

**BREVES
RESPOSTAS
PARA GRANDES
QUESTÕES**

**STEPHEN
HAWKING**

**BREVES RESPOSTAS
PARA GRANDES
QUESTÕES**

TRADUÇÃO DE
CÁSSIO DE ARANTES LEITE

REVISÃO TÉCNICA DE
AMÂNCIO FRIAÇA
ASTROFÍSICO DO INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA
E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA USP



Copyright © Spacetime Publications Limited 2018
Prefácio © Eddie Redmayne 2018
Introdução © Kip S. Thorne 2018
Posfácio © Lucy Hawking 2018

TÍTULO ORIGINAL

Brief answers to the big questions

REVISÃO

Marina Góes
Victor Almeida

CAPA, PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Julio Moreira | Equatorium Design

ARTE FINAL

Márcia Quintella

IMAGENS

pg. 6: Cortesia de Mary Hawking
pg. 243: © Andre Pattenden

CIP-BRASIL. CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

SINDICATO NACIONAL DOS EDITORES DE LIVROS, RJ

H325b

Hawking, Stephen, 1942-2018

Breves respostas para grandes questões / Stephen Hawking ; tradução Cássio de Arantes Leite. - 1. ed. - Rio de Janeiro : Intrínseca, 2018.
256 p. : il. ; 21 cm.

Tradução de: *Brief answers to the big questions*

Inclui índice

ISBN 978-85-510-0431-9

1. Cosmologia. 2. Astrofísica. I. Leite, Cássio de Arantes. II. Título.

18-52817

CDD: 523.1

CDU: 524

[2018]

Todos os direitos desta edição reservados à

Editora Intrínseca Ltda.

Rua Marquês de São Vicente, 99, 3º andar

22451-041 – Gávea

Rio de Janeiro – RJ

Tel./Fax: (21) 3206-7400

www.intrinseca.com.br

SUMÁRIO

<i>Prefácio: Eddie Redmayne</i>	9
<i>Introdução: Kip S. Thorne</i>	13
Por que formular as grandes questões?	25
1. Deus existe?	47
2. Como tudo começou?	63
3. Existe outra vida inteligente no universo?	89
4. Podemos prever o futuro?	111
5. O que há dentro de um buraco negro?	123
6. A viagem no tempo é possível?	147
7. Sobreviveremos na Terra?	169
8. Deveríamos colonizar o espaço?	189
9. A inteligência artificial vai nos superar?	207
10. Como moldaremos o futuro?	223
<i>Posfácio: Lucy Hawking</i>	237
<i>Agradecimentos</i>	245
<i>Índice</i>	246
<i>Sobre o autor</i>	255



NOTA DO EDITOR

CIENTISTAS, MAGOS DA TECNOLOGIA, GRANDES EMPRESÁRIOS, Líderes políticos e o público em geral perguntavam com frequência a Stephen Hawking o que ele achava das grandes questões. Stephen manteve um arquivo pessoal gigantesco com suas respostas, que tomaram a forma de discursos, entrevistas e ensaios.

Este livro foi extraído de seu arquivo pessoal e estava sendo desenvolvido na época de seu falecimento. Ele foi completado com a colaboração de seus colegas do mundo acadêmico, sua família e da Stephen Hawking Estate.

Uma porcentagem dos direitos será destinada à caridade.

PREFÁCIO

Eddie Redmayne

QUANDO ME ENCONTREI COM STEPHEN HAWKING PELA PRIMEIRA vez, fiquei admirado com sua extraordinária energia e sua vulnerabilidade. Devido a minha pesquisa, eu já estava familiarizado com a determinação daquele olhar aliada ao corpo imóvel — interpretara Stephen no filme *A teoria de tudo* havia pouco tempo, e por isso eu tinha passado vários meses estudando sua obra e a natureza de sua deficiência, tentando aprender a usar meu corpo para expressar a evolução da esclerose lateral amiotrófica (ELA) ao longo do tempo.

Mesmo assim, quando finalmente conheci Stephen — o ícone, o cientista de talento fenomenal, cuja principal forma de comunicação se dava por uma voz computadorizada em conjunto com sobrancelhas excepcionalmente expressivas —, fiquei pasmo. Tenho a tendência de ficar nervoso com silêncios e acabo por falar demais, ao passo que Stephen compreende perfeitamente o poder do silêncio, o poder de se sentir sob escrutínio.

Sem jeito, decidi conversar com ele sobre a proximidade de nossos aniversários, o que nos fazia ter o mesmo signo. A resposta veio em alguns minutos: “Sou astrônomo. Não astrólogo.” Ele também insistiu que eu o chamasse de Stephen e parasse de chamá-lo de professor. Bem que me avisaram...

Retratar Stephen foi uma oportunidade extraordinária. O que me atraía para o papel fora a dualidade entre seu triunfo externo na pesquisa científica e a batalha interna contra a ELA, que começara quando ele tinha vinte e poucos anos. Sua história de empenho humano, vida familiar, conquistas acadêmicas excepcionais e atitude desafiadora contra todos os obstáculos foi única, complexa e rica. Embora quiséssemos retratar a inspiração, também queríamos exibir a fibra e a coragem demonstradas tanto na vida de Stephen como na dos responsáveis por seus cuidados.

Mas era igualmente importante demonstrar a faceta do grande showman que ele era. Em meu trailer, acabei recorrendo a três imagens. A primeira, de Einstein mostrando a língua, porque Stephen Hawking também tem esse caráter brincalhão. Outra era a figura do Coringa titereiro em um baralho de cartas, porque, para mim, Stephen sempre teve as pessoas na palma da mão. E a terceira era James Dean. E foi disso que tirei proveito ao conhecê-lo — de seu brilho e de seu senso de humor.

A maior pressão de interpretar alguém vivo é ter de prestar contas pela atuação à pessoa retratada. No caso de Stephen, também à sua família, tão generosa comigo durante minha preparação para o filme. Antes de Stephen comparecer à estreia,

ele me avisou: “Vou dizer se achei bom. Ou outra coisa.” Respondi que, se fosse “outra coisa”, talvez ele pudesse apenas dizer “outra coisa” e me poupar dos detalhes excruciantes! Generosamente, Stephen disse que gostou. Ele ficou comovido, mas como todo mundo sabe, afirmou também que esperava ter visto mais física e menos sentimentos. Isso não se discute.

Desde *A teoria de tudo*, sigo em contato com a família de Stephen Hawking. Fiquei emocionado quando me convidaram a ler um texto em seu funeral. Foi um dia incrivelmente triste, mas iluminado, repleto de amor, lembranças felizes e reflexões sobre esse homem tão corajoso, que guiou o mundo por meio de sua ciência e de sua luta por reconhecimento e oportunidades de crescimento adequadas para pessoas com deficiência.

Perdemos uma mente verdadeiramente bela, um cientista admirável e o homem mais engraçado que já tive o prazer de conhecer. E conforme sua família me disse quando ele morreu, sua obra e seu legado continuarão vivos. Desse modo, é com tristeza, mas também com grande satisfação, que apresento esta coletânea de textos sobre temas diversos e fascinantes. Espero que você aprecie o que ele escreveu e, para citar Barack Obama, espero que Stephen esteja se divertindo em algum lugar por aí, entre as estrelas.

Com amor,
Eddie

INTRODUÇÃO

Professor Kip S. Thorne

CONHECI STEPHEN HAWKING EM JULHO DE 1965, EM LONDRES, ao participar de uma conferência sobre relatividade geral e gravitação. Stephen estava fazendo o doutorado na Universidade de Cambridge; eu acabara de terminar o meu, em Princeton. Pelos auditórios, corriam rumores de que Stephen pensara em uma explicação irresistível de como nosso universo *deve necessariamente* ter surgido em algum momento finito no passado. Ele não pode ser infinitamente antigo.

Assim, para escutar Stephen falar, me espremi com mais de cem pessoas em uma sala projetada para quarenta. Ele se apoiava em uma bengala para andar e sua voz era um pouco arrasada. Fora isso, manifestava sinais apenas discretos da doença do neurônio motor, cujo diagnóstico recebera havia apenas dois anos. Era notório que sua mente não tinha sido afetada. Seu raciocínio lúcido se baseava nas equações da relatividade geral de Einstein e nas observações astronômicas de que nosso universo

está em expansão, bem como em algumas suposições simples que, muito provavelmente, eram verdadeiras e faziam uso de novas técnicas matemáticas desenvolvidas por Roger Penrose. Combinando tudo isso de maneira inteligente, irresistível e convincente, Stephen deduziu seu resultado: nosso universo deve ter começado em algum tipo de estado singular, há cerca de 10 bilhões de anos. (Na década seguinte, Stephen e Roger, juntando esforços, provariam esse início singular do tempo de forma cada vez mais convincente e, na mesma medida, também provariam que o âmago de todo buraco negro é ocupado por uma singularidade onde o tempo termina.)

Saí muito impressionado da conferência de Stephen em 1965. Não apenas com sua argumentação e conclusão, mas principalmente com seus insights e criatividade. Por isso o procurei e passei uma hora conversando com ele a sós. Foi o início de uma amizade que duraria a vida inteira, baseada não apenas em interesses científicos em comum, mas também em uma notável empatia de ambas as partes, uma capacidade misteriosa de compreender um ao outro como seres humanos. Não demorou para passarmos mais tempo conversando sobre nossas vidas e nossos entes queridos — e até sobre a morte — do que sobre ciência, embora a ciência ainda fosse a maior parte da liga que nos mantinha unidos.

Em setembro de 1973, levei Stephen e sua esposa, Jane, para Moscou. Apesar da exasperante Guerra Fria, desde 1968 eu passava um mês na capital russa a cada dois anos, colabo-

rando na pesquisa com os membros de um grupo liderado por Iakov Borisovitch Zel'dovitch. Iakov era um astrofísico esplêndido e também pai da bomba de hidrogênio soviética. Devido a seus segredos nucleares, ele estava proibido de viajar para a Europa ocidental ou aos Estados Unidos. O homem sonhava em debater com Stephen, mas não podia ir até ele. Assim, fomos a seu encontro.

Em Moscou, Stephen empolgou Zel'dovitch e centenas de outros cientistas com seus insights, e Zel'dovitch, por sua vez, também lhe ensinou uma ou duas coisinhas. Foi uma tarde memorável a que passamos com ele e seu aluno de doutorado, Alexei Starobinski, no quarto de Stephen no Hotel Rossia. Zel'dovitch explicou de maneira intuitiva uma descoberta extraordinária que fizeram, e Starobinski a detalhou matematicamente.

É necessária energia para um buraco negro girar. Já sabemos disso. Um buraco negro, explicaram eles, pode usar a energia de rotação para criar partículas, que sairão voando, transportando a energia de rotação consigo. Isso era novo e surpreendente — mas não surpreendente demais. Quando um objeto tem energia de movimento, a natureza costuma encontrar um modo de extraí-la. Já conhecíamos outras formas de extrair energia da rotação de um buraco negro; esse era apenas um novo jeito, embora inesperado.

Ora, o grande valor desse tipo de conversa é que pode despertar novas linhas de pensamento. E assim foi com Stephen. Ele ruminou sobre a descoberta de Zel'dovitch/Starobinski por

vários meses, observando-a por outros ângulos, até que um dia ela deflagrou um insight verdadeiramente radical em sua mente: depois que um buraco negro para de girar, ele ainda pode emitir partículas. O buraco negro pode emitir radiação assim como o Sol, como se estivesse quente — embora não muito, apenas morno. Quanto mais pesado o buraco negro, mais baixa a temperatura. Um buraco que pese tanto quanto o Sol tem temperatura de 0,00000006 Kelvin, 0,06 milionésimos de grau acima do zero absoluto. A fórmula para essa temperatura está hoje gravada na lápide de Stephen na abadia de Westminster, em Londres, onde suas cinzas repousam, entre os túmulos de Isaac Newton e Charles Darwin.

Essa “temperatura Hawking” do buraco negro e sua “radiação Hawking” (como vieram a ser chamadas) foram realmente radicais; talvez a mais radical descoberta da física teórica da segunda metade do século XX. Ela abriu nossos olhos para ligações profundas entre a relatividade geral (buracos negros), a termodinâmica (física do calor) e a física quântica (a criação de partículas onde antes não havia nenhuma). Por exemplo, levou Stephen a provar que um buraco negro possui *entropia*, ou seja, em algum lugar dentro ou em torno dele há uma aleatoriedade colossal. Ele deduziu que a quantidade de entropia (o logaritmo da quantidade de aleatoriedade do buraco negro) é proporcional à área da superfície do mesmo. Sua fórmula da entropia está gravada em uma pedra memorial no Gonville & Caius College, em Cambridge, Inglaterra, onde ele trabalhou.

Nos últimos 45 anos, Stephen e centenas de outros físicos lutaram para compreender a natureza específica da aleatoriedade de um buraco negro. É uma questão que continua a gerar novos insights sobre o casamento da teoria quântica com a relatividade geral; ou seja, sobre as mal compreendidas leis da gravidade quântica.

No outono de 1974, Stephen trouxe seus alunos de doutorado e a família (sua esposa, Jane, com os dois filhos do casal, Robert e Lucy) a Pasadena, Califórnia, onde ficaram por um ano, de modo que ele e seus orientandos pudessem participar da vida intelectual de minha universidade, a Caltech, e se unir temporariamente a meu grupo de pesquisa. Foi um ano *glorioso*, que, em seu auge, chegou a ser chamado de “a era de ouro da pesquisa em buracos negros”.

Durante esse período, Stephen, parte de nossos alunos e eu tentamos chegar a uma compreensão mais profunda a respeito dos buracos negros. Mas a presença de Stephen e sua liderança em nossa pesquisa conjunta sobre o tema me proporcionou liberdade para ir atrás de uma nova direção que eu vinha contemplando havia alguns anos: as *ondas gravitacionais*.

Há apenas dois tipos de ondas que podem viajar através do universo e nos trazer informação de coisas muito distantes: as ondas eletromagnéticas (o que incluiu a luz, raios X, raios gama, micro-ondas, ondas de rádio etc.) e as ondas gravitacionais.

Ondas eletromagnéticas consistem em forças elétricas e magnéticas oscilantes que viajam à velocidade da luz. Quando in-

cidem sobre partículas carregadas, como os elétrons em uma antena de rádio ou tevê, elas sacodem essas partículas de um lado para o outro, depositando nelas a informação transportada pelas ondas. Essa informação pode ser amplificada e transmitida para um alto-falante ou uma tela de tevê a fim de que os seres humanos a compreendam.

Ondas gravitacionais, segundo Einstein, consistem de uma distorção espacial oscilante: um estiramento e uma compressão oscilantes do espaço. Em 1972, Rainer “Rai” Weiss, do MIT, inventou um detector de ondas gravitacionais em que espelhos presos internamente na curva e nas extremidades de um tubo a vácuo em forma de L são afastados ao longo de um dos braços do L pelo estiramento do espaço e aproximados ao longo do outro braço devido a compressão do espaço. A luz do laser podia extrair a informação da onda gravitacional, e o sinal podia depois ser amplificado e inserido em um computador para a compreensão humana.

O estudo do universo com o auxílio de telescópios eletromagnéticos (astronomia eletromagnética) foi iniciado por Galileu quando construiu um pequeno telescópio óptico, apontou-o para Júpiter e revelou a existência das quatro grandes luas do planeta. Durante os quatrocentos anos transcorridos desde então, a astronomia eletromagnética revolucionou por completo nosso entendimento do universo.

Em 1972, meus alunos e eu passamos a pensar no que poderíamos aprender sobre o universo usando ondas gravitacionais:

começamos a desenvolver uma visão para a astronomia de ondas gravitacionais. Como as ondas gravitacionais são uma forma de distorção espacial, elas são produzidas com mais intensidade por objetos que em si são compostos inteira ou parcialmente de espaço-tempo distorcidos — ou seja, principalmente por buracos negros. Concluimos que as ondas gravitacionais são a ferramenta ideal para explorar e testar os insights de Stephen sobre eles.

De uma forma mais geral — ao que nos pareceu —, a diferença entre as ondas gravitacionais e as ondas eletromagnéticas é tão radical que nos aproxima de uma revolução em nosso entendimento do universo, comparável talvez à extraordinária revolução eletromagnética que se seguiu a Galileu — *se* essas ondas elusivas pudessem ser detectadas e monitoradas. Mas isso era uma grande incógnita: estimamos que as ondas gravitacionais banhando a Terra são tão fracas que os espelhos nas extremidades do dispositivo em forma de L de Rai Weiss fariam um movimento de vaivém entre si de não mais que 1/100 do diâmetro de um próton (ou seja, 1/10.000.000 do tamanho de um átomo), mesmo se a separação entre os espelhos fosse de vários quilômetros. O desafio de medir movimentos tão minúsculos era gigantesco.

Assim, durante esse ano glorioso, com Stephen e meus grupos de pesquisa juntos no Caltech, passei grande parte do meu tempo explorando as perspectivas de sucesso para as ondas gravitacionais. Stephen foi de grande ajuda nessa tarefa pois, vários

anos antes, ele e Gary Gibbons, seu aluno, projetaram um detector de partículas (o qual nunca usaram).

Pouco após o regresso de Stephen a Cambridge, minha busca rendeu frutos com um intenso debate até altas horas entre Rai Weiss e eu em seu quarto de hotel em Washington, D.C. Fiquei convencido de que as perspectivas de sucesso eram boas o bastante para eu dedicar a maior parte de minha carreira — e da pesquisa de meus futuros alunos — a ajudar Rai e outros cientistas a consumir nossa visão das ondas gravitacionais. E o resto da história todo mundo já sabe.

No dia 14 de setembro de 2015, os detectores de ondas gravitacionais do observatório LIGO (construídos por uma equipe de mil pessoas no projeto fundado por Rai, Ronald Drever e eu, e organizado, executado e liderado por Barry Barish) registraram e monitoraram ondas gravitacionais pela primeira vez. Comparando os padrões de onda com previsões obtidas em simulações de computador, nossa equipe concluiu que as ondas foram produzidas quando dois buracos negros pesados, a 1,3 bilhão de anos-luz da Terra, colidiram. Era a aurora da astronomia de ondas gravitacionais. Nossa equipe conquistara para elas o que Galileu conquistara para as ondas eletromagnéticas.

Estou confiante de que, ao longo das décadas seguintes, a próxima geração de astrônomos de ondas gravitacionais irá usá-las não só para testar as leis de Stephen para a física dos buracos negros, como também para detectar e monitorar ondas gravitacionais oriundas do nascimento singular de nosso universo e,

desse modo, testar as ideias de Stephen e de outros sobre como nosso universo veio a existir.

Entre 1974 a 1975, durante o glorioso ano em que passei me debatendo com as ondas gravitacionais, Stephen chefiava nosso grupo conjunto de pesquisa sobre buracos negros quando teve um insight ainda mais radical do que sua descoberta da radiação Hawking. Stephen forneceu uma prova fascinante, *quase* irrefutável, de que, em um buraco negro que se forma e posteriormente se extingue por completo, emitindo radiação, a informação que entrou nele não consegue mais sair. Ela é inevitavelmente perdida.

Isso é radical, pois as leis da física quântica insistem inequivocamente que uma informação nunca pode se perder totalmente. Assim, se Stephen estava certo, os buracos negros violam uma das leis mais fundamentais da mecânica quântica.

Como isso poderia ocorrer? A evaporação de um buraco negro é governada pelas leis combinadas da mecânica quântica e da relatividade geral — as leis não muito bem compreendidas da gravitação quântica; e assim, raciocinou Stephen, o tórrido casamento da relatividade com a física quântica deve levar à destruição da informação.

A maioria dos físicos teóricos acha essa conclusão abominável; são muito céticos em relação a ela. Desse modo, por 44 anos eles têm se debruçado sobre o assim chamado paradoxo da perda de informação. É uma busca que vale o esforço e a agonia implicados, uma vez que esse paradoxo é uma chave poderosa

para a compreensão das leis da gravitação quântica. Em 2003, o próprio Stephen descobriu uma possível maneira de a informação escapar durante a evaporação do buraco negro, mas isso não aplacou as dificuldades dos teóricos. Stephen não *demonstrou* que a informação escapa, de modo que a busca continua.

Em meu discurso durante o enterro de suas cinzas na abadia de Westminster, celebrei essa busca com as seguintes palavras: “Newton nos deu respostas. Hawking nos deu perguntas. E as perguntas de Hawking, por sua vez, continuam a dar frutos, gerando descobertas décadas depois. Quando finalmente dominarmos as leis da gravitação quântica e compreendermos por completo o nascimento do universo, decerto será em grande medida por estarmos nos ombros de Hawking.”



Assim como aquele período luminoso de 1974 a 1975 foi apenas o início da minha procura pela onda gravitacional, foi igualmente o início da jornada de Stephen pelo entendimento detalhado das leis da gravitação quântica e pelo que essas leis dizem sobre a verdadeira natureza da informação e aleatoriedade de um buraco negro, das singularidades dentro deles e do nascimento singular de nosso universo — em suma, a verdadeira natureza do nascimento e da morte do tempo.

Essas são grandes questões. Muito grandes.

Eu me esquivara das grandes questões. Não tenho habilidade, sabedoria e autoconfiança suficientes para tentar respondê-las.

Stephen, por outro lado, sempre se sentiu atraído por grandes questões, estivessem ou não profundamente enraizadas em sua ciência. Ele, sim, tinha a habilidade, a sabedoria e a autoconfiança necessárias.

Este livro é uma compilação de suas respostas às grandes questões, respostas nas quais ainda estava trabalhando um pouco antes de morrer.

As respostas de Stephen a seis das questões deste livro estão profundamente enraizadas em sua ciência. (Deus existe? Como tudo começou? Podemos prever o futuro? O que há dentro de um buraco negro? A viagem no tempo é possível? Como moldaremos o futuro?) Aqui ele discutirá em profundidade os assuntos que descrevi brevemente nesta Introdução, e também muito mais.

É impossível que as respostas às outras quatro grandes questões estejam vinculadas de forma sólida à sua ciência. (Sobreviveremos na Terra? Existe outra vida inteligente no universo? Deveríamos colonizar o espaço? A inteligência artificial vai nos superar?) Não obstante, suas respostas denotam profunda sabedoria e criatividade, como não poderia deixar de ser.

Espero que você ache suas respostas tão estimulantes e perceptivas quanto eu achei. Aproveite!

Kip S. Thorne
Julho de 2018