

# BREVE HISTÓRIA DO TEMPO

DO BIG  
BANG AOS  
BURACOS  
NEGROS  
INTRODUÇÃO  
DE CARL SAGAN



STEPHEN  
W. HAWKING

**Stephen W. Hawking**

Uma Breve História  
do Tempo

Do **Big Bang** aos Buracos Negros

Introdução de **Carl Sagan**

Ilustrações do texto por **Ron Miller**

Tradução de **Ribeiro da Fonseca**

Revisão, adaptação do texto e notas de **José Félix Gomes Costa**

Versão do texto digitalizado: 1.0 (Português de Portugal)

2ª Revisão do texto: Arkanoid2004 (08-08-2004) Ver. 2.0 (Português do Brasil)

Título original inglês: **A Brief History of Time — From the Big Bang to Black Holes**

## Stephen W. Hawking

Stephen W. Hawking é reconhecido internacionalmente como um dos gênios do século xx. físico inglês de 46 anos de idade, ocupa hoje na universidade de cambridge a cátedra que pertenceu a newton e é, segundo a opinião geral, um forte candidato ao nobel da física. há alguns anos, foi anunciada a publicação de uma obra sua, considerada pelos especialistas de todo o mundo como um grande acontecimento editorial. a saída do livro foi sendo, porém, sucessivamente adiada. é que Stephen Hawking é vítima de uma doença estranha e terrível que, em 1984, o deixou completamente paralítico. na altura, ainda podia falar. hoje não. mas o autor não desistiu e, com a ajuda de um computador que criou e três dedos da mão esquerda, levou a cabo a empresa de escrever apaixonadamente **breve história do tempo**, recentemente publicado nos estados unidos e já traduzido para várias línguas. Porquê? como nos diz o editor americano, o sonho deste físico é ter o seu livro à venda nos aeroportos, porque passa a maior parte do seu tempo a viajar para dar conferências nas mais prestigiadas universidades do mundo inteiro.

## Breve História Do Tempo

Pela primeira vez, Hawking escreve uma obra de divulgação, explorando os limites do nosso conhecimento da astrofísica e da natureza do tempo e do universo. o resultado é um livro absolutamente brilhante; uma apresentação clássica das idéias científicas mais importantes dos nossos dias e a possibilidade única de poder seguir o intelecto de um dos pensadores mais imaginativos e influentes do nosso tempo. Houve realmente um princípio do tempo? Haverá um fim? O universo é infinito ou tem limites? Pegando nestas questões, Hawking passa em revista as grandes teorias do cosmos e as contradições e paradoxos ainda por resolver e explora a idéia de uma combinação da teoria da relatividade geral com a mecânica quântica numa teoria unificada que resolveria todos os mistérios. **Uma Breve história do tempo** é um livro escrito para os que preferem as palavras às equações, onde, no estilo incisivo que lhe é próprio, Hawking nos mostra como o "retrato" do mundo evoluiu até aos nossos dias brilhante.

**Este livro é dedicado à Jane**

## Agradecimentos

Resolvi tentar escrever um livro popular sobre o espaço e o tempo depois de ter proferido, em 1982, as conferências de Loeb, em Harvard. Já havia uma quantidade considerável de livros sobre o Universo primitivo e os "buracos negros", desde os muito bons, como o livro de Steven Weinberg, **The First Three Minutes** (1), aos péssimos, que não vou identificar. Senti, contudo, que nenhum deles abordava realmente as questões que me tinham levado a fazer investigação em cosmologia e teoria quântica: Donde surgiu o Universo? Como e por que começou? Irá ter um fim e, se assim for, qual? Estas questões interessam a todos nós. Mas, a ciência moderna tornou-se tão técnica que apenas um número muito pequeno de especialistas é capaz de dominar a matemática utilizada para as descrever. No entanto, as idéias básicas sobre a origem e destino do Universo podem ser formuladas sem matemática, de forma a que as pessoas sem conhecimentos científicos consigam compreendê-las. Foi o que tentei fazer neste livro. O leitor irá julgar se o consegui ou não.

—

(1) Tradução portuguesa: Os Três Primeiros Minutos, Uma Análise Moderna da Origem do Universo, com prefácio e notas de Paulo Crawford do Nascimento, Gradiva, Lisboa, 1987 (\*N. do R.\*).

—

Alguém me disse que cada equação que eu incluísse no livro reduziria as vendas para metade. Assim, resolvi não utilizar nenhuma. No entanto, no final, **incluí** mesmo uma, a famosa equação de Einstein:  $E = mc^2$ . Espero que isso não assuste metade dos meus potenciais leitores.

À exceção de ter tido o azar de contrair a doença de Gehrig ou neuropatia motora, tenho sido afortunado em quase todos os outros aspectos. A ajuda e o apoio da minha mulher Jane e dos meus filhos Robert, Lucy e Timmy, fizeram com que me fosse possível levar uma vida razoavelmente normal e ter uma carreira bem sucedida. Também tive a sorte de escolher física teórica, porque tudo é feito mentalmente. Por isso, a minha incapacidade

não tem constituído uma verdadeira objeção. Os meus colegas cientistas têm dado, sem exceção, uma boa ajuda.

Na primeira fase "clássica" da minha carreira, os meus principais assistentes e colaboradores foram Roger Penrose, Robert Geroch, Brandon Carter e George Ellis. Estou-lhes grato pela ajuda que me deram e pelo trabalho que juntos fizemos. Esta fase foi coligida no livro **The Large Scale Structure of Spacetime**, que escrevi juntamente com Ellis em 1973. Não aconselharia os leitores deste livro a consultarem essa obra para informação posterior: é altamente técnica e bastante ilegível. Espero que, de então para cá, tenha aprendido a escrever de forma mais compreensível.

Na segunda fase "quântica" do meu trabalho, a partir de 1974, os meus colaboradores principais têm sido Gary Gibbons, Don Page e Jim Hartle. Devo-lhes muitíssimo a eles e aos meus alunos de investigação, que me auxiliaram bastante tanto no sentido teórico como no sentido físico da palavra. Ter de acompanhar os meus alunos tem constituído um grande estímulo e impediu-me, espero, de ficar preso à rotina.

Neste livro, tive também a grande ajuda de Brian Whitt, um dos meus alunos. Em 1985, apanhei uma pneumonia, depois de ter escrito o primeiro esboço. Foi necessário fazerem-me uma traqueotomia que me retirou a capacidade de falar, tornando-se quase impossível a comunicação. Pensei não ser capaz de o concluir. Contudo, Brian não só me ajudou a revê-lo, como me arranjou um programa de comunicação chamado "Living Center" que me foi oferecido por Walt Woltoz, da Word Plus Inc., em Sunnyvale, Califórnia. Com ele posso escrever livros e artigos e falar com as pessoas utilizando um sintetizador da fala oferecido pela Speech Plus, também de Sunnyvale, Califórnia. O sintetizador e um pequeno computador pessoal foram incorporados na minha cadeira de rodas por David Mason. Este sistema realizou toda a diferença: com efeito, posso comunicar melhor agora do que antes de ter perdido a voz.

Muitas pessoas que leram as versões preliminares fizeram-me sugestões para melhorar o livro. Em particular, Peter Guzzardi, o meu editor na

Bantam Books, que me enviou páginas e páginas de comentários e perguntas sobre pontos que considerava não estarem devidamente explicados. Tenho de admitir que fiquei bastante irritado quando recebi a sua grande lista de coisas para alterar, mas ele tinha razão. Estou certo que o livro ficou muito melhor por ele me ter obrigado a manter os pés na terra.

Agradeço muito aos meus assistentes, Colin Williams, David Thomas e Raymond Laflamme; às minhas secretárias Judy Fella, Ann Ralph, Cheryl Billington e Sue Masey; e à minha equipe de enfermeiras. Nada disto teria sido possível sem o apoio às minhas despesas médicas e de investigação dispensado pelos Gonville and Caius College, Science and Engineering Research Council e pelas fundações Leverhulme, McArthur, Nuffield e Ralph Smith.

Estou-lhes muito grato.

20 de Outubro de 1987.  
Stephen Hawking

# Introdução

Vivemos o nosso quotidiano sem entendermos quase nada do mundo. Refletimos pouco sobre o mecanismo que gera a luz solar e que torna a vida possível, sobre a gravidade que nos cola a uma Terra que, de outro modo, nos projetaria girando para o espaço, ou sobre os átomos de que somos feitos e de cuja estabilidade dependemos fundamentalmente. Excetuando as crianças (que não sabem o suficiente para não fazerem as perguntas importantes), poucos de nós dedicamos algum tempo a indagar por que é que a natureza é assim; de onde veio o cosmos ou se sempre aqui esteve; se um dia o tempo fluirá ao contrário e se os efeitos irão preceder as causas; ou se haverá limites definidos para o conhecimento humano. Há crianças, e conheci algumas, que querem saber qual é o aspecto dos "buracos negros"; qual é o mais pequeno pedaço de matéria; por que é que nos lembramos do passado e não do futuro; como é que, se inicialmente havia o caos, hoje existe aparentemente a ordem; e por que **há** um Universo.

Ainda é habitual, na nossa sociedade, os pais e os professores responderem à maioria destas questões com um encolher de ombros, ou com um apelo a preceitos religiosos vagamente lembrados. Alguns sentem-se pouco à vontade com temas como estes, porque expressam vividamente as limitações da compreensão humana.

Mas grande parte da filosofia e da ciência tem evoluído através de tais demandas. Um número crescente de adultos quer responder a questões desta natureza e, ocasionalmente, obtém respostas surpreendentes. Equidistantes dos átomos e das Estrêlas, estamos a expandir os nossos horizontes de exploração para abrangermos tanto o infinitamente pequeno como o infinitamente grande.

Na Primavera de 1974, cerca de dois anos antes da nave espacial Viking ter descido na superfície de Marte, eu estava em Inglaterra numa reunião patrocinada pela Royal Society of London para discutir a questão de como procurar vida extraterrestre. Durante um intervalo para o café reparei que estava a decorrer uma reunião muito maior num salão adjacente, onde entrei

por curiosidade. Em breve percebi que estava a assistir a uma cerimônia antiga, a investidura de novos membros da Royal Society, uma das organizações acadêmicas mais antigas do planeta. Na fila da frente, um jovem numa cadeira de rodas estava a assinar muito lentamente o seu nome num livro que continha nas primeiras páginas a assinatura de Isaac Newton. Quando finalmente terminou, houve uma ovação estrondosa. Já então Stephen Hawking era uma lenda.

Hawking é atualmente o Professor Lucasiano (2) de Matemáticas na Universidade de Cambridge, lugar ocupado outrora por Newton e mais tarde por P. A. M. Dirac, dois famosos investigadores do infinitamente grande e do infinitamente pequeno. Ele é o seu sucessor de mérito. Este primeiro livro de Hawking para não especialistas oferece aos leigos variadas informações. Tão interessante como o vasto conteúdo é a visão que fornece do pensamento do autor. Neste livro encontram-se revelações lúcidas nos domínios da física, da astronomia, da cosmologia e da coragem.

—

(2) Cátedra honorífica (\*N. do R.\*).

—

É também um livro sobre Deus... ou talvez sobre a ausência de Deus. A palavra Deus enche estas páginas. Hawking parte em demanda da resposta à famosa pergunta de Einstein sobre se Deus teve alguma escolha na Criação do Universo. Hawking tenta, como explicitamente afirma, entender o pensamento de Deus. E isso torna a conclusão do seu esforço ainda mais inesperada, pelo menos até agora: um Universo sem limites no espaço, sem principio nem fim no tempo, e sem nada para um Criador fazer.

Carl Sagan  
Universidade de Cornell  
Ithaca, Nova Iorque

## ***I. A Nossa Representação do Universo***

Um conhecido homem de ciência (segundo as más línguas, Bertrand Russel) deu uma vez uma conferência sobre astronomia. Descreveu como a Terra orbita em volta do Sol e como o Sol, por sua vez, orbita em redor do centro de um vasto conjunto de Estrêlas que constitui a nossa galáxia (1). No fim da conferência, uma velhinha, no fundo da sala, levantou-se e disse: "O que o senhor nos disse é um disparate. O mundo não passa de um prato achatado equilibrado nas costas de uma tartaruga gigante." O cientista sorriu com ar superior e retorquiu com outra pergunta: "E onde se apóia a tartaruga?" A velhinha então exclamou: "Você é um jovem muito inteligente, mas são tudo tartarugas por aí abaixo!"

—

(1) A nossa galáxia ou, mais familiarmente, a Galáxia (\*N. do R.\*).

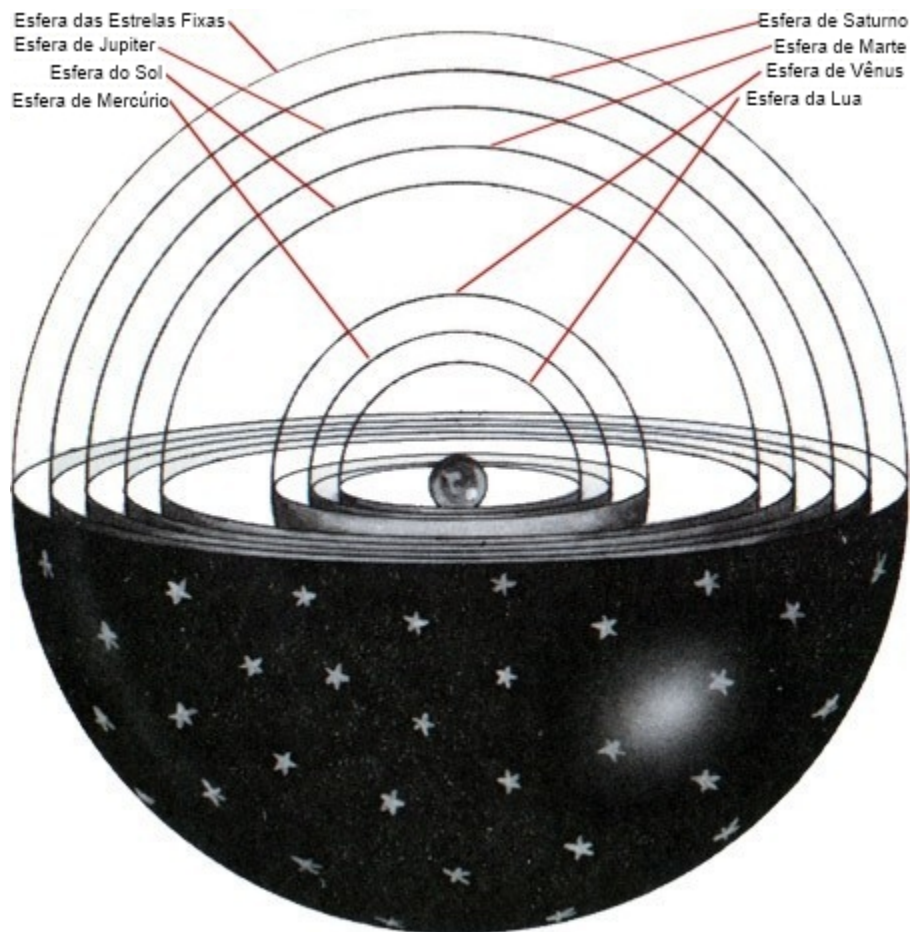
—

A maior parte das pessoas acharia bastante ridícula a imagem do Universo como uma torre infinita de tartarugas. Mas o que nos leva a concluir que sabemos mais? Que sabemos ao certo sobre o Universo e como atingimos esse conhecimento? De onde veio e para onde vai? Teve um princípio e, nesse caso, que aconteceu **antes** dele? Qual é a natureza do tempo? Acabará alguma vez? Descobertas recentes em física, tornadas possíveis em parte pela fantástica tecnologia atual, sugerem respostas a algumas destas perguntas antigas. Um dia, essas respostas poderão parecer tão óbvias para nós como o fato de a Terra girar em volta do Sol; ou talvez tão ridículas como uma torre de tartarugas. Só o tempo (seja ele o que for) o dirá.

Já no ano 340 a.C. o filósofo grego Aristóteles, no seu livro **Sobre os Céus**, foi capaz de apresentar dois bons argumentos para se acreditar que a Terra era uma esfera e não um prato achatado. Primeiro, compreendeu que os eclipses da Lua eram causados pelo fato de a Terra se interpor entre o Sol e a Lua. A sombra da Terra projetada na Lua era sempre redonda, o que só poderia acontecer se a Terra fosse esférica. Se esta fosse um disco achatado, a sombra seria alongada e elíptica, a não ser que o eclipse ocorresse sempre numa altura em que o Sol estivesse diretamente por baixo do centro do

disco. Em segundo lugar, os Gregos sabiam, das suas viagens, que a Estrêla Polar surgia menos alta no céu quando era observada mais a sul das regiões onde ela se encontra mais alta. Uma vez que a Estrêla Polar se encontra no zênite do Pólo Norte, parece estar diretamente por cima de um observador no pólo boreal, mas para um observador no equador ela encontra-se na direção do horizonte. A partir da diferença da posição aparente da Estrêla Polar no Egito e na Grécia, Aristóteles estimou o perímetro da Terra em quatrocentos mil estádios. Não se sabe exatamente o valor da medida de comprimento que os Gregos designavam por estádio, mas pensa-se que seria de cento e oitenta metros, o que equivale a dizer que Aristóteles calculou cerca de duas vezes o valor atual do perímetro da Terra. Os Gregos encontraram ainda um terceiro argumento em prol da esfericidade da Terra: por que motivo se vislumbram primeiro as velas de um navio que surge no horizonte, e somente depois o casco?

Aristóteles pensava que a Terra se encontrava imóvel e que o Sol, a Lua, os planetas e as Estrêlas se moviam em órbitas circulares em volta dela. Pensava assim porque sentia, por razões místicas, que a Terra era o centro do Universo e que o movimento circular era o mais perfeito. Esta idéia foi depois sintetizada por Ptolomeu, no segundo século da era cristã, num modelo cosmológico acabado. A Terra ocupava o centro, rodeada por oito esferas com a Lua, o Sol, as Estrêlas e os cinco planetas então conhecidos: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno.



Os planêtas moviam-se em círculos menores ligados às suas esferas respectivas, o que explicaria as bastante complicadas trajetórias percorridas no céu. A esfera mais afastada do centro continha as chamadas Estrelas fixas, que estão sempre nas mesmas posições relativamente umas às outras, mas que têm um movimento de rotação conjunto no céu. O que ficava para além da última esfera nunca foi bem esclarecido, mas não era certamente parte do Universo que podia ser observado pela humanidade (2).

—

(2) Esta descrição encaixa mais fielmente na cosmologia física de Aristóteles que subsiste paralelamente à astronomia matemática ptolomaica(\*N. do R.\*).

—

O modelo de Ptolomeu forneceu um sistema razoavelmente preciso para predizer as posições dos corpos celestes no céu. Mas, para predizer estas posições corretamente, ele teve de partir do princípio de que a Lua seguia uma trajetória tal que, por vezes, a Lua encontrava-se duas vezes mais próxima do que noutras. Por consequência, haveria ocasiões em que a Lua pareceria duas vezes maior que noutras. Ptolomeu reconheceu esta falha, o que não impediu que o seu modelo fosse geralmente, embora não universalmente, aceite. Foi adoptado pela Igreja Cristã como modelo do Universo (3) de acordo com a Bíblia, mas tinha a grande vantagem de deixar imenso espaço, fora da esfera das fixas, para o Céu e o Inferno.

---

(3) Atente na grafia, o Universo de que somos parte e os seus modelos matemáticos ou universos (\*N. do R.\*).

---

Um modelo mais simples, contudo, foi proposto em 1514 por um cônego polaco de nome Nicolau Copérnico. (Ao princípio, talvez com medo de ser classificado de herege pela Igreja, Copérnico apresentou o seu modelo anonimamente). A sua idéia era que o Sol se encontrava imóvel no centro e os planetas se moviam em órbitas circulares em seu redor. Foi necessário cerca de um século para esta idéia ser levada a sério. Então, dois astrônomos o alemão Johannes Kepler e o italiano Galileu Galilei, defenderam publicamente a teoria de Copérnico, apesar do fato de as órbitas que predizia não coincidirem completamente com as que eram observadas. O golpe mortal para a teoria de Aristóteles e Ptolomeu chegou em 1609. Nesse ano, Galileu começou a observar o céu de noite, com um telescópio, que acabara de ser inventado. Quando olhou para o planeta Júpiter, descobriu que se encontrava acompanhado de vários pequenos satélites, ou luas, que orbitavam em seu redor. Isto implicava que **nem tudo** tinha de ter uma órbita em redor da Terra, como pensavam Aristóteles e Ptolomeu. (Claro que ainda era possível pensar que a Terra estava imóvel no centro do Universo e que as luas de Júpiter se moviam por trajetórias extremamente complicadas em volta da Terra, **aparentando** girarem em volta de Júpiter. No entanto, a teoria de Copérnico era muito mais simples). Ao mesmo tempo, Kepler tinha-a modificado, sugerindo que os planetas se moviam não em círculos mas sim em elipses ("círculos" oblongos). As predições, finalmente, condiziam com as observações.

Quanto a Kepler, as órbitas elípticas eram apenas uma hipótese **ad hoc**, e até bastante repugnante, porque as elipses eram claramente menos perfeitas do que os círculos. Tendo descoberto quase por acaso que as órbitas elípticas condiziam com as observações, não conseguiu reconciliá-las com a sua idéia de que os planetas giravam em volta do Sol devido a forças magnéticas. Só muito mais tarde, em 1687, surgiu uma explicação, quando Sir Isaac Newton publicou a sua obra **Philosophiae Naturalis Principia Mathematica**, provavelmente o mais importante livro de física alguma vez publicado. Nele, Newton não só apresentou uma teoria sobre o movimento dos corpos, como desenvolveu o aparato matemático necessário para análise do movimento. Além disso, Newton postulou uma lei universal segundo a qual quaisquer dois corpos do Universo se atraíam com uma força tanto mais intensa quanto maiores as suas respectivas massas e maior a sua proximidade. Era esta mesma força que solicitava os corpos para o chão. (A história de que Newton se inspirou numa maçã que lhe caiu na cabeça é quase de certeza apócrifa. Tudo o que ele alguma vez disse foi que a idéia da gravidade lhe tinha surgido quando estava sentado "com os seus pensamentos" e "tinha sido provocada pela queda de uma maçã"). Newton mostrou ainda que, segundo a sua lei, a gravidade faz com que a Lua se mova numa órbita elíptica em redor da Terra e com que a Terra e os outros planetas sigam trajetórias elípticas em volta do Sol.

O modelo de Copérnico fez desaparecer as esferas celestes de Ptolomeu (4) e, com elas, a idéia de que o Universo apresentava limite natural. Uma vez que as "fixas" não pareciam alterar a sua posição, Excetuando o seu movimento aparente de rotação que tem origem no movimento da Terra em torno do seu eixo em sentido contrário, tornou-se natural supor que as Estrêlas, assimiláveis ao nosso Sol, se encontravam muito mais longe.

---

(4) De Aristóteles, a bem dizer (\*N. do R.\*).

---

Newton compreendeu que, segundo a sua teoria da gravitação, as Estrêlas deviam atrair-se umas às outras, de modo que parecia não poderem permanecer essencialmente sem movimento. Não colapsariam todas a um tempo em algum ponto? Numa carta escrita em 1691 a Richard Bentley, outro importante pensador desse tempo, Newton argumentava que isso

aconteceria realmente se houvesse um número finito de Estrêlas distribuídas numa região finita de espaço. Mas afirmava também que se, por outro lado, houvesse um número infinito de Estrêlas, distribuídas mais ou menos uniformemente num espaço infinito, tal não aconteceria, porque careceriam de ponto privilegiado para o colapso.

Este raciocínio é um exemplo das rasteiras que se podem encontrar ao falar acerca do infinito. Num universo infinito, cada ponto pode ser eleito o centro, porque em cada direção que cruza o ponto podem contar-se infinitas Estrêlas. A maneira correta de se pensar o assunto, compreendeu-se muito mais tarde, é considerar a situação numa região finita onde as Estrêlas caem todas umas sobre as outras, e depois perguntar se uma distribuição mais ou menos uniforme de Estrêlas fora daquela região alteraria alguma coisa. Segundo a lei de Newton, as Estrêlas exteriores não introduziriam, em média, a menor diferença na situação das já existentes, de maneira que estas cairiam com a mesma rapidez. Podemos acrescentar as Estrêlas que quisermos, que continuarão a cair sobre si mesmas. Sabemos agora que é impossível conceber um modelo estático de um universo infinito em que a gravidade seja sempre atrativa.

É interessante refletir acerca das idéias gerais sobre o Universo antes do século XX, quando ainda não tinha sido sugerido que o Universo estivesse a expandir-se ou a contrair-se. Era geralmente aceite que o Universo tinha permanecido imutável através dos tempos, ou que tinha sido criado num certo instante do passado, mais ou menos como o observamos hoje. Em parte, isto pode dever-se à tendência das pessoas para acreditarem em verdades eternas, bem como ao conforto que lhes dá o pensamento de que, embora possam envelhecer e morrer, o Universo é eterno e imutável.

Até aqueles que compreenderam que a teoria da gravitação de Newton mostrava que o Universo não podia ser estático, não pensaram sugerir que podia estar a expandir-se. Em vez disso, procuraram modificar a teoria, tornando a força gravitacional repulsiva a distâncias muito grandes. Isto não afetou significativamente as suas predições dos movimentos dos planetas, mas permitiu o entendimento de que uma distribuição infinita de Estrêlas

permanecesse em equilíbrio, opondo-se as forças atrativas entre Estrêlas próximas às forças repulsivas das mais afastadas. Contudo, acreditamos agora que esse equilíbrio seria instável: se as Estrêlas numa região se aproximassem ainda que ligeiramente umas das outras, as forças atrativas mútuas tornar-se-iam mais intensas e dominariam as forças repulsivas, de modo que as Estrêlas continuariam a aproximar-se umas de encontro às outras. Por outro lado, se as Estrêlas se afastassem um pouco umas das outras, as forças repulsivas tornar-se-iam dominantes e afastá-las-iam mais ainda umas das outras.

Outra objeção a um universo estático infinito é normalmente atribuída ao filósofo alemão Heinrich Olbers, que escreveu sobre esta teoria em 1823. De fato, vários contemporâneos de Newton (5) tinham levantado o problema e o artigo de Olbers nem sequer foi o primeiro a apresentar argumentos plausíveis contra ele. Foi, no entanto, o primeiro a ser largamente notado. A dificuldade reside em que num universo infinito (6) estático quase toda a direção do olhar iria culminar na superfície de uma Estrêla. Assim, esperar-se-ia que o céu fosse tão brilhante como o Sol, mesmo à noite.

---

(5) O próprio Kepler numa das suas obras mais divulgadas, *Dissertatio cum Nuncio Sidereo*, usa um argumento similar para concluir da finitude do mundo (\*N. do R.\*).

(6) O argumento é válido num universo estático infinito no espaço e no tempo (\*N. do R.\*).

---

A proposta de Olbers para resolver este problema era que a luz das Estrêlas distantes seria atenuada por absorção na matéria interestelar interposta. No entanto, se isso acontecesse, a matéria interveniente aqueceria eventualmente até brilhar com a intensidade das Estrêlas. A única maneira de evitar a conclusão de que todo o céu noturno seria tão brilhante como a superfície do Sol, seria admitir que as Estrêlas não tinham estado sempre a brilhar, mas que tinham iniciado as suas carreiras há um tempo finito no passado. Nesse caso, a matéria absorvente podia não ter ainda aquecido, ou a luz das Estrêlas distantes não ter ainda chegado até nós. E isto leva-nos à questão de qual poderia ter sido a causa de as Estrêlas se terem acendido.

O começo do Universo tinha, evidentemente, sido discutido antes. Segundo algumas das mais antigas cosmologias e a tradição judaico-cristã-muçulmana, o Universo teve origem há um tempo finito e não muito distante no passado. Um dos argumentos a favor desta teoria era a sensação de ser necessária a "Causa Primeira" para explicar a existência do Universo. (Dentro deste, sempre se explicou um acontecimento como causado por outro anterior, mas a existência do próprio Universo só podia ser explicada desta maneira se tivesse tido um começo). Outro argumento foi exposto por Santo Agostinho no seu livro **A Cidade de Deus**. Chamou a atenção para o fato de a civilização estar a progredir e de nos lembrarmos daqueles que realizaram feitos heróicos e dos que inventaram novas técnicas. Portanto, o Homem, e talvez também o Universo, não podiam existir há tanto tempo como isso. Santo Agostinho aceitou uma data de cerca de cinco mil anos antes de Cristo para a criação do Universo, segundo o livro do Gênesis. (É interessante verificar que esta data não está muito longe do fim da última idade glacial, cerca de dez mil anos antes de Cristo, data a que os arqueólogos fazem remontar o início da civilização).

Aristóteles, bem como a maioria dos filósofos gregos, por outro lado, não se afeiçoaram à idéia da criação porque tinha demasiado sabor a intervenção divina. Acreditavam que a raça humana, e o mundo à sua volta, sempre tinham existido e existiriam para sempre. Os Antigos tinham levado em conta o argumento acima referido acerca da evolução, e explicavam-no recorrendo a dilúvios cíclicos e outros desastres que periodicamente tinham reconduzido a raça humana de novo ao começo da civilização.

As questões de o Universo ter ou não tido um começo no tempo e se é ou não limitado no espaço foram mais tarde examinadas em pormenor pelo filósofo Emmanuel Kant, na sua monumental e muito obscura obra **Crítica da Razão Pura**, publicada em 1781. Chamou a essas questões antinomias (ou seja, contradições) da razão pura, porque achava que eram argumentos igualmente atraentes para se acreditar na tese de que o Universo tinha tido um começo e na antítese de que existira sempre. O seu argumento em defesa da tese era que, se o Universo não tivesse tido um começo, teria havido um período infinito de tempo antes de qualquer acontecimento, o que ele considerava absurdo. O argumento antitético era que, se o Universo

tinha tido um princípio, teria havido um período de tempo infinito antes da sua origem: então por que tinha o Universo começado num momento especial? De fato, os argumentos que apresenta tanto para a tese como para a antítese são realmente os mesmos. Baseiam-se ambos na sua suposição não expressa de que o tempo continua indefinidamente para trás, quer o Universo tenha ou não existido sempre. Como veremos, o conceito de tempo não tem qualquer significado *antes* (7) do começo do Universo. Este fato foi apontado por Santo Agostinho. Quando lhe perguntaram: "Que fazia Deus antes de criar o mundo?" Agostinho não respondeu: "Andava a preparar o Inferno para todos os que fazem essas perguntas." Em vez disso, respondeu que o tempo era uma propriedade do Universo que Deus tinha criado, e que não existia *antes* (8) do começo do Universo.

—

(7) O itálico é do revisor. Repare na incapacidade e ambigüidade da linguagem comum quando se exprime a temática: antes não faz sentido, em rigor, pois o tempo surge com a criação (\*N. do R.\*).

(8) Idem (N. do R.).

—

Quando a maior parte das pessoas acreditava num universo essencialmente estático e imutável, a questão de saber se tinha ou não tido um começo era na verdade do domínio da metafísica ou da teologia. Podia explicar-se o que se observava tanto segundo a teoria de que o Universo sempre existira ou a de que tinha sido acionado há um tempo finito mas de tal modo que parecesse ter existido sempre (9). Mas, em 1929, Edwin Hubble apresentou fatos da observação que iniciaram uma nova era: seja para onde for que se olhe, as galáxias distantes afastam-se velozmente. Por outras palavras, o Universo está em expansão, o que significa que nos primeiros tempos os corpos celestes (10) encontrar-se-iam mais perto uns dos outros.

—

(9) Tudo depende de admitirmos que o estado inicial do universo era mais ou menos complexo (\*N. do R.\*).

(10) As galáxias, ou melhor, os superaglomerados galácticos que constituem as partículas do fluido cósmico (\*N. do R.\*).

---

De fato, parece ter havido um tempo, há cerca de dez ou vinte mil milhões de anos, em que os objetos estavam todos exatamente no mesmo lugar (11) e em que, portanto, a densidade do Universo era infinita. Esta descoberta trouxe finalmente a questão das origens para o domínio da ciência.

---

(11) Não deve entender-se lugar no espaço, mas sim que ocupavam o único lugar do espaço (\*N. do R.\*).

---

As observações de Hubble sugeriam que tinha havido um tempo para uma grande explosão [um **big bang**] (12), em que o Universo era infinitamente pequeno e denso. Nessas condições, todas as leis da física e, portanto, toda a possibilidade de predizer o futuro caíam por terra. Se houve acontecimentos antes desse tempo, não podem afetar o que acontece no tempo presente. A sua existência pode ser ignorada, por não ter consequências observáveis. Pode dizer-se que o tempo começou com o **big bang**, no sentido em que os primeiros momentos não podiam ser definidos.

---

(12) os comentários parentéticos (á.../ú) são da responsabilidade do revisor (\*n. do R.\*).

---

Deve sublinhar-se que este começo no tempo é muito diferente dos que tinham sido considerados previamente. Num universo imutável, um começo no tempo é uma coisa que tem de ser imposta por algum Ser exterior ao Universo; não há necessidade física de um começo. Pode imaginar-se que Deus criou o Universo em qualquer momento do passado. Por outro lado, se o Universo está em expansão, pode haver razões de natureza física para um começo. Podia continuar a imaginar-se que Deus criou o Universo no instante do **big bang**, ou mesmo depois, de tal modo que o **big bang** nos pareça ter ocorrido, mas não teria qualquer significado supor que tinha sido criado **antes** do **big bang**. Um universo em expansão não exclui um Criador, mas impõe limitações ao momento do desempenho da Criação!

Para se falar da natureza do Universo e discutir assuntos tais como o princípio e o fim, temos de ser claros acerca do que é uma teoria científica. Vou partir do princípio simplista de que uma teoria não é mais do que um modelo do Universo, ou de uma parte restrita deste e um conjunto de regras que relacionam quantidades do modelo com as observações que praticamos. Existe apenas na nossa mente e não tem qualquer outra realidade, seja o que for que signifique. Uma teoria é boa quando satisfaz dois requisitos: deve descrever com precisão um grande número de observações que estão na base do modelo, que pode conter um pequeno número de elementos arbitrários, e deve elaborar previsões definidas sobre os resultados de observações futuras. Por exemplo, a teoria de Aristóteles de que todas as coisas eram feitas de quatro elementos—a terra, o ar, o fogo e a água (13) — era suficientemente simples para valer como tal, embora apresentasse um conteúdo preditivo pobre. Por outro lado, a teoria da gravitação de Newton baseava-se num modelo ainda mais simples, em que os corpos se atraíam uns aos outros com uma força proporcional às suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. No entanto, prediz os movimentos do Sol, da Lua e dos planetas com elevado grau de precisão.

—

(13) Os elementos nem por isso designam as substâncias do mesmo nome (\*N. do R.\*).

—

Qualquer teoria física é sempre provisória, no sentido de não passar de uma hipótese: nunca consegue provar-se. Por muitas vezes que os resultados da experiência estejam de acordo com alguma teoria, nunca pode ter-se a certeza de que na vez seguinte o resultado não a contrarie. Por outro lado, pode refutar-se uma teoria descobrindo uma única observação em desacordo com as previsões da teoria. Como o filósofo da ciência Karl Popper realçou, uma boa teoria caracteriza-se pelo fato de fazer previsões que podem, em princípio, ser contestadas ou falseadas pela observação. Sempre que novas experiências concordam com as previsões, a teoria sobrevive e a nossa confiança nela aumenta; mas, se uma nova observação surge em desacordo, temos de abandonar ou modificar a teoria. Pelo menos, é o que se supõe acontecer, mas pode sempre pôr-se em dúvida a competência da pessoa que efetuou a observação.

Na prática, o que acontece muitas vezes é surgir uma teoria que mais não é que uma extensão de outra. Por exemplo, observações muito precisas do planeta Mercúrio revelaram uma pequena discrepância entre o movimento observado e o movimento previsto pela teoria da gravitação de Newton. A teoria da relatividade geral de Einstein previa um movimento ligeiramente diferente do da teoria de Newton. O fato de as previsões de Einstein condizerem com as observações, ao passo que as de Newton não, foi uma das confirmações cruciais da nova teoria. Contudo, ainda se usa a teoria de Newton para fins práticos, porque as diferenças entre as previsões de uma e outra são muito pequenas nas situações com que normalmente deparamos (14). (A teoria de Newton também tem a grande vantagem de ser [matematicamente] muito mais operacional que a de Einstein!)

—

(14) Se, por um lado, a teoria de Newton é indispensável na prática, por outro, o seu suporte metafísico foi completamente eliminado (\*N. doR.\*).

—

O objetivo final da ciência é fornecer uma única teoria que descreva todo o Universo. No entanto, o caminho seguido pela maior parte dos cientistas é separar o problema em duas partes. Primeiro, há as leis que nos dizem como o Universo evoluciona. (Se conhecermos o estado do Universo num dado momento, essas leis possibilitam inferir o estado do Universo em qualquer momento futuro). Segundo, há a questão do estado inicial do Universo. Há quem pense [e defenda] que a ciência se devia preocupar apenas com a primeira parte: a questão do estado inicial é remetida para a metafísica ou para a religião. Pensam que Deus, sendo onipotente, podia ter criado o Universo como quisesse. Pode ser que isto seja assim, mas nesse caso também podia tê-lo feito desenvolver-se de modo completamente arbitrário. Contudo, parece que decidiu fazê-lo evoluir de modo muito regular e segundo certas leis. Parece, portanto, igualmente razoável supor que também há leis que governam o estado inicial.

Acaba por ser muito difícil arranjar uma teoria que descreva o Universo de uma vez só. Em vez disso, dividimos o problema em partes e inventamos teorias parciais. Cada uma destas descreve e prediz certo conjunto limitado

de observações, desprezando o efeito de outras quantidades ou representando-as por simples conjuntos de números, procedimento que pode estar completamente errado. Se tudo no Universo depende de tudo o mais de uma maneira fundamental, pode ser impossível aproximarmo-nos de uma solução completa investigando isoladamente as partes do problema. Contudo, é certamente este o processo como temos logrado progressos no passado. O exemplo clássico é mais uma vez a teoria de Newton da gravitação, que nos diz que a força atrativa entre dois corpos, a uma certa distância fixa, depende apenas de um número associado a cada corpo, a sua massa, mas é independente da matéria de que os corpos são feitos. Deste modo, não é necessária uma teoria de estrutura e constituição do Sol e dos planetas para calcular as suas órbitas.

Os cientistas de hoje descrevem o Universo em termos de duas teorias parciais fundamentais: a teoria da relatividade geral e a mecânica quântica. São estes os grandes feitos intelectuais da primeira metade do século. A teoria da relatividade geral descreve a força da gravidade e a estrutura em macro-escala do Universo, ou seja, a estrutura em escalas que vão de apenas alguns quilômetros a alguns milhões de milhões de milhões de milhões (1.000.000.000.000.000.000.000) de quilômetros: as dimensões do Universo observável. A mecânica quântica, por seu lado, tem a ver com fenômenos que ocorrem em escalas extremamente reduzidas, tais como um milionésimo de milionésimo de centímetro. Infelizmente, contudo, estas duas teorias são incompatíveis: não podem estar ambas corretas. Uma das maiores demandas da física atual, e o assunto principal deste livro, é a nova teoria que concilie as duas. Uma teoria quântica da gravidade. Ainda não a encontramos e podemos estar muito longe dela, mas já conhecemos muitas das propriedades que a devem caracterizar. E veremos, em capítulos posteriores, que já sabemos muito sobre as predições a que essa teoria nos irá conduzir.

Portanto, se acreditarmos que o Universo não é arbitrário, mas sim governado por leis definidas, ter-se-á finalmente que combinar as teorias parciais numa teoria unificada completa que descreva todo o Universo. Mas existe um paradoxo fundamental na busca dessa teoria. As idéias sobre as teorias científicas que foram aqui delineadas presumem que somos seres

racionais livres para observar o Universo como quisermos e tirar conclusões lógicas daquilo que observamos. Num esquema como este, é razoável supor que seremos capazes de progredir cada vez mais em direção às leis que governam o Universo. Contudo, se houver realmente uma teoria unificada ela também determinará presumivelmente as nossas ações (15). E assim, a própria teoria determinaria o resultado da nossa busca. E por que motivo determinaria que chegássemos às conclusões certas, a partir da evidência? Não poderia também determinar que chegássemos à conclusão errada? Ou a nenhuma conclusão?

---

(15) Esta problemática é evitada demarcando uma separação nítida entre Universo e universos. Se o homem fosse encontrado como solução matemática num universo seria inevitável o dilema, da regressão: a solução apontaria o cientista que constrói o modelo que explica o cientista que constrói o modelo... (\*N. do R.\*).

---

A única resposta que posso dar tem por base o princípio da seleção natural de Darwin. A idéia é que em qualquer população de organismos auto-reprodutores haverá variações no material genético e na criação de diferentes indivíduos. Estas variações significam que alguns indivíduos são mais capazes do que outros para tirar as conclusões certas sobre o mundo que os rodeia e para agir de acordo com elas. Estes indivíduos terão mais hipóteses de sobreviver e de se reproduzir; deste modo, o seu padrão de comportamento e pensamento virá a ser dominante. Tem-se verificado no passado que aquilo a que chamamos inteligência e descobertas científicas tem acarretado vantagens de sobrevivência. Já não é tão claro que isto se mantenha: as nossas descobertas científicas podem perfeitamente acabar por nos destruir a todos e, mesmo que o não façam, uma teoria unificada pode não fazer grande diferença quanto às nossas hipóteses de sobrevivência. Contudo, desde que o Universo tenha evoluído de modo regular, pode esperar-se que a capacidade de raciocínio que nos foi dada pela seleção natural seja válida também na nossa busca de uma teoria unificada, não nos conduzindo a conclusões erradas.

Como as teorias parciais que já temos são suficientes para fazer predições exatas em todas as situações, exceto nas mais extremas, a busca da teoria definitiva do Universo parece de difícil justificação em termos práticos. (De

nada vale, no entanto, que argumentos semelhantes possam ter sido utilizados quer contra a relatividade quer contra a mecânica quântica, e estas teorias deram-nos a energia nuclear e a revolução da microeletrônica!) A descoberta de uma teoria unificada, portanto, pode não ajudar à sobrevivência das nossas espécies. Pode mesmo nem afetar a nossa maneira de viver. Mas desde a alvorada da civilização, as pessoas não se contentam com ver os acontecimentos desligados e sem explicação. Têm ansiado por um entendimento da ordem subjacente no mundo. Ainda hoje sentimos a mesma ânsia de saber por que estamos aqui e de onde viemos. O mais profundo desejo de conhecimentos da humanidade é justificação suficiente para a nossa procura contínua. E o nosso objetivo é, nada mais nada menos, do que uma descrição completa do Universo em que vivemos.

## *II. Espaço e Tempo*

As nossas idéias atuais sobre o movimento dos corpos vêm dos tempos de Galileu e de Newton. Antes deles, as pessoas acreditavam em Aristóteles, que afirmou que o estado natural de um corpo era estar em repouso e só se mover quando sobre ele atuasse uma força ou impulso. Assim, um corpo pesado cairia mais depressa que um leve porque sofreria um impulso maior em direção à terra.

A tradição aristotélica também afirmava que era possível descobrir todas as leis que governam o Universo por puro pensamento, sem necessidade de confirmação observacional. Deste modo, ninguém até Galileu se preocupou em ver se corpos de pesos diferentes caíam de fato com velocidades diferentes. Diz-se que Galileu demonstrou que a crença de Aristóteles era falsa deixando cair pesos da Torre Inclinada de Pisa. A história é, quase de certeza, falsa, mas Galileu fez uma coisa equivalente: fez rolar bolas de pesos diferentes pelo suave declive de um plano inclinado. A situação é semelhante à de corpos pesados que caem verticalmente, mas mais fácil de observar, porque se movimentam com velocidades diferentes. As medições de Galileu indicavam que a velocidade de cada corpo aumentava na mesma proporção, qualquer que fosse o seu peso. Por exemplo, se deixarmos rolar uma bola por uma encosta que desce um metro por cada dez metros de caminho andado, veremos que a bola desce a uma velocidade de cerca de um metro por segundo após um segundo, dois metros por segundo após dois segundos, e por aí fora, por mais pesada que seja. É evidente que um peso de chumbo cairá mais depressa que uma pena, mas tal sucede apenas porque a pena é retardada pela resistência do ar. Se deixarmos cair dois corpos que sofram pequena resistência por parte do ar, por exemplo dois pesos de chumbo diferentes, a velocidade da queda é a mesma.

As medições de Galileu foram utilizadas por Newton como base para as suas leis do movimento. Nas experiências de Galileu, quando um corpo rolava por um plano inclinado exercia-se sobre ele sempre a mesma força (o seu peso), e o seu efeito era fazer aumentar constantemente a velocidade. Isto mostrou que o verdadeiro efeito da força é modificar sempre a

velocidade de um corpo, e não só imprimir-lhe o movimento, como se pensara antes. Também significava que, quando um corpo não sofre o efeito de qualquer força, se manterá em movimento retilíneo com velocidade constante. Esta idéia foi explicitada pela primeira vez na obra de Newton **Principia Mathematica**, publicada em 1687, e é conhecida por primeira lei de Newton. O que acontece a um corpo quando uma força atua sobre ele é explicado pela segunda lei de Newton, que afirma que o corpo acelerará, ou modificará a sua velocidade proporcionalmente à força. (Por exemplo, a aceleração será duas vezes maior se a força for duas vezes maior). A aceleração também é menor quanto maior for a massa (ou quantidade de matéria) do corpo. (A mesma força atuando sobre um corpo com o dobro da massa produzirá metade da aceleração). O automóvel é um exemplo familiar: quanto mais potente for o motor, maior será a aceleração, mas, quanto mais pesado for o carro, menor será a aceleração para o mesmo motor.

Para além das leis do movimento, Newton descobriu uma lei para descrever a força da gravidade, que afirma que um corpo atrai outro corpo com uma força proporcional à massa de cada um deles. Assim, a força entre dois corpos será duas vezes mais intensa se um dos corpos (por exemplo, o corpo A) tiver o dobro da massa. É o que se poderia esperar, porque se pode pensar no novo corpo A como sendo constituído por dois corpos com a massa original. Cada um atrairia o corpo B com a sua força original. Assim, a força total entre A e B seria duas vezes a força original. E se, por exemplo, um dos corpos tiver duas vezes a massa e o outro três vezes, então a força será seis vezes mais intensa. Vê-se assim por que razão todos os corpos caem com a mesma velocidade relativa; um corpo com o dobro do peso terá duas vezes a força da gravidade a puxá-lo para baixo, mas terá também duas vezes a massa original. De acordo com a segunda lei de Newton, estes dois efeitos anulam-se exatamente um ao outro, de modo que a aceleração será a mesma em todos os casos.

A lei da gravitação de Newton também nos diz que, quanto mais separados estiverem os corpos, mais pequena será a força. E também nos diz que a atração gravitacional de uma Estrela é exatamente um quarto da de uma

Estrêla semelhante a metade da distância. Esta lei prediz as órbitas da Terra, da Lua e dos outros planetas com grande precisão. Se a lei dissesse que a atração gravitacional de uma Estrêla diminuía mais depressa com a distância, as órbitas dos planetas não seriam elípticas: mover-se-iam em espiral até colidirem com o Sol. Se diminuísse mais devagar, as forças gravitacionais das Estrêlas distantes dominariam a da Terra.

A grande diferença entre as idéias de Aristóteles e as de Galileu e Newton é que Aristóteles acreditava num estado preferido de repouso, que qualquer corpo tomaria se não fosse atuado por qualquer força ou impulso. Pensava particularmente que a Terra estava em repouso. Mas, das leis de Newton, decorre que não existe um padrão único de repouso. Poder-se-ia igualmente dizer que o corpo A está em repouso e o corpo B em movimento com velocidade constante em relação ao corpo A, ou que o corpo B está em repouso e o corpo A em movimento. Por exemplo, se pusermos de lado, por instantes, a rotação da Terra e a sua órbita em torno do Sol, podemos dizer que a Terra está em repouso e que um comboio se desloca para norte a cento e vinte quilômetros por hora. Ou que o comboio está em repouso e que a Terra se move para sul a cento e vinte quilômetros por hora. Se efetuássemos experiências com corpos em movimento no comboio, todas as leis de Newton continuariam válidas. Por exemplo, jogando ténis de mesa no comboio, verificar-se-ia que a bola obedecia às leis de Newton, tal como a bola numa mesa colocada junto à linha. Portanto, não existe maneira de dizer se é o comboio ou a Terra que está em movimento (1).

---

(1) Quer dizer: não há processo mecânico de fazer distinguir entre estado de repouso e estado de movimento uniforme e retilíneo. Esta afirmação constitui o enunciado do princípio da relatividade galiléica (\*N. do R.\*).

---

A falta de um padrão absoluto de repouso significava que não era possível determinar se dois acontecimentos que ocorriam em momentos diferentes ocorriam na mesma posição no espaço. Por exemplo, suponhamos que a bola de ténis de mesa no comboio saltita verticalmente, para cima e para baixo, atingindo a mesa duas vezes no mesmo lugar com um segundo de intervalo. Para alguém na linha, os dois saltos pareceriam ocorrer a cerca de cem metros um do outro, porque o comboio teria percorrido essa distância entre os dois saltos. A não existência de repouso absoluto significava

PRÉVIA GRATUITA · OFERTA POR TEMPO LIMITADO

## Você chegou ao fim desta prévia.

Continue lendo "Uma Breve História do Tempo" e mais de 1 milhão de livros — de graça por 30 dias.

★★★★★ Mais de 1 milhão de leitores já aproveitam

### Com o Kindle Unlimited, sua leitura não tem fim:

- ✓ Leia à vontade — explore mais de 1 milhão de títulos sem pagar por livro.
- ✓ Leve para qualquer lugar — baixe o app gratuito e leia onde e quando quiser.
- ✓ Em qualquer tela — celular, tablet, computador ou Kindle — você escolhe.
- ✓ Grandes autores — best-sellers e novos talentos, inclusive títulos em inglês.

**COMEÇAR MEUS 30 DIAS GRÁTIS**

Cobrança só após o período grátis.

- ✓ Pagamento seguro
- ✓ Acesso imediato
- ✓ Cancele quando quiser

Não precisa ter um Kindle: baixe o app gratuito e comece a ler agora.

Se não quiser ler no aplicativo Kindle, compre o livro [clikando aqui](#).