Sherlock Holmes ponderou a Watson, “quando você tiver eliminado o impossível, aquilo que restar, por mais improvável que pareça, deve ser a verdade?” E quantas vezes temos que ser lembrados de que essa é uma máxima geralmente ignorada pelo ser humano?

Aqui está um teste para prová-lo. A figura 1 mostra o desenho de um objeto estranho, criado alguns anos atrás, no laboratório do professor Richard Gregory. O que você acha que este desenho significa? Que explicação sua mente constrói com as informações que chegam a seus olhos?

Você o enxerga, presumivelmente, como um desenho do famoso triângulo impossível: isto é, a representação de um objeto triangular sólido cujas partes funcionam perfeitamente isoladas umas das outras, mas cujo todo se recusa a encaixar — um objeto que não poderia possivelmente existir no espaço tridimensional comum.

No entanto, o objeto na figura de fato existe no espaço comum. Baseia-se numa fotografia não retocada de um objeto real, sem envolver nenhuma ilusão de óptica. Na verdade, se você estivesse posicionado no lugar em que estava a câmera no momento em que a foto foi tirada, veria esse objeto exatamente como o vê agora, nesta página.



*Figura 1*

Qual, então, deveria ser sua atitude diante desse aparente paradoxo? Você deveria (com a mente aberta, confiando em sua experiência pessoal) acreditar no que inquestionavelmente vê, aceitar que o que você sempre pensou não existir pode existir, e realmente existe, e abandonar todas as suas sólidas crenças sobre a estrutura do mundo “normal”? Ou, dando atenção à frase de Holmes, você optaria por estabelecer uma argumentação contra a impossibilidade e sair à procura do improvável?

A resposta correta, é claro, é a segunda. Pois a verdade é que Gregory, longe de ter criado um objeto “paranormal”, que desafia as regras do espaço tridimensional, criou um objeto perfeitamente normal, que desafia as regras da expectativa humana. O formato verdadeiro do objeto de Gregory é revelado através de outro posicionamento da câmera, na figura 2.

Trata-se de um objeto bastante incomum (devem existir apenas uns dois deles no universo). E foi fotografado para a figura 1 do ponto de vista mais incomum (para tirar essa foto a câmera teve que ser colocada na única posição possível para que o objeto ficasse daquela forma). Mas aí está. E, agora que você viu a solução real, não ficará mais impressionado.



*Figura 2*

Ah, se fosse assim! Você olha a figura 2. E agora olha de novo para a figura 1.0 que vê desta vez? Quase com certeza, exatamente o que viu antes: a impossibilidade em vez da improbabilidade! Mesmo quando orientado na direção correta, você de bom grado continua a “perceber” os dados da maneira mais insensata. Sua mente, pelo que parece, não consegue deixar de escolher a explicação simples porém atraente—mesmo que insana—em vez da explicação complicada porém lógica. A lógica e o bom senso são colocados em segundo plano em relação à ideia de todo e inteireza.

Existem muitos exemplos no amplo mundo da política e da cultura humanas onde algo parecido ocorre, ou seja, o bom senso é superado por algum tipo de princípio explicativo sedutoramente simples — seja ele ético, político, religioso e até mesmo científico. Pois, se há algo que os seres humanos são espantosamente propensos a fazer (poderíamos até dizer que são talentosos nisso), é rivalizar com o fotógrafo que registrou a figura 1, e conduzir a si mesmos na direção da única posição ideológica a partir da qual uma explicação impossível e mesmo absurda das “coisas da vida” pareça simples e vigorosa.

Essa posição especial pode ser chamada, por exemplo, de cristianismo, ou marxismo, ou nacionalismo, ou psicanálise — talvez até algumas formas de ciência, ou pseudociência. Pode ser uma posição ideológica que se mostre atraente a uma parte da população, em alguns momentos, ou a toda a população, durante todo o tempo. Mas, seja ela qual for, para aquelas pessoas que em determinada questão estão envolvidas nessa posição, ela parecerá, com certeza, a melhor posição a ser tomada. “Aqui permaneço”, nas palavras de Martin Luther, “não poderia agir de outra forma”; e a absoluta segurança dessa atitude parecerá ser confirmada pelo próprio fato de permitir a aplicação da solução desejada ao problema em questão.

No entanto, o sinal revelador do que se passa será sempre o fato de que a solução desejada funcionará apenas naquela posição — e que se o observador for capaz de mudar a perspectiva, mesmo que sutilmente, as falhas apareceriam. E claro, o truque — para aqueles que querem manter as aparências e não dar o braço a torcer — é não mudar a perspectiva, ou recuar rapidamente quando tentados a fazê-lo.

A moral da história é que, quando candidatos a gurus nos oferecem respostas definitivas a qualquer dos quebra- cabeças da vida, um modo de encarar as coisas que faz com que tudo tenha sentido, a última palavra sobre “como as coisas são”, nós deveríamos ficar atentos. De todo modo, podemos dizer: “Obrigado, isso parece bonito”. Mas devemos sempre estar preparados para dar mais uma olhada.

*NICHOLAS HUMPHREY* é um psicólogo teórico que pesquisou e lecionou em Oxford e Cambridge, além de pesquisador bolsista nos Estados Unidos e na Alemanha. Entre seus livros estão *Consciousness Regained* e *The Inner Eye*, assim como *A History of the Mind*. Seus interesses são abrangentes: estudou gorilas da montanha com a doutora Dian Fossey, em Ruanda; fez descobertas importantes sobre os mecanismos cerebrais subjacentes à visão; propôs a teoria, bastante celebrada atualmente, sobre “a função social do intelecto humano”; e é o único cientista que já editou o jornal literário *Granta*. Recebeu várias homenagens, incluindo o Martin Luther King, Jr. Memorial Prize, em 1985.

## O QUE SABER E COMO APRENDÊ-LO - Roger C. Shank

O que uma pessoa educada deveria saber? Na escola, muito pouco tempo é empregado para responder a essa pergunta. A escola já sabe o que você precisa saber: vocabulário sobre os filós, os enredos de várias obras literárias do século passado e como provar uma teoria trigonométrica. No entanto, quando você tenta fazer com que os computadores saibam coisas para poderem agir “inteligentemente”, percebe que estas não são, de maneira alguma, aquilo que eles precisam saber. Os computadores precisam saber como fazer coisas, como compreender o que os outros fizeram ou disseram e como aprender com os erros que cometem quando fazem essas coisas.

Educar um computador significa dar a ele a habilidade de tirar conclusões (se João bater em Maria, ela provavelmente ficará ferida, nervosa e poderá bater nele também), inferir crenças (se os Estados Unidos bombardeiam o Iraque deve ser porque acreditam que a violência se justifica pela necessidade de controlar os interesses econômicos de alguém) e aprender com os erros (quando você pede filé mignon num avião e ele vem queimado, é melhor se lembrar disso da próxima vez que pegar um voo, e pedir um iogurte antes). Essas são exatamente as coisas que as pessoas precisam aprender a fazer. Sabemos que um computador pode ser programado para ter conhecimentos enciclopédicos sobre todo tipo de assunto, mas não creio que isso signifique que ele é “inteligente”, não mais do que uma pessoa que tenha a habilidade para declamar fatos ao acaso. Mas, a despeito do que sabemos sobre como as pessoas aprendem e sobre a própria construção da inteligência, as escolas continuam firmemente embasadas no modelo de aprendizagem que enfatiza fatos e desvaloriza o fazer. Essa separação entre aprender e fazer é muito perniciosa.

Recentemente, tornou-se moda definir inteligência usando várias “listas literárias”. As livrarias estão cheias de listas arrolando os mais diversos tipos de fatos — científicos, culturais, até religiosos —, todas pretendendo explicar o que uma pessoa tem que saber para ser culta ou “letrada”. A ideia, no caso, é que ser educado significa saber coisas. Implícito em tudo isso está o fato de que nós, como uma sociedade, estamos de acordo quanto ao tipo de coisa que alguém deve saber e decidimos que fornecer informações é o papel da educação.

Não acredite nisso. Não existe nenhum conjunto de coisas que as pessoas deveriam saber. O quê? Nada de George Washington? Nada de Discurso de Gettysburg? É claro que não faz mal nenhum saber estas coisas. O que realmente faz mal é assumir a posição de que, já que essas coisas devem ser conhecidas, educar é simplesmente ensiná-las. Isso torna a escola um lugar bastante enfadonho, estressante e irrelevante, como você já deve ter descoberto.

Os fatos não são a base do aprendizado, e dominá-los não quer dizer absolutamente nada sobre a educação de uma pessoa. Os fatos têm um papel importante no sistema educacional porque são muito fáceis de testar. E são esses testes (em geral provas altamente irrelevantes) que vêm moldando seu aprendizado desde os seis anos de idade. Curiosamente, as coisas mais importantes que as pessoas sabem não podem ser classificadas nem lembradas como fatos. Qual é a melhor maneira de fazer a pessoa dos seus sonhos se interessar por você? Como alguém deve agir para seguir uma carreira brilhante? Os Estados Unidos estavam errados ao acreditar no Destino Manifesto? A situação na Bósnia é realmente semelhante à da Alemanha nazista ou assemelha-se mais à do Vietnã? Uma pessoa educada pode ter respostas para essas perguntas. Mas não são perguntas simples, nem existem respostas simples para elas. Ser educado quer dizer ser capaz de entender as perguntas e saber um número suficiente de fatos relevantes para ter argumentos razoáveis. E ter argumentos sensatos é o assunto-chave aqui. Aprender a pensar e a expressar os pensamentos é o verdadeiro sentido da educação.

Qual é a base do aprendizado? É estar preparado para errar, ter disposição para o fracasso e habilidade para concentrar a atenção na confusão de alguém, na esperança de ser capaz de elaborar ou entender uma explicação que tornará as coisas mais claras.

Por essa razão, o modo como os fatos são encarados é muito mais importante que os fatos em si. Não importa o que você sabe, mas como veio a sabê-lo. Tipicamente, o que aprendemos na escola nos chega através do processo de memorização. Mas decorar algo não significa ser capaz de lembrá-lo mais tarde, quando aquela informação puder lhe ser útil. Informações adquiridas em um contexto podem não ser prontamente utilizadas em outro. Mesmo sendo difícil opor-se às tentativas da escola de fazê-lo decorar coisas, é importante reconhecer que apenas decorá-las não significa ter grande conhecimento delas. Ser capaz de enunciar fatos é útil para passar em provas, impressionar seus amigos e se dar bem em programas de auditório, mas serve para muito pouco além disso.

Nós aprendemos melhor aquilo que queremos — informações que nos ajudam a alcançar objetivos que nos propusemos a atingir. Os computadores — aqueles que são inteligentes — podem nos ajudar a fazer isso oferecendo ambientes de aprendizado seguros, mas excitantes. Tais computadores podem ser “ensinados” a fazer perguntas, fornecer informações valiosas e ser infinitamente pacientes enquanto o usuário tenta resolver o problema.

O Institute for the Learning Sciences montou uma exposição computadorizada para o Museum of Science and Industry, em Chicago, que mostra como esse processo funciona. O museu queria ensinar aos visitantes o que era a anemia falciforme; o programa Conselheiro da Anemia Falciforme faz

exatamente isso, permitindo que o visitante desempenhe o papel de conselheiro genético. Apresentando ao visitante um desafio, captura sua motivação para aprender.

O problema proposto pelo programa é o aconselhamento de casais que estejam preocupados com a possibilidade de seus filhos herdarem o gene para anemia falciforme. O Conselheiro da Anemia Falciforme simula situações reais que um assessor ou conselheiro genético tem que enfrentar ao lidar com seus clientes, e dá acesso ao usuário a especialistas humanos (via vídeoteipe) que ajudam a resolver o problema em questão.

O Conselheiro da Anemia Falciforme continua sendo muito popular no museu, onde os visitantes frequentemente passam em torno de meia hora explorando as várias possibilidades de aprendizado. Isso é muito mais tempo do que os visitantes de museus costumam ficar em exposições, mas eles o fazem porque as experiências de aprendizado oferecidas são realistas, propondo objetivos que eles se interessam em alcançar.

Não muito tempo atrás, perguntei a estudantes de um curso de graduação o que tinham aprendido recentemente. Eles citaram fatos que haviam aprendido em outras aulas, mas não tinham nem ideia de quando usariam essas informações novamente. Quando perguntei a mesma coisa a uma classe de alunos de pós-graduação, contaram-me apenas coisas que haviam aprendido sobre a vida. Eles tinham acabado de alugar um apartamento pela primeira vez, por isso ouvi muito a respeito de cozinhar e limpar, mas também falaram sobre as coisas que aprenderam na escola e que foram úteis em projetos que estavam tentando realizar. Estudantes de pós-graduação se concentram basicamente na realização de tarefas. Aprendem o que é necessário para ajudá-los a realizá-las. Para eles, aprender significa adquirir conhecimento a serviço de um objetivo. Mas, a menos que você considere passar em provas um objetivo, não verá esse padrão se repetir antes da faculdade.

Para tornar os computadores inteligentes, precisamos ensiná-los a direcionar seu próprio aprendizado. Não podemos simplesmente despejar fatos na memória dos computadores, porque eles não saberão o que fazer com o conhecimento adquirido. Mas se eles aprenderem enquanto fazem algo, então o posicionamento desse conhecimento em sua memória se torna fácil; ele fica armazenado no ponto em que foi adquirido, podendo, assim, modificar os procedimentos que estavam errados no momento em que adquiriu esse conhecimento.

Da mesma forma, você precisa aprender a direcionar seu próprio aprendizado. O contexto fornece a estrutura para o aprendizado, então vivenciar várias situações diferentes, ou tentar coisas diferentes, é muito importante. Não saber como agir diante de uma situação faz com que a pessoa se concentre em aprender uma maneira de realizar algo desconhecido, portanto continue tentando fazer coisas novas e procurando entender as razões pelas quais falhou ou foi



bem-sucedido. Não permita que as pessoas lhe deem sermões ou imponham informações das quais não precisa. Por outro lado, você deve exigir que lhe sejam ensinadas coisas que resolvam as dificuldades surgidas no momento em que tentou realizar algo.

O segredo para aprender, depois de ter tentado fazer algo, ter falhado e avaliado suas próprias ações, está no processo de generalização. Não é suficiente apenas aprender como agir em determinada situação; você deve saber também como generalizar a lição que aprendeu, para que ela se aplique em outras situações. Se você não for capaz de fazer isso, adquiriu uma coleção estreita de informações não relacionadas, úteis apenas em domínios específicos, mas inúteis em qualquer outro caso.

Não é possível fazer generalizações após obter informações sem realizar um esforço consciente. Entretanto, fazer esse esforço envolve a criação de generalizações inerentemente impossíveis de serem testadas, que permanecem somente como hipóteses, que não são fatos em si mesmas. Mesmo assim, não tenha medo de testar suas generalizações em pessoas que conhece. Elas irão, sem dúvida, lhe dizer que está errado, mas peça a elas que sustentem seus argumentos. Em geral, as pessoas têm medo de novas generalizações por não poderem saber se elas estão certas ou erradas. As pessoas temem o desconhecido, mas o verdadeiro aprendizado, assim como o discernimento real, depende de se examinar o que seja desconhecido e, talvez, o que seja impossível saber. Proponha novas generalizações e esteja preparado para defendê-las. Ignore os novos fatos que lhe são apresentados, a não ser que eles o ajudem a fazer algo — como responder uma pergunta ou alterar uma de suas generalizações.

Para mostrar por que os fatos não importam, considere o valor de um fato típico a respeito do qual a maioria das listas culturais concordariam que todo mundo deveria saber: “Colombo descobriu a América em 1492”. Qual é a importância desse “fato”? A maioria dos fatos são simplificações exageradas de eventos muito complexos e, quando aprendidos como fatos, perdem todas as suas características interessantes. Que diferença faz quando isso aconteceu? O que importa é que algo aconteceu, que nós entendamos o que o levou a acontecer e as consequências que isso pode ter em nossas vidas. Pode muito bem haver controvérsias sobre a descoberta da América por Colombo, mas há pouca controvérsia sobre o fato de que a realização de Colombo abriu um novo capítulo na história mundial, que teve muitas ramificações importantes. Isso importaria se você estivesse pensando sobre a Bósnia, o Iraque ou sobre a situação dos índios americanos, por exemplo, e aí então você poderia querer aprender esse fato. Aprenda a mesma coisa num momento diferente, fora de qualquer contexto, e ela será inútil.

Se não existem fatos que valham a pena conhecer, então o que vale a pena

conhecer? Primeiro, existem habilidades, particularmente habilidades básicas como ler, escrever ou saber aritmética. Também existem outras, menos básicas, como saber se expressar oralmente, se relacionar com os outros e entender o mundo em que vivemos. Também vale a pena conhecer processos: processos políticos, psicológicos, físicos e econômicos. Entender como as coisas funcionam, para que você possa trabalhar com elas e fazer com que elas trabalhem a seu favor, também é importante. Casos também valem a pena. O que é um caso? Para um estudante, será importante ouvir histórias que ilustrem verdades sobre qualquer assunto acerca do qual mostre interesse. Coisas excitantes sobre aquele tema, a experiência de outros com ele, e assim por diante. Fazer com que os computadores tenham uma ampla “base de casos”, no sentido de poderem compreender casos novos e propor novas generalizações, acaba sendo o ponto crítico na criação da inteligência artificial.

Certamente, vale a pena conhecer a própria experiência. Como aprendemos melhor fazendo, os estudantes devem ter coisas reais para fazer, das quais adquirirão sua própria “base de casos”. A melhor forma de aprender sobre um processo político, por exemplo, é engajando-se em um. Portanto, há muito que valha a pena aprender, mas fato algum é válido por si mesmo. Para se tornar educado, você precisa direcionar sua própria educação. Para aprender, você precisa fazer, e lutar contra o que o impeça de fazê-lo, pois assim você pode mudar sua base de conhecimento e tentar novamente. Procure encrenca para aprender com ela, e preste apenas a atenção necessária à escola, lembrando que a escola e o aprendizado têm muito pouco a ver um com o outro.

*ROGER SCHANK* é cientista de computação e psicólogo cognitivo. É diretor do Institute for the Learning Sciences na Northwestern University, professor de engenharia elétrica e ciência da computação, professor John Evans de psicologia e de educação e normas sociais. Seu trabalho principal visa entender como funciona a mente, com ênfase em como a linguagem é entendida, como funciona a memória humana, como se dá o aprendizado e a racionalização, como ensinar crianças, como fazer computadores servirem de exemplo para as pessoas, como fazer com que os computadores sejam úteis para a população em geral.

Ele é autor de catorze livros sobre criatividade, aprendizado e inteligência artificial, incluindo *The Creative Attitude: Learning to Ask and Answer the Right Questions*, com Peter Childers, *Dynamic Memory*, *Tell me a Story* e *The Connoisseur's Guide to the Mind*.

## COMO NOS COMUNICAMOS? - Dan Sperber

Comunicarmo-nos. Nós, seres humanos, o fazemos o tempo todo, e na maioria das vezes sem perceber. Falamos, ouvimos, escrevemos, lemos — como você está fazendo agora mesmo — ou desenhamos, fazemos mímica, dizemos que sim com a cabeça, apontamos, damos de ombros, e, de alguma maneira, conseguimos que os outros entendam nossos pensamentos. E claro, há momentos em que encaramos a comunicação como algo difícil e até impossível de alcançar. Entretanto, comparados com outros seres vivos, somos incrivelmente bons nisso. Outras espécies, se é que se comunicam, têm um repertório diminuto de sinais que são usados para afirmar repetidas vezes coisas como: “Este é meu território”, “Perigo, corra!” ou “Pronto para o sexo”.

Comunicar-se é a tentativa de fazer com que alguém compartilhe seus pensamentos — bem, pelo menos parte deles. Mas como podemos compartilhar pensamentos? Pensamentos não são coisas que vivem soltas em campo aberto, não podem ser fatiados como bolos ou usados coletivamente como ônibus. São assuntos extremamente particulares. Os pensamentos nascem, vivem e morrem dentro de nossos cérebros. Eles nunca saem realmente de nossas cabeças (apesar de falarmos como se saíssem, mas trata-se de uma metáfora). A única coisa produzida por uma pessoa para que outra a veja ou ouça é o comportamento e os vestígios que ele deixa: movimento, barulho, gravetos quebrados, manchas de tinta etc. Essas coisas não são pensamentos, elas não “contêm” pensamentos (essa é mais uma metáfora), no entanto alguns desses comportamentos ou rastros servem para representar pensamentos.

Como é possível que ocorra esse tipo de comunicação? Existe uma velha história — data, pelo menos, do tempo do filósofo grego Aristóteles — que indubitavelmente você já ouviu várias vezes. O que torna a comunicação possível, diz a história, é uma linguagem comum. Uma língua como o inglês é um tipo de código em que sons são associados a significados e vice-versa. Então, se Jill quer comunicar algo a Jack, ela procura em sua gramática mental um som associado ao significado do que deseja comunicar e produz esse som para que Jack o escute. Jack, então, procura em sua gramática mental o significado daquele som em particular. Dessa forma ele pode decifrar o que Jill tinha em mente. E claro que todo esse processo é automático e inconsciente (exceto nos momentos em que não conseguimos encontrar as palavras, e a busca por elas acaba se tornando dolorosa). Graças a essa conversão dupla — a codificação dos significados em sons e a decodificação desses sons em significados —, Jill e Jack podem compartilhar um pensamento. Bem, “compartilhar” ainda pode ser uma metáfora, mas agora pelo menos sabemos como entender isso claramente. Será

que sabemos?

A velha história do “nos comunicamos graças a uma linguagem comum” é simples e inteligente. Seria uma excelente explicação, se fosse verdadeira. Na verdade, tal história é verdadeira na maior parte dos processos de comunicação entre os animais. Abelhas e macacos têm seus próprios códigos rudimentares e, seja lá o que comunicarem, o fazem através de codificação e decodificação. Não ocorre o mesmo conosco, seres humanos. De fato, temos línguas ricas e muitos outros códigos secundários também, mas — e nesse ponto aquela velha história cai por terra—conseguimos nos comunicar muito além daquilo que codificamos e decodificamos, e não apenas eventualmente, mas o tempo todo. Portanto, o fato de termos uma linguagem é, no máximo, apenas parte da história.

Deixe-me exemplificar. Imagine que você está matando tempo num aeroporto. Há uma mulher sentada num banco próximo e você a escuta dizer ao companheiro dela: “Está atrasado”. Você já escutou e até mesmo pronunciou essas palavras inúmeras vezes. Você sabe o que elas significam? Certamente. Mas você sabe o que a mulher quis dizer ao pronunciá-las naquele momento? Pense nisso. Ela poderia estar se referindo a um voo que sairia ou chegaria atrasado. Ela poderia estar se referindo a uma carta que esperava ou ao atraso na chegada da primavera. Ela poderia nem estar falando de algo especial; poderia estar apenas constatando que já era final de tarde, ou de noite, ou que algo estava atrasado em sua vida. E mais, “atrasado” sempre se refere a algum horário ou expectativa; alguém pode estar atrasado para o almoço mas adiantado para o jantar. Portanto, ela deve ter dito “atrasado” em relação a algo, mas o quê?

Eu poderia me alongar em considerações, mas deve estar claro que, apesar de saber perfeitamente o que as palavras pronunciadas pela mulher queriam dizer, você não sabe o que ela queria dizer. Curiosamente, o companheiro dela não parece confuso. Ele parece tê-la entendido. E se você parar para pensar verá que, muitas vezes, era você a pessoa que escutava “Está atrasado”, e entendia exatamente o que o interlocutor queria dizer. Você não teve que pensar sobre os vários significados possíveis da frase “Está atrasado”. Será essa frase um caso especial? De modo algum. Qualquer frase em inglês — francês ou suaíle — pode ter significados diferentes em diversas ocasiões, e serviria para ilustrar o que acabei de dizer.

Por isso, os linguistas acharam necessário fazer distinção entre “significado da sentença” e “significado pretendido pelo interlocutor”. Os linguistas são os únicos interessados no significado das frases em si. Para o resto de nós, o significado da sentença é algo para o qual normalmente não estamos atentos. É algo que usamos inconscientemente como um meio de atingir a nossa verdadeira finalidade, que é entender as pessoas e nos fazermos entender. O significado pretendido pelo interlocutor — o que realmente nos interessa — sempre vai além

do significado da sentença: é menos ambíguo (apesar de poder ter suas próprias ambiguidades) ; mais preciso em alguns aspectos e, frequentemente, menos preciso em outros; tem um rico conteúdo implícito. O significado da sentença nada mais é que um esboço. Nós chegamos ao significado pretendido pelo interlocutor ao completarmos esse esboço.

Como chegamos ao significado pretendido através do significado da sentença? Como materializamos o esboço? Nos últimos vinte anos, ou algo próximo disso, tem se tornado óbvio que para captar o significado do interlocutor usamos inferências. Inferência é apenas o termo usado pelos psicólogos ao se referirem ao que comumente chamamos de “raciocínio”. Como o raciocínio, a inferência consiste em partir de algumas considerações iniciais e chegar, através de uma série de passos, a uma conclusão final. Os psicólogos, entretanto, não estão apenas sendo pretensiosos ao utilizar uma palavra mais incomum. Quando a maioria de nós se refere ao raciocínio, logo pensamos em um processo mental ocasional, consciente, difícil e até, por vezes, lento.

O que a psicologia moderna demonstrou é que algo parecido com o raciocínio acontece permanentemente — de forma inconsciente, indolor e rápida. Quando os psicólogos falam sobre a inferência, estão se referindo, primeira e principalmente, a essa atividade mental constante. Eis, portanto, a forma como os psicólogos e linguistas da atualidade veem a maneira como uma pessoa entende o que outra tem a dizer. Quando alguém lhe diz algo — por exemplo, “Está atrasado” —, primeiro você decodifica o significado da sentença e depois infere sobre o significado daquilo para o interlocutor. Tudo isso, no entanto, acontece tão rápido e de maneira tão fácil que parece ser um processo imediato e que não requer esforço.

Como, então, poderíamos rever nosso entendimento sobre a comunicação humana? A primeira resposta é permanecer o mais perto possível da velha teoria sobre codificação e decodificação. Numa versão atualizada, ela pode ser mais ou menos a seguinte: o que torna a comunicação possível é a existência de uma linguagem comum, como sempre dissemos; entretanto, dada a inteligência humana, você não precisa codificar tudo o que quer dizer, ou codificá-lo de maneira exata, para ser entendido. Você pode esperar que seus ouvintes infiram o significado completo do que quis dizer através de um conhecimento prévio da situação, somado ao que você acabou de pronunciar. Por que dizer “O voo de sua mãe chegará atrasado, e tão atrasado que não poderemos esperar por ele mais nem um minuto. Eu lhe disse que deveríamos ter ficado em casa”, quando “Está atrasado!” com a entonação correta pode conter toda essa informação e até mais? O papel da inferência na comunicação é ser o ponto opcional do qual se extraem significados adicionais. Tudo de que realmente precisamos para nos comunicar é uma linguagem comum, mas a inferência nos fornece procedimentos rápidos e atalhos eficientes demais para serem deixados de lado.

Muitos psicólogos e linguistas aceitam essa versão atualizada da velha história. Outros não. Na tentativa de entender o tipo de inferência envolvida na comunicação, alguns de nós viramos essa velha história de ponta-cabeça. Atualmente achamos que a comunicação humana é primeira e principalmente uma questão de inferência, e que a linguagem é o ponto opcional. Aqui vai a nova versão.

Há um milhão de anos, suponhamos, nossos ancestrais não possuíam nenhum tipo de linguagem. Um deles — vamos chamá-lo de Jack—estava observando uma ancestral — vamos chamá-la de Jill — colhendo pequenas frutinhas. O que Jack compreendeu do que Jill fazia? Ele pode ter considerado o comportamento dela apenas uma sequência de movimentos corporais, ou então um ato intencional, talvez com o objetivo de colher amoras para comer. Entender o comportamento de um animal inteligente como um ato intencional é, geralmente, muito mais esclarecedor e útil do que considerá-lo mero movimento. Mas será que nossos ancestrais eram capazes de identificar intenções por trás dos comportamentos uns dos outros?

Você tem que ser duplamente inteligente para enxergar a inteligência no outro. Você precisa da habilidade de representar, na própria mente, as representações mentais de outras criaturas. Você precisa, em outras palavras, ter a habilidade de cogitar representações das representações, o que, em nosso jargão, chamamos “metarrepresentações”. A maioria dos animais não possui nenhuma capacidade de fazer metarrepresentações. No mundo que enxergam não existem mentes, apenas corpos. Os chimpanzés e outros parentes próximos do ser humano parecem ter uma capacidade rudimentar de fazer metarrepresentações. E, no que

diz respeito a Jack, aposto que ele percebeu muito bem as intenções de Jill, e não apenas seus movimentos. De fato, ele provavelmente era dotado o suficiente para deduzir, a partir do comportamento de Jill, não apenas a intenção dela como também uma de suas crenças: a de que aquelas frutas eram comestíveis.

Se você é capaz de deduzir as crenças de outras pessoas através da observação de seu comportamento, pode se beneficiar do conhecimento dessas pessoas e descobrir fatos dos quais você não tem experiência direta. Jack poderia não saber que as frutas eram comestíveis, mas ver Jill colhendo- as deu-lhe uma boa razão para acreditar que eram. Mesmo sem o uso da língua ou da comunicação, pode ser possível descobrir os pensamentos de outra pessoa e torná-los seus.

Ao mesmo tempo, Jill era tão inteligente quanto Jack. Ela percebeu que ele a observava, e sabia que deduziria algo sobre seu comportamento. Ela pode ter gostado de Jack e ficado feliz, pois seu comportamento serviria a dois propósitos: dar a ela o alimento e a Jack uma informação. De fato, talvez Jill nem precisasse das frutinhas e seu objetivo principal ao colhê-las fosse mostrar a Jack que eram

comestíveis. Mas pense bem: talvez ela odiasse Jack e, sabendo que aquelas frutinhas eram venenosas, estivesse tentando enganá-lo! Nós estamos nos aproximando da comunicação verdadeira, com todos os seus artifícios, mas a língua ainda não entrou em cena. Existe outra grande diferença entre a tentativa de Jill de informar ou enganar Jack e a comunicação humana comum. Esta se dá abertamente. Por outro lado, naquele caso Jack não conseguiria perceber que Jill está tentando alterar os pensamentos dele.

E se Jack entender que a verdadeira intenção de Jill ao colher frutas é mostrar-lhe que elas são comestíveis? Se confiar em Jill, ele acreditará; caso contrário, não. E se Jill achar que Jack capta sua verdadeira intenção? Bem, nesse caso, um leque enorme de possibilidades é aberto! Se Jack percebe que a intenção de Jill é informá-lo, ela poderia então falar abertamente sobre isso. Jill não precisa mais colher as frutas. Tudo o que tem de fazer é mostrar a Jack que ela quer que ele saiba que as frutas são comestíveis. Pode, para tanto, lançar mão de símbolos.

Jill poderia, por exemplo, olhar para as frutas longamente e depois mover os lábios, ou poderia fazer uma mímica como se as comesse. Jack se perguntaria: “Por que ela está fazendo aquilo?”. Uma vez que percebesse que ela agia daquele modo para o bem dele, não seria difícil deduzir sua intenção, ou, em outras palavras, o que ela queria dizer com tudo aquilo. Isso é manifestamente comunicação, no entanto ainda sem a presença da língua. Tudo o que Jill faz é dar dicas sobre sua intenção, e tudo o que Jack faz é deduzir qual é a intenção, a partir das evidências fornecidas. Nenhuma daquelas dicas é linguística, nem mesmo semelhante a um código.

Para criaturas capazes de se comunicar através de inferências ou deduções, como nesse caso, uma língua seria tremendamente útil. Palavras são ainda melhores do que mímica quando se trata de colocar ideias na mente das pessoas. Se Jill tivesse sido capaz de pronunciar comida, ou bom, Jack poderia ter deduzido sua intenção (o significado completo daquela intenção) através do comportamento verbal tão facilmente quanto o fez através da mímica. Com uma linguagem mais rica, Jill poderia ter evidenciado coisas com significados mais complexos. Na verdade, naquela época, nossos ancestrais não falavam. Entretanto, a capacidade que tinham de se comunicar através de deduções criou um ambiente onde a língua surgiria como uma grande vantagem, e assim evoluiu no ser humano a capacidade de desenvolvê-la.

A nova versão da história é, portanto, que a comunicação humana é o produto da capacidade humana de realizar metarrepresentações. A habilidade de realizar deduções sofisticadas sobre os estados mentais do outro evoluiu em nossos ancestrais como um meio de entender e prever o comportamento alheio. Isso, por sua vez, abriu a possibilidade de se agir abertamente para que os pensamentos fossem revelados aos outros. Como consequência, criaram-se

condições para o desenvolvimento da língua. Esta tornou a comunicação por deduções imensamente mais eficiente. Não mudou seu caráter. Toda a comunicação humana, linguística ou não, tem caráter essencialmente dedutivo. Se fornecemos dicas de nossas intenções colhendo frutinhas, fazendo mímicas, falando ou escrevendo — como acabo de fazer —, confiamos basicamente na capacidade dos outros de deduzir o que realmente queremos dizer.

*DAN SPERBER* é pesquisador sênior do Centre National de la Recherche Scientifique e da Ecole Polytechnique de Paris. Juntamente com o linguista britânico Deirdre Wilson, escreveu *Relevance: Communication and Cognition*, onde desenvolvem um enfoque controverso e perturbador sobre a comunicação humana, e *Relevance Theory*, que vem inspirando muitas pesquisas inovadoras. É também autor de *Rethinking Symbolism* e *On Anthropological Knowledge*.



## A MENTE, O CÉREBRO E A PEDRA DE ROSETA - Steven Rose

Nossa linguagem é repleta de dicotomias: natureza *versus* nutrição; genes *versus* ambiente; masculino *versus* feminino; hardware *versus* software; conhecimento *versus* afeto; alma *versus* corpo; mente *versus* cérebro. Mas será que essas divisões em nossa forma de pensar refletem diferenças reais no mundo externo, ou seriam o produto da história intelectual de nossa sociedade? Ou seja, são ontológicas ou epistemológicas? E perceba que também esta distinção é dicotômica! Uma maneira de responder essa pergunta é verificar se sociedades de culturas diferentes fazem o mesmo tipo de separação. No caso mente *versus* cérebro, com certeza não: de acordo com o historiador de ciência Joseph Needham, a ciência e a tecnologia chinesas, por exemplo, não faziam essa distinção. Embora a separação entre mente e cérebro seja profetizada na maior parte das tradições greco-judaico-cristãs, só tomou vulto a partir do século XVII, com o nascimento da ciência ocidental moderna. Foi então que o filósofo e matemático católico René Descartes dividiu o universo em dois campos, o material e o mental. Todos os elementos vivos e o mundo natural que nos cerca, juntamente com a tecnologia criada pelo ser humano, foram considerados materiais, assim como o corpo humano. Mas a cada corpo humano foi atribuída uma mente ou alma, assoprada para dentro dele por Deus, e ligada a ele por meio de um órgão localizado no fundo do cérebro, a glândula pineal.

A separação foi útil de numerosas maneiras. Justificava a exploração de outros animais pelos homens, pois aqueles eram meros mecanismos, não sendo dignos de mais consideração do que a dispensada a qualquer outro tipo de máquina; exaltava o lugar de destaque da humanidade dentro do universo, mas apenas no que dizia respeito à alma; os corpos humanos também podiam ser explorados, e o eram de forma crescente, através da compra e venda de escravos na América e à medida que surgia a Revolução Industrial dos séculos XVIII e XIX; as almas podiam ser deixadas para o culto pastoral dos domingos.

O dualismo cartesiano deixou suas marcas na medicina, especialmente na parte dela que lidava com a mente. As desordens e perturbações mentais foram dicotomizadas em orgânicas/neurológicas — quando o problema era no cérebro — ou funcionais/psicológicas — quando houvesse algo de errado com a mente. Essas dicotomias persistem ainda hoje em boa parte da prática psiquiátrica, resultando na divisão da terapêutica em medicamentos para tratar do cérebro e conversa para tratar da mente. As causas dessas perturbações são normalmente atribuídas aos domínios da mente (chamadas “exógenas”, como no caso das depressões seguidas de tragédia pessoal) ou do corpo (“endógenas”, provocadas por genes defeituosos ou desequilíbrios bioquímicos).

Entretanto, conforme se expandiram a escala e o poder da ciência moderna desde o século XVII, o desconfortável acerto de Descartes foi posto à prova cada vez mais frequentemente. A física de Newton ordenava a movimentação dos planetas e a queda das maçãs. Antoine-Laurent Lavoisier demonstrou que a respiração humana era um processo de combustão química, em nada diferente da queima de carvão numa fornalha. Os nervos e músculos dançavam sob a aplicação das cargas elétricas de Luigi Galvani, e não pela ação de algum tipo de vontade autônoma. E a evolução darwiniana colocou os seres humanos lado a lado com outros animais. O reducionismo militante, o materialismo mecânico tornaram-se a ordem do dia. Em 1845 quatro fisiologistas em ascensão — os alemães Hermann Helmholtz, Cari Ludwig, Ernst Brücke, e o francês Emil du Bois-Reymond — fizeram o juramento mútuo de levar em consideração todos os processos corporais em termos físico-químicos; na Holanda, Jacob Moleschott foi ainda mais longe, afirmando que o cérebro secretava os pensamentos assim como os rins secretavam a urina, e que a personalidade era uma questão de fosfato. Para o campeão do darwinismo, o inglês Thomas Huxley, a mente estava para o cérebro assim como os apitos estavam para as locomotivas a vapor.

Mais de um século depois, esse reducionismo constituiu o conhecimento convencional de quase toda a ciência. Muitos acreditam que a ciência mais fundamental é a física, seguida da química, bioquímica e fisiologia; um pouco mais acima nessa hierarquia estão as ciências mais “maleáveis” como a psicologia e a sociologia, sendo que o objetivo das ciências unificadas parece ser transformar todas as ciências de hierarquia elevada em fundamentais. Os cientistas com formação em estudos moleculares são abertamente desdenhosos em relação às pretensões dos assuntos mais “maleáveis”. Em 1975, E. O. Wilson lançou seu famoso (ou notório, dependendo da perspectiva) texto *Sociobiology, the New Synthesis*, no qual afirmava que a biologia evolutiva, juntamente com a neurobiologia, estava prestes a tornar a psicologia, a sociologia e a economia irrelevantes; dez anos depois, o decano da biologia molecular, Jim Watson, estremeceu sua plateia no London Institute of Contemporary Arts com a afirmação de que “em última análise existem apenas átomos. Existe apenas uma ciência, a física; tudo o mais é serviço social”.

E quanto às memórias de infância, o prazer em ouvir um quarteto de cordas interpretando Beethoven, o amor, o ódio, as alucinações da esquizofrenia, a crença em Deus, o senso de justiça no mundo — e até mesmo a consciência em si? Concordamos com Descartes e confiamos esses fatos ao mundo mental e espiritual, intocados pelo mundo carnal, mas capazes de interagir com ele através da estimulação de um nervo? John Eccles, vencedor do prêmio Nobel por seu trabalho na fisiologia das sinapses (as junções entre as células nervosas), e assim como Descartes um compenetrado dualista e católico, certamente acreditava nisso, pois veio a argumentar que existia um “cérebro de ligação” no hemisfério

esquerdo, através do qual a alma pode cutucar as sinapses. Ou será que nos aliamos a Watson, Wilson e outros precursores do século XIX, tomamos partido dos genes e descartamos o resto? Como disse um colega bioquímico durante uma conferência para pais de crianças “com distúrbios de aprendizado”, seria nossa tarefa demonstrar “como desordens moleculares levam a desordens mentais”?

Bem, deixe-me dar minha própria opinião como neurocientista interessado no funcionamento do cérebro e da mente. Em primeiro lugar, existe apenas um mundo, uma unidade material ontológica. A alegação de que existem dois tipos de coisas incomensuráveis no mundo, o material e o mental, induz todo tipo de paradoxo e é insustentável. Sem entrar em longos debates filosóficos, a simples observação de que manipular a bioquímica cerebral (com drogas psicoativas, por exemplo) altera as percepções mentais ou de que o sistema de imagem tomográfica indica que regiões específicas do cérebro usam mais oxigênio e glicose quando uma pessoa está concentrada, tentando resolver um problema matemático “mentalmente”, mostra que, enquanto a personalidade é mais do que uma simples questão de fosfato, os processos que denominamos mentais e cerebrais devem estar ligados de alguma forma. Portanto o monismo dita as regras, e não o dualismo.

Mas isso não me coloca ao lado de Watson e Wilson. Há mais o que fazer para compreender o mundo do que simplesmente enumerar os átomos que o compõem. Para começar, existem as relações de organização entre os átomos. Considere uma página deste livro. Você a vê como uma sequência de palavras, combinadas de modo a formar frases e parágrafos. Uma análise reducionista poderia decompor o mundo nas letras individuais, e estas nos componentes químicos da tinta preta sobre o papel. Tal análise seria abrangente; lhe diria a composição exata desta página; mas nada diria sobre o significado das letras organizadas em palavras, frases e parágrafos. Esse significado é aparente apenas em um nível mais elevado de análise, nível este que consideraria a distribuição espacial da tinta preta sobre o papel, o padrão existente na ordem espacial das palavras que aparecem na página e a relação sequencial de cada frase com a próxima do parágrafo. Interpretar esses padrões requer conhecimento linguístico, e não uma química específica. Portanto, esse novo nível mais elevado de análise requer sua própria ciência. Por exemplo, o estudo da mecânica dos fluidos requer o uso de propriedades tais como coesão e incompressibilidade para explicarmos fluxo, vórtice e formação de ondas, sendo que nenhum desses fenômenos é propriedade das moléculas que formam os líquidos. Semelhantemente, o cérebro possui propriedades tais como armazenamento e resgate de memória, que não são encontradas em uma célula individualmente. Esses aspectos qualitativamente variáveis de um sistema, em níveis diferentes, são propriedades emergentes, e a biologia está repleta delas.

Além disso, para que a ordem espacial das palavras na folha de papel tenha

sentido, é preciso que também haja uma ordem temporal. Em escritas derivadas do latim, começa-se a ler a partir do canto esquerdo superior da folha, seguindo-se até o canto direito inferior da mesma. Inverter a ordem resultaria em puro absurdo. A ordem temporal e de desenvolvimento é uma característica vital em organizações e processos de nível elevado, o que não é necessariamente o caso dos sistemas de níveis mais simples, não podendo, portanto, ser vista através de um quadro reducionista. Digo mais: apenas os símbolos numa página não são suficientes; para entendermos algo em uma página de prosa, precisamos saber um pouco da língua e da cultura com as quais essa página foi elaborada, e dos propósitos para os quais foi escrita. (O que está nessa folha seria a taxonomia de um peixe, uma receita de *bouillabaisse* ou uma ode aos prazeres culinários mediterrâneos?) Um princípio importantíssimo da organização biológica é indicado por essa simples analogia. Nada em biologia faz sentido a não ser que esteja dentro de um contexto histórico, da história de um organismo individual (isto é, seu desenvolvimento) e da história da espécie da qual ele faz parte (isto é, a evolução). De fato, a evolução pode ser considerada, sob alguns aspectos, a história dos eventos emergentes que deram origem a uma diversidade de organismos, de diferentes formas e comportamentos, que é uma característica tão evidente do mundo em que vivemos.

Explicar os rabiscos pretos sobre a página de um livro em termos químicos nos ajuda a entender sua composição; no entanto, não nos diz nada sobre seu significado como um conjunto de símbolos ordenados sobre a folha. Explicar não é o mesmo que esclarecer e nenhuma sofisticação química pode eliminar a necessidade de uma ciência mais elaborada que esclareça o sentido procurado. Além disso, o programa reducionista ingênuo oferecido por Watson e Wilson simplesmente não funciona na prática. Existem muito poucas moléculas elementares mais simples do que aquelas que compõem a água—dois átomos de hidrogênio combinados com um átomo de oxigênio formando uma molécula de água. Ainda assim, nem todos os recursos da física seriam suficientes para prever as propriedades dessa molécula através do conhecimento das frações dos elementos hidrogênio e oxigênio. A química nunca caberá por completo dentro da física, apesar de o conhecimento dos princípios físicos iluminar profundamente a química. E ainda menos caberiam a sociologia e a psicologia dentro da bioquímica e da genética.

Portanto, a despeito da unidade ontológica do mundo, nos resta, e sempre restará, uma profunda diversidade epistemológica. Na analogia bastante conhecida dos cegos descrevendo o elefante, existem muitas coisas a saber e muitos modos de aprendê-las. E temos muitos tipos de linguagem para descrever o que sabemos. Tome como exemplo um fato biológico simples, como a contração que ocorre nos músculos da pata de um sapo quando um choque elétrico é aplicado sobre eles ou sobre as fibras de um nervo motor. Para os

fisiologistas, essa contração pode ser explicada em termos das propriedades estruturais e elétricas das fibrilas musculares, tal como observadas num microscópio e registradas por um eletrodo fixado na superfície do músculo. Para os bioquímicos, a célula muscular é composta basicamente por dois tipos de proteínas, actina e miosina, que formam moléculas interdigitadas e filamentosas; durante a contração muscular, os filamentos de actina e miosina deslizam uns sobre os outros. Numa linguagem mais simples, somos tentados a dizer que o deslizamento de actina sobre miosina “causa” a contração muscular. Mas essa é uma maneira imprecisa e confusa de dizer. O termo “causa” implica que algo acontece antes (a causa) e a seguir desencadeia outra coisa (o efeito). Mas não é verdade que os filamentos de actina e miosina deslizam primeiro para depois ocorrer a contração muscular. Em vez disso, o deslizamento dos filamentos é o mesmo que a contração muscular, só que descrito em linguagem diferente. Nós chamamos esta linguagem de bioquímico, em contraste com o fisiológico.

E onde fica a dicotomia entre cérebro e mente sobre a qual comecei a discutir? O cérebro não “causa” a mente, como sugeriria o tolo materialismo mecânico (como o apito está para o trem a vapor), nem mente e cérebro são duas coisas diferentes, como afirmaria o dualismo cartesiano. Em vez disso, temos uma coisa, cérebro/mente, da qual podemos falar usando duas línguas diferentes, talvez o neurologês e o psicologês.

Um exemplo: uma das desordens mentais mais corriqueiras nos EUA e na Europa, hoje em dia, é a depressão. Por muitos anos, psiquiatras de orientação biológica, psiquiatras sociais e psicólogos têm estado em palpos de aranhas tentando encontrar as causas da depressão e sua cura. Ela é causada por desordens no metabolismo de neurotransmissores, como afirmariam os psiquiatras biológicos, ou pelas pressões intoleráveis do dia-a-dia? (Um dos segmentos com maiores predisposições para a depressão são as mães solteiras de baixa renda, vivendo em regiões urbanas, em condições de insegurança financeira e pessoal.) No primeiro caso, a depressão deveria ser tratada com drogas que afetem o metabolismo de neurotransmissores; no segundo caso, o tratamento consistiria em atenuar as más condições sociais e pessoais que causam o distúrbio, ou preparar a pessoa para lidar com elas. Este é o tratamento indicado pela psicoterapia. Mas, a meu ver, estas formas de diagnóstico ou tratamento não são incompatíveis. Se a psiquiatria biológica está correta, as pessoas deprimidas têm desordens nos neurotransmissores, e se a psicoterapia funciona, então à medida que alguém se submetesse a um tratamento psicológico e apresentasse melhoras na depressão a desordem nos neurotransmissores se autocorrigiria. Há uns dois anos eu me dispus a testar isso (para tanto tive que superar uma grande hostilidade da parte dos psiquiatras e dos psicólogos) medindo tanto a classificação ou avaliação psiquiátrica quanto os níveis de um dado sistema neurotransmissor/enzima no sangue dos pacientes de um instituto

psicoterápico de Londres. Acompanhei os pacientes durante um ano inteiro de tratamento. Os resultados ficaram muito bem delineados. Os pacientes que davam entrada no instituto sentindo-se deprimidos (e eram classificados como tal no escore psiquiátrico) apresentavam níveis mais baixos do neurotransmissor do que os indivíduos do grupo de controle. Após alguns meses de tratamento psicológico, o escore depressivo havia melhorado e o neurotransmissor voltara a níveis normais. A mudança bioquímica e a psicoterapia caminharam lado a lado.

A linguagem mental não causa a linguagem cerebral, ou vice-versa, assim como uma sentença em francês não causa uma sentença em inglês, embora você possa traduzi-las de uma língua para a outra. E assim como há regras em uma tradução do francês para o inglês, existem regras numa tradução do neuroglôfos para o psicoglôfos. O problema enfrentado pelos cientistas da mente/cérebro seria então decifrar essas regras. Como conseguir isso?

Vou sugerir uma analogia. Passe pela sólida entrada neoclássica do British Museum em Londres, vire à esquerda, atravesse a loja de souvenirs e encontre um espaço entre as multidões de turistas que abarrotam as galerias Egípcia e Assíria. Um aglomerado de pessoas se debruça sobre uma laje de pedra negra posicionada de modo a formar um leve ângulo em relação ao solo. Se você conseguir se interpor entre os turistas e suas minicâmaras de vídeo, verá que a superfície plana da pedra é dividida em três seções, cada uma coberta de inscrições brancas. As inscrições na seção superior são hieróglifos egípcios arcaicos; as da seção central, cursivas, são escrita demótica. E se você teve a chamada “educação clássica” ou já esteve na Grécia durante as férias, reconhecerá as inscrições da terceira seção como sendo grego. Você está olhando para a pedra de Roseta, o texto de um decreto redigido por um conselho geral de sacerdotes egípcios, que se reuniram em Menfis, no Nilo, no primeiro aniversário da coroação do rei Ptolomeu, em 196 a.C. “Descoberta” (no sentido que os europeus consideram descobertos os artefatos dos quais não tinham conhecimento prévio, a despeito do que a população local soubesse deles) por um tenente-engenheiro da Força Expedicionária Napoleônica Egípcia, em 1799, a pedra tornou-se, com a derrota francesa, espólio de guerra britânico e foi levada para Londres e colocada ritualmente junto ao grande amontoado de espólios de impérios antigos, com os quais os britânicos enriqueceram-se durante um século de seu próprio domínio imperial.

Mas a importância da pedra de Roseta não está apenas no simbolismo da ascensão e queda de impérios (até mesmo a seção grega das três inscrições, na época em que foi gravada, indicava o lento declínio do poder grego e surgimento do domínio europeu). O fato de que as três inscrições carregavam a mesma mensagem, e de que os estudantes do século XIX conseguiam ler o grego, significava que eles podiam dar início à missão de decifrar os hieróglifos, até então incompreensíveis, que compunham a linguagem egípcia arcaica. A

tradução simultânea fornecida pela pedra de Roseta se transformou num instrumento para desvendar códigos, e para mim é uma metáfora para a missão que enfrentamos ao tentar entender a relação entre mente e cérebro.

O cérebro e a mente têm muitos dialetos, mas eles estão relacionados da mesma forma que as inscrições na pedra de Roseta. Onde, entretanto, podemos encontrar um instrumento que nos ajude a decifrar os códigos? O exemplo da psicoterapia é sugestivo, mas de forma alguma suficientemente rigoroso a ponto de nos fornecer o código do qual precisamos. No entanto, ele sem dúvida nos dá uma pista. Uma característica fundamental da ciência experimental é que é sempre mais fácil estudar as mudanças do que a inalteração. Se pudermos achar uma situação na qual os processos mentais mudem, como quando os pacientes deprimidos melhoram, e verificar o que está mudando simultaneamente na linguagem cerebral, então podemos dar início ao processo de mapear as mudanças cerebrais em relação às mudanças mentais. Até o desenvolvimento, nos últimos anos, das técnicas de tomografia cerebral, que nos forneceram janelas para observar o cérebro humano em funcionamento — técnicas como tomografia computadorizada e ressonância magnética —, observar o interior do cérebro era possível apenas em animais de experimentação. Tanto para os homens quanto para os animais, um dos exemplos mais claros e simples de mudanças mentais aparece quando alguma nova tarefa ou atividade é aprendida e recordada subsequentemente. Experiências como aprender e recordar são muito mais fáceis de se estudar num laboratório do que as complexidades da depressão, e os psicólogos ao longo deste século, de Ivan Pavlov e B. F. Skinner em diante, têm preenchido quilômetros de estantes de bibliotecas com tratados detalhados sobre como induzir a salivação em cães que ouvem o soar de um sino, fazer ratos pressionarem alavancas para obter comida e coelhos piscarem os olhos à medida que luzes se alternem. Agora, tudo o que temos a fazer é mostrar o que acontece no interior do cérebro quando se dá esse tipo de aprendizado. Isso é o que os laboratórios de neurociência, no mundo todo, têm tentado fazer durante a última década ou mais, e estamos começando a poder contar uma história mais ou menos clara sobre os processos cerebrais envolvidos no mecanismo da aprendizagem; acerca de como, durante uma nova experiência, novas rotas são estabelecidas no cérebro para que a memória fique gravada, à semelhança dos traços inscritos numa fita cassete à medida que uma música é gravada. Memórias que podem ser resgatadas exatamente como se ouvíssemos uma fita cassete.

Isso reduz o aprendizado e a memória a “nada além” de rotas no cérebro? Não mais do que o quarteto de Beethoven é reduzido a padrões magnéticos na fita. Quando gravamos o som da música, numa fita ou CD, suas ressonâncias e nossa resposta a elas não são mais diminuídas ou alteradas do que o são o valor e o significado de nossas memórias pessoais, quando armazenadas nas rotas do

cérebro. Em vez disso, conhecer a biologia do aprendizado e da memória só faz crescer nossa apreciação humana da riqueza de nossos processos internos. Precisamos, e continuaremos a precisar sempre, de ambas as linguagens, do cérebro e da mente, e das regras de tradução entre elas, para dar sentido a nossa vida.

*STEVEN ROSE* cursou Cambridge, graduando-se em bioquímica. Seu profundo interesse em compreender o cérebro o levou a realizar o doutorado no Institute of Psychiatry de Londres. Após períodos de pesquisas de pós-doutorado em Oxford (Fell, New College), Roma (bolsista NHI) e no Research Council de Londres, em 1969 se tornou professor e chefe do departamento de biologia na recém-formada Open University da Inglaterra, onde, aos 31 anos de idade, era um dos mais jovens professores titulares da Inglaterra. Na Open University ele fundou, e tem chefiado desde então, o Brain and Behavior Research Group, tendo se concentrado na pesquisa dos mecanismos moleculares e celulares do aprendizado e da memória. Seu pioneirismo no estudo dessa área resultou na publicação de algo em torno de 250 trabalhos científicos e no recebimento de diversas medalhas e homenagens internacionais.

Além de seus trabalhos de pesquisa, Steven Rose escreveu ou editou catorze livros, incluindo *NoFire, no Thunder* (com Sean Murphy e Alastair Hay), *Not in Our Genes* (com Richard Lewontin e Leo Kamin), *Molecules and Minds* e, mais recentemente, *The Making of Memory*, vencedor do Rhone-Poulenc Science Book Prize.

As preocupações de Rose não se limitam à produção científica, abrangendo também os mais amplos papéis sociais e ideológicos da ciência e sua aplicação para a sociedade. Essas preocupações o levaram a assumir um papel de destaque nas décadas de 60 e 70, juntamente com a socióloga feminista Hillary Rose, na fundação da British Society for Social Responsibility in Science. Ele também assumiu publicamente uma posição muito clara na questão dos direitos animais e dos experimentos que utilizam animais de laboratório.



## ESTUDE O TALMUDE - *David Gelernter*

Existem muitos textos não científicos no mundo, mas você teria que se esforçar bastante para encontrar um menos científico que o Talmude. Ainda assim, encaro seriamente essa minha recomendação. Vou explicar por quê.

Estudar o Talmude é o mesmo que estudar leitura. O Talmude é o desafio máximo aos leitores atentos. Quer você tenha feito as coisas do modo correto e estudado por décadas, ou tenha apenas dado uma olhada superficial em tudo, nunca conseguiria emergir do estudo do Talmude sem uma visão modificada de como espremer, destilar, persuadir, ansiar, bajular, ferver ou extrair, de alguma outra maneira qualquer, o significado de um texto difícil. Os cientistas hoje em dia raramente sabem como ler a sério. Eles estão acostumados a arranhar a superfície de um artigo para extrair os fatos e depois seguir adiante, sem esmiuçar a coisa à procura de nuances; provavelmente elas não existem. Comumente, ler é irrelevante para a ciência. Mas existem exceções, e elas podem ser importantes.

São especialmente importantes para a ciência da computação, pois trata-se de um campo que ainda não tem certeza de seu próprio teor. Ele suspeita que é importante, e que está a caminho de se tornar grande. Mas ainda está confuso a respeito do que lhe cabe. A ciência da computação é a ciência do software, e o software é a coisa mais estranha do mundo. Nós ainda não o entendemos muito bem, e ainda não sabemos as fronteiras e métodos da ciência do software.

A leitura atenta é importante para a computação, porque os autores de alguns dos artigos marcantes na área ainda estavam revirando em suas mentes questões sobre o caráter fundamental do tema. Os artigos aparentemente dizem uma coisa; nas entrelinhas, abordam questões básicas que ainda não foram respondidas.

Entre as mais básicas dessas questões está a relação entre software e matemática. Desde a invenção da primeira linguagem de programação de uso amplo, em 1957, muitos pesquisadores de computação têm suspeitado que o software é muito parecido com a matemática, ou que ele é matemática. Alguns pesquisadores acreditam que escrever um programa e construir um teorema matemático são atividades equivalentes e intercambiáveis, dois modos igualmente agradáveis de matar tempo num domingo à tarde. Eles também acreditam que as ferramentas que usamos para escrever um software — principalmente as linguagens de programação — deveriam ser definidas matematicamente, com o uso de uma série de equações.

Outros insistem que essas alegações são incorretas. (Como, de fato, são.) Eles argumentam que o software não é, nem de longe, parecido com a matemática.

Um fragmento de um trabalho matemático é uma forma de comunicação entre as pessoas. Um fragmento de software é um plano para um tipo especial de máquina, uma máquina “virtual” ou materializada. Quando você roda um programa em seu computador, ele se transforma temporariamente na máquina para a qual o programa serve de plano. Elaborar um programa não é nada semelhante a inventar um teorema; é muito mais parecido com projetar um carro. E as ferramentas que usamos para escrever os softwares deveriam ser definidas (segundo sustenta essa escola de computação) em inglês simples e claro, e não matematicamente, numa série de equações.

Essa disputa vai bem ao cerne do que é o software e a computação. E também uma batalha numa guerra que tem altos e baixos na história intelectual moderna, a guerra entre os pontos de vista matemático e físico. Batalhas já foram travadas na engenharia civil: devemos projetar pontes com base em modelos matemáticos ou em nossa experiência, estética e intuição? Foram travadas na física: seria a matemática ou a intuição física nossa luz de orientação definitiva? Elas foram travadas na economia e em outras ciências sociais; e são básicas para a computação.

Agora, consideremos o valor da leitura cuidadosa. Ela não nos fornece (nos casos que discuto) munição para destruir o inimigo, mas apenas *insights* sutis que vale a pena ter.

A Algol 60 é uma das mais importantes linguagens de programação já inventadas, e o relatório revisado da Algol 60 de 1963 é indiscutivelmente, por várias razões, um dos artigos mais importantes da computação. A Algol 60, por si mesma, é decisivamente importante; além disso, o relatório é amplamente considerado uma obra-prima da escrita clara. Lança mão de inglês simples e claro para explicar o que é e o que faz a Algol 60. Se você se dispuser a usar inglês, e não equações matemáticas, para explicar uma linguagem de programação, é pouco provável que consiga ser mais eficiente que esse artigo.

E aí está precisamente a razão pela qual é tão importante para a escola “matemática” que o relatório sobre a Algol 60 *seja, em alguns aspectos, ambíguo e incompleto*. “*Isso basta!*”, eles dizem. Nesse artigo clássico, o inglês deu sua melhor tacada, e foi insuficiente. A matemática é o caminho a ser seguido: QED.

Um paladino da abordagem matemática faz a seguinte colocação sobre isso: “Tanto os usuários quanto os executores de linguagens de programação precisam de uma descrição que seja compreensível, sem ambiguidades e completa. [...] Quase todas as linguagens já foram definidas em inglês. Apesar desses artigos serem com frequência obras-primas de aparente clareza, têm normalmente se mostrado inconsistentes e incompletos”<sup>1</sup>. O autor continua até mencionar o famoso relatório Algol 60,<sup>2</sup> e citar outro artigo bastante conhecido cujo título é suficientemente incriminador para encerrar o caso: “Os pontos problemáticos

que persistem na Algol 60”.<sup>3</sup>

Uma coisa que se aprende no estudo do Talmude é sempre procurar as fontes. Quando examinamos o artigo “Os pontos problemáticos”, encontramos reflexões interessantes — tais como: “A lista a seguir [de pontos problemáticos] é realmente mais notável por sua brevidade que por sua extensão”. Ou, concluindo: “O autor tentou indicar cada mácula conhecida [no relatório da Algol 60]; e espera que ninguém tente esmiuçar nenhum de seus próprios artigos e publicações tão meticulosamente”.

Quanto mais elucubramos, mais se torna claro que o artigo “Pontos problemáticos” é uma evidência da soberba clareza, e não da insuficiência, do relatório Algol 60 e de suas definições em inglês. O relatório nos apresentou uma ferramenta complexa, sem precedentes, e completamente original. Que ele tenha sido bem-sucedido nesse objetivo é de fato notável (como concorda o autor de “Pontos problemáticos”). Elucubrando nesse sentido, voltamos ao próprio relatório e notamos sua epígrafe: “*Wovon man nicht reden kann, darüber muss man schweigen*”. Uma das mais famosas declarações filosóficas do século, o fechamento do *Tractatus* de Ludwig Wittgenstein: “Sobre os assuntos dos quais não se pode falar, é preciso permanecer em silêncio”. Agora o relatório *podia* estar tentando nos dizer o seguinte: “Nós percebemos que existem lacunas no que se segue, mas a língua inglesa nos decepcionou. Ela não estava capacitada a suprir tais falhas”. Esse sentimento estaria vagamente relacionado à verdadeira argumentação de Wittgenstein, que dizia respeito aos limites de expressividade de qualquer língua. Mas uma interpretação muito mais provável é a seguinte: “Nós percebemos que existem lacunas neste relatório, mas quando não tínhamos nada inteligente a dizer nos calamos”.

Os autores desse relatório, segundo essa interpretação, não tinham ilusões quanto à perfeição de seu trabalho. Eles não produziram nenhuma “obra-prima de aparente clareza” (grifo meu) que acabava se tornando um rançoso serviço de segunda classe quando submetida a uma avaliação mais cuidadosa. As falhas no relatório — do modo como aparecem — são devidas, sob esse ponto de vista, aos autores, e não à língua inglesa.

Depois dessa pequena tentativa de leitura cuidadosa, você tem certeza de que a conclusão é que a língua inglesa não passou no teste e a matemática é a única opção que nos resta?

Meu outro exemplo também diz respeito à natureza do software e à guerra com a matemática. E traz à tona outra questão. A computação é um campo interpretado e direcionado como moda passageira. Sendo assim, apenas reflete (mais uma vez) a natureza da vida intelectual moderna. Meu objetivo não é condenar a computação ou insistir para que mude sua estrutura. E somente encerrar os fatos. Nós somos um campo incrivelmente irrefletivo. O gado foi feito para debandar e nós também, mas os seres humanos têm a vantagem de poder

elucubrar sobre as coisas, mais ou menos nestes termos: “Bem, é mais uma debandada precipitada. Muito parecida com a última”. Presumivelmente, ganhamos um pouco de perspectiva se nos esforçarmos para isso.

Niklaus Wirth publicou a primeira descrição de sua linguagem Pascal em 1971, e poucos anos depois ela se tornou um elemento dominante no cenário da computação. Hoje em dia a Pascal não é tão amplamente utilizada para o desenvolvimento de software como já foi, mas continua sendo a linguagem de aprendizado mais popular no mundo todo, e um marco histórico da maior importância. E Wirth é um autêntico herói no campo da computação.

Em 1975, Wirth publicou um relatório do muito bem-sucedido Projeto Pascal.<sup>4</sup> Aos leitores atentos, ele não é tão intrigante pelo que fala da ciência e da engenharia, mas pelo que fala (nas entrelinhas) sobre como a ciência e a engenharia são feitas. Superficialmente, o trabalho é uma abordagem sóbria do projeto, mas, nas entrelinhas, descobrimos a reprodução de um julgamento bizarro no qual Wirth defende a si mesmo de uma série de novos crimes.

Os programas são estruturas complicadas — em casos extremos, as mais complicadas que o homem conhece — e é muito difícil fazê-los trabalhar corretamente. São necessários testes elaborados e meticulosos para convencer as pessoas de que um programa realmente funciona. No início dos anos 70 surgiu uma nova escola de pensamento. Ela sustentava que, já que o software é matemática, deveria ser possível provar matematicamente que um programa funciona. Você não precisaria colocá-lo em funcionamento; você apenas o analisaria cuidadosamente e construiria um cálculo de verificação. Não haveria nenhuma insensatez no teste. Seu software seria perfeitamente garantido ainda dentro da embalagem. Essa abordagem era chamada “verificação de programas”.

Soa como uma grande ideia, mas não é factível na prática. Seria como se você tivesse projetado um carro e quisesse provar que ele funciona perfeitamente apenas tomando como base os desenhos de engenharia que fez. Você poderia até vender um primeiro modelo do projeto a um cliente ansioso e que não tivesse a menor pretensão de realizar um *test-drive* num protótipo. Seria uma ótima ideia se esse esquema funcionasse, mas isso não acontece, e o software também não funciona dessa maneira.

Quando Wirth projetou a Pascal, a verificação de programas estava apenas começando a tomar forma. Quando o método foi recapitulado por ele muitos anos depois, era um modismo monstruoso. As reclamações retrospectivas de Wirth acerca de seu trabalho não se referiam, na maioria das vezes, às verdadeiras *experiências* das pessoas que usavam a Pascal; relacionavam-se, em grande parte, à verificação de programas. E difícil não se lembrar de um marxista arrependido, pronto a confessar seus pecados e se arrepender de seu passado. Os detalhes são técnicos, mas mencionarei alguns deles rapidamente. A

Pascal direcionava e simplificava as regras de procedência dos usuários da Algol, mas isso acabou sendo um erro não porque os programadores reclamassem, e sim por causa da “crescente importância” da “verificação de programas”. A Pascal incluía algo chamado *goto statement*, que acabou por se mostrar uma ideia infeliz — não porque os programadores não o apreciassem, mas devido a problemas com a “impossibilidade de verificação de programas”. Os programadores estavam muito satisfeitos com a flexibilidade do sistema de digitação da Pascal, mas o aspecto realmente importante dessa inovação tem a ver com “as invariáveis necessárias para a verificação de programas”, e não com o entusiasmo dos programadores.

Eu disse que Wirth é um herói. Isso é verdade não só pela importância de seu trabalho de modo geral, mas pelo seu próprio relatório. A *free-type union* era um dos aspectos da Pascal que provocava ataques de nervos nos verificadores de programas. Eles exigiam repetidamente que o item fosse tirado do programa e eliminado. Wirth reconhece que a *free -type union* impõe grandes riscos, mas se recusa a render-se ao bando. “Parece haver ocasiões”, ele diz circunspectamente, em que a alternativa à traiçoeira *free-type union* “é insuficientemente flexível”. A *free-type union* permanece. Seus camaradas se rejubilam e o bando range os dentes, mas, quando o amanhecer se aproxima, é visto se dispersando pelo populacho aliviado.

Nós devemos, enquanto um campo, nos conhecer melhor. A leitura cuidadosa e atenta desse relatório nos ensina algo importante sobre o comportamento do modismo na ciência da computação. A Pascal ainda existe, mas a verificação de programas está (quase) morta. Ao menos da maneira como era utilizada em meados da década de 70.

Uma palavra sobre o Talmude em si. Ele é organizado como um texto básico com uma enorme pilha de comentários. Cada comentário tem por objetivo falar (ou pelo menos ter consciência) não apenas do texto-base, mas de todos os outros comentários que o precederam. O texto-base é estruturado em duas camadas: um alicerce “básico” e conciso chamado de Mishnah e um longo comentário, pouco organizado, chamado Gemara. Estudar o Talmude é estudar a leitura atenta, no nível mais alto possível de rigor e precisão analítica. Um semestre ou dois de estudo do Talmude colocariam qualquer futuro cientista numa boa posição.

*Post-scriptum* sociológico: Um observador ingênuo poderia dizer: “Maravilhoso!”. O “multiculturalismo” é um ótimo negócio nos *campi* e escolas públicas de nosso país. Expor um número maior de estudantes à beleza e profundidade da cultura judaica deve ser exatamente o significado de multiculturalismo, certo?

Não perca o fôlego. Se o multiculturalismo fosse um movimento estudantil sério, e não a palhaçada tendenciosa que na realidade é, a cultura judaica seria

uma de suas maiores descobertas. Tal como é, o multiculturalismo consiste na última encarnação do anti-intelectualismo bairrista “Roll over Beethoven!” que tem sido sempre parte da vida americana. A única particularidade desse tipo de anti-intelectualismo é que os reitores das universidades são seus maiores fãs. A história é cheia de surpresas.

-----  
(1) M.J. C. Gordon, *The Denotational Description of Programming Languages*. Nova York, Springer-Verlag, 1979.

(2) P. Nauer, ed., “Report on the algorithmic language Algol 60”. *Communications of the ACM*, vol. 6,1 (1963): pp. 1-17.

(3) D. E. Rnuth, “The remaining trouble spots in Algol 60”. *Communiations of the ACM*, vol 10,10 (1967): pp. 611-7.

(4) N. Wirth, “An assessment of the programming language Pascal”. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 1975 : pp. 192-8.

*DAVID GELERNTER*, professor associado de computação na Yale University, é uma figura central na terceira geração dos cientistas da inteligência artificial. Como aluno de pós-graduação, há treze anos, Gelernter escreveu uma linguagem de programação chamada Linda que foi um marco e tornou possível unir computadores na resolução de um único problema. Desde então é considerado um pensador fundamental num campo conhecido como computação paralela ou distribuída. E o autor de *Mirror Worlds*, *The Muse in the Machine* e *1939: The Lost World of the Fair*.

## IDENTIDADE NA INTERNET - Sherry Turkle

As tecnologias de nossa vida cotidiana mudaram o modo como encaramos o mundo. A pintura e a fotografia se apropriaram da natureza. Quando olhamos para girassóis ou lírios, os vemos através do prisma sob o qual foram pintados. Quando nos casamos, a cerimônia e a celebração ulterior “produzem” fotografias e fitas de vídeo que substituem o evento e se tornam as recordações que temos dele. Os computadores também nos fazem construir as coisas de novas formas. Com computadores podemos simular a natureza ou deixá-la de lado para construir “segundas naturezas”, limitadas apenas pelo poder da força da nossa imaginação e abstração. Atualmente, uma das mais dramáticas “segundas naturezas” é a encontrada nos ambientes interativos dos computadores, conhecidos como MUDs.

Nos MUDs (abreviação para *multi-user dungeon* ou *multiuser domains*—domínio ou mundo do multiusuário), jogadores conectados de todas as partes do mundo, cada um em sua própria máquina, entram para comunidades *on-line*, que existem apenas no computador. Os MUDs são realidades sociais virtuais das quais centenas de milhares de pessoas participam. Elas se comunicam umas com as outras individualmente e em grupos. O acesso não é difícil nem caro. Só é necessário o acesso à Internet, já disponível comercialmente.

Você tem acesso a um MUD através de um comando “telnet” que conecta seu computador ligado em rede com outros. Quando o jogo começa, você cria uma ou várias personagens, especifica o sexo delas e outros atributos físicos e psicológicos. Outros jogadores no MUD podem ver essa descrição. Ela se torna a apresentação pessoal de sua personagem. Ela não precisa necessariamente ser humana, e admitem-se mais de dois gêneros. De fato, as personagens podem ser múltiplas (“um enxame de abelhas”) ou mecânicas (você pode escrever ou desenvolver um programa no jogo que se apresentará como uma pessoa ou, se desejar, como um robô). Alguns MUDs têm temas; outros são apresentados de forma livre. Até o momento em que este artigo foi escrito, em 1994, existiam mais de trezentos MUDs disponíveis na Internet.

Em alguns desses MUDs, os jogadores são convidados a ajudar a construir o próprio mundo do computador. Usando linguagens de programação relativamente simples, eles conseguem construir um “ambiente” no espaço do jogo onde podem estabelecer o cenário e as regras. Isto é, criam objetos na “segunda natureza” e especificam a maneira pela qual funcionam. Uma jogadora de onze anos de idade construiu um quarto que ela chama de “O condomínio”. Ele é lindamente mobiliado; ela criou joias magníficas e cosméticos para sua penteadeira. Quando ela visita o condomínio, convida suas

amigas e amigos, bate papo, pede pizza e paquera. Outros jogadores têm uma vida social mais diversificada: eles criam personagens que fazem sexo casual e romântico, têm empregos, vão a cultos e comemorações, se apaixonam e se casam. No mínimo, essas atividades vão fascinando e prendendo a atenção: “Isso é mais real que a minha própria vida”, diz uma personagem que é um homem representando uma mulher que finge ser um homem.

Já que os MUDs são criados por seus jogadores, constituem uma nova forma de literatura interativa que tem muito em comum com as artes dramáticas, teatros de rua, teatros de improviso, *commedia del'arte* e a elaboração de um roteiro. Mas os MUDs são também algo mais. À medida que os jogadores participam, se tornam autores não apenas dos MUDs, mas deles próprios, construindo egos através da interação social.

Nos MUDs, os obesos podem ser magros, os belos podem ser comuns. O anonimato dos MUDs (você é conhecido apenas pelo nome que deu a sua personagem) fornece um espaço amplo para os indivíduos expressarem “aspectos não explorados do eu”. O jogo dá oportunidades sem paralelo para brincar com a própria pessoa e “testar” identidades novas. Esse aspecto do poder emocional do jogo é muito bem captado pelo jogador que disse:

Num MUD você pode ser quem quiser. Você pode se redefinir completamente, se assim desejar. Pode pertencer ao sexo oposto. Pode ser mais expansivo. Pode ser menos expansivo. O que quer que seja. Você pode ser quem realmente quer, quem você tem a capacidade de ser. Não precisa se preocupar tanto com os papéis que lhe são impostos pelas outras pessoas. É mais fácil mudar a forma como as outras pessoas o veem, pois tudo o que sabem é aquilo que você lhes mostra. Eles não olham para o seu corpo e tiram conclusões. Tudo o que veem são suas palavras. E o jogo está *sempre* lá. Vinte e quatro horas por dia. Você pode andar até a esquina e sempre haverá alguém interessado em conversar, se encontrou o MUD certo para você.

Nos jogos tradicionais de RPG (*role-playing games*), o corpo físico de alguém está presente e a pessoa entra e sai de uma personagem. Os MUDs, por outro lado, oferecem uma vida paralela. As fronteiras do jogo são confusas; a rotina de jogá-los se torna parte da vida real dos jogadores. Os MUDs confundem os limites entre o eu e o jogo, o eu e o papel, o eu e a simulação. Um jogador diz: “Você é o que finge ser...você é o que representa”. Mas as pessoas não representam apenas as personagens que criam, elas representam quem realmente são ou quem gostariam de ser. Diane, de 26 anos, diz: “Eu não sou apenas uma coisa, mas várias. Cada parte acaba se expressando de maneira mais intensa nos MUDs do que no mundo real. Então, embora eu represente mais



de uma personagem no MUD, me sinto mais eu mesma enquanto estou jogando”. Os jogadores às vezes falam de seus egos verdadeiros como uma combinação de suas personagens, e algumas vezes falam de suas personagens nos MUDs como um meio de agir em suas vidas reais (VR).

Muitos jogadores de MUD usam computadores o dia todo em seus empregos. Enquanto jogam, eles farão suas personagens “adormecerem” periodicamente, continuarão conectados ao jogo e realizarão outras atividades. De tempos em tempos, retornam ao espaço do jogo. Desse modo, interrompem a rotina dos dias de trabalho e experimentam suas vidas como um ciclo entre a VR e outras vidas simuladas.

Esse tipo de interação é possível pela existência do que chamamos de “janelas” nos modernos ambientes da computação. As janelas consistem num modo de trabalho com o computador que possibilita entrar em diversos contextos ao mesmo tempo. Como usuário, você está atento a apenas uma janela em dado momento, mas, de certo modo, está presente em todas elas, o tempo todo.

Doug é aluno de pós-graduação em administração no Dartmouth College, para quem o MUD representa uma janela e a VR outra. Doug afirma: “A VR é apenas mais uma janela, e não necessariamente a melhor delas”.

Doug representa quatro personagens distribuídas em três MUDs diferentes. Uma delas é uma mulher sedutora. Outra é um caubói machão cuja autodescrição frisa o fato de ele ser o tipo de cara “que anda com um maço de Marlboro guardado sob a manga da camiseta”. E há um coelho de gênero não especificado que passeia pelo seu MUD apresentando as pessoas umas às outras, uma personagem que ele chama de Cenoura. Doug diz: “As pessoas têm tão pouca consideração por Cenoura que permitem que ele fique por perto enquanto estão tendo conversas particulares. Portanto, considero Cenoura o meu personagem voyeur passivo”. Doug me conta que Cenoura algumas vezes já foi confundido com um *bot* — um programa de computador dentro do MUD —, pois sua presença passiva e facilitadora dá a impressão de que ele possui o tipo de personalidade que poderia ser exibida por um robô.

O quarto e último personagem de Doug é um representado apenas num MUD do tipo *furry* ou peludo (MUDs conhecidos como locais de experimentação sexual, onde todos os personagens são animais peludos). “Prefiro nem falar desse personagem, porque seu anonimato é muito importante para mim”, diz Doug. “Posso dizer que no MUD furry eu me sinto como um turista sexual.” Doug fala a respeito de representar suas personagens em janelas, e diz que o uso de janelas aumentou sua capacidade de “ligar e desligar partes da minha mente”.

Eu fragmento minha mente. Estou ficando cada vez melhor nisso. Posso me ver como sendo duas, três ou mais pessoas. Eu apenas ligo uma parte da minha mente, e depois outra, conforme passo de uma janela para outra. A

VR parece apenas mais uma janela, e não é necessariamente a melhor delas.

O desenvolvimento da metáfora das janelas para a interface dos computadores foi uma inovação técnica motivada pelo desejo de fazer com que as pessoas trabalhassem mais eficientemente “circulando” em diferentes aplicativos, assim como os computadores *time-sharing* circulam pelas funções de informática necessárias a diferentes pessoas. Mas na prática as janelas se tornaram uma vigorosa metáfora do eu como um sistema de *time-sharing* múltiplo e distribuído. O eu não está mais representando diferentes papéis em diferentes contextos. Algo que as pessoas sentem quando acordam como uma amante, preparam o café da manhã como uma mãe e vão trabalhar como uma advogada. A prática de vida das janelas ocorre através de um eu distribuído em diversos mundos e que representa muitos papéis ao mesmo tempo. Os MUDs ampliam a metáfora — agora, como diz Doug, a VR pode ser apenas “mais uma janela”.

Um comentário de um estudante universitário sobre jogar nos MUDs mostrou que a janela deles oferece possibilidades especiais: “Posso falar sobre qualquer coisa no MUD”, ele disse. “O computador é usado como uma espécie de treinamento para conseguir estreitar os relacionamentos com as pessoas na vida real.” Os MUDs lhe forneceram aquilo que o psicanalista Erik Erikson chamou de “moratória psicológica”, e que considerou parte de uma adolescência normal. Embora o termo moratória implique um “tempo de folga”, Erikson não quis se referir a algo relacionado com desistência. Pelo contrário, ele via a moratória como um período de intensa relação com pessoas e ideias, um período de experimentação e amizade apaixonadas. A moratória não se aplica a experiências importantes, mas às suas consequências. E um período durante o qual as ações de alguém “não contam”. Livre das consequências, a experimentação se torna um padrão e não uma retirada corajosa. As experimentações livres de consequências facilitam o desenvolvimento de uma noção pessoal do que dá sentido à vida, o que Erikson chamou de “identidade”.

Erikson desenvolveu essas ideias sobre a importância de uma moratória durante o fim da década de 50 e início dos anos 60. Naquela época, a noção de moratória correspondia, segundo um entendimento comum, aos “anos de faculdade”. Hoje em dia, trinta anos depois, a ideia de que a época de faculdade é um “período de folga” sem consequência alguma parece remota. A faculdade é pré-profissional, e a AIDS tornou impossível a prática sexual livre de consequências. Os anos da adolescência não são mais “um período de folga”. Mas, se nossa cultura não mais oferece uma moratória adolescente, as comunidades virtuais o fazem. E isso faz parte do que as torna tão atraentes.

As ideias de Erikson a respeito da adolescência como um tempo de moratória a serviço do desenvolvimento da identidade eram parte de uma teoria mais

ampla sobre os estágios da vida. Os estágios não pretendiam sugerir sequências rígidas, e sim descrições idealizadas do que as pessoas têm que atingir antes de passar facilmente para o estágio de desenvolvimento seguinte. Então, por exemplo, o desenvolvimento da identidade durante a adolescência precederia, idealmente, o desenvolvimento da intimidade durante o começo da vida adulta. Na vida real, no entanto, as pessoas normalmente têm que seguir adiante mesmo com alguns estágios não completamente resolvidos. Elas fazem o melhor que podem, com o que têm à mão, para conseguir resgatar o máximo possível do que “perderam”. Os MUDs são um exemplo dramático do papel que a tecnologia pode ter nesses dramas de autocompensação. O tempo passado no ciberespaço retoma a noção de moratória, porque agora existe uma janela sempre disponível.

Desafiando nossas noções tradicionais sobre identidade e autenticidade, o ciberespaço desafia também o modo como encaramos a responsabilidade. Homens e mulheres precisam decidir se a esposa ou esposo são infieis caso representem cenas de sexo explícito com uma personagem anônima no ciberespaço. Deveria fazer diferença para uma esposa se, mesmo sem o conhecimento de seu marido, a “namorada” dele no ciberespaço fosse um calouro de faculdade de dezenove anos? E se ela fosse um senhor de oitenta anos, enrugado, que vivesse num asilo? E, ainda mais perturbador, se ela fosse uma menina de doze anos? Ou um menino de doze anos? É, perturbador em outro sentido, se ela fosse um programa de computador talentosamente elaborado, um “sistema de conversas sexuais especializado”, treinado para participar de encontros românticos no ciberespaço? Pois nos MUDs, enquanto as pessoas escolhem fazer o papel de uma máquina, os programas de computador se apresentam como pessoas. Os MUDs confundem os limites entre o jogo e a vida real e fazem com que muitas de nossas outras bússolas bem calibradas se descontrolarem. As pessoas usam materiais concretos para refletir sobre suas preocupações, pequenas e grandes, pessoais e sociais. Os MUDs são objetos com os quais se deve lidar numa reflexão sobre o eu numa cultura de simulações. Seus cidadãos são nossos pioneiros.

*SHERRY TURKLE*, professora de ciências sociais no Massachusetts Institute of Technology, é formada e filiada à Boston Psychoanalytic Society e psicóloga clínica licenciada. Escreveu numerosos artigos sobre psicologia e cultura e sobre o “lado subjetivo” do relacionamento das pessoas com a tecnologia, sobretudo com os computadores. Tanto a imprensa acadêmica quanto a popular têm escrito bastante sobre seu trabalho com computadores e pessoas, incluindo as revistas *Time*, *Newsweek* e *US News and World Report*. Ela já foi convidada a falar sobre o impacto cultural e psicológico do computador em numerosos programas de rádio e televisão americanos (incluindo *Nightline*, *The Today Show* e *20/20*). É

autora de *Psychoanalytic Politics: Jacques Lacan and Freud's French Revolution*,  
*The Sccond Self: Computers and the Human Spirit* e *Life on the Screen: Identity in  
the Age of the Internet*, a ser publicado.

## **Parte V - O COSMOS**

## O QUE É O TEMPO? - *Lee Smolin*

Qualquer criança sabe o que é o tempo. No entanto, a certo momento ela acaba se deparando, pela primeira vez, com os paradoxos que estão por trás da nossa noção cotidiana do tempo. Lembro-me de que, quando criança, fui assaltado, repentinamente, pela dúvida a respeito de o tempo acabar ou continuar infinitamente. Ele deve acabar pois, caso contrário, como poderíamos conceber a infinidade da existência prolongando-se à nossa frente, se o tempo fosse ilimitado? Mas, se ele acaba, o que acontece depois?

Tenho estudado o que é o tempo durante grande parte da minha vida adulta. Mas preciso admitir desde já que não estou mais próximo de uma resposta do que estava quando comecei. Na verdade, mesmo depois de todo esse estudo, realmente acho que não podemos nem responder a uma questão simples como: “Qual é a natureza do tempo?”. Talvez o que de melhor eu tenha a dizer sobre o tempo é explicar como o mistério foi se aprofundando para mim à medida que me defrontava com ele.

Aqui está mais um paradoxo a respeito do tempo com o qual comecei a me preocupar depois de adulto. Todos nós sabemos que os relógios medem o tempo. No entanto, os relógios são sistemas físicos complexos e, portanto, sujeitos a imperfeição, a quebrar ou parar de funcionar por falta de energia elétrica. Se eu pegar dois relógios, sincronizá-los e deixá-los em funcionamento, depois de algum tempo com certeza estarão marcando horários diferentes.

Então qual deles mede o tempo real? Aliás, existirá um tempo absoluto que, embora medido de maneira imperfeita por um relógio disponível atualmente, seja o tempo real do mundo? Parece que sim; do contrário, o que queremos dizer quando falamos de relógios que atrasam ou adiantam? Por outro lado, de que adianta dizer que tempo absoluto existe, se nunca podemos medi-lo com precisão?

A crença em um tempo absoluto acarreta outros paradoxos. O tempo passaria se não houvesse nada no universo? Se tudo parasse e nada mais acontecesse, o tempo continuaria transcorrendo?

Por outro lado, talvez não exista um tempo único e absoluto. Nesse caso, o tempo é apenas o que os relógios medem; como existem muitos relógios, e todos discordam sobre o tempo, há muitos tempos diferentes. Sem um tempo absoluto, podemos dizer apenas que o tempo é definido por qualquer relógio que decidamos usar.

Esse ponto de vista parece interessante, pois não nos leva a crer num curso de tempo absoluto que não podemos observar. Mas nos traz um problema, assim que aprendemos algo sobre ciência.

Uma das coisas que a física descreve é o movimento, e não podemos conceber a ideia de movimento sem que haja tempo. Portanto, a noção de tempo é básica para a física. Vou citar a lei mais simples do movimento, descoberta por Galileu e Descartes e formulada por Isaac Newton: um corpo que não seja submetido à ação de força alguma se move em linha reta e em velocidade constante. Não nos preocupemos aqui com o que seria uma linha reta (trata-se do problema do espaço, que é perfeitamente análogo ao do tempo, mas sobre o qual não discutirei). Para entender o que essa lei estabelece, precisamos saber o que significa mover-se em velocidade constante. Esse conceito envolve uma noção de tempo, já que alguém se move em velocidade constante quando distâncias iguais são percorridas em tempos iguais.

Poderíamos então perguntar: em relação a que tempo o movimento tem que ser constante? Seria o tempo medido por algum relógio em particular? Nesse caso, como saber qual é esse relógio? Certamente precisamos fazer uma escolha, pois, como constatamos há pouco, todos os relógios reais acabarão marcando horários diferentes uns dos outros. Ou será que a lei se refere a um tempo absoluto e ideal?

Vamos supor que optamos pelo ponto de vista segundo o qual a lei se refere a um único tempo absoluto. Isso resolve o problema da escolha do relógio a ser usado, mas cria outro problema, pois nenhum relógio real e físico mede perfeitamente esse tempo ideal e absoluto. Como poderíamos ter certeza de que essa lei é verdadeira, se não temos acesso ao tempo absoluto e ideal? Como podemos dizer que o aumento ou a diminuição da velocidade de um corpo durante um experimento se deve à falha da lei ou à imperfeição do relógio que usamos?

Quando Newton formulou sua lei, resolveu o problema da escolha do relógio postulando a existência do tempo absoluto. Com isso, foi contra as ideias de contemporâneos como Descartes e Gottfried Leibniz, que defendiam a ideia de que o tempo deve ser apenas um aspecto da relação entre as coisas reais e os processos reais do mundo. Talvez a filosofia deles seja melhor, mas como Newton era o homem de maior conhecimento naquela época, suas leis sobre o movimento, incluindo esta da qual falamos agora, só fariam sentido a partir da crença no tempo absoluto. De fato, Albert Einstein, que desbancou a teoria de Newton sobre o tempo, elogiou a “coragem e discernimento” de Newton para opor-se claramente ao que seria o melhor argumento filosófico e fazer todas as deduções necessárias para criar uma física que fizesse sentido.

O debate sobre ser o tempo absoluto e preexistente ou apenas um aspecto das relações entre as coisas pode ser exemplificado da seguinte maneira. Imagine que o universo é um palco onde um quarteto de cordas ou uma banda de *jazz* apresentarão um espetáculo dentro de alguns minutos. O palco e a plateia estão vazios no momento, mas ouvimos um ruído, como se alguém, após o último

ensaio, tivesse esquecido de desligar um metrônomo colocado num canto do poço da orquestra. O metrônomo fazendo tique-taque no palco vazio é o tempo absoluto que, como Newton o imaginou, prossegue eternamente numa medida estabelecida, independentemente e antes de que qualquer coisa de fato exista ou aconteça no universo. Os músicos entram, o universo, de repente, não está mais vazio, mas em movimento, e eles começam a compor sua arte rítmica. Agora, o tempo que surge na música deles não é o tempo absoluto e preexistente do metrônomo; é um tempo relacional, baseado na relação real que se desenvolve entre os pensamentos musicais e as frases. Nós sabemos que é assim pois os músicos não ouvem o metrônomo, ouvem uns aos outros, e através desse intercâmbio musical criam um tempo que é exclusivo de seu lugar e momento no universo.

Mas, durante todo o tempo, o metrônomo continua fazendo tique-taque no seu canto, ignorado pelos músicos. Para Newton, o tempo dos músicos, o tempo relacional, é uma sombra do tempo verdadeiro e absoluto do metrônomo. Qualquer ritmo audível, assim como o tique-taque de qual quer relógio físico, apenas esboça, de forma imperfeita, o tempo verdadeiro e absoluto. Por outro lado, para Leibniz e outros filósofos, o metrônomo é uma fantasia que nos cega para aquilo que está realmente acontecendo; o único tempo é o ritmo que os músicos compõem juntos.

O debate entre os tempos relacional e absoluto ecoa ao longo da história da física e da filosofia e nos confronta agora, no final do século XX, à medida que tentamos entender qual noção de tempo e espaço deveria substituir a de Newton.

Se não existe tempo absoluto, então as leis de Newton não fazem sentido. Devem ser substituídas por um tipo diferente de lei que faça sentido quando o tempo for medido por qualquer relógio. Isto é, o que se requer é uma lei democrática, e não autocrática, na qual a hora medida por qualquer relógio, por mais imperfeito que seja, sirva tão bem quanto qualquer outra. Leibniz nunca foi capaz de inventar tal lei. Mas Einstein foi, e o fato de ele ter encontrado uma maneira de expressar as leis do movimento, de modo que qualquer relógio empregado pudesse endossar o seu significado, é realmente uma das maiores conquistas de sua teoria da relatividade. Paradoxalmente, isso é feito com a eliminação de qualquer referência ao tempo das equações básicas de sua teoria. O resultado é que não se pode falar do tempo de forma generalizada ou abstrata; só podemos descrever o modo como o universo muda no tempo se primeiro informarmos à teoria quais processos físicos serão usados como relógio para medir a passagem do tempo.

Estando tudo isso claro, por que então eu afirmo que não sei o que é o tempo? O problema é que a relatividade é apenas metade da revolução da física do século XX, pois existe também a teoria quântica. E a teoria quântica, inicialmente desenvolvida para explicar as propriedades dos átomos e moléculas,



depôs completamente a noção de tempo ideal e absoluto de Newton.

Portanto, atualmente, na física teórica, não temos uma teoria sobre a natureza, mas duas: a relatividade e a mecânica quântica. E elas se baseiam em duas noções diferentes de tempo. Hoje, o problema-chave da física teórica é combinar a relatividade e a mecânica quântica numa única teoria sobre a natureza, que possa finalmente substituir a teoria de Newton, superada no início deste século. E, de fato, a dificuldade principal para que se consiga isso é o fato de as duas teorias descreverem o mundo através de diferentes noções de tempo.

A não ser que se queira recuar e basear essa unificação na velha noção newtoniana de tempo, fica claro que o problema é trazer a noção de tempo relacional de Leibniz para a teoria quântica. E, infelizmente, isso não é tão fácil. O problema é que a mecânica quântica permite que muitas situações diferentes, e aparentemente contraditórias, existam simultaneamente, desde que num tipo de sombra ou realidade potencial. (Para explicar isso eu teria que escrever outro artigo, pelo menos tão longo quanto este, sobre a teoria quântica.) Isso se aplica aos relógios também: do mesmo modo que, pela teoria quântica, um gato pode existir num estado que é, ao mesmo tempo, potencialmente vivo e potencialmente morto, um relógio pode existir num estado em que, simultaneamente, funcione no sentido normal e no sentido anti-horário. Então, se existisse uma teoria quântica do tempo, ela teria que lidar não apenas com a liberdade de escolha de diferentes relógios físicos para medir o tempo, como também com a existência simultânea, pelo menos potencialmente, de muitos relógios diferentes. Aprendemos a lidar com o primeiro aspecto com Einstein, mas o segundo tem estado, até agora, além de nossa imaginação.

Portanto, o problema do que é o tempo continua sem solução. Pior ainda, pois a teoria da relatividade parece requerer outras mudanças na noção do tempo. Uma delas diz respeito à questão que abordei logo de início, se o tempo pode começar e acabar ou se ele dura eternamente. Pois a relatividade é uma teoria na qual o tempo pode de fato começar e parar.

Isso ocorre no interior de um buraco negro. Um buraco negro é o resultado do colapso de uma estrela maciça, quando ela esgota todo seu combustível nuclear e portanto cessa de brilhar como uma estrela. Uma vez que não gere mais calor, nada pode evitar o colapso de uma estrela suficientemente pesada, pela força de sua própria gravidade. Esse processo se autoalimenta, pois quanto menor se torna a estrela, mais intensa a força que faz com que seus fragmentos se atraiam mutuamente. Uma consequência disso é que se atinge um ponto no qual algo teria de se mover mais rápido do que a velocidade da luz para escapar da superfície da estrela. Já que nada pode viajar mais rápido do que a velocidade da luz, nada pode sobreviver. Essa é a razão pela qual chamamos esse fenômeno de buraco negro, pois nem mesmo a luz pode escapar dele.

No entanto, não vamos pensar nisso, mas no que acontece com a estrela.

Uma vez que a estrela se torne invisível para nós, em pouco tempo se comprime até chegar ao ponto em que apresenta uma densidade de matéria infinitamente grande e um campo gravitacional imensamente forte. A questão é: o que acontece depois? Na verdade, o problema é o possível significado de “depois”, nessa circunstância. Se o único significado do tempo é dado pelo movimento dos relógios físicos, então devemos dizer que o tempo para dentro de cada buraco negro. Pois, uma vez que a estrela atinja o estado de densidade e campo gravitacional infinitos, não mais podem ocorrer mudanças e processos físicos que deem significado ao tempo. Portanto, a teoria simplesmente afirma que o tempo para.

O problema é, de fato, muito pior que isso, porque a teoria da relatividade permite que o universo inteiro entre em colapso como um buraco negro, e nesse caso o tempo pararia em todo lugar. Permite também que o tempo comece. Esta é forma como entendemos o *big bang*, a teoria mais popular atualmente sobre a origem do universo.

Talvez o principal problema estudado por aqueles que, dentre nós, estão tentando combinar a relatividade e a mecânica quântica seja o que está realmente acontecendo dentro de um buraco negro. Se o tempo realmente para naquele local, então temos que considerar o fato de que o tempo, em todo lugar, parará quando o universo entrar em colapso. Por outro lado, se ele não para, então devemos considerar um mundo completo e infinito dentro de cada buraco negro, além de nossa visão para sempre. E mais: esse não é apenas um problema teórico, pois cada vez que uma estrela maciça o suficiente chega ao fim de sua vida e entra em colapso, um buraco negro é formado, e esse mistério está ocorrendo em algum lugar do vasto universo que vemos, talvez cem vezes por segundo.

Então, o que é tempo? Seria o maior mistério de todos? Não, o maior mistério de todos deve ser o fato de que cada um de nós está aqui, por um curto período de tempo, e que parte da participação que o grande universo nos concede em sua vasta jornada é levantar tais questões. E passar adiante, de criança para criança, a alegria de perguntar e de contar umas às outras o que sabemos e o que não sabemos.

LEE SMOLIN, físico teórico, é professor de física e membro do Center for Gravitational Physics and Geometry da Pennsylvania State University. Juntamente com Abhay Ashtekar e Roger Penrose, possui uma bolsa de cinco anos da National Science Foundation para o trabalho deles sobre gravidade quântica. Além de ser considerado um dos mais notáveis cientistas trabalhando no campo da gravidade quântica, ele também fez contribuições à cosmologia, à física das partículas e às bases da mecânica quântica.

Smolin talvez seja mais conhecido pela sua nova abordagem à quantização da relatividade geral, e portanto tem sido identificado como o líder de uma das mais promissoras linhas de pesquisa desenvolvidas pela ciência atual. Tem trabalhado também numa proposta para aplicar a teoria da evolução à cosmologia, o que lhe rendeu ampla divulgação pela imprensa, incluindo artigos no *The Independent*, *New Scientist* e *Physics World*, assim como dois programas na *BBC World Service*. É o autor de mais de cinquenta artigos científicos e diversos textos para o público em geral. Trabalha atualmente num livro sobre gravidade quântica destinado ao grande público.

Quando Alice protestou em *Através do espelho* dizendo que “ninguém pode acreditar em coisas impossíveis”, a Rainha Branca tentou corrigir sua afirmação. “Eu diria que você nunca praticou bastante”, ela disse. “Quando eu tinha a sua idade praticava sempre meia hora por dia. Às vezes me acontecia acreditar em mais de seis coisas impossíveis antes do café da manhã.”

Embora a ciência seja, a princípio, o estudo das coisas possíveis, o conselho da Rainha Branca deve estar sempre em mente. Ninguém entende ainda as leis da natureza em seu nível mais fundamental, mas a busca dessas leis tem sido tão fascinante quanto frutífera. A visão da realidade que está emergindo da física moderna é positivamente uma reminiscência de Lewis Carroll. Enquanto as ideias da física são tão lógicas quanto extremamente belas para as pessoas que as estudam, mostram-se completamente alheias a tudo que a maioria de nós chamaria de “bom senso”.

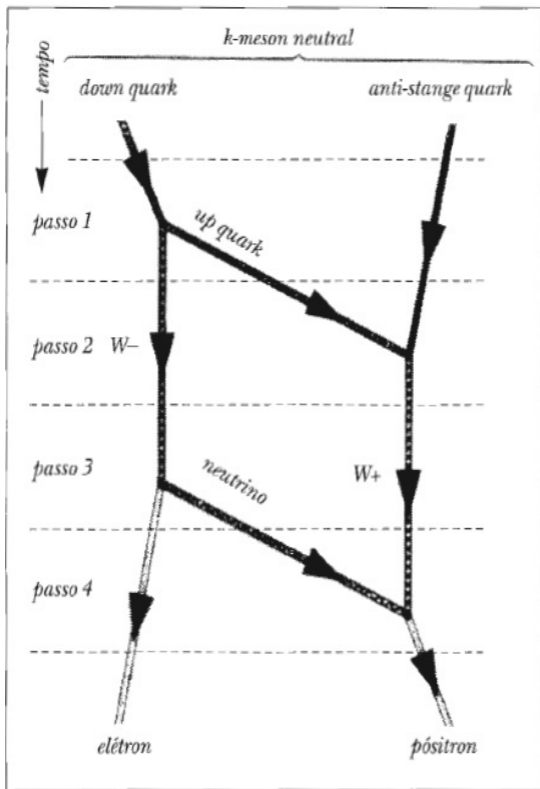
De todas as “impossibilidades” conhecidas pela ciência, provavelmente o conjunto de ideias mais impressionantemente impossível é o que conhecemos como teoria quântica. Essa teoria foi desenvolvida no início do século XIX, porque ninguém podia encontrar outro modo de explicar o comportamento das moléculas e átomos. Um dos maiores físicos dos tempos modernos, Richard Feynman, relatou suas impressões sobre a teoria quântica em seu livro QED. “Não se trata de uma teoria ser filosoficamente prazerosa, fácil de entender ou perfeitamente razoável do ponto de vista do senso comum”, ele escreveu. A teoria quântica “descreve a natureza como absurda do ponto de vista do senso comum. E se presta perfeitamente ao experimento. Portanto, espero que você consiga aceitar a natureza como ela é—absurda. Eu me divertirei contando-lhes estes absurdos, pois os considero um deleite.”

Como um exemplo de absurdo da teoria quântica, considere uma descoberta feita em 1970 por Sheldon Glashow, John Iliopoulos e Luciano Maiani. Seis anos antes, Murray Gell-Mann e George Zweig haviam proposto que os constituintes do núcleo do átomo — os prótons e nêutrons — seriam compostos de partículas ainda mais fundamentais, as quais Gell-Mann chamou “quarks”. Em torno de 1970, a teoria do quark havia se tornado bastante conhecida, mas ainda não era completamente aceita.

Muitas propriedades das partículas subatômicas foram bem explicadas pela teoria do quark, mas restaram alguns poucos mistérios. Um deles envolvia uma partícula chamada de K-meson neutral. Esta pode ser produzida por aceleradores de partículas, mas se degrada em outros tipos de partículas em menos de um milionésimo de segundo. Descobriu-se que o K-meson neutral se degradava em

muitas combinações de outras partículas, e tudo que se observava fazia pleno sentido sob o prisma da teoria do quark. No entanto, a descoberta surpreendente era algo que *não* fora visto: nunca se observou um K-meson neutral se degradar em um elétron ou um pósitron. (Um pósitron é uma partícula com a mesma massa de um elétron, mas com a carga elétrica oposta — é frequentemente chamado de antipartícula do elétron.) Na teoria do quark, essa degradação era esperada, portanto sua ausência parecia indicar que a teoria não estava funcionando.

A teoria do quark sustenta que existem três tipos de quarks, os quais receberam os nomes esquisitos de *up*, *down* e *strange*. (A própria palavra *quark* é associada com o número três; de acordo com Gell-Mann, foi extraída da frase “Três quarks para o sr. Mark!”, do romance *Finnegans Wake*, de *James Joyce*). Para cada tipo de quark existe também um antiquark. O K-meson neutral, de acordo com essa teoria, é composto de um down quark e de um anti-strange quark. Esperava-se que a degradação de um K-meson neutral para formar um pósitron acontecesse por meio de um processo de quatro etapas, como ilustrado a seguir. Não há necessidade de entender esse processo detalhadamente, mas para que a explicação ficasse completa, mostrei as etapas individualmente. Além dos quarks, partículas chamadas neutrinos tomam parte nas etapas intermediárias do processo —  $W^+$  e  $W^-$  —, mas não será necessário saber as propriedades dessas partículas para entender o que tenho a dizer. O diagrama da próxima página deve ser lido como uma sequência de eventos, de cima a baixo, começando com os quarks que dão origem aos K-meson neutrais.



*A reação do que não acontece*

Na primeira etapa, o down quark se degrada, ou se quebra, em um  $W^-$  e um up quark. Na segunda etapa, o up quark se combina com o anti-strange quark do K-meson neutral, para formar uma partícula  $W^+$ . A partícula  $W^-$  se degrada, em uma terceira etapa, em um neutrino e um elétron, e numa quarta etapa o neutrino se combina com o  $W^+$  para formar um pósitron.

Mesmo revirando todo o diagrama a seguir, os cientistas não puderam achar nada de errado com ele. A parte do K-meson neutral formada pelos quarks foi determinada de maneira inequívoca por uma variedade de propriedades — deve ser um down quark e um anti-strange quark. E pensava-se que todas as quatro etapas do processo ocorriam, apesar de nunca terem sido vistas. De fato, as partículas  $W^+$  e  $W^-$  não tinham sido realmente observadas até 1983, até que um experimento gigantesco, realizado por uma equipe de 135 físicos, permitiu a observação de seis partículas  $W$ . No entanto, todas as quatro etapas são também intermediárias em outras reações — reações que se sabia que ocorreriam. Se qualquer uma das etapas fosse impossível, então como essa outra reação poderia acontecer? Se a etapa fosse possível, então o que poderia impedi-la de acontecer na sequência exposta acima, produzindo a degradação de um K-meson neutral para um elétron ou pósitron?

Em 1970, Glashow, Iliopoulos e Maiani propuseram uma solução para esse quebra-cabeça. A solução é completamente lógica se dentro da estrutura da teoria quântica, embora desafie todo bom senso. Ela faz uso da estranha forma com que os processos alternativos são tratados na teoria quântica.

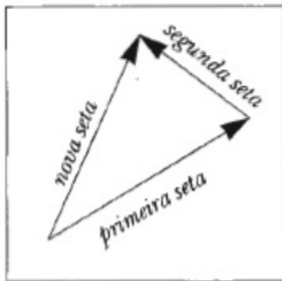
Os físicos propuseram um quarto tipo de quark, além dos três que já fazem parte da teoria. Em 1964, Glashow e James Bjorken, motivados pelos padrões da tabela de partículas conhecidas, já haviam sugerido a existência desse quark. Naquela época, o quarto quark foi chamado charmed, nome retomado na proposta muito mais específica de Glashow, Iliopoulos e Maiani. Com a adição de uma quarta variedade de quark, o charmed quark, o K-meson neutral poderia se degradar em um elétron e um pósitron através de dois processos distintos. O primeiro seria o processo de quatro etapas mostrado no diagrama; o segundo seria um processo de quatro etapas alternativo, no qual o up quark produzido na etapa um e reabsorvido na etapa dois é substituído por um charmed quark.

Seguindo o conselho da Rainha Branca, agora é a hora de acreditar em coisas impossíveis. A teoria que inclui o novo quark permite duas sequências de eventos, ambas começando com um K-meson neutral e terminando com um elétron e um pósitron. A primeira sequência envolve um up quark nas etapas um e dois, e a segunda sequência envolve um charmed quark, ocupando o lugar do up quark.

De acordo com as regras do bom senso, a probabilidade total de um K-meson neutral se degradar em um elétron e um pósitron seria a soma das probabilidades para cada uma das sequências. Se o bom senso funcionasse, a complementação

através de um charmed quark não ajudaria, de forma alguma, a explicar o porquê de essa degradação não ser vista. Entretanto, as regras da teoria quântica são muito diferentes daquelas que regem o bom senso.

De acordo com a teoria quântica, se um desfecho especificado pode ser alcançado por duas sequências distintas de eventos, então deve-se calcular para cada sequência um valor chamado “amplitude de probabilidade”. A amplitude de probabilidade é relacionada ao conceito de probabilidade, mas as duas têm diferentes formas matemáticas. Uma probabilidade é sempre um número entre zero e um. Uma amplitude de probabilidade, por outro lado, é descrita por uma seta imaginária, desenhada num papel. A seta é especificada quando se confere a ela um comprimento e uma direção, no plano em que se encontra o papel. O comprimento deve sempre abranger valores entre zero e um. Se o desfecho especificado pode ser atingido por apenas uma das sequências, então a probabilidade é o quadrado do comprimento da seta de amplitude de probabilidade, sendo sua direção irrelevante. No entanto, para que o K-meson neutral se degrade em um nêutron e um pósitron, existem duas sequências diferentes que podem levar a um mesmo resultado. Nesse caso, as regras da teoria quântica estabelecem que a traseira da segunda seta deve ser posicionada na cabeça da primeira seta, enquanto ambas as setas continuem apontando para sua direção original. Uma nova seta é então traçada ligando a cauda da primeira seta à cabeça da segunda, como indicado:



A probabilidade total do resultado é, portanto, o quadrado do comprimento da nova seta. Apesar de essa regra não apresentar nem a mais remota semelhança com qualquer coisa que pareça bom senso, milhares de experimentos demonstraram que esse é, de fato, o modo pelo qual se comporta a natureza.



Para a degradação do K-meson neutral, Glashow, Iliopoulos e Maiani propuseram um procedimento definido para calcular a maneira pela qual o charmed quark interagiria com outras partículas. Com esse procedimento, a seta correspondente à amplitude de probabilidade da segunda sequência apresenta o mesmo comprimento, mas a direção oposta, da seta relativa à primeira. Quando as duas setas são combinadas pelas regras da teoria quântica, a nova seta apresenta comprimento zero, correspondendo a uma probabilidade nula. Entretanto, através da introdução de um mecanismo alternativo pelo qual uma degradação elétron-pósitron pudesse ocorrer, tornou-se possível explicar por que a degradação não ocorre!

Embora essa explicação por si só não seja muito persuasiva, a degradação discutida aqui era apenas um entre os cerca de seis processos esperados mas nunca observados. Glashow, Iliopoulos e Maiani mostraram que a não-observação de cada um desses processos podia ser explicada pelo charmed quark. A única falha da proposta era que nenhuma das partículas conhecidas parecia possuir um charmed quark. Portanto, deve-se supor que um charmed quark é muito mais pesado que os outros quarks, então qualquer partícula que contivesse um charmed quark teria uma massa grande demais para poder ser produzida num experimento que utilizasse um acelerador de partículas.

Em novembro de 1974, uma nova partícula, com uma massa três vezes maior que a do próton, foi descoberta simultaneamente no Brookhaven National Laboratory e no Stanford Linear Accelerator Center. A partícula foi chamada  $J/\psi$  na costa leste e  $\psi$  na oeste, portanto hoje ela é conhecida pelo nome de  $J/\psi$ . As propriedades da partícula, agora já demonstradas conclusivamente, mostram que ela é composta por um charmed quark e um anticharmed quark. As propriedades de interação entre os charmed quarks são exatamente iguais àquelas previstas em 1970. Glashow e os líderes das duas equipes que descobriram o  $J/\psi$  receberam o prêmio Nobel de Física, por suas contribuições. (Hoje acreditamos que existam mais dois tipos de quarks, chamados top e bottom, apesar de as evidências experimentais relativas ao top ainda não serem conclusivas.)

A lógica bizarra da teoria quântica e a previsão intuitiva do charmed quark são apenas exemplos das ideias que os cientistas estão desenvolvendo na tentativa de entender o mundo que nos cerca. A Rainha Branca reina no mundo da ciência. As evidências até agora indicam que a natureza obedece a leis simples, mas essas leis são muito diferentes de qualquer coisa que jamais poderíamos imaginar.

*ALAN H. GUTH* é físico, professor de física Victor F. Weisskopf no Massachusetts Institute of Technology e membro da American Academy of Sciences and Arts. Após obter seu título de doutor em física e de fazer nove anos

de pesquisas de pós-doutorado, Guth atingiu um ponto decisivo em sua carreira quando inventou uma modificação da teoria do *big bang* chamada de universo inflatório (*inflationary universe*). Essa teoria não somente explica muitas das características do universo, que seriam misteriosas caso ela não existisse, como também oferece uma possível explicação para a origem de toda a matéria e energia do universo. Ele continuou a trabalhar nas consequências da teoria do universo inflatório e na exploração de questões como: se as leis da física permitem a criação de um novo universo num laboratório hipotético (ele acha que provavelmente sim) e se essas leis permitiriam a possibilidade de viajarmos no tempo (ele aposta que não).

A simetria pode parecer apenas uma repetição de estruturas sem maior importância, mas ela influencia profundamente a visão científica do universo. Albert Einstein baseou todas as suas revolucionárias teorias sobre física no princípio de que o universo é simétrico — as leis da física são as mesmas em cada ponto do espaço e a cada instante do tempo. Como as leis da física descrevem a maneira como eventos que ocorrem em determinado local e momento podem influenciar eventos que ocorram em lugares e momentos distintos, essa simples observação faz com que o universo se torne coeso como um todo. Paradoxalmente, como descobriu Einstein, isso implica não podermos falar sobre espaço e tempo absolutos de forma sensata. O que quer que seja observado, depende do observador — dentro das normas ditadas por aqueles mesmos princípios da simetria.

É fácil descrever tipos específicos de simetrias — por exemplo, um objeto tem simetria reflexionai se sua imagem no espelho for idêntica à sua imagem real, e tem simetria rotacional se sua imagem refletida permanecer igual mesmo quando em rotação. São exemplos, respectivamente, a forma do corpo humano e as ondulações que se formam quando atiramos uma pedra numa lagoa. Mas o que é simetria realmente? A melhor resposta para essa questão é matemática: simetria é a “invariância sob transformação”. Uma transformação é um método para mudar algo, para mover ou alterar estruturas. Invariância é um conceito mais simples; significa apenas que o resultado final parece igual ao ponto de partida.

A rotação através de um dado ângulo é uma transformação, e o mesmo ocorre com a imagem refletida num espelho; portanto, esses exemplos especiais de simetria se encaixam perfeitamente na fórmula geral. Um desenho formado por lajotas quadradas tem outro tipo de simetria. Se o desenho é deslocado lateralmente (uma transformação), ao longo de uma distância dada por um número inteiro que seja múltiplo da largura dessa lajota, então o resultado parece igual (é invariante). Em geral, a amplitude de transformações simétricas é enorme e, portanto, enorme também é a possibilidade de padrões simétricos.

Durante os últimos 155 anos, matemáticos e físicos inventaram um profundo e poderoso “cálculo de simetria”. É conhecido como teoria de grupo, pois lida não somente com uma única transformação, mas com todo um conjunto delas — “os grupos”. Aplicando essa teoria, eles conseguiram provar fatos estupefacentes — por exemplo, que existem exatamente dezessete tipos de padrões simétricos de papel de parede (isto é, padrões repetidos que preenchem um plano), e precisamente 230 tipos diferentes de simetrias de cristais. E eles

também começaram a usar a teoria de grupos para entender como as simetrias do universo afetam o comportamento da natureza.

Em todo o mundo natural, observamos padrões simétricos intrigantes: a espiral da concha de um caramujo; as pétalas cuidadosamente dispostas de uma flor; o brilho crescente da lua nova. Os mesmos padrões ocorrem em muitos cenários diferentes. A mesma espiral de uma concha é recorrente no redemoinho de um furacão e na rotação grandiosa de uma galáxia; gotas de chuva e estrelas são esféricas; e hamsters, garças, cavalos e seres humanos são bilateralmente simétricos.

As simetrias existem em todas as escalas concebíveis, dos componentes mais internos do átomo à imensidão do universo. As quatro forças fundamentais da natureza (gravidade, eletromagnetismo e as forças nucleares fortes e fracas) são atualmente consideradas diferentes aspectos de apenas uma força unificada em um universo de energias superiores, ainda mais simétrico. As “ondulações nas margens do tempo” — irregularidades na radiação cósmica que fica em segundo plano — recentemente observadas pelo satélite Cosmic Background Explorer (Cobe) ajudam a explicar como um *big bang* inicialmente simétrico pôde criar o universo estruturado em que nos encontramos.

Estruturas simétricas em nível microscópico estão envolvidas em processos vitais. No interior de cada célula viva existem estruturas chamadas centrômeros, cujo importante papel está ligado à organização das divisões celulares. No interior do centrômero existem dois centríolos, posicionados de modo a formar ângulos retos entre si. O centríolo é cilíndrico, composto de 27 microtúbulos reunidos em grupos de três (no sentido do comprimento) e arranjados através de uma simetria nômula perfeita. Os próprios microtúbulos também mostram um grau de simetria espantoso; são tubos ocos que apresentam um padrão de unidades semelhante a um tabuleiro de damas, contendo dois tipos distintos de proteínas. Então, até mesmo no cerne da vida orgânica podemos encontrar as regularidades matemáticas perfeitas da simetria.

Existe outro aspecto importante da simetria. Objetos simétricos são feitos de inúmeras cópias de partes idênticas, portanto a simetria está intimamente relacionada com a reprodução. As simetrias ocorrem no mundo orgânico porque a vida é um fenômeno que se autoreproduz. As simetrias do mundo inorgânico têm, de forma similar, uma origem baseada na “produção em massa”. Particularmente as leis da física, que são iguais em quaisquer lugares e momentos. Além disso, se você pudesse permutar instantaneamente todos os elétrons do universo—vamos dizer, trocando todos os elétrons de seu cérebro pelos elétrons de uma estrela distante — não faria diferença alguma. Todos os elétrons são idênticos, portanto a física é simétrica no que diz respeito ao intercâmbio de elétrons. O mesmo se aplica a todas as outras partículas fundamentais. A razão pela qual vivemos num universo “de produção em massa”

não está nada clara, mas está claro que vivemos nele e que isso possibilita um número enorme de simetrias em potencial. Talvez, como sugeriu Richard Feynman em certa ocasião, todos os elétrons sejam iguais por serem todos a mesma partícula, zunindo para frente e para trás no tempo. (Essa estranha ideia lhe ocorreu quando inventou os “diagramas de Feynman” — representações da movimentação de partículas no tempo e no espaço. Interações complexas entre vários elétrons e suas antipartículas frequentemente formam uma curva espaço-tempo em ziguezague que pode ser explicada como sendo formada por uma única partícula movendo-se para a frente e para trás no decorrer do tempo. Quando um elétron se move para trás no tempo, se transforma em sua antipartícula.) Ou talvez esteja em curso uma versão do princípio antrópico: criaturas que se reproduzem (especialmente aquelas cuja organização interna requer padrões estáveis de estrutura e comportamento) podem surgir apenas em universos de produção em massa.

Como surgem os padrões simétricos da natureza? Eles podem ser explicados como vestígios imperfeitos ou incorretos das simetrias das leis da física. Potencialmente, o universo contém uma enorme quantidade de simetrias — suas leis são invariantes, apesar de todas as mudanças de tempo e espaço e de todos os intercâmbios de partículas idênticas —, mas, na prática, um efeito conhecido como “rompimento de simetrias” impede que todas as possíveis variações de padrões simétricos sejam realizadas simultaneamente. Por exemplo, pense num cristal feito de um número gigantesco de átomos idênticos. As leis da física permanecem iguais se você embaralha os átomos ou os desloca no tempo e no espaço. A configuração mais simétrica seria aquela em que todos os átomos estivessem no mesmo lugar, mas isso é fisicamente impossível, pois os átomos não podem se sobrepor. Portanto, uma parcela da simetria é “quebrada”, ou removida, mudando-se a configuração de modo que os átomos permaneçam deslocados apenas o suficiente para que fiquem separados. A questão matemática é que aquilo que é fisicamente impossível apresenta um grau enorme de simetrias, e nem todas precisam ser quebradas para que os átomos sejam separados. Portanto, o fato de que algumas dessas simetrias estejam presentes no estado em que realmente ocorrem não é nenhuma surpresa. Daí é que surge a simetria de uma pedra de cristal: as enormes, mas não vistas, simetrias em potencial são quebradas pelas necessidades do real.

Este discernimento tem consequências muito mais amplas. Implica que, quando estudando um problema científico, devemos considerar não apenas o que realmente acontece, mas também o que poderia ter acontecido. Pode parecer perverso aumentar ainda mais a margem de problemas, pensando sobre coisas que não ocorrem, mas situar um evento real dentro de uma nuvem de acontecimentos potenciais tem duas vantagens. Primeiro, só então podemos perguntar “Por que ocorre este comportamento em particular?” — pois,

implicitamente, essa pergunta também questiona o porquê de outras possibilidades não terem ocorrido, e isso significa que temos de pensar em todas as possibilidades e não apenas na que ocorreu. Por exemplo, não podemos explicar por que os porcos não têm asas sem pensar implicitamente no que ocorreria se eles tivessem. Em segundo lugar, o conjunto de eventos potenciais pode apresentar uma estrutura extra — com algum tipo de simetria — que não pode ser notada no estado isolado em que o conjunto é observado. Por exemplo, podemos nos perguntar por que a superfície de um lago é lisa (na ausência de ventos ou correntes). Não encontraremos a resposta estudando apenas lagos cujas superfícies sejam lisas. Em vez disso, precisamos perturbar a superfície de um lago, explorando o espaço de todos os lagos em potencial, para ver o que leva a superfície de volta ao nívelamento. Dessa forma descobriremos que superfícies onduladas possuem mais energia e que forças de atrito dissipam lentamente essa energia excessiva, fazendo com que a superfície retorne ao seu estado de energia mínima (ou repouso), que é representado pela superfície lisa. Como sabemos, uma superfície lisa apresenta muita simetria, e isso também pode ser melhor explicado se pensarmos sobre o “conjunto” de todas as superfícies possíveis.

Esta é, em minha opinião, a mensagem mais profunda da simetria. A simetria, por sua própria definição, fala sobre o que aconteceria ao universo se ele fosse modificado — transformado. Suponha que cada elétron do seu cérebro fosse trocado por um elétron do centro em chamas da estrela Sirius. Suponha que os porcos tivessem asas. Suponha que as superfícies dos lagos tivessem o formato das esculturas de Henry Moore. Ninguém pretende realizar experimentos práticos, mas apenas pensar sobre as possibilidades revela aspectos fundamentais do mundo natural. Portanto, a observação prosaica de que existem padrões no universo nos força a encarar a realidade como apenas um possível estado do universo dentre uma infinidade de estados potenciais — um delicado fio de realidade balançando através do espaço do potencial.

*IAN STEWART* é um dos mais conhecidos matemáticos do mundo. É professor de matemática na University of Warwick, Coventry, onde trabalha com dinâmica não linear, caos e suas aplicações, tendo publicado mais de oitenta artigos científicos. Ele acredita que a matemática deve uma explicação ao público do que está sendo feito e por quê. Escreveu ou foi coautor de mais de sessenta obras, incluindo livros didáticos de matemática, monografias de pesquisas, livros infantis de quebra-cabeças e charadas, livros sobre computação (PCs) e três livros cômicos sobre matemática que foram publicados apenas em francês. Entre os livros científicos populares estão *Does God Play Dice?*, *The Problems of Mathematics*, *Fearful Symmetry*, *Is God a Geometer?* e *The Collapse of Chaos* (com o biólogo Jack Cohen). Escreveu as colunas de “Recreação

matemática” na *Scientific American*; é consultor de matemática da *New Scientists* contribui para revistas como *Discover*, *New Scientist* e *The Sciences*.

O professor Stewart também escreve contos de ficção científica para *Omni* e *Analog*, um dos quais foi recentemente adaptado para uma peça na Rádio Tcheca.





para um certo sistema de unidades é sempre dada pela velocidade da luz medida por aquele sistema de unidades, mas essa é outra história.) Se medirmos tanto energia quanto massa através do que os físicos denominam “unidades naturais” (onde  $c = 1$ ), escreveríamos a equação:  $e = m$ , que torna as coisas mais fáceis de entender; significa apenas que energia e massa são a mesma coisa.

Não importa se a energia é elétrica, química ou mesmo atômica. Ela sempre tem o mesmo peso por unidade de energia. De fato, a equação funciona até mesmo com o que os físicos denominam energia “cinética”, ou seja, a energia apresentada por algo que está se movendo. Por exemplo, quando arremesso uma bola de beisebol, aplico energia à bola empurrando-a com meu braço. De acordo com a equação de Einstein, a bola realmente se torna mais pesada quando arremessada. (Um físico poderia implicar com esse ponto e fazer distinção entre algo se tornar mais pesado e ganhar massa, mas eu não vou fazê-lo. A questão é que a bola se torna mais difícil de arremessar.) Quanto mais rápido arremesso a bola, mais pesada ela se torna. Usando a equação de Einstein,  $e = mc^2$ , calculo que, se eu pudesse arremessar uma bola à velocidade de cem milhas por hora (o que eu não consigo, mas um bom arremessador conseguiria), então a bola de fato se tornaria 0,00000000002 grama mais pesada — o que não é grande coisa.

Agora voltemos à sua espaçonave. Vamos supor que seu motor seja abastecido por ligação com alguma fonte externa de energia, portanto você não precisa se preocupar em levar combustível com você. À medida que você anda cada vez mais rápido com sua espaçonave, está colocando cada vez mais energia na nave ao acelerá-la, portanto ela vai se tornando cada vez mais pesada. (De novo, eu realmente deveria dizer “mais massuda” e não mais pesada, já que não existe gravidade no espaço). No momento em que atinge 90% da velocidade da luz, a nave contém tanta energia que apresenta duas vezes mais massa do que quando está em repouso. Sua propulsão pelo motor se torna cada vez mais difícil, já que ela está tão pesada. Quanto mais se aproxima da velocidade da luz, tanto menor é o retorno obtido — quanto mais energia a nave tem, mais pesada se torna e mais energia é requerida para aumentar minimamente sua velocidade, e assim por diante.

Os efeitos são ainda piores do que você poderia imaginar, devido ao que se passa no interior da nave. Afinal, tudo dentro da nave — incluindo você — está acelerando, adquirindo cada vez mais energia e se tornando cada vez mais pesado. De fato, você e todo o equipamento da nave estão se tornando bastante lentos. Seu relógio, por exemplo, que costumava pesar algo como dez gramas, pesa agora cerca de quarenta toneladas. E a mola dentro dele não se tornou mais forte, portanto o relógio se tornou tão lento que seus ponteiros demoram cerca de uma hora para passar de uma marca de segundo a outra. Não foi apenas seu relógio de pulso que se tornou lento, mas também o relógio biológico dentro de seu cérebro. Você não percebe isso, pois seus neurônios estão se tornando cada

vez mais pesados, e seus pensamentos estão tão lentos quanto seu relógio de pulso. Pela sua percepção, seu relógio está andando exatamente na mesma velocidade de antes. (Os físicos chamam isso de “contração relativística de tempo”). Outra coisa que se tornou mais lenta é o maquinário que move seu motor (os cristais de dilitio também estão se tornando mais pesados e lentos). Portanto, sua nave está se tornando mais pesada, seu motor mais lento e, quanto mais você se aproxima da velocidade da luz, piores as coisas ficam. Torna-se cada vez mais difícil ultrapassar a barreira da luz. Não importa o quanto tente, você simplesmente não conseguirá. E essa é a razão pela qual não podemos viajar mais rápido que a velocidade da luz.

W. DANIEL HILLIS foi o co-fundador e cientista chefe da Thinking Machines Corporation, e o arquiteto principal do maior produto da companhia, a Connection Machine. Na Thinking Machines sua pesquisa se concentrou em programação paralela, aplicações de computadores paralelos e na arquitetura de computadores. A pesquisa atual de Hillis é sobre a evolução e os algoritmos do aprendizado paralelo. Por exemplo, ele tem usado modelos simulados da evolução biológica para produzir, automaticamente, programas eficientes para seleção de sequências de instruções aleatórias. Seus interesses a longo prazo se concentram no projeto de uma máquina pensante, sendo que a simulação biológica fornece uma nova abordagem ao problema.

Hillis é membro do Science Board do Santa Fe Institute, do Advisory Board do *OS Journal on Computing*, e do External Advisory Board do Institute for Biospheric Studies. É membro da Association of Computing Machinery e da American Academy of Sciences and Arts. Possui 34 patentes nos Estados Unidos e é editor de vários periódicos científicos, entre eles *Artificial Life*, *Complexity*, *Complex Systems* e *Future Generation Computer Systems*. É o autor de *The Connection Machine*.

## **Parte VI - O FUTURO**

## QUANTO TEMPO DURARÁ A ESPÉCIE HUMANA ? - Discussão com Robert Malthus e Richard Gott - *Freeman Dyson*

Há quase duzentos anos, o reverendo Thomas Robert Malthus publicou seu famoso “*Essay on the principle of population as it affects the future improvement of society*” [Ensaio sobre o princípio da população e seus efeitos sobre o futuro progresso da sociedade]. Malthus observou a situação humana de modo sombrio. Ele começou estabelecendo duas leis gerais. Primeiro, ele disse, a população sempre tende a aumentar geometricamente, isto é, o aumento anual é dado por uma determinada fração da população. Segundo, a quantidade de alimento disponível aumenta aritmeticamente, ou seja, a quantidade de comida produzida anualmente cresce uma determinada fração independentemente do aumento da população. E, portanto, matematicamente garantido que o aumento geométrico da população superará o aumento aritmético da produção de alimento. Malthus deduziu de suas duas leis que o crescimento populacional resultará apenas em fome, guerra e doença. Os membros menos afortunados de nossa espécie sempre viverão na pobreza, à beira da inanição.

Malthus era um clérigo inglês e um dos pais da economia. Suas previsões pessimistas fizeram com que a economia fosse chamada de “a ciência sombria”. No tocante à Inglaterra, suas previsões se revelaram incorretas. Após a publicação de seu ensaio, a população da Inglaterra cresceu rapidamente, mas o suprimento de alimentos e outras necessidades cresceu de forma mais veloz. Ainda não se provou se suas previsões serão ou não corretas para a humanidade como um todo. O ponto fraco de sua argumentação foi sua incapacidade de distinguir entre um simples modelo matemático e o complexo mundo real.

Passaram-se duzentos anos, e meu amigo Richard Gott também publicou um ensaio sombrio. Ele saiu em maio de 1993, na revista científica britânica *Nature*, com o título de “*Implicações do princípio de Copérnico em nossas expectativas futuras*”. Richard Gott é um astrônomo famoso e, como eu, interessado em questões referentes à existência e destino da vida no universo. Por “princípio de Copérnico” ele quis se referir ao postulado de que os seres humanos não ocupam uma posição privilegiada no universo. O princípio recebeu esse nome em homenagem a Copérnico, o astrônomo que colocou, pela primeira vez, o Sol e não a Terra como o centro do sistema solar. Depois que a herética teoria de Copérnico se tornou ortodoxa, aprendemos gradativamente que estamos vivendo num planeta comum, que orbita em torno de uma estrela comum, situada na região periférica de uma galáxia comum. Nossa situação não é, de modo algum, especial ou central. O princípio de Copérnico, de acordo com Richard Gott, afirma que não há nada de extraordinário em nossa situação no tempo e no

espaço.

Para aplicar o princípio de Copérnico à situação humana no tempo, Gott confia na noção matemática de “probabilidade prioritária”. A probabilidade prioritária de um evento é a probabilidade de esse evento ocorrer se ignorarmos completamente quaisquer circunstâncias especiais que possam influenciá-lo. O princípio de Copérnico afirma que o lugar e o momento em que vivemos nunca deveria ter uma pequena probabilidade prioritária. Por exemplo, uma posição central numa galáxia tem uma probabilidade prioritária muito menor que uma posição periférica qualquer. Portanto, o princípio de Copérnico diz que devemos estar vivendo numa posição periférica, como de fato estamos. Quando o princípio de Copérnico é aplicado à nossa situação no tempo, ele diz que nem eu nem Richard Gott devemos estar vivendo num ponto próximo ao começo ou ao fim da história da humanidade. Deveríamos estar vivendo aproximadamente no ponto central da trajetória da humanidade. Já que sabemos que a espécie humana se originou há cerca de 200 mil anos, o fato de ocuparmos uma posição não privilegiada no tempo implica que nossa espécie ainda vai durar aproximadamente 200 mil anos. É muito pouco tempo em comparação com a expectativa de duração da Terra, do Sol ou da galáxia. Esse é o motivo pelo qual chamo o argumento de Richard de sombrio. Ele defende que o ser humano não ficará aqui definitivamente, que provavelmente estaremos extintos em, no máximo, poucos milhões de anos, e que não é provável que sobrevivamos tempo suficiente para colonizar o resto da galáxia e nos espalharmos por ela.

O argumento de Gott tem o mesmo ponto fraco do argumento de Malthus. Ambos usam um modelo matemático abstrato para descrever o mundo real. Quando Gott aplica seu princípio de Copérnico à situação real em que nos encontramos, supõe que as probabilidades prioritárias podem ser usadas para estimar probabilidades reais. Na verdade, não ignoramos completamente as circunstâncias especiais que cercam nossa existência. Portanto, probabilidades prioritárias podem nos fornecer estimativas deficientes do que é ou não provável que aconteça.

Depois que li o artigo de Richard Gott e pensei um pouco sobre ele, escrevi a seguinte carta a Richard. Ela explica as razões pelas quais discordo de suas conclusões, apesar de considerar seu ponto de vista importante e esclarecedor.

Caro Richard,

Bom dia, sr. Malthus. Obrigado por mandar-me seu ensaio deliciosamente sombrio sobre as implicações do princípio de Copérnico. A lógica de sua análise é impecável. Tenho que admirar o modo pelo qual você extrai uma gama tão grande de conclusões a partir de uma hipótese aparentemente plausível. Como você disse, ela é passível de ser testada e, portanto, uma legítima hipótese científica. Seu reverenciado predecessor, Thomas Robert Malthus, chegou, de

forma muito semelhante, a consequências terríveis a partir de uma hipótese verificável. Em minha opinião, em ambos os casos a hipótese é simples demais para ser verdadeira. Além do mais, em ambos o estudo das consequências da hipótese é útil, já que elas servem como alerta para uma espécie incauta.

Eu me lembro de que quando era criança, nos meados de 1930, época em que a Grã-Bretanha ainda era a maior potência, ficava confuso pelo paradoxo da improbabilidade de minha própria situação. Nasci no seio da classe dominante do império dominante, o que significava que eu nascera no grupo dos 10% mais elitizados da população mundial. A probabilidade de eu ter tido tamanha sorte era de apenas uma em mil. Como eu poderia explicar minha sorte? Nunca encontrei uma explicação satisfatória. A noção que eu deveria ter de que havia probabilidades prioritárias iguais de eu ter nascido em qualquer lugar do mundo entrava em conflito com o fato de eu ter nascido um inglês de classe alta. Parece que a noção de probabilidade prioritária não funcionou nesse caso.

Acho que o paradoxo de meu nascimento também surge em seu ensaio. A noção de probabilidade prioritária só faz sentido quando ignoramos totalmente fatos particulares que podem influenciar as probabilidades. Se soubermos que um evento improvável qualquer de fato ocorreu, então a probabilidade de ocorrência de todos os eventos relacionados pode ser drasticamente alterada.

Vou dar um exemplo artificial. Suponha que descobramos dois planetas ocupados por civilizações alienígenas em lugares remotos do espaço. Enviamos uma missão para fazer contato e estabelecer uma base humana em um desses planetas. Como achamos muito caro mandar emissários para os dois planetas, escolhemos aquele que será visitado atirando uma moeda para cima. Bem, acontece que os habitantes do planeta A são ogros que devoram imediatamente todos os humanos, enquanto os habitantes do planeta B são zoológicos benevolentes que colocam os visitantes num zoológico e os encorajam a se reproduzirem, protegendo-os de todo e qualquer mal por 1 bilhão de anos. Desconhecemos esses fatos sobre os alienígenas no momento em que escolhemos o planeta a ser visitado. Agora, de acordo com sua hipótese de Copérnico, a probabilidade de prolongar a vida de nossa espécie visitando o planeta B é muito menor do que a probabilidade de visitarmos o planeta A e nos extinguirmos em alguns milhões de anos, dadas as próprias vicissitudes da vida no planeta Terra. Mas sabemos que, neste caso, as probabilidades de A e B são iguais. O ponto ao qual quero chegar com esse exemplo é que o conhecimento de um único fato improvável, como a existência do planeta B e de seus habitantes bondosos, faz com que a estimativa das probabilidades prioritárias de Copérnico a respeito da vida esteja completamente errada.

Retornando desse exemplo artificial para nossa situação real, me parece que a hipótese de Copérnico já se encontra comprometida por nosso conhecimento de um fato improvável: o de que estamos vivendo há poucos séculos do momento

em que surgirá a possibilidade técnica de a vida sair de um planeta e se espalhar pelo universo. Se a espécie humana vai ou não tirar proveito dessa possibilidade é irrelevante. O fato é que ela existe agora e não existia nos últimos 4 bilhões de anos. Como tudo indica, nascemos numa época privilegiada, tiremos ou não proveito disso. O conhecimento desse fato improvável muda todas as probabilidades prioritárias, pois a saída da vida de um planeta muda as regras do percurso a ser seguido pela vida.

Outro desmentido independente da hipótese de Copérnico surge do fato de que calhamos de estar vivendo na era do nascimento da engenharia genética. No passado, como Darwin ressaltou, a maioria das criaturas não deixou progênie porque as espécies não produziam híbridos. A extinção da espécie implicava a extinção da progênie. No futuro, as regras do jogo podem ser diferentes. A engenharia genética pode confundir e erodir as barreiras entre as espécies, de modo que a extinção delas não tenha mais um significado claro. Então, as suposições de Copérnico sobre a longevidade das espécies e de sua progênie não serão mais válidas.

Concluindo, me permita dizer que não estou contestando a lógica de seu argumento, mas a plausibilidade de suas suposições. Se a hipótese de Copérnico é verdadeira, então as consequências a respeito dela, apontadas por você, procedem. Estou encantado com a maneira pela qual você expôs as consequências, de forma tão clara e direta. Estou apenas apreensivo, pois espero que o público não seja levado a acreditar que sua hipótese seja um fato estabelecido. O exemplo de seu predecessor Malthus mostra que isso pode representar um verdadeiro perigo. A crença indiscriminada nas previsões de Malthus provocou um atraso do progresso econômico e social da Inglaterra por centenas de anos. Acredito que você não deixará que uma crença indiscriminada em suas conclusões atrasem o progresso atual.

Obrigado por dar-me essa oportunidade de pensar sobre questões importantes sob um novo ângulo.

Sinceramente,  
Freeman Dyson

Esta carta não será a última palavra da discussão entre mim e Richard. Estou agora esperando ansiosamente por sua resposta.

*FREEMAN DYSON* é um cientista profissional que desenvolveu uma segunda carreira escrevendo livros para leigos. Ele gosta de alternar suas atividades científicas com incursões na engenharia, política, controle de armas, história e literatura. A maioria de seus textos é sobre pessoas e fatos que observa, às vezes sobre pessoas e fatos que imagina. Nasceu e foi criado na Inglaterra, trabalhou

durante a Segunda Guerra Mundial como pesquisador científico do comando-bombardeiro da Royal Air Force, emigrou para a América depois da guerra e se tornou famoso resolvendo alguns problemas matemáticos esotéricos, das teorias sobre átomos e radiação.

Desde 1953, é professor de física do Institute for Advanced Studies de Princeton, New Jersey. O principal lema de sua vida é buscar variedades. Isso inclui variedade de pessoas, de teorias científicas, de truques técnicos, de culturas e línguas. Ele é o autor de cinco livros destinados ao público em geral: *Disturbing the Universe*, *Weapons and Hope*, *Origins of Life*, *Infinite in All Directions* e *From Eros to Gaya*.



## A SINGULARIDADE DO ATUAL CRESCIMENTO DA POPULAÇÃO HUMANA - *Joel E. Cohen*

Dois números resumem o tamanho e o crescimento da população humana da Terra atualmente. O número total de habitantes da Terra é de aproximadamente 5,5 bilhões. O aumento do número de pessoas no planeta de 1994 para 1995 é de cerca de 92 milhões. Usando apenas esses dois números, posso demonstrar que o atual crescimento da população tanto não poderia ter ocorrido durante longos períodos do passado, quanto não poderá continuar ocorrendo por muito tempo. A espécie humana está passando por um pico transitório e breve de crescimento populacional global, que não possui precedentes e provavelmente será único na história da humanidade.

Para se chegar a essa grandiosa conclusão, tudo de que se precisa é aritmética elementar, dos dois números (5,5 bilhões de pessoas e o aumento anual de 92 milhões) e — é claro — uma ou duas suposições inocentes. A aritmética envolvida parecerá familiar se você entender juros compostos.

Começo pelo passado. Extrapolar para o passado sem nenhuma informação adicional requer algumas suposições sobre a maneira como a população tem mudado em anos mais recentes. Como sempre acontece quando fazemos suposições, muitas escolhas são possíveis.

Uma suposição possível é que o recente aumento da população, da ordem de 92 milhões, também ocorreu a cada ano anterior. Se essa suposição fosse verdadeira, dois anos antes a população seria igual à população de 1995 menos duas vezes 92 milhões, ou seja:  $(5,5 - 2 \times 0,092)$  bilhões = 5,3 bilhões. Dada essa suposição, a população da Terra deve ter chegado quase a zero cerca de sessenta anos atrás, porque  $59,1 \text{ anos} \times 92 \text{ milhões por ano} = 5,496 \text{ bilhões}$ , ou quase 5,5 bilhões de pessoas. Essa conclusão é absurda. A população da Terra não estava de forma alguma perto de zero em torno de 1930, e certamente os anos 30 não foram nenhum Jardim do Éden. Se a população tivesse chegado perto de zero em 1930, não poderia, de modo algum, ter aumentado 92 milhões no decorrer de um ano. Adão e Eva eram férteis mas, de acordo com a mais idônea avaliação, não tanto assim. Conclusão: a mudança absoluta nos números — 92 milhões de 1994 para 1995 — é muito maior que os aumentos absolutos que devem ter ocorrido ao longo da maior parte da história da humanidade.

Uma segunda suposição possível é que o mesmo aumento relativo da taxa de crescimento da população de 1994 para 1995 se repetiu a cada ano. Por definição, a taxa de crescimento de 1995 é a mudança ocorrida na população do ano anterior para ele, dividida pela população de 1994. Portanto, o aumento de 92 milhões dividido pela população de 1994, estimada em aproximadamente 5,4

bilhões, resulta na taxa de crescimento de 1,7% ao ano. Se a taxa de crescimento relativa da população tivesse sido a mesma ao longo do tempo, então Adão e Eva devem ter vivido há menos de 1300 anos, porque uma população que começasse com duas pessoas e crescesse 1,7% ao ano, após 1290 anos ultrapassaria a faixa dos 5,5 bilhões de pessoas.

Até mesmo o arcebispo James Ussher, primaz de toda a Irlanda, que calculou que Deus criou o universo em 4004 a.C., concordaria que a história humana tem mais que 1290 anos e, portanto, teria que conceder que a atual taxa de crescimento relativo da população não poderia ter sido mantida durante a maior parte da história da humanidade. (Ussher determinou como momento da criação o dia 23 de outubro, ao meio-dia. O teólogo e hebraísta oxfordiano John Lightfoot refez os cálculos de Ussher e concluiu que a criação ocorreu no dia 26 de outubro às nove horas da manhã, data e horário citados em muitos textos. Prefiro me abster de tomar partido na controvérsia que diz respeito à criação ter sido no dia 23 de outubro ao meio-dia ou 26 de outubro às nove da manhã).

Conclusão definitiva: o atual aumento da população humana na Terra, seja em termos relativos, seja em termos absolutos, excede vastamente o aumento médio que ocorreu durante a maior parte da história da humanidade.

Como mais uma confirmação de que a atual taxa de crescimento populacional não poderia ter sido mantida durante grande parte da história da humanidade, vamos jogar apenas mais um jogo aritmético antes de nos voltarmos para o futuro. A última Idade do Gelo acabou por volta de 12 mil anos atrás (na verdade, em datas diferentes nos vários lugares). Evidências arqueológicas confirmam que havia populações humanas substanciais em todos os continentes, com exceção da Antártida. Se existisse apenas uma pessoa há 12 mil anos, e a população tivesse crescido (primeiramente por partenogênese) numa taxa média de 1,7% ao ano, o número de habitantes da Terra seria aproximadamente 7100 000 ou  $7,1 \times 10^{87}$  pessoas. Isso é mais de  $10^{78}$  vezes mais pessoas do que a população atual da Terra. Se o peso médio das pessoas fosse 50 kg (cerca de 110 libras), a massa humana seria aproximadamente  $6 \times 10^{64}$  vezes maior que a massa terrestre (que é de apenas  $10 \times 10^{24}$  kg), e a Terra teria saído de sua órbita atual há muito tempo.

Devo confessar que ninguém sabe exatamente a população da Terra ou sua taxa exata de crescimento. O quão passíveis de erro são essas conclusões baseadas nos dois números que fornecemos? Faria muita diferença se a população terrestre atual fosse de 5 ou 6 bilhões de pessoas? Faria muita diferença se a taxa de crescimento atual fosse 1,4% ou 2% ao ano? (Não conheço nenhum demógrafo profissional que sugira que a atual taxa de

crescimento populacional esteja fora dessas margens de variação.) A resposta, em todo caso, é a mesma. Mesmo que as informações atuais não estejam exatamente corretas, a taxa absoluta de crescimento da população humana (em números por ano) e a taxa relativa de crescimento atual (em porcentagem por ano) não poderiam ter sido mantidas pela maior parte da história.

A história demográfica humana diferiu dos modelos hipotéticos de crescimentos absoluto e relativo constantes de pelo menos duas maneiras importantes. Primeiro, o crescimento populacional variou de uma área para outra. Enquanto a Babilônia e as cidades hititas cresciam no que chamamos hoje de Iraque e Anatólia (Turquia asiática), o que hoje é a Europa provavelmente não havia visto crescimento demográfico comparável, e partes da América do Sul podiam ainda estar inabitadas.

Em segundo lugar, o crescimento populacional variou ao longo do tempo: por vezes mais rápido, noutras mais lento, e noutras até mesmo negativo. Levantou-se a hipótese de que a primeira onda real de crescimento populacional humano ocorreu antes de 100.000 a.C., quando as pessoas descobriram como produzir e utilizar instrumentos. Evidências arqueológicas e históricas mostram que ocorreu uma nova onda de 8000 a.C. a 4000 a.C., quando as pessoas descobriram ou inventaram a agricultura e as cidades, e outra ainda no século XVIII, quando a ciência, a indústria e as grandes plantações foram intercambiadas entre o Velho e o Novo Mundo. Entre esses períodos de crescimento rápido, houve períodos muito mais longos de crescimento bastante lento e até mesmo quedas ocasionais (como no século XIV, com a Peste Negra).

De longe, a maior onda da história da humanidade começou logo após a Segunda Guerra Mundial e ainda é vigente. De acordo com as estimativas mais apuradas, a população mundial cresceu de algo entre 2 e 20 milhões de pessoas, 12 mil anos atrás, para os atuais 5,5 bilhões. A taxa relativa de crescimento da população sofreu uma aceleração tão estarrecedora nos séculos recentes que aproximadamente 90% do aumento da população verificado nos últimos doze milênios ocorreu a partir de 1650 d.C., portanto em menos de 350 anos. Até épocas tão recentes quanto 1965 os números da população aumentaram como dinheiro aplicado numa conta bancária com taxas de juros crescendo desordenadamente.

Agora vamos considerar o futuro. Eu afirmo confidencialmente que a taxa atual de crescimento populacional não poderá ser mantida pelos próximos quatro séculos. Por quê? Porque, se a atual taxa de crescimento anual continuar por mais quatrocentos anos (variando esse período em mais ou menos dez anos), a população aumentará pelo menos mil vezes, passando de 5,5 bilhões para 5,5 trilhões de pessoas.

A área de superfície total da Terra, incluindo oceanos, lagos, rios, calotas polares, pântanos, vulcões, florestas, estradas, reservas e campos de futebol, é de

510 milhões de quilômetros quadrados. Com uma população de 5,5 trilhões, caberia a cada pessoa uma área com menos de dez metros de lado. Esta área talvez seja suficiente para uma cela de cadeia, mas é incapaz de abrigar uma pessoa com as necessidades de comida, água, vestimenta, combustível e amenidades físicas e psicológicas que distinguem seres humanos de formigas ou bactérias. Nenhum otimista sequer, se é que essa é a palavra correta, sugeriu que a Terra poderia suportar 5,5 trilhões de pessoas.

A taxa atual de crescimento de 1,7% ao ano é uma média entre regiões que apresentam crescimento rápido (como a África e o Sudeste da Ásia) e regiões de crescimento lento (como a Europa, Japão e América do Norte). Em projeções detalhadas, publicadas em 1992, a Organização das Nações Unidas consideraram o que aconteceria se cada região do mundo mantivesse os níveis de fertilidade apresentados em 1990 e reduzisse sua taxa de mortalidade. Naturalmente, as regiões com taxas de crescimento maiores crescerão mais rapidamente que as outras. Portanto, as regiões com altas taxas de crescimento constituiriam uma fatia cada vez maior da população mundial, e a taxa média de crescimento da população global aumentará. No início, a população hipotética da ONU dobra depois de quarenta anos. Transcorridos mais 150 anos, passa para 600 bilhões, e por volta do ano 2150 é superior a 694 bilhões de pessoas.

A ONU comentou secamente: “Para muitos, essas informações mostrarão muito claramente que é impossível que os níveis de fertilidade mundial continuem como estão durante muito tempo, sobretudo se considerada a provável diminuição da mortalidade”.

Muitas pessoas — entre as quais me incluo — acham que números altos como 600 bilhões de pessoas — que dizer de 5,5 trilhões? — excedem muitíssimo os limites toleráveis pelos seres humanos e pela Terra. Eu forneço argumentos simples, com limites muito amplos, não para que não se suponha que os limites mencionados estejam próximos dos limites reais, mas para mostrar que, mesmo com limites extremamente amplos, o tempo que resta para que a população humana atinja seu patamar de crescimento numérico (e não espiritual, cultural ou econômico) não é muito longo. Nas próximas poucas décadas, um declínio drástico do crescimento populacional — embora não necessariamente abrupto — será inevitável.

A taxa de crescimento populacional global pode cair dos atuais 1,7% anuais para zero, ou mesmo abaixo disso, apenas pela combinação do declínio das taxas de nascimento e aumento da taxa de mortalidade nas áreas imensamente pobres, cujas taxas de fertilidade atuais são altas. (Esqueça a emigração para fora da Terra. Para atingirmos uma redução da presente taxa de 1,7% para 1,6% seria necessário que partissem 0,001 x 5,5 bilhões de astronautas no primeiro ano, e muito mais ainda nos anos seguintes. O custo da partida de tantas pessoas resultaria na falência dos seres terrestres que permanecessem, e ainda deixaria

uma população que se duplicaria a cada 46 anos. Demograficamente falando, o espaço não é o lugar.)

As pessoas devem enfrentar uma escolha: menores taxas de natalidade ou maiores taxas de mortalidade. O que você prefere?

*JOEL E. COHEN* é professor de populações na The Rockefeller University, Nova York. Sua pesquisa envolve principalmente demografia, ecologia, genética de populações, epidemiologia de populações humanas e não humanas e a parte da matemática que é útil nesses campos. É autor de *A Model of Simple Competition*, *Casual Groups of Monkeys and Men: Stochastic Models of Elemental Social Systems*, *Food Webs and Niche Space*, *Community Food Webs: Data and Theory* e de um livro de piadas científicas, *Absolute Zero Gravity* (com Betsy Devine).

Este artigo se baseia num livro intitulado *How Many People can the Earth Support?*, publicado em 1995 pela W. W. Norton and Company, Nova York.

## QUEM HERDARÁ A TERRA ? Carta aberta a meus filhos - *Niles Eldredge*

Queridos Doug e Greg,

Todas as gerações pensam que o mundo está indo por água abaixo — uma frase um tanto enigmática, mas vocês sabem o que ela significa: as coisas não são mais como eram antes, como colocou Duke Ellington, de forma tão sucinta. E agora que nos aproximamos de um novo milênio, pensamos: “Desta vez as novidades podem ser realmente desagradáveis. Talvez o mundo realmente esteja indo por água abaixo”.

Vocês cresceram acostumados a ir para o campo comigo e coletar trilobites e braquiópodes de 380 milhões de anos de idade, e outros vestígios de formas de vida extintas e realmente arcaicas. Vocês sabem que extinção e evolução andam juntas. E também viram a exuberância estupenda da vida. Vocês sabem, pelos terríveis embates dos sistemas vivos através das eras, que a vida é terrivelmente persistente. Ela sempre volta à cena com orgulho — pelo menos até agora, e nós estamos falando sobre um recorde de 3,5 bilhões de anos.

E vocês também sabem a respeito — envolveram-se pessoalmente e se preocuparam com o assunto — da enorme onda de extinção que começou a tragar milhões de espécies que vivem na Terra hoje. A vida pode ser persistente, e superar essa recente crise de extinção em massa, explodindo por fim numa nova exuberância evolucionária de formas e cores. Mas esse parco conforto é pequeno para nós no presente — especialmente para vocês, que ainda têm a vida toda pela frente.

Vocês conhecem as estatísticas quase tão bem quanto eu. As espécies estão desaparecendo numa taxa de 27 mil por ano (três por hora!), de acordo com E. O. Wilson, de Harvard. Fazendo uma retrospectiva dos últimos 540 milhões de anos, percebemos hoje que todos os episódios anteriores de extinção em massa foram causados por perturbações do hábitat e colapso do ecossistema. Antes de os humanos entrarem em cena, mudanças climáticas abruptas (com uma grande chuva de meteoros, em pelo menos uma ocasião) causaram extinções em massa. Hoje, vemos com igual clareza, é a nossa própria espécie, *Homo sapiens*, o verdadeiro vilão.

Estamos cortando, queimando, pondo abaixo e pavimentando a superfície das terras numa velocidade crescente. Estamos transformando os ecossistemas terrestres em monoculturas agrícolas. Estamos criando vastos ambientes de concreto, aço, plástico e vidro em detrimento da vida — salvo a vida humana e de algumas espécies comensais que parecem florescer na periferia de nossa existência.

Estamos desviando o curso dos córregos, e nossas corridas agropecuária e industrial estão envenenando rios, lagos e até oceanos. E vocês conhecem também os efeitos colaterais imediatos que nossas atividades industriais estão provocando na atmosfera: aquecimento global pelos “gases do efeito estufa” (como o dióxido de carbono) e os buracos na camada de ozônio causados por reações químicas entre o ozônio (O<sub>3</sub>) e clorofluorcarbonos — tais como o gás freon ao qual confiamos o resfriamento do ar de nossas casas, escritórios e carros durante os meses de verão, cada vez mais longos.

A destruição imediata do hábitat pelas ações humanas é um paralelo exato das mudanças climáticas que alteraram os ecossistemas do passado — alterações que desencadearam o desaparecimento relativamente súbito de um vasto número de espécies. Estamos presos num círculo vicioso; temos um apetite coletivo visivelmente insaciável e a habilidade aparentemente inesgotável de “desenvolver” e explorar recursos com eficiência sempre crescente. E toda vez que fazemos um avanço, nossa população se eleva tremendamente.

É um círculo vicioso. E vocês podem perceber que a verdadeira causa da desmedida destruição do mundo natural promovida pelos seres humanos é o crescimento populacional descontrolado. Há 10 mil anos, no alvorecer da agricultura, não havia mais de 1 milhão de pessoas na face da Terra. Hoje há 5,7 bilhões — e o número está subindo vertiginosamente. Mais pessoas requerem ainda mais recursos; e o desenvolvimento de mais recursos — com uma rara mas importante exceção da qual vou falar dentro em pouco — gera mais pessoas.

O problema, é claro, é que nossa própria espécie corre risco. Se a explosão populacional não liquidar o mundo civilizado — através de fome, guerras e mesmo doenças (a despeito dos milagres da medicina moderna) —, nossa própria espécie ainda se depara com a possibilidade real de sucumbir ao processo de extinção em massa, juntamente com outras milhões de espécies, causado pelo nosso próprio legado. Pois é um erro supor, como muitos de nós ainda o fazem, que não fazemos mais parte do mundo natural — e de que qualquer coisa que aconteça aos ecossistemas e às espécies existentes não traz consequência alguma para nós.

E é nisso que temos acreditado nos últimos 10 mil anos ou mais — desde que a agricultura foi inventada, no Oriente Médio, e a vida sedentária baseada no suprimento previsível de alimentos se tornou possível, trazendo consigo uma panóplia de realizações humanas, entre elas a criação da escrita. Temos sorte de contar com a Bíblia judaico-cristã, um dos poucos documentos que tratam desse período vital de transição, pois foi a criação da agricultura que mudou definitivamente a postura humana em relação à natureza. E os povos que escreveram o que chamamos de Bíblia sabiam disso e escreveram sobre o fato.

O “Gênese” tem muitas histórias, incluindo duas versões e meia sobre a

criação do universo. Diz que fomos criados à imagem e semelhança de Deus e ordenados a ter “domínio” sobre a Terra e suas criaturas. Mas estou convencido de que criamos Deus à nossa imagem e semelhança, e não o contrário. Não preciso relembrar-lhes que o mundo material teve uma história muito longa — um tipo de “evolução” própria, de acordo com o desenvolvimento do sistema solar, da Via Láctea e do universo em si. Vocês também sabem da minha convicção de que todas as espécies — vivas ou extintas — descendem de um único ancestral comum, que surgiu há muito mais de 3,5 bilhões de anos, através de um processo de evolução biológica natural. E também conhecem minhas considerações sobre o Homo sapiens: nós apenas evoluímos, assim como qualquer outra espécie.

Ninguém lê o “Gênese” atualmente para ter uma noção precisa da história do cosmos e da vida terrestre. Mas deveríamos lê-lo atentamente para ver quem éramos segundo nossos sábios ancestrais, há milênios. Pois existe uma verdade essencial no Gênese — o reconhecimento de que os seres humanos haviam alterado sua posição dentro do mundo natural.

Todas as espécies, com a única exceção da nossa própria, formaram populações relativamente pequenas, cada uma delas integradas num ecossistema dinâmico e local. Os esquilos do Central Park estão mais preocupados com a saúde dos carvalhos e com o paradeiro das corujas de sua vizinhança do que com o bem-estar dos membros de sua própria espécie que habitam New Jersey. Nossos próprios ancestrais não eram diferentes disso, e ainda hoje existem alguns povos (eles próprios à beira da extinção iminente) que habitam povoados e desempenham papéis definidos no ecossistema local. Os ianomâmis — que atualmente vêm sendo exterminados pelos garimpeiros de ouro na Amazônia venezuelana e brasileira — são um caso típico. O fato é que a agricultura mudou tudo. Com ela, declaramos guerra de fato aos ecossistemas locais. Todas as plantas, salvo uma ou duas que cultivávamos repentinamente se tornaram “ervas daninhas”. Todos os animais, salvo os poucos que domesticamos e aqueles que caçávamos ocasionalmente, se transformaram em “pestes”. Parecia que estávamos libertos do mundo natural. Não dependíamos mais de sua generosidade sazonal. Sentíamos que tínhamos escapado dele, que podíamos desconsiderá-lo, que o tínhamos derrotado. Nós havíamos conquistado o “domínio”.

À medida que essa mudança ocorreu, a população começou a crescer; de 1 milhão para 5,7 bilhões em escassos 10 mil anos — é espantoso! E, por um bom tempo, parecíamos estar nos saindo bem com essa liberdade recém- descoberta. Podíamos destruir ambientes com visível impunidade. Abandonávamos os acampamentos quando o solo se tornava exaurido, fixando residência em algum outro local. Realmente estávamos deixando que a natureza reparasse os danos — o que é um sinal mais do que suficiente (como vocês podem perceber) de que



não éramos tão independentes da natureza quanto gostaríamos de crer.

Embora o mundo não esteja atualmente lotado, nos aproximamos rapidamente do ponto em que os recursos serão insuficientes para sustentar a população humana global. Thomas Malthus viu esse dia se aproximando muito antes do século XVIII. Alguns economistas, como Julian Simon, da University of Maryland, insistem em negar que tenhamos qualquer tipo de problema. No final das contas, dizem eles, a riqueza vinda da industrialização tende a estabilizar o crescimento populacional. Mas não há esperança alguma de que o padrão de vida do Terceiro Mundo se equipare, em algum momento, ao nosso próprio (decadente) nível. Nós, das privilegiadas nações ricas, estamos consumindo cerca de trinta vezes mais recursos per capita do que a população de, por exemplo, Bangladesh. Na verdade, a população dos Estados Unidos deveria ser multiplicada por trinta, para se medir o verdadeiro impacto que seu tamanho tem sobre a economia mundial.

Tudo isso parece sinistro. Soa como se eu realmente achasse que o mundo está indo por água abaixo. Mas eu não penso isso, pelo menos não necessariamente. Eis aqui a razão.

A agricultura foi apenas um passo dramático na longa cadeia de eventos culturais evolucionários da pré-história da humanidade. Desde o advento da cultura material, há cerca de 2,5 milhões de anos, a história ecológica humana pode ser interpretada como uma prolongada — e frequentemente inteligente e bem-sucedida — tentativa de “tomar alguma atitude a respeito do tempo”. O advento do fogo, por exemplo, possibilitou que nossos ancestrais *Homo erectus* deixassem a África há pouco menos de 1 milhão de anos — viajando rumo ao norte, em direção das garras de uma enorme geleira, para caçar as maiores e mais recentemente surgidas feras da Era Glacial europeia.

A agricultura não foi um ato contra a natureza—foi apenas a continuação de uma estratégia culturalmente adaptadora visando tornar a produção de alimentos mais confiável. A questão é que o mito que lemos no “Gênesis” — a história de quem somos nós e como nos comportamos frente à natureza — é uma explicação do status quo alcançado recentemente. Todo mundo, todo tempo, precisa dessas histórias, dessas explicações, simplesmente para poder funcionar.

O mito do “Gênesis” foi uma boa história para sua época. Acredito realmente que o conceito de Deus que nos foi transmitido, vindo daqueles tempos remotos, reflete uma necessidade de inventar algo poderoso e abrangente, que combinasse com nossa saída consciente da clausura do ecossistema local. Seres humanos que ainda vivem dentro de ecossistemas restritos tendem a conferir espíritos às espécies que os cercam — mas, por outro lado, não têm necessidade de um Deus todo-poderoso, confortador ou assustador.

Mas isso é apenas um aparte. Por outro lado, o mito do domínio parecia condizer muito bem com os fatos. Realmente parecia que tínhamos escapado da

natureza — a ponto de podermos negar que tivéssemos, em algum momento, feito parte dela.

No entanto, essa história não vai mais funcionar. E aí se encontra a verdadeira esperança para o futuro; precisamos retificar tal história. Precisamos ver que nunca deixamos a natureza de verdade, apenas redefinimos nosso papel dentro dela. Percebemos, com muita clareza, que não podemos mais acabar com ecossistemas locais impunemente. Até mesmo o *The New York Times* enxerga isso, quando declara que a drenagem e poluição dos mangues mata, por inanição ou envenenamento, os frutos do mar das regiões costeiras, tão vitais para nossa economia e subsistência.

Nós somos únicos no sentido de constituirmos uma espécie global que interage com a totalidade do ambiente global. Internamente, cambiamos 1 trilhão de dólares por dia numa base global. E esse 1 trilhão ressoa contra o mundo natural.

Enquanto isso, o sistema global — a atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera — luta para manter o status quo (não conscientemente, é claro, mas através de ciclos naturais interativos que vão além da física e da química). A saúde do ecossistema global nada mais é que a saúde coletiva de todos os ecossistemas locais que o compõem, estando todos ligados através de uma rede de fluxo energético. Derrube a Mata Atlântica e estará alterando o padrão das chuvas e o fluxo de nutrientes que vai para o mar. Envenene a superfície do oceano e eliminará a maior fonte de reposição diária de oxigênio atmosférico. Até parece cômico o fato de podermos ter pensado que um dia escaparíamos da natureza. Mas agora podemos enxergar: alteramos radicalmente nossa postura em relação à natureza, nosso papel dentro dela, mas nunca conseguimos escapar dela. E agora estamos ameaçando nós mesmos — e um exército de espécies companheiras — com a extinção.

O que fazer? Estabilizar a população. Como? O desenvolvimento econômico tende a fazer isso. Mas já é tarde demais para pensar nesses termos de forma realista; não existe nenhuma maneira de elevar a economia do Terceiro Mundo até o nível atual da economia das nações industrializadas. Mas existem sinais encorajadores de que a educação tem o mesmo efeito. Especialmente a educação, a emancipação e o fortalecimento das mulheres. E os dados mostram que a mulher abandonaria entusiasticamente o número elevado de partos se lhe fossem oferecidos outros caminhos ou estilos de vida.

E sobretudo conveniente que a educação seja a chave. Chegamos à nossa atual condição honestamente — e, de fato, com o uso de uma considerável inteligência. Apenas nós dentre todas as espécies (creio eu) temos cognição e cultura verdadeiras. Temos usado nossa cultura, inteligência e esperteza para continuar melhorando nossa adaptação ecológica — nosso modo de ganhar a vida, de lidar com a realidade frequentemente árida da existência física.

Deveríamos apenas manter a ideia de tentar tomar uma atitude a respeito do tempo. Mas temos que corrigir o mito de quem somos e de que maneira nos encaixamos no cosmos. Precisamos tomar consciência de que somos uma parte da natureza—e de que ocupamos uma posição única como uma espécie global. Temos que romper o ciclo biológico natural que sempre preconiza o aumento da população quando o acesso aos recursos aumenta. Temos que nos tornar sábios, enxergar a nós mesmos como realmente somos — *Homo sapiens*, “humano sábio”.

Se tomarmos consciência de que a Terra não é nossa propriedade, se nos moderarmos, restabelecermos os ecossistemas e deixarmos as outras espécies viverem, ainda existe uma boa chance de que nós — juntamente com as outras espécies — sobrevivamos para herdar a Terra. E um grande desafio, mas pode ser vencido. Existem alguns sinais de esperança. Por exemplo, o daxro à camada de ozônio já está sendo revertido porque as pessoas acordaram e tomaram atitudes definitivas no sentido de corrigir isso. Cabe à geração de vocês completar a mudança em direção de uma visão diferente e mais apurada de quem somos e como nos enquadrados no mundo natural.

Boa sorte, rapazes!  
Papai

*NILES ELDREDGE* é paleontologista e pesquisador ativo da equipe do American Muséum of Natural History desde 1969. Dedicou sua carreira à tarefa de adequar, da melhor maneira possível, a teoria da evolução aos registros fósseis. Em 1972, ele e Stephen Jay Gould anunciaram a teoria do equilíbrio pontuado. Desde então, Eldredge desenvolveu seus pontos de vista sobre a estrutura hierárquica dos sistemas de vida e sobre a natureza da relação entre evolução e ecologia. Mais recentemente, tem se concentrado nas extinções em massa do passado geológico e suas implicações no entendimento da crise moderna de biodiversidade.

Eldredge publicou mais de 160 artigos, resenhas e livros científicos, destacando-se *The Monkey Business*, sobre o criacionismo científico; *Times Frames*, sua concepção do equilíbrio pontuado; *Fossils*, no qual fornece uma autobiografia científica para o público em geral; *The Miner's Canary*, que explora a relação entre a extinção em massa do passado geológico e a crise da biodiversidade gerada pelo homem na época atual; e *Interactions* (com a filósofa Marjorie Grene), um ataque aos fundamentos ultradarwinistas da sociobiologia. Seu livro mais recente é *Evolutionary Confrontations*, um exame das controvérsias atualmente em pauta sobre a biologia evolutiva.

Eldredge profere palestras regularmente, em universidades e centros de pesquisa, sobre aspectos da teoria evolutiva e assuntos ligados à biodiversidade,

atuando também no programa de viagens do American Muséum. E um ativo observador de pássaros e um entusiasmado trompetista, cornetista e colecionador desses instrumentos.

## A CIÊNCIA CONSEGUE RESPONDER A TODAS AS PERGUNTAS? - *Martin Rees*

A ciência consegue responder todas as perguntas? Entre os que pensavam que não estava o filósofo francês Auguste Comte. Há mais de cem anos, ele deu o seguinte exemplo de pergunta sem resposta: “Do que são feitas as estrelas?”. E rapidamente provou-se que ele estava errado. Mesmo antes de o século XIX acabar, os astrônomos haviam descoberto uma maneira de encontrar a resposta. Quando a luz de uma estrela passa através de um prisma e se espalha num espectro, nós vemos as cores que denunciam as diferentes substâncias — oxigênio, sódio, carbono e o restante. As estrelas são feitas dos mesmos tipos de átomos que encontramos na Terra. Arthur C. Clarke disse uma vez: “Se um cientista idoso declarar que algo é impossível, quase com certeza ele estará errado”. Comte foi apenas um deles.

Noventa e dois tipos diferentes de átomos ocorrem na Terra, mas alguns são infinitamente mais comuns que outros. Para cada dez átomos de carbono, você encontraria uma média de vinte de oxigênio, e aproximadamente cinco átomos de nitrogênio ou de ferro. Mas o ouro é 1 milhão de vezes mais raro que o oxigênio, e outras substâncias—como platina e mercúrio, por exemplo — são ainda mais raras.

Notavelmente, essas proporções são aproximadamente iguais nas estrelas.

Então, de onde vieram os diferentes tipos de átomos? Existe uma razão pela qual alguns são mais comuns que outros? A resposta está nas próprias estrelas, cujos centros são quentes o suficiente para realizar o sonho dos alquimistas — transformar os metais básicos em ouro.

Tudo o que já foi escrito em nossa língua é composto de um alfabeto de apenas 26 letras. Da mesma maneira, os átomos podem se combinar em um número enorme de maneiras diferentes, formando moléculas: algumas tão simples quanto a água ( $H_2O$ ) ou o dióxido de carbono ( $CO_2$ ), outras contendo milhares de átomos. A química é o ramo da ciência que estuda a maneira pela qual isso ocorre.

Os ingredientes mais importantes das coisas vivas (incluindo nós mesmos) são átomos de carbono e oxigênio, ligados entre si e com outros átomos, formando moléculas de cadeias longas imensamente complexas. Nós não existiríamos se esses átomos, em particular, não existissem na Terra.

Os átomos são feitos de partículas ainda mais simples. Cada um deles tem um número específico de prótons (com carga elétrica positiva) em seu núcleo e um número igual de elétrons (com carga negativa) em órbita ao redor desse núcleo; esse é o chamado número atômico. O hidrogênio é o número 1; o urânio, o

número 92.

Já que todos os átomos são feitos das mesmas partículas elementares, não seria nenhuma surpresa se eles pudessem ser transformados uns nos outros. Isso pode ocorrer, por exemplo, numa explosão nuclear, mas os átomos são tão “robustos” que não podem ser destruídos pelas reações químicas que ocorrem nas coisas vivas ou nos laboratórios científicos.

Nenhum processo na Terra pode criar ou destruir os átomos. Os elementos químicos—os blocos básicos da construção — mantêm a mesma proporção de quando o sistema solar se formou, há cerca de 4,5 bilhões de anos. Gostaríamos de entender por que os átomos foram “distribuídos” nessas proporções em particular. Poderíamos deixar assim — talvez o criador tenha acionado 92 manivelas diferentes. Mas os cientistas sempre perseguem explicações simples e tentam rastrear as estruturas complexas até encontrar o ponto simples de onde elas se originam. Neste caso, os astrônomos forneceram as principais explicações. Parece que o universo realmente começou a partir de átomos simples, que foram se fundindo e se transformando nos átomos mais pesados no interior das estrelas.

O Sol e as outras estrelas são esferas de gás gigantesco. Dentro delas, duas forças competem entre si: gravidade e pressão. A gravidade tenta puxar tudo em direção ao centro, mas, quando o gás é comprimido, ele se aquece e a pressão fica tão alta que pode compensar ou se equiparar à gravidade. Para fornecer a pressão necessária, o centro do Sol tem que ser muito mais quente do que a superfície que vemos — em torno de 15 milhões de graus, na verdade.

O calor que extravasa de seu centro quente mantém o Sol brilhando; é o mesmo processo que faz explodir as bombas de hidrogênio. O hidrogênio, o elemento mais simples, possui no núcleo apenas um próton. Num gás que esteja tão quente quanto o centro do Sol, os prótons colidem com tanta força que chegam a se fundir. Esse processo converte o hidrogênio em hélio (de número atômico 2). A liberação de energia em uma estrela é constante e “controlada”, e não explosiva como numa bomba. E isso ocorre porque a gravidade segura as camadas de revestimento firmemente, o suficiente para “manter a tampa no lugar”, a despeito da enorme pressão do centro estelar.

A fusão de hidrogênio em hélio libera tanto calor que foi consumida menos da metade do hidrogênio central do Sol, embora ele brilhe há 4,5 bilhões de anos. No entanto, estrelas mais pesadas que o Sol brilham muito mais intensamente. Seu hidrogênio central é usado (e transformado em hélio) mais rapidamente: em menos de 100 milhões de anos. A gravidade comprime ainda mais essas estrelas, e sua temperatura central continua aumentando, até que os próprios átomos de hélio se fundam e produzam núcleos de átomos ainda mais pesados — carbono (seis prótons), oxigênio (oito prótons), ferro (26 prótons). Uma estrela antiga desenvolve uma estrutura semelhante a uma casca de cebola, com as camadas

centrais mais quentes transformadas em núcleos mais pesados.

Bem, isso é o que os astrônomos calculam que aconteça com uma estrela. Mas você pode estar curioso sobre como testar essas teorias. A vida das estrelas é tão mais longa que a dos astrônomos que vemos apenas um “instantâneo” de cada uma delas. Mas podemos testar nossas teorias observando toda a população de estrelas. As árvores podem viver milhares de anos. Mas mesmo que você nunca tivesse visto uma árvore antes, não levaria mais de uma tarde caminhando pela mata para deduzir o ciclo de vida das vidas delas. Você veria mudas, espécies maduras e algumas já mortas. Os astrônomos usam esse tipo de racionalização para checar suas ideias sobre a evolução das estrelas. Podemos observar aglomerados de estrelas que se formaram simultaneamente mas são de tamanhos diferentes. Também podemos observar nuvens de gases onde novas estrelas, e talvez novos sistemas solares, estejam se formando.

Mas nem tudo no cosmos acontece devagar. Quando seu combustível acaba, uma grande estrela atravessa uma crise — seu centro entra em colapso, desencadeando uma explosão colossal que destrói as camadas mais externas, na velocidade de 10 mil quilômetros por segundo, e produz uma supernova.

Quando uma estrela próxima emite um jato súbito de luz, originando uma supernova, torna-se, por algumas semanas, muito maior do que qualquer outra coisa no céu noturno. O evento mais famoso dessa natureza foi observado em 1054 d.C. Em julho daquele ano, o astrônomo-chefe chinês, Yang Wei-Te, se dirigiu ao imperador nestes termos: “Prostrando-me diante de vossa majestade, observei a aparição de uma estrela visitante. Na estrela via-se uma leve iridescência de coloração amarelada”. Depois de um mês, a “estrela visitante” começou a desvanecer. Naquele ponto do céu está atualmente a nebulosa do Caranguejo — os debris ou restos dessa explosão. Essa nebulosa permanecerá visível por poucos milhares de anos; então se tornará difusa demais para poder ser vista e se fundirá com o gás e a poeira extremamente diluídos que permeiam o espaço interestelar.

Esses eventos fascinam os astrônomos. Mas por que alguém mais deveria se importar com explosões que ocorrem há milhares de anos-luz daqui? Acontece que, se não fosse pelas supernovas, as complexidades da vida no planeta Terra não poderiam existir — e nós certamente não estaríamos aqui.

As camadas mais externas de uma estrela, quando estilhaçadas pela explosão de uma supernova, contêm todos os átomos que podem existir (são formados pelos processos que mantiveram a estrela brilhando durante toda sua vida), começando do hidrogênio. O que é gratificante é que, de acordo com os cálculos, essa mistura deveria conter muito oxigênio e carbono, e mais vestígios de muitos outros elementos. A “mistura” prevista tem proporções notavelmente próximas das atualmente observadas em nosso sistema solar.

Nossa galáxia, a Via Láctea, é um enorme disco, de 100 mil anos-luz de

diâmetro, contendo 100 bilhões de estrelas. As estrelas mais velhas da galáxia se formaram há cerca de 10 bilhões de anos, a partir dos átomos simples que surgiram do *big bang* — nada de carbono ou oxigênio. A química naquela época teria sido um assunto muito tedioso. Nosso Sol é uma estrela de meia-idade. Antes mesmo de ele ter se formado, há 4 bilhões de anos, muitas gerações de estrelas pesadas e corpulentas podem ter completado todo o seu ciclo de vida. Os átomos quimicamente interessantes — aqueles essenciais às complexidades da vida — foram forjados no interior dessas estrelas. A sua agonia e morte — ou seja, as explosões de supernovas — arremessaram esses átomos para o espaço interestelar.

Depois de vagar por centenas de milhões de anos, esses restos ou debris de átomos vindos das primeiras supernovas podem ter se unido a uma nuvem interestelar densa, que entrou em colapso sob sua própria gravidade para formar estrelas. Algumas delas cercadas por um cortejo de planetas. Uma dessas estrelas seria o nosso Sol. Alguns átomos teriam se agrupado na recém-formada Terra, onde seriam reciclados nas várias formas de vida. Alguns podem estar agora nas células humanas — incluindo as suas. Cada átomo de carbono — presente em cada célula de seu sangue, ou na tinta desta página — tem uma genealogia tão antiga quanto esta galáxia.

Uma galáxia se assemelha a um vasto ecossistema. O hidrogênio primitivo é transformado, dentro das estrelas, nos blocos básicos de construção da vida — carbono, oxigênio, ferro e o restante. Uma parte desse material retorna ao espaço interestelar, para então ser reciclado em uma nova geração de estrelas.

Por que os átomos de oxigênio e carbono são tão comuns aqui na Terra e os de ouro e urânio são tão raros? Essa pergunta corriqueira não é impossível de ser respondida — mas a resposta está relacionada a estrelas antigas que explodiram em nossa Via Láctea há mais de 5 bilhões de anos, antes de nosso sistema solar ter se formado. O cosmos é uma unidade. Para entender a nós mesmos, precisamos entender as estrelas. Nós somos poeira estelar — as cinzas das estrelas há muito mortas.

*MARTIN REES* é astrofísico e cosmologista, professor pesquisador da United Kingdom's Royal Society. Foi professor na Cambridge University por dezenove anos e diretor do Cambridge Institute of Astronomy por dez. Também trabalhou na Sussex University, na Inglaterra e, nos Estados Unidos, foi visitante em Harvard, Caltech, Institute for Advanced Studies de Princeton e na University of California. Pertence a um grande número de academias estrangeiras e está ativamente envolvido em projetos para promover a colaboração internacional na ciência.

O professor Rees tem estado na linha de frente dos debates em cosmologia.



Teve muitas ideias importantes a respeito da formação das estrelas e galáxias, de como encontrar buracos negros e sobre a natureza do universo primitivo. Está agora tentando compreender a misteriosa matéria escura que parece preencher o espaço intergaláctico — é a atração gravitacional dessa matéria escura que determinará se nosso universo continuará se expandindo indefinidamente ou se sofrerá uma enorme explosão. Sempre se interessou pelos aspectos filosóficos mais amplos da cosmologia. Por exemplo: por que nosso universo possui as características especiais que permitiram a evolução da vida? Existiriam outros universos, talvez governados por leis físicas bastante distintas? Escreveu e proferiu muitas palestras sobre esses temas, tanto para especialistas quanto para o público em geral. É, juntamente com John Gribbin, autor de *Cosmic Coincidences: Dark Matter, Mankind and Anthropic Cosmology*.

1ª edição [1997] 4 reimpressões

ESTA OBRA FOI COMPOSTA PELA HELVÉTICA EDITORIAL EM NEW  
BASKERVILLE E IMPRESSA PELA GEOGRÁFICA EM OFSETE SOBRE  
PAPEL PÓLEN SOFT DA SUZANO PAPEL E CELULOSE PARA A EDITORA  
SCHWARCZ EM NOVEMBRO DE 2008