

PAUL NURSE

PRÉMIO NOBEL DA MEDICINA

O  
QUE é  
a VIDA?



---

Compreender a Biologia em 5 Lições

---

«O livro perfeito para compreender  
a extraordinária complexidade  
do que significa estar vivo.»

**Bill Bryson**

# ÍNDICE

---

<b>Introdução</b>	9
<b>1. A célula</b>	
<i>O átomo da biologia</i>	13
<b>2. O gene</b>	
<i>O teste do tempo</i>	23
<b>3. Evolução através da seleção natural</b>	
<i>Acaso e necessidade</i>	47
<b>4. A vida enquanto química</b>	
<i>Ordem a partir do caos</i>	63
<b>5. A vida enquanto informação</b>	
<i>Trabalhar como um todo</i>	89
<b>Mudar o mundo</b>	119
<b>O que é a vida?</b>	139
<b>Agradecimentos</b>	157

## INTRODUÇÃO

---

É possível que tenha sido uma borboleta que primeiro me pôs a refletir seriamente sobre biologia. Era início da primavera e eu devia ter 12 ou 13 anos, e estava sentado no jardim quando uma trémula borboleta amarela voou por cima da cerca. Virou, pairou e pousou por um brevíssimo momento — apenas o suficiente para eu reparar nos veios e manchas elaborados das suas asas. Depois, uma sombra perturbou-a e tornou a levantar voo, desaparecendo no lado oposto da cerca. Essa borboleta intrincada e perfeitamente formada pôs-me a pensar. Era, ao mesmo tempo, tão diferente de mim e, no entanto, também familiar, de algum modo. Como eu, estava muito obviamente viva: podia mexer-se, podia sentir, podia reagir, parecia tão cheia de *propósito*. Dei por mim a interrogar-me: o que significa realmente estar vivo? Em suma, o que é a vida?

Tenho refletido sobre esta pergunta durante grande parte da minha vida, mas não é fácil encontrar uma resposta satisfatória. Surpreendentemente, talvez não exista uma definição convencional de vida, embora os cientistas se tenham debatido com esta questão em todas as eras. Até o título deste livro, *O que é a vida?*, foi descaradamente roubado a um físico, Erwin Schrödinger, que publicou um influente livro com o mesmo título em 1944. Schrödinger tinha como foco principal um importante aspeto da vida: como é que os seres vivos mantinham

uma ordem e uma uniformidade tão impressionantes, geração após geração, num universo que, de acordo com a segunda lei da termodinâmica, está constantemente a avançar para um estado de desordem e de caos. Schrödinger considerava, com toda a razão, que esta era uma pergunta importante e acreditava que era essencial compreender a herança genética — ou seja, o que são os genes e como são transmitidos fielmente entre gerações.

Neste livro, faço a mesma pergunta — O que é a vida? —, mas não considero que seja *apenas* a decifração da herança genética que nos dará uma resposta completa. Em vez disso, vou ter em conta cinco das melhores ideias da biologia, usando-as como degraus que podemos subir, um a um, para obter uma visão mais clara de como a vida funciona. A maior parte destas ideias já existe há algum tempo e, em geral, é bem aceite para explicar como funcionam os organismos vivos. No entanto, vou reunir estas ideias diferentes de maneiras novas, e usá-las para desenvolver um conjunto de princípios unificadores que definem a vida. Tenho esperança de que ajudem o leitor a ver o mundo com novos olhos.

Devo começar por dizer que é frequente nós, biólogos, evitarmos falar sobre grandes ideias e teorias grandiosas. No que a isso respeita, somos bastante diferentes dos físicos. Por vezes, damos a impressão de nos sentirmos mais confortáveis mergulhando em pormenores, inventários e descrições, quer se trate de fazer a listagem de todas as espécies existentes num habitat específico, de contar o número de pelos das patas de um besouro ou de sequenciar milhares de genes. Talvez seja a diversidade desconcertante e até avassaladora da natureza que faz com que pareça difícil procurar teorias simples e ideias unificadoras. Mas ideias importantes e abrangentes deste tipo existem *efetivamente* em biologia e ajudam-nos a compreender a vida em toda a sua complexidade.

As cinco ideias que irei explicar ao leitor são as seguintes: «A célula», «O gene», «A evolução através da seleção natural», «A vida enquanto química» e «A vida enquanto informação». Além de explicar a origem destas ideias, o porquê de serem importantes e como interagem, quero mostrar que continuam a mudar e a ser desenvolvidas atualmente, à medida que cientistas de todo o mundo fazem novas descobertas. Quero igualmente proporcionar uma noção do que se sente ao estar-se envolvido na descoberta científica, pelo que lhe irei apresentar os cientistas responsáveis por estes progressos, alguns dos quais conheci pessoalmente. Irei também contar-lhe histórias das minhas próprias experiências ao fazer investigação em laboratório, incluindo os palpites, as frustrações, os golpes de sorte e os raros — mas maravilhosos — momentos de descobertas genuinamente novas. O meu objetivo é que o leitor partilhe a emoção da descoberta científica e que sinta a satisfação que advém da crescente compreensão do mundo natural.

A ação do homem está a levar o nosso clima e muitos dos ecossistemas que este sustenta até aos limites daquilo que conseguem suportar — ou até além desses limites. Para manter a vida tal como a conhecemos, vamos precisar de todas as informações que conseguirmos obter através do estudo do mundo vivo. É por isso que, nos próximos anos e décadas, a biologia irá, cada vez mais, influenciar as escolhas que fazemos sobre o modo como as pessoas vivem, nascem, se alimentam, são protegidas de pandemias e são curadas. Irei descrever algumas das aplicações do conhecimento biológico e as difíceis cedências e incertezas éticas, bem como as possíveis consequências involuntárias a que as mesmas podem dar origem. No entanto, antes de podermos juntar-nos aos crescentes debates que rodeiam estes temas, temos primeiro de perguntar o que é a vida e como funciona.

Vivemos num universo vasto e deslumbrante, mas a vida que desabrocha aqui mesmo, no nosso minúsculo canto desse todo maior, é uma das suas partes mais fascinantes e misteriosas. As cinco ideias apresentadas neste livro funcionarão como degraus que iremos subindo, revelando progressivamente princípios que definem a vida na Terra. Isto também nos ajudará a refletir sobre como a vida no nosso planeta pode ter começado e sobre como poderá ser a vida se alguma vez a descobriremos noutros locais do universo. Seja qual for o ponto de partida do leitor — mesmo que pense que sabe pouco ou nada sobre ciências —, o meu objetivo é que, quando tiver acabado de ler o livro, tenha uma melhor noção de como você, eu, aquela delicada borboleta amarela, bem como todos os outros seres vivos do nosso planeta, estamos ligados.

Tenho esperança de que, juntos, fiquemos mais próximos de compreender o que é a vida.

# 1.

## A CÉLULA

---

### *O átomo da biologia*

Vi a minha primeira célula quando andava na escola, não muito depois do meu encontro com a borboleta amarela. A minha turma tinha germinado cebolas e esmagado as raízes numa lâmina de microscópio, para ver de que eram feitas. O nosso professor de biologia, Keith Neal, que era inspirador, explicou-nos que iríamos observar células, a unidade de vida básica. E ali estavam elas: conjuntos organizados de células semelhantes a caixas, todos empilhados em colunas ordenadas. Era extremamente impressionante que o crescimento e a divisão dessas minúsculas células fosse suficiente para empurrar as raízes de uma cebola para dentro do solo, de maneira a fornecerem água, nutrientes e fixação à planta em crescimento.

À medida que fui aprendendo mais sobre as células, a sensação de assombro que sentia não parou de aumentar. As células têm uma incrível variedade de formatos e tamanhos. A maior parte delas é demasiado pequena para ser vista a olho nu — são verdadeiramente minúsculas. As células individuais de um tipo de bactéria parasitária que pode infetar a bexiga podem alinhar-se lado a lado, cabendo 3000 no espaço de um milímetro. Outras células são enormes. Se o leitor comeu um ovo

ao pequeno-almoço, considere o facto de a gema ser uma única célula. Algumas células do nosso corpo também são enormes. Existem, por exemplo, neurónios individuais que vão da base da coluna vertebral até à ponta do dedo grande do pé. Isso significa que cada uma dessas células pode ter aproximadamente um metro de comprimento!

Por mais surpreendente que seja toda esta diversidade, para mim, o mais interessante é aquilo que todas as células têm em comum. Os cientistas estão sempre interessados em identificar unidades fundamentais, cujo melhor exemplo é o átomo, a unidade básica de matéria. A célula é o átomo da biologia. As células não só são a unidade básica estrutural de todos os organismos vivos como também são a unidade básica funcional da vida. O que quero dizer com isto é que as células são as entidades mais pequenas que têm as características fundamentais da vida. Isto constitui a base daquilo a que os biólogos chamam *teoria celular*: tanto quanto sabemos, todos os seres vivos existentes no planeta são uma célula ou são constituídos por um conjunto de células. A célula é o organismo mais simples relativamente ao qual se pode afirmar, com toda a certeza, que está vivo.

A teoria celular tem cerca de um século e meio e tornou-se um dos pilares fundamentais da biologia. Tendo em conta a importância desta ideia, no que respeita a compreender a biologia, parece-me surpreendente que não tenha despertado a imaginação do público em maior medida. É possível que isso se deva ao facto de a maior parte das pessoas, nas aulas de biologia da escola, ser ensinada a encarar as células como meros elementos constitutivos de seres mais complexos, quando a realidade é muito mais interessante.

A história da célula começa em 1665, com Robert Hooke, um membro da recém-criada Real Sociedade de Londres, uma das primeiras academias de ciências do mundo. Como acontece



frequentemente no caso das ciências, foi uma nova tecnologia que esteve na base da descoberta de Hooke. Uma vez que a maioria das células é demasiado pequena para ser vista a olho nu, foi preciso esperar pela invenção do microscópio, no início do século XVII, para a sua descoberta ter lugar. É frequente os cientistas serem uma combinação de teóricos e artesãos habilidosos, e não há dúvida de que isso se aplicava a Hooke, que se sentia tão confortável a explorar as fronteiras da física, da arquitetura ou da biologia como a inventar instrumentos científicos. Hooke construiu os seus próprios microscópios, que depois utilizou para explorar os estranhos mundos inacessíveis à visão a olho nu.

Uma das coisas que Hooke analisou foi uma fina lâmina de cortiça. Ele viu que a cortiça era composta por fila atrás de fila de cavidades com paredes, muito semelhantes às células da raiz de cebola que eu vi 300 anos mais tarde, enquanto estudante. Hooke deu à sua descoberta o nome de células, da palavra latina *cella*, que significa pequeno quarto ou cubículo. Nessa época, Hooke não sabia que as células que desenhara eram, na verdade, os componentes básicos não só de todas as plantas, como também de toda a vida.

Pouco tempo depois de Hooke, o investigador holandês Anton van Leeuwenhoek fez outra observação crucial quando descobriu a vida unicelular. Ele descobriu estes organismos microscópicos a nadarem em amostras de água de uma lagoa e a desenvolverem-se na placa bacteriana que raspou dos seus dentes: uma observação que o perturbou, uma vez que se orgulhava bastante da sua higiene dentária! Deu a estes minúsculos seres um nome ternurento que já não é utilizado atualmente: «animálculos». Os que encontrou a desenvolverem-se entre os seus dentes foram, na verdade, as primeiras bactérias alguma vez descritas. Leeuwenhoek tinha descoberto, por acaso, um campo totalmente novo de minúsculas formas de vida unicelulares.

Sabemos agora que as bactérias e outros tipos de células microbianas («micróbio» é um termo geral utilizado para designar todos os organismos microscópicos que conseguem viver enquanto seres unicelulares) são, de longe, as formas de vida mais comuns e variadas existentes na Terra. Existem em todos os ambientes, desde a atmosfera de elevada altitude até às profundezas da crosta terrestre. Sem elas, a vida pararia. Decompõem resíduos, criam solos, reciclam nutrientes e captam no ar o nitrogénio de que as plantas e os animais precisam para se desenvolverem. E quando os cientistas analisam os nossos corpos, constatam que, por cada uma das 30 biliões ou mais de células humanas, temos pelo menos uma célula microbiana. O leitor — e todos os outros seres humanos — não é uma entidade individual e isolada, mas sim uma enorme colónia em constante mudança composta por células humanas e não humanas. Estas células de bactérias e fungos microscópicos vivem *em* nós e *dentro* de nós, afetando a maneira como digerimos os alimentos e como combatemos as doenças.

No entanto, antes do século xvii, ninguém sabia sequer que estas células invisíveis existiam e, muito menos, que funcionavam de acordo com os mesmos princípios básicos que todas as outras formas de vida mais visíveis.

Durante o século xviii e o início do século xix, os microscópios e as técnicas microscópicas evoluíram e, passado pouco tempo, os cientistas começaram a identificar células de todo o tipo de criaturas diferentes. Alguns começaram a especular que todas as plantas e animais eram constituídos por conjuntos desses animálculos que Leeuwenhoek identificara várias gerações antes. Posteriormente, depois de uma longa gestação, nasceu por fim a teoria celular. Em 1839, o botânico Matthias Schleiden e o zoólogo Theodore Schwann resumiram trabalhos realizados por si próprios e por muitos outros investigadores e escreveram o seguinte: «Constatámos que todos os organismos

são compostos por partes essencialmente semelhantes, nomeadamente, por células». A ciência tinha chegado à esclarecedora conclusão de que a célula é a unidade estrutural fundamental da vida.

As implicações desta descoberta tornaram-se ainda mais profundas quando os biólogos se aperceberam de que cada célula é uma forma de vida por direito próprio. Esta ideia foi descoberta pelo inovador patologista Rudolf Virchow, quando escreveu, em 1858, que «todos os animais são uma soma de unidades vitais, cada uma das quais encerra em si mesma todas as características da vida».

O que isto significa é que todas as células estão, elas próprias, vivas. Os biólogos demonstram isto de maneira muito evidente quando retiram células dos corpos de animais ou plantas multicelulares e as mantêm vivas em recipientes de vidro ou de plástico que, muitas vezes, são recipientes de fundo plano chamados placas de Petri. Algumas destas linhagens celulares têm estado a desenvolver-se em laboratórios de todo o mundo há várias décadas. Elas permitem que os investigadores estudem processos biológicos sem precisarem de lidar com a complexidade de organismos completos. As células são ativas; podem movimentar-se e reagir ao ambiente, e os seus conteúdos estão sempre em movimento. Comparadas com um organismo completo, como um animal ou uma planta, as células podem parecer simples, mas não há dúvida de que estão vivas.

No entanto, a teoria celular, tal como formulada originalmente por Schleiden e Schwann, tinha uma importante lacuna: não descrevia o modo como as novas células se formavam. Essa lacuna foi colmatada quando os biólogos reconheceram que as células se reproduzem através da divisão de uma célula em duas, e concluíram que as células só podem formar-se através da divisão de uma célula preexistente em duas. Virchow popularizou esta ideia com um epigrama em latim: «*Omnis cellula*

*e cellula*», ou seja, todas as células vêm de células. Esta frase também ajudou a refutar a ideia incorreta, ainda popular junto de alguns cientistas dessa época, de que a vida advém sempre espontaneamente de matéria inerte — o que não é verdade.

A divisão das células é a base do crescimento e do desenvolvimento de todos os organismos vivos. É o primeiro passo essencial na transformação de um único óvulo uniforme e fertilizado de um animal num conjunto de células e depois, por fim, num ser vivo extremamente complexo e organizado, um embrião. Tudo começa com a divisão de uma célula, que produz duas células que podem assumir diferentes identidades. Todo o desenvolvimento do embrião, que ocorre a seguir, baseia-se neste mesmo processo — repetidos ciclos de divisão das células, seguidos da criação de um embrião com um padrão cada vez mais elaborado, à medida que as células se transformam em tecidos e órgãos cada vez mais especializados. Isto significa que todos os organismos vivos, independentemente do seu tamanho ou complexidade, emergem de uma única célula. Acho que todos nós respeitaríamos um bocadinho mais as células se nos lembrássemos que cada um de nós foi, a dada altura, uma única célula, que se formou quando um espermatozoide e um óvulo se fundiram, no momento em que fomos concebidos.

A divisão das células explica também as maneiras aparentemente milagrosas como o corpo sara. Se o leitor fizesse um corte no dedo com o rebordo desta página, seria a divisão das células localizada em volta do corte que iria sarar a ferida, ajudando-o a manter um corpo saudável. No entanto, os câncros são o lamentável contraponto à capacidade do corpo para instigar novos ciclos de divisão das células. O cancro é provocado pelo crescimento e divisão descontrolados de células que podem espalhar a sua malignidade, provocando lesões no corpo ou, até, a morte.

O desenvolvimento, a regeneração, a degeneração e a malignidade estão, todos eles, ligados a alterações nas propriedades das nossas células, tanto na doença como na saúde, e tanto na juventude como na velhice. Na verdade, a maior parte das doenças pode ser ligada a anomalias nas células, e a compreensão dessas anomalias nas células está na base do modo como desenvolvemos novas maneiras de tratar as doenças.

A teoria celular continua a influenciar a trajetória da investigação, tanto ao nível das ciências da vida como da prática da medicina. Do mesmo modo, também moldou drasticamente o rumo da minha vida. Desde que o meu eu de 13 anos espreitou por um microscópio e viu as células daquela raiz de cebola, sinto curiosidade pelas células e pela maneira como funcionam. Quando comecei a trabalhar como investigador no campo da biologia decidi estudar as células e, em particular, a maneira como elas se reproduzem e controlam a sua divisão.

As células com as quais comecei a trabalhar na década de 1970 são células de levedura, que a maior parte das pessoas pensa que só servem para fazer vinho, cerveja ou pão, e não para resolver problemas biológicos fundamentais. Mas a verdade é que são um excelente modelo para compreender como funcionam as células de organismos mais complexos. As células de levedura são surpreendentemente semelhantes às células das plantas e dos animais. Além disso, são pequenas, relativamente simples e desenvolvem-se de maneira rápida e barata quando são alimentadas com nutrientes simples. Em laboratório, cultivamo-las ou flutuando livremente num caldo líquido ou em cima de uma camada de gelatina numa placa de Petri de plástico, na qual formam colónias de cor creme com alguns milímetros de largura, cada uma das quais contendo muitos milhões de células. Apesar da sua simplicidade ou, mais precisamente, por causa da mesma, as células de levedura ajudaram-nos a compreender de que maneira as células se dividem na maior

parte dos organismos vivos, incluindo as células humanas. Grande parte do que sabemos sobre a divisão descontrolada das células cancerígenas adveio, primeiro, do estudo das humildes leveduras.

As células são a unidade básica da vida. São entidades vivas individuais, rodeadas por membranas compostas por lípidos semelhantes a gordura. No entanto, tal como os átomos contêm elétrons e prótons, as células também contêm componentes mais pequenos. Hoje em dia, os microscópios são extremamente potentes e os biólogos utilizam-nos para revelar as intrincadas e muitas vezes belíssimas estruturas que existem no interior das células. As maiores destas estruturas têm o nome de *organitos*, cada um dos quais está envolto na sua própria camada de membrana. Entre os organitos, o *núcleo* é o centro de controlo da célula, dado que contém as instruções genéticas inscritas nos cromossomas, enquanto as *mitocôndrias* — e podem existir centenas delas em determinadas células — atuam como centrais energéticas em miniatura, fornecendo à célula a energia de que precisa para se desenvolver e sobreviver. Há uma variedade de outros recetáculos e compartimentos no interior das células que realizam sofisticadas funções de logística, criando, decompondo ou reciclando partes das células, além de transportarem materiais para dentro e para fora da célula e pelo interior da mesma.

No entanto, nem todos os organismos vivos têm por base células que contêm estes organitos delimitados por membranas e com complexas estruturas internas. A presença ou a ausência de um núcleo delimitado por uma membrana divide a vida em dois ramos principais. Os organismos cujas células contêm um núcleo — como os animais, as plantas e os fungos — têm o nome de *eucariotas*. Aqueles que não têm um núcleo têm o nome de *procariotas*, sendo ou bactérias ou arqueobactérias. As arqueobactérias parecem ser semelhantes às bactérias, no que respeita ao seu tamanho e estrutura, mas, na verdade, são

parentes distantes destas. Em certos aspetos, o seu funcionamento molecular é mais semelhante ao dos eucariotas, como nós, do que ao das bactérias.

Uma parte vitalmente importante de uma célula, seja ela procariota ou eucariota, é a sua membrana externa. Embora tenha uma espessura de apenas duas moléculas, esta membrana forma uma «parede» ou barreira flexível que separa cada célula do seu ambiente, definindo o que é o «interior» e o que é o «exterior». Esta barreira é essencial, tanto ao nível filosófico quanto ao nível prático. Em última análise, explica porque é que o mundo vivo consegue resistir com sucesso à deslocação global do universo para a desordem e para o caos. Dentro das suas membranas isoladoras, as células conseguem estabelecer e cultivar a ordem de que precisam para funcionar, ao mesmo tempo que criam desordem nas envolvências locais exteriores à célula. Desse modo, a vida não viola a segunda lei da termodinâmica.

Todas as células conseguem detetar e reagir a mudanças no seu estado interno e no estado do mundo que as rodeia. Consequentemente, embora estejam separadas do ambiente em que vivem, estão em estreita comunicação com a sua envolvência. Além disso, estão também constantemente ativas e a trabalhar para manter as condições internas que lhes permitem sobreviver e prosperar. As células partilham essas características com organismos vivos mais visíveis, como é o caso da borboleta que observei em criança ou até de nós mesmos.

Na verdade, as células partilham muitas características com todos os tipos de animais, plantas e fungos. Crescem, reproduzem-se, asseguram a sua manutenção e, ao fazerem tudo isso, mostram um sentido de propósito: um imperativo de perseverar, de se manterem vivas e de se reproduzirem, aconteça o que acontecer. Todas as células, das bactérias que Leeuwenhoek encontrou entre os dentes aos neurónios que permitem que

esteja a ler estas palavras, partilham estas propriedades com todos os seres vivos. Compreender a maneira como as células funcionam contribui para compreender a maneira como a vida funciona.

Os genes, que iremos abordar em seguida, são essenciais para a existência das células. Codificam instruções que cada célula utiliza para se criar e se organizar a si mesma, e têm de ser transmitidos a cada nova geração quando as células e os organismos se reproduzem.



# Um livro fundamental, escrito por um dos maiores cientistas da atualidade.

A vida rodeia-nos — abundante, diversificada e extraordinária — e não para de nos surpreender. Mas o que significa realmente estar vivo? O que temos em comum com bactérias, insetos e árvores?

Paul Nurse, prémio Nobel da Medicina, dedicou grande parte da sua carreira a responder a estas perguntas, tendo como base a divisão celular.

Neste livro, assume o desafio de definir a vida, partindo dos cinco grandes conceitos da biologia: a célula, o gene, os processos da seleção natural, o tratamento da informação pelos organismos vivos e as reações químicas dos seres multicelulares. Indo às raízes da sua própria curiosidade e conhecimentos, e recorrendo às experiências pessoais, dentro e fora do laboratório, partilha com o leitor os desafios que enfrenta, os golpes de sorte que o surpreendem e os momentos verdadeiramente arrebatadores de descoberta.

Porque, para sobrevivermos aos desafios da atualidade — alterações climáticas, pandemias, perda de biodiversidade e segurança alimentar —, é essencial que entendamos o que é a vida.

«Sir Paul Nurse explica, de forma clara e elegante,  
como os processos da vida se desenvolvem.  
Aprendi muito.»

**Philip Pullman, autor bestseller**

 <p>com todas as letras</p> <p><b>20 20 editora</b></p>	<p>ISBN 978-989-564-341-7</p>  <p>9 789895 643417</p> <p>Divulgação Científica</p>
--	---