



# Teoria das Cordas

Para  
**leigos**

**Andrew Zimmerman Jones com  
Daniel Robbins**



ALTA BOOKS  
GRUPO EDITORIAL  
Rio de Janeiro, 2023

# Sumário Resumido

|   |     |
|---|-----|
| <b>Introdução</b> .....   | 1   |
| <b>Parte 1: Teoria das Cordas, Muito Prazer</b> .....                                       | 7   |
| <b>CAPÍTULO 1:</b> Afinal, o Que É Teoria das Cordas? .....                                 | 9   |
| <b>CAPÍTULO 2:</b> A Estrada da Física Termina na Gravidade Quântica .....                  | 23  |
| <b>CAPÍTULO 3:</b> Vitórias e Fracassos da Teoria das Cordas .....                          | 37  |
| <b>Parte 2: A Física que Sustenta a Teoria das Cordas</b> ..                                | 47  |
| <b>CAPÍTULO 4:</b> Em Contexto: Entendendo o Método Científico .....                        | 49  |
| <b>CAPÍTULO 5:</b> O Que Você Deve Saber sobre Física Clássica .....                        | 61  |
| <b>CAPÍTULO 6:</b> Revolucionando o Tempo e o Espaço: Relatividade<br>de Einstein .....     | 81  |
| <b>CAPÍTULO 7:</b> Revendo o Básico da Teoria Quântica .....                                | 99  |
| <b>CAPÍTULO 8:</b> O Modelo Padrão da Física de Partículas .....                            | 119 |
| <b>CAPÍTULO 9:</b> Física no Espaço: Cosmologia e Astrofísica .....                         | 137 |
| <b>Parte 3: Desenvolvendo a Teoria das Cordas:<br/>Uma Teoria de Tudo</b> .....             | 159 |
| <b>CAPÍTULO 10:</b> Primeiras Cordas e Supercordas: Revelando o Início<br>da Teoria .....   | 161 |
| <b>CAPÍTULO 11:</b> Teoria M e Além: Conciliando a Teoria das Cordas .....                  | 183 |
| <b>CAPÍTULO 12:</b> Testando a Teoria das Cordas .....                                      | 209 |
| <b>Parte 4: Cosmos Invisível: A Teoria das Cordas<br/>nos Limites do Conhecimento</b> ..... | 227 |
| <b>CAPÍTULO 13:</b> Abrindo Espaço para Dimensões Extras .....                              | 229 |
| <b>CAPÍTULO 14:</b> Nosso Universo — Teoria das Cordas, Cosmologia e<br>Astrofísica .....   | 245 |
| <b>CAPÍTULO 15:</b> Universos Paralelos: Em Dois Lugares ao Mesmo Tempo? ..                 | 263 |
| <b>CAPÍTULO 16:</b> Tem Tempo? A Noite É uma Criança .....                                  | 277 |

1

**Teoria das  
Cordas,  
Muito Prazer**

AMOSTRA

## NESTA PARTE . . .

Conheça a teoria das cordas, uma teoria científica ousada que tenta reconciliar todas as propriedades físicas do nosso Universo em uma única estrutura matemática unificada e coerente.

O objetivo da teoria das cordas é fazer com que a física quântica e a teoria da gravidade de Einstein (chamada relatividade geral) sejam boas parceiras. Nesta parte, explico por que os cientistas querem encontrar uma teoria da gravidade quântica, e depois avalio os sucessos e fracassos na aplicação da teoria das cordas a essa pesquisa.

Esta parte é como uma visão geral de todo o livro, por isso fique comigo. Os alicerces aqui colocados podem ajudar a explicar o Universo inteiro.

- » **Aprendendo que a teoria das cordas se baseia em cordas vibrantes de energia**
- » **Entendendo os principais conceitos**
- » **Esperando explicar o Universo inteiro com a teoria das cordas**
- » **Descobrimo que este estudo pode ser o objetivo científico do século XXI**

## Capítulo **1**

# Afinal, o que É Teoria das Cordas?

A teoria das cordas é um trabalho em andamento, então pode ser um pouco complicado tentar definir exatamente o que ela é ou quais são seus elementos fundamentais. Mesmo assim, é exatamente isso que tento fazer neste capítulo.

Aqui você obterá uma compreensão básica sobre a teoria das cordas. Esboço seus elementos-chave, que fornecem a base para a maior parte deste livro. Também discuto a possibilidade de a teoria das cordas poder ser o ponto de partida para uma “teoria de tudo”, que definiria todas as leis físicas do nosso Universo em uma fórmula matemática simples (ou não tão simples). Por último, analiso as razões pelas quais devemos nos importar com a teoria das cordas.

## As Cordas Vibrantes e o Universo

A *teoria das cordas* é a teoria física de que o Universo é composto por filamentos vibratórios de energia, expressos em linguagem matemática precisa. Essas *cordas* de energia representam o aspecto mais fundamental da natureza. A teoria também prevê outros objetos fundamentais, denominados *branas*. Toda a matéria do nosso Universo consiste nas vibrações dessas

cordas (e branas). Um resultado importante da teoria das cordas é que a gravidade é uma consequência natural da teoria, razão pela qual os cientistas acreditam que a teoria possa ter a resposta para uma possível união da gravidade com as outras forças que afetam a matéria.



DICA

Deixe-me reiterar algo importante: a teoria das cordas é uma teoria *matemática*. Ela se baseia em equações matemáticas que podem ser interpretadas de certas maneiras. Se você nunca estudou física antes, isso pode parecer estranho, mas *todas* as teorias físicas são expressas na linguagem da matemática. Neste livro, evito os cálculos matemáticos e tento chegar ao cerne do que a teoria está nos dizendo sobre o universo físico.



LEMBRE-SE

Neste momento, ninguém sabe exatamente como será a versão final da teoria das cordas. Os cientistas têm algumas noções vagas sobre os elementos gerais que existirão dentro dela, mas ninguém chegou à equação final que representa toda a teoria das cordas no nosso Universo, e as experiências ainda não foram capazes de confirmá-la (embora também ainda não a tenham refutado com sucesso). Os físicos criaram versões simplificadas da equação, mas ela não descreve bem o nosso Universo... ainda.

## Usando conceitos minúsculos e gigantes para criar uma teoria de tudo

A teoria das cordas é um tipo de física teórica de alta energia, praticada em grande parte por físicos de partículas. É uma *teoria quântica de campo* (veja o box “O que é a teoria quântica de campo?”) que descreve as partículas e as forças no nosso Universo com base na forma como as dimensões especiais extras dentro da teoria são embrulhadas em um pacote muito pequeno (um processo chamado *compactificação*). Esse é o poder da teoria das cordas — utilizar as cordas fundamentais e a forma como as dimensões extras são compactadas para fornecer uma descrição geométrica de todas as partículas e forças conhecidas da física moderna.

Entre as forças necessárias a serem descritas, está, evidentemente, a gravidade. Como a teoria das cordas é uma teoria quântica de campo, isso significa que a teoria das cordas seria uma teoria quântica da gravidade, conhecida como *gravidade quântica*. A teoria da gravidade estabelecida, que é a relatividade geral, tem um espaço-tempo fluido e dinâmico, e um aspecto da teoria das cordas que ainda está sendo trabalhado é conseguir que esse tipo de espaço-tempo surja da teoria.

As principais realizações da teoria das cordas são conceitos que não podemos ver, a menos que saibamos interpretar as equações físicas. A teoria das cordas não utiliza experiências que forneçam novos conhecimentos, mas revelou profundas relações matemáticas dentro das equações, que levam os físicos a acreditar que devem ser verdadeiras. Tais propriedades e relações — chamadas no jargão de várias simetrias e dualidades, a eliminação de anomalias, e a explicação da entropia de buraco negro — são descritas nos Capítulos 10 e 11.

## O QUE É A TEORIA QUÂNTICA DE CAMPO?

Os físicos utilizam *campos* para descrever as coisas que não têm apenas uma posição particular, mas existem em todos os pontos do espaço. Por exemplo, podemos considerar a temperatura em uma sala como sendo um campo — perto de uma janela aberta ela pode ser diferente de perto de um fogão quente, e podemos imaginar medir a temperatura em cada ponto da sala. Uma *teoria de campo*, então, é um conjunto de regras que nos dizem como alguns campos se comportarão, por exemplo, como a temperatura na sala muda com o tempo.

Nos Capítulos 7 e 8, você descobrirá sobre uma das realizações mais importantes do século XX: o desenvolvimento da teoria quântica. Ela se refere a princípios que conduzem a fenômenos físicos aparentemente bizarros, que, no entanto, parecem ocorrer no mundo subatômico.

Combinando esses dois conceitos, obtemos a teoria quântica de campo: uma teoria de campo que obedece aos princípios da teoria quântica. Toda a física moderna das partículas é descrita por teorias quânticas de campo.

Nos últimos anos, tem havido muita controvérsia pública em torno da teoria das cordas, objeto de manchetes de jornal e na internet. Essas questões são abordadas na Parte 5, mas se resumem a perguntas fundamentais sobre como a ciência deve ser exercida. Os teóricos de cordas acreditam que seus métodos são sólidos, enquanto os críticos acreditam que são, na melhor das hipóteses, questionáveis. O tempo e as evidências experimentais dirão qual dos lados apresentou o melhor argumento.

### Dando uma espiada nas origens da teoria

A teoria das cordas foi originalmente desenvolvida em 1968 como uma teoria que tentava explicar o comportamento dos *hádrons* (como prótons e nêutrons, as partículas que compõem um núcleo atômico) dentro dos aceleradores de partículas. Os físicos depois perceberam que essa teoria também poderia ser utilizada para explicar alguns aspectos da gravidade.

Durante mais de uma década, a teoria das cordas foi abandonada pela maioria dos físicos, principalmente porque exigia um grande número de dimensões extras invisíveis. Ela voltou a ganhar destaque em meados da década de 1980, quando os físicos conseguiram provar que era uma teoria matematicamente consistente.

Em meados da década de 1990, a teoria das cordas foi atualizada e se tornou mais complexa, chamada *teoria M*, que contém mais objetos do que apenas cordas. Esses novos objetos foram denominados *branas* e podiam ter de zero a nove dimensões. As teorias anteriores das cordas (que agora também incluem as branas) eram vistas como aproximações da teoria M, mais completa.



LEMBRE-SE

Tecnicamente, a teoria M moderna é mais do que a teoria das cordas tradicional, mas o nome “teoria das cordas” ainda é muito usado com referência à teoria M e às várias teorias que surgiram dela. (Mesmo as teorias originais das supercordas demonstraram incluir branas.) Minha convenção neste livro é fazer referência às teorias que contêm branas, que são variantes da teoria M e das teorias originais das cordas, usando o termo “teoria das cordas”.

## Apresentando os Elementos Essenciais da Teoria das Cordas

Cinco ideias essenciais estão no cerne da teoria das cordas e voltam a surgir repetidamente. É melhor ir se familiarizando com elas logo de cara:

- » A teoria das cordas prevê que todos os objetos em nosso Universo são compostos por filamentos (e membranas) vibratórios de energia.
- » A teoria das cordas tenta conciliar a relatividade geral (gravidade) com a física quântica.
- » A teoria das cordas proporciona uma forma de unificar todas as forças fundamentais do Universo.
- » A teoria das cordas prevê uma nova ligação (chamada *supersimetria*) entre dois tipos fundamentalmente diferentes de partículas, os bósons e os férmions.
- » A teoria das cordas prevê uma série de dimensões extras (geralmente não observáveis) para o Universo.

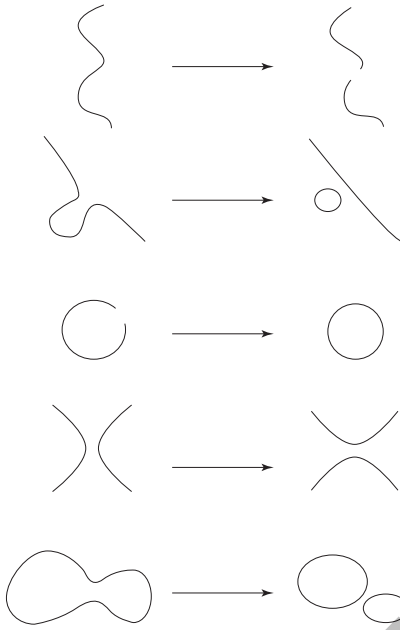
Nas próximas seções, apresento-o ao básico dessas ideias.

### Cordas e branas

Quando a teoria foi originalmente desenvolvida nos anos 1970, os filamentos de energia na teoria das cordas eram considerados objetos unidimensionais: cordas. (*Unidimensional* indica que a corda tem apenas uma dimensão, o comprimento, ao contrário de um quadrado, por exemplo, que tem dimensões tanto de comprimento como de altura.)

Essas cordas tinham duas formas — fechadas e abertas. Uma corda aberta tem pontas que não se tocam, enquanto uma corda fechada é um loop sem extremidade aberta. Descobriu-se posteriormente que essas primeiras cordas, chamadas cordas de Tipo I, podiam passar por cinco tipos básicos de interações, como mostra a Figura 1-1.





**FIGURA 1-1:** As cordas de Tipo I podem passar por cinco interações fundamentais, baseadas em diferentes formas de união e divisão.



DICA

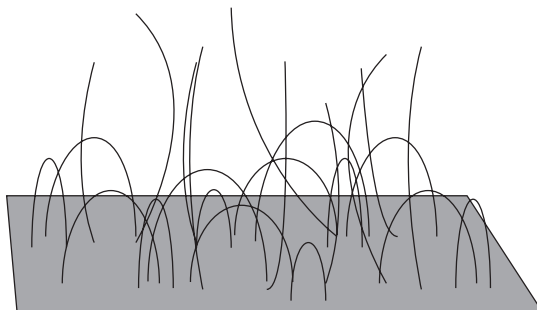


LEMBRE-SE

As interações são baseadas na capacidade de uma corda de ter pontas unidas e divididas. Como as pontas das cordas abertas podem se unir para formar cordas fechadas, não é possível desenvolver uma teoria das cordas sem cordas fechadas.

Isso se demonstrou ser importante, pois as cordas fechadas têm propriedades com as quais os físicos acreditam poder descrever a gravidade! Ou seja, em vez de ser apenas uma teoria de partículas de matéria, os físicos começaram a perceber que a teoria das cordas pode também explicar a gravidade e o comportamento das partículas.

Ao longo dos anos, descobriu-se que a teoria exigia outros objetos que não apenas cordas. Eles podem ser vistos como membranas, ou *branas*. As cordas podem se prender com uma ou ambas extremidades a essas branas. Uma brana bidimensional (chamada D2-brana) é mostrada na Figura 1-2. (Veja mais sobre branas no Capítulo 11.)



**FIGURA 1-2:** Na teoria das cordas, as cordas se prendem às branas.

## Gravidade quântica

A física moderna tem duas leis científicas básicas: a física quântica e a relatividade geral. Elas representam campos de estudo radicalmente diferentes. A *física quântica* estuda os menores objetos da natureza, enquanto a *relatividade* tende a estudar a natureza na escala de planetas, galáxias e do Universo como um todo. (Obviamente, a gravidade também afeta as pequenas partículas, e a relatividade também é responsável por isso.) As teorias que tentam unificar essas duas leis são as de *gravidade quântica*, e a mais promissora de todas elas atualmente é a teoria das cordas.

As cordas fechadas da teoria das cordas (veja a seção anterior) correspondem ao comportamento esperado da gravidade. Especificamente, elas têm propriedades que correspondem ao *gráviton* há muito procurado, uma partícula que transportaria a força da gravidade entre objetos.

A gravidade quântica é o tema do Capítulo 2, onde abordo essa ideia com muito mais profundidade.

## Unificação das forças

Andando de mãos dadas com a questão da gravidade quântica, a teoria das cordas tenta juntar as quatro forças no Universo — força eletromagnética, força nuclear forte, força nuclear fraca e gravidade — em apenas uma teoria unificada. Em nosso Universo, essas forças fundamentais aparecem como quatro fenômenos diferentes, mas os teóricos de cordas acreditam que no Universo primitivo (quando havia níveis de energia incrivelmente elevados) elas seriam todas descritas por cordas que interagem entre si. (Se nunca ouviu falar de algumas dessas forças, não se preocupe! São analisadas individualmente com mais detalhes no Capítulo 2 e ao longo da Parte 2.)

## Supersimetria

Todas as partículas no Universo podem ser divididas em dois tipos: os bósons e os férmions. (Esses tipos de partículas são explicados com mais detalhes no Capítulo 8.) A teoria das cordas prevê que existe um tipo de conexão, chamada *supersimetria*, entre esses dois tipos de partículas. Sob a supersimetria, deve existir um férmion para cada bóson e um bóson para cada férmion. Infelizmente, as experiências ainda não detectaram tais partículas extras.

A supersimetria é uma relação matemática específica entre certos elementos das equações físicas. Foi descoberta fora da teoria das cordas, embora sua incorporação nessa teoria tenha transformado a teoria em teoria das cordas supersimétricas (ou teoria das supercordas) em meados da década de 1970. (Veja mais detalhes sobre a supersimetria no Capítulo 10.)

Um benefício da supersimetria é que ela simplifica enormemente as equações da teoria das cordas, permitindo que certos termos sejam cancelados. Sem a supersimetria, as equações resultam em inconsistências físicas, como valores infinitos e níveis de energia imaginários.

Visto que os cientistas não observaram as partículas previstas pela supersimetria, ela ainda é uma suposição teórica. Muitos físicos acreditam que a razão pela qual ninguém as observou é porque é necessário muita energia para gerá-las. (A energia está relacionada com a massa de acordo com a famosa equação de Einstein,  $E = mc^2$ , então é necessária energia para criar uma partícula.) Talvez tenham existido no Universo primitivo, mas à medida que o Universo esfriava e a energia se espalhava após o Big Bang, essas partículas teriam se rompido e se transformado nos estados de menor energia que observamos hoje. (Talvez não pensemos em nosso Universo atual como sendo de energia particularmente baixa, mas, em comparação com o calor intenso dos primeiros momentos após o Big Bang, certamente é.)



DICA

Em outras palavras, as cordas que vibravam como partículas de maior energia perderam energia e se transformaram de um tipo de partícula (um tipo de vibração) em outro tipo de vibração de menor energia.

Os cientistas esperam que as observações astronômicas ou as experiências com aceleradores de partículas descubram algumas das partículas supersimétricas de alta energia, fornecendo suporte para tal previsão da teoria das cordas.

## Dimensões extras

Outro resultado matemático da teoria das cordas é que ela só faz sentido em um mundo com mais de três dimensões espaciais! (Nosso Universo tem três dimensões de espaço — esquerda/direita, cima/baixo e frente/trás.) Existem atualmente duas explicações possíveis para a localização das dimensões extras:

- » As dimensões espaciais extras (geralmente seis) são enroladas (*compactificadas*, na terminologia da teoria das cordas) em tamanhos incrivelmente pequenos, por isso nunca as percebemos.
- » Estamos presos em uma brana tridimensional, e as dimensões extras estendem-se para fora dela e são inacessíveis para nós.

Uma das principais áreas de pesquisa para os teóricos de cordas se trata de modelos matemáticos de como essas dimensões extras poderiam estar relacionadas com as nossas próprias. Alguns resultados recentes previram que os cientistas poderão em breve detectar tais dimensões extras (se existirem) nas próximas experiências, uma vez que talvez elas sejam maiores do que anteriormente esperado. (Veja, no Capítulo 13, mais detalhes sobre as dimensões extras.)

# Entendendo o Objetivo da Teoria das Cordas

Para muitos, o objetivo da teoria das cordas é ser uma “teoria de tudo” — ou seja, ser a teoria física única que, no nível mais fundamental, descreve toda a realidade física. Se bem-sucedida, a teoria das cordas poderia explicar muitas das questões fundamentais sobre nosso Universo.

## Explicando a matéria e a massa

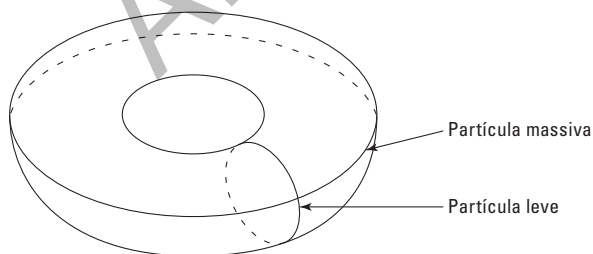
Um dos principais objetivos das pesquisas atuais da teoria das cordas é desenvolver uma solução da teoria contendo as partículas que realmente existem em nosso Universo.

A teoria das cordas começou como uma teoria para explicar as partículas, os hádrons, por exemplo, como sendo os diferentes modos vibracionais superiores de uma corda. Na maioria das formulações atuais da teoria das cordas, a matéria observada no nosso Universo vem das vibrações de energia mais baixa das cordas e das branas. (As vibrações de maior energia representam partículas mais energéticas que não existem atualmente em nosso Universo.)

A massa dessas partículas fundamentais se origina nas formas como as cordas e as branas estão envolvidas nas dimensões extras, compactificadas dentro da teoria, de formas bastante confusas e detalhadas.

Por exemplo, considere um caso simplificado em que as dimensões extras são enroladas no formato de uma rosquinha (denominado *toroide* por matemáticos e físicos), como na Figura 1-3.

**FIGURA 1-3:** Cordas se enrolam nas dimensões extras para criar partículas com massas diferentes.



Há duas formas de a corda se enrolar uma vez nesse formato:

- » Uma volta curta ao redor do tubo, passando pelo meio da rosquinha.
- » Uma volta longa que envolve todo o comprimento da rosquinha (como o fio que se enrola em um ioiô).



DICA

A volta curta seria uma partícula mais leve, enquanto a volta longa é uma partícula massiva. À medida que as cordas são enroladas em torno das dimensões compactificadas em forma de toroide, novas partículas com massas diferentes são obtidas.



LEMBRE-SE

Uma das principais razões que popularizaram a teoria das cordas é que a ideia — que o comprimento se traduz em massa — é muito simples e elegante. As dimensões compactificadas na teoria das cordas são muito mais elaboradas do que um simples toroide, mas funcionam da mesma forma em princípio.

É até mesmo possível (embora mais difícil de visualizar) que uma corda se enrole em ambas as direções simultaneamente — o que, mais uma vez, daria outra partícula tendo ainda outra massa. As branas também podem se enrolar em dimensões extras, criando ainda mais possibilidades.

## Definindo espaço e tempo

Em muitas versões da teoria das cordas, as dimensões extras do espaço são compactificadas em tamanho muito pequeno, não podendo ser observadas com nossa tecnologia atual. Tentar observar um espaço menor que esse tamanho compactificado proporcionaria resultados que não correspondem ao nosso entendimento de espaço-tempo. (Como verá no Capítulo 2, o comportamento do espaço-tempo nessas escalas minúsculas é uma das razões para uma busca da gravidade quântica.) Um dos maiores obstáculos da teoria das cordas é tentar descobrir como o espaço-tempo pode emergir da teoria.

No entanto, como regra, a teoria das cordas é desenvolvida com base na noção de espaço-tempo de Einstein (veja o Capítulo 6). A teoria de Einstein tem três dimensões espaciais e uma dimensão temporal. A teoria das cordas prevê mais algumas dimensões espaciais, mas não altera tanto as regras fundamentais do jogo, pelo menos com baixas energias.



LEMBRE-SE

Atualmente, não está claro se a teoria das cordas pode explicar a natureza fundamental do espaço e do tempo melhor do que Einstein. Nela, é quase como se as dimensões do espaço e do tempo do Universo fossem um pano de fundo para as interações das cordas, sem qualquer significado real por si só.

Algumas propostas foram desenvolvidas em relação a como isso poderia ser abordado, centrando-se principalmente no espaço-tempo como fenômeno emergente — ou seja, o espaço-tempo sai da soma total de todas as interações de cordas de uma forma que ainda não foi completamente trabalhada dentro da teoria.

No entanto, tais abordagens não correspondem à definição de alguns físicos, causando críticas à teoria. A maior concorrente da teoria das cordas, a gravidade quântica em loop, utiliza a quantização do espaço e do tempo como ponto de partida da sua própria teoria, como explica o Capítulo 18. Alguns acreditam que essa será, em última análise, outra abordagem à mesma teoria básica.

## Quantizando a gravidade

A maior realização da teoria das cordas, se for bem-sucedida, será mostrar que se trata de uma teoria quântica da gravidade. A atual teoria da gravidade, a relatividade geral, não permite os resultados da física quântica. Considerando que a física quântica coloca limitações ao comportamento de pequenos objetos, ela cria grandes inconsistências ao tentar examinar o Universo em escalas extremamente pequenas. (Veja, no Capítulo 7, mais informações sobre a física quântica.)

## A união faz a força

No momento, quatro forças fundamentais (mais precisamente chamadas pelos físicos de “interações”) são conhecidas pela física: gravidade, força eletromagnética, força nuclear fraca e força nuclear forte. A teoria das cordas cria uma estrutura em que todas essas quatro interações já fizeram parte da mesma força unificada do Universo.

Segundo essa teoria, como o Universo primitivo esfriou após o Big Bang, a força unificada começou a se separar nas diferentes forças que hoje experimentamos. As experiências com altas energias podem um dia nos permitir detectar a unificação dessas forças, embora tais experiências estejam bem fora do nosso domínio atual da tecnologia.

## Apreciando as Incríveis (e Controversas) Implicações da Teoria

Embora a teoria das cordas seja fascinante por si só, o que pode se revelar ainda mais intrigante são as possibilidades que dela resultam. Esses tópicos são explorados em maior profundidade ao longo do livro e são o foco das Partes 3 e 4.

## Cenário de possíveis teorias

Uma das descobertas mais inesperadas e perturbadoras da teoria das cordas é a de que, em vez de uma única teoria, pode haver um grande número de teorias possíveis (ou, mais precisamente, soluções possíveis para a teoria) — possivelmente até  $10^{500}$  soluções diferentes! (Isso significa 1 seguido de 500 zeros!) Ao passo que esse número enorme provocou uma crise entre alguns teóricos de cordas, outros abraçaram o fato como uma virtude, afirmando que isso significa que a teoria das cordas é muito rica. A fim de envolverem a mente em tantas teorias possíveis, alguns teóricos de cordas

se voltaram ao *princípio antrópico*, que tenta explicar as propriedades do nosso Universo como resultado de nossa presença nele. Outros ainda não têm qualquer problema com um número tão vasto, na verdade, até o esperavam, em vez de o tentarem explicar, apenas tentando mensurar a solução que se aplica ao nosso Universo.

Com um número tão grande de teorias disponíveis, o princípio antrópico permite que um físico utilize o fato de estarmos aqui para escolher apenas as teorias que têm parâmetros físicos que nos permitem estar aqui. Ou seja, nossa própria presença dita a escolha da lei física — ou será apenas que nossa presença é um dado observável, como a velocidade da luz?



LEMBRE-SE

A utilização do princípio antrópico é um dos aspectos mais controversos da teoria moderna das cordas. Mesmo alguns dos apoiadores mais fortes da teoria manifestaram preocupação quanto à sua aplicação, devido às aplicações sórdidas (e pouco científicas) para as quais foi usada no passado e ao seu sentimento de que tudo o que é necessário é uma observação do nosso Universo, sem nada de antrópico aplicado.

Como os céticos do princípio antrópico logo apontaram, os físicos só adotam o princípio antrópico quando não têm outras opções, e o abandonam se algo melhor aparecer. Resta saber se os teóricos encontrarão outra forma de se mover por esse cenário da teoria das cordas. (O Capítulo 11 tem mais detalhes sobre o princípio antrópico.)

## Universos paralelos

Algumas interpretações da teoria das cordas predizem que nosso Universo não é o único. De fato, nas versões mais extremas da teoria, existe um número infinito de outros universos, alguns dos quais contêm duplicatas exatas do nosso próprio.

Por mais maluca que seja essa teoria, ela é prevista pelas pesquisas atuais que estudam a própria natureza do cosmos. De fato, os universos paralelos não são apenas previstos pela teoria das cordas — uma visão da física quântica sugeriu a existência teórica de um certo tipo de universo paralelo durante mais de meio século. No Capítulo 15, exploro com mais detalhes o conceito científico de universos paralelos.

## Buracos de minhoca

A teoria da relatividade de Einstein prevê um espaço deformado chamado *buraco de minhoca* (também chamado *ponte de Einstein-Rosen*). Neste caso, duas regiões distantes do espaço estão ligadas por um buraco de minhoca mais curto, o que dá um atalho entre essas duas regiões distantes, como mostrado na Figura 1-4.