

# MANIPULAR DARWIN

COMO A ENGENHARIA GENÉTICA  
ESTÁ A TRANSFORMAR  
O FUTURO DA HUMANIDADE

JAMIE METZL

Tradução de Pedro Carvalho e Guerra

 **DESASSOSSEGO**  
LIVROS PARA PENSAR

*«A nossa vida é uma criação da nossa mente.»*

— GAUTAMA BUDDHA



# Índice



## INTRODUÇÃO

Entrando na Era Genética ♦ 11

## UM

Onde Darwin e Mendel Se Encontram ♦ 23

## DOIS

Subindo a Escada da Complexidade ♦ 52

## TRÊS

Descodificar a Identidade ♦ 67

## QUATRO

O Fim do Sexo ♦ 86

## CINCO

Centelhas Divinas e Pó de Fada ♦ 107

## SEIS

Reconstruir o Mundo Vivo ♦ 128

## SETE

Roubar a Imortalidade aos Deuses ♦ 150

## **OITO**

A Ética de nos Manipularmos a Nós Mesmos ♦ **182**

## **NOVE**

Contemos Multidões ♦ **206**

## **DEZ**

A Corrida às Armas da Raça Humana ♦ **236**

## **ONZE**

O Futuro da Humanidade ♦ **263**

*Guia de Envolvimento Político* ♦ **285**

*Notas* ♦ **287**

*Leituras Adicionais* ♦ **324**

*Índice Remissivo* ♦ **325**

*Agradecimentos* ♦ **333**

# Introdução

## ENTRANDO NA ERA DA GENÉTICA



«**P**orque está aqui?», perguntou a jovem rececionista. Era a minha primeira visita ao banco de esperma de Nova Iorque e já me estava a sentir algo desconfortável. «Acho apenas que é algo bom para a maioria das pessoas fazerem», disse com um encolher de ombros. «Falo por todo o mundo acerca do futuro da reprodução humana e digo a todos os que estão dispostos a ouvir-me e que queiram ter filhos que devem congelar os óvulos ou o esperma quando ainda estão na casa dos vinte. Estou apenas um pouco atrasado.»

Ela ergueu uma sobrancelha. *Cerca de vinte anos atrasado?* «Não compreendo. É um dador?»

«Não.»

«Vai realizar quimioterapia ou fazer algum tratamento médico que possa danificar o seu esperma?»

«Não.»

«Está nas forças armadas, prestes a ser enviado para uma zona de guerra?»

«Não.»

«A única categoria que me resta no meu formulário é *outros*», concluiu depois de uma pausa embaraçosa. «Quer que assinale essa?»

Sentindo-me já algo incerto, não me apetecia percorrer as opções que estava a considerar. Talvez eu, um dia, queira ter filhos, por isso o melhor será armazenar agora o meu esperma mais jovem. Talvez venha a oferecer o meu esperma para ser lançado para o espaço quando os seres humanos começarem a colonizar o resto do sistema solar. Talvez, como acredito, a nossa espécie

esteja a avançar em direção a um futuro geneticamente alterado no qual a maioria de nós conceberá a sua prole em laboratórios e não nas camas ou na parte de trás dos carros. Independentemente das possibilidades, começar agora era o primeiro passo.

«Então?», perguntou ela.

Sorri nervosamente, a minha mente processando o momento incrível na nossa história evolutiva em que as novas e revolucionárias tecnologias e a minha própria biologia pessoal se cruzavam neste gabinete antissético da Baixa de Manhattan.

Cientistas e teólogos podem debater se a primeira centelha de vida do nosso planeta teve a sua origem em fontes hidrotermais no fundo do oceano ou por inspiração divina (ou ambos), mas a maioria dos que acreditam na ciência reconhece que, por volta de há 3,8 mil milhões de anos, emergiram os primeiros organismos unicelulares. Estes microrganismos teriam perecido ao fim de uma geração se não conseguissem encontrar uma forma de reprodução. Mas a vida arranjou uma maneira, e os micróbios que começaram por se dividir foram aqueles capazes de manter as suas pequenas famílias microbianas. Se cada divisão destas primeiras células tivesse sido uma cópia exata do seu progenitor, o nosso mundo ainda seria ocupado única e exclusivamente por estas criaturas unicelulares, e o leitor não estaria a ler este livro. Mas não foi isso que aconteceu.

A história da nossa espécie é a história de pequenos erros e de outras alterações que surgiram incessantemente no processo de reprodução.

Ao fim de mil milhões de anos de estas pequenas variações criarem um grande número de modelos ligeiramente diferentes, um ou mais deles deram origem a organismos multicelulares simples. Ainda não seriam grande coisa, tendo em conta os padrões de hoje, mas estes organismos, contudo, tinham o potencial para introduzirem ainda mais diferenças à medida que se iam reproduzindo. Algumas destas variações deram a um tipo de organismo ou outro uma pequena vantagem na aquisição de comida ou na defesa em relação aos inimigos, garantindo-lhes a oportunidade de viver e mudar mais. Passados dois mil milhões e meio de anos, a mutação e a competição que impeliavam o progresso da vida deram mais um salto milagroso com o advento da reprodução sexual.

A reprodução sexual introduziu uma forma radicalmente nova de gerar diversidade quando a informação genética das mães e dos pais se recombinava de novas formas.<sup>1</sup> Este processo incrível sobrecarregou alguns destes organismos simples, que começaram a transformar-se loucamente, em especial por volta de há 540 milhões de anos, numa até então

inimaginável diversidade de vida, incluindo os peixes. Há cerca de 350 milhões de anos, alguns peixes emergiram das águas e evoluíram para dar origem aos mamíferos. Há cerca de trezentos mil anos, alguns desses mamíferos transformaram-se no *Homo sapiens*, ou seja, nós.

Esta é, basicamente, a nossa história evolutiva. Cada um de nós é um organismo unicelular que fez das suas durante quase quatro mil milhões de anos de mutações aleatórias e cujos antepassados venceram constantemente a concorrência numa luta interminável pela sobrevivência. Se os seus antepassados sobreviveram e procriaram, o leitor está aqui. Se não o fizeram, o leitor não está. O nome resumido disto é *evolução darwiniana*. Foi o que nos trouxe até aqui. Mas agora os princípios da evolução darwiniana estão, eles mesmos, em mutação.

A partir deste ponto de vista, grande parte da nossa mutação não será aleatória. Será autoconcebida.

A partir deste ponto, a nossa seleção não será natural. Será autodirigida.

A partir deste ponto, a nossa espécie irá assumir um controlo ativo sobre o processo evolutivo alterando geneticamente a nossa prole futura, transformando-a em algo diferente do que somos hoje. Estamos, por outras palavras, a iniciar um processo de *Manipular Darwin*.

Trata-se de uma ideia incrível com implicações monumentais.

A atual versão da nossa espécie *Homo sapiens* nunca foi um ponto final evolutivo, sendo antes uma paragem ao longo do caminho da nossa viagem evolutiva contínua. Para seguirmos em frente, iremos conduzir este processo como nunca antes através da nossa tecnologia, com sorte guiados pelos nossos melhores valores.

Se viajássemos mil anos para o passado, raptássemos um bebé e o trouxéssemos para o mundo de hoje, esta criança cresceria até à idade adulta indistinguível de qualquer outra pessoa. Mas se saltássemos de novo para a máquina do tempo e viajássemos mil anos a partir do dia de hoje para o futuro e fizéssemos o mesmo, o bebé que trouxéssemos seria um super-humano genético, tendo em consideração os padrões atuais. Ele ou ela seriam mais fortes e mais inteligentes do que os nossos filhos, resistentes a muitas doenças, com uma vida mais longa e teriam traços genéticos que, hoje em dia, associamos a seres humanos fora do normal, como determinadas formas de genialidade ou com perceções extrassensoriais superapuradas. Ele ou ela poderão, inclusivamente, ter novos traços que ainda não são conhecidos dos mundos humano ou animal, mas que são compostos a partir dos mesmos blocos biológicos que deram origem à grande diversidade de vida.

«A categoria *outros* serve?», perguntou a rececionista interrompendo o meu devaneio.

Inspirei fundo. «Talvez seja a melhor aposta.»

«Hum», murmurou ela, parecendo irritada com a minha aparente distração. «E durante quanto tempo gostaria de o armazenar?»

«Porque não começamos por cem anos? Depois vemos para onde isso nos leva.»

Ela fitou-me, desconfiada. «Lamento, senhor, mas os nossos planos são para um, três e cinco anos.»

A minha expressão facial traiu a minha preocupação. «Isso é muito menos do que aquilo que eu procurava.»

«Pode sempre renovar.»

«Isso são muitas renovações», disse eu com um encolher dos ombros. «Como posso saber que estarão por aqui durante tanto tempo quanto o que necessito?»

«Não se preocupe. Vão estar aqui. Acabámos de renovar o nosso escritório.»

Engoli em seco. Claramente, estávamos a pensar no futuro da reprodução de modos muito diferentes.

«Por favor, sente-se e preencha estes formulários», acrescentou ela, entregando-me uma prancheta, «chamá-lo-ei quando o doutor estiver pronto.»

Sentando-me nervosamente na rígida cadeira de plástico vermelho sob a doce música ambiente da sala de espera branca, sem adornos, preenchi os formulários e refleti sobre como tinha chegado àquele ponto. Voltei a recordar a estranha série de acontecimentos que me haviam deixado absolutamente obcecado com as tecnologias genéticas que irão alterar a trajetória evolutiva de todos os membros da nossa espécie, incluindo eu.

Tudo começou quando eu estava a trabalhar no Conselho de Segurança Nacional da Casa Branca, no segundo mandato da Administração Clinton. O meu então chefe e agora amigo próximo Richard Clarke estava a contar a quem o quisesse ouvir que o terrorismo era uma ameaça relevante para a segurança dos EUA e que os Estados Unidos necessitavam de perseguir de forma muito mais agressiva um terrorista obscuro chamado Osama bin Laden. Quando os aviões do 11 de Setembro chocaram contra as Torres Gémeas, a profecia de Dick e agora famoso memorando acerca da Al-Qaeda estava preso, ignorado, na caixa de correio do Presidente Bush.

Dick costumava dizer que, se todos em Washington estavam concentrados numa coisa, se podia ter a certeza de que havia algo muito mais importante a ser ignorado. A lição permaneceu comigo. Depois de ter deixado a Casa

Branca, continuei a pensar acerca dessas questões de importância crítica e subvalorizadas. A minha mente não deixava de regressar à revolução nascente na genética e na biotecnologia. Fiquei obcecado com a leitura de tudo aquilo que conseguia encontrar e com a localização de alguns dos cientistas e pensadores mais inteligentes do mundo, para aprender mais. Quando, por fim, senti que sabia o suficiente para ter algo para dizer, comecei a escrever artigos sobre as implicações para a segurança nacional da revolução genética em jornais de política estrangeira.

Certo dia, no início de 2008, recebi do nada uma chamada de um inteligente e excêntrico congressista, Brad Sherman da Califórnia. Então presidente do Subcomité para o Terrorismo, a Não-Proliferação e o Comércio do Comité para os Negócios Estrangeiros da Câmara dos Representantes, o congressista Sherman disse-me que tinham andado a pensar bastante na próxima geração de ameaças terroristas. Lera e apreciara um dos meus artigos e disse-me que queria realizar uma audiência do Congresso tendo em conta aquilo que eu havia escrito. Senti-me honrado quando me pediu que o ajudasse a preparar o evento, identificando outros potenciais participantes, e servindo como principal testemunha para a sua presciente audiência de junho de 2008: «Genetics and Other Human Modification Technologies» (Genética e Outras Tecnologias de Modificação Humana).

«Quando os nossos descendentes dentro de duzentos anos olharem para trás, para a era presente, e se perguntarem quais foram os maiores desafios de política externa do seu tempo», garanti no meu testemunho, «acredito que o terrorismo, por criticamente importante que seja, não estará no topo da sua lista. Estou aqui para testemunhar perante todos vós, hoje, porque acredito que o modo como nós, enquanto americanos e enquanto comunidade internacional, lidamos com as nossas novas capacidades para gerir e manipular a nossa configuração genética o será.»<sup>2</sup>

A atenção que acompanhou o testemunho no Congresso deu-me a confiança para acreditar que se tratava de um tema importante, de que necessitava de mergulhar mais fundo neste tópico infinitamente fascinante e em rápida mudança, e que tinha uma mensagem que valia a pena ser partilhada.

Escrevi cada vez mais em jornais de política e comecei a falar por todo o país e pelo mundo acerca do futuro da engenharia genética humana. À medida que continuei a aprender e me fui envolvendo, fiquei cada vez mais convencido de que nós, enquanto sociedade, não estávamos a fazer o suficiente para nos prepararmos para a revolução genética que se aproxima, mas temi que a minha mensagem não estivesse a passar. Com o passar do tempo, comecei a aperceber-me de que, para partilhar de um modo mais eficaz a minha

mensagem, necessitava de comunicar de um modo diferente. Se as minhas preleções acerca da política genética não estavam a passar, necessitava de voltar a olhar para o *kit* de ferramentas que utilizara antes.

Depois de ter publicado o meu primeiro livro, uma história importante, mas em grande medida não lida, acerca do genocídio do Camboja, carregada com milhares de notas de rodapé, apercebera-me de que o melhor veículo para contar essa história não era um denso tomo histórico, mas uma história. Contar histórias foi o que sempre fizemos. As histórias contadas nas grutas e em roda das fogueiras transformaram-se, recentemente, em romances, filmes e dramas televisivos. O meu segundo livro, e primeiro romance, *The Depths of the Sea*, explorava a tragédia da história cambojana, mas desta feita através de uma série de histórias que se entrecruzavam, de pessoas arrastadas para a fronteira tailandesa-cambojana depois da guerra do Vietname. O livro de história era um relato mais exato do cataclismo cambojano, mas o romance era muito mais legível.

Por isso, quando me deparei com o desafio, anos mais tarde, de tentar trazer as questões de importância vital relacionadas com a revolução genética para a vida para lá da minha escrita e prosa de não-ficção, recorri à mesma estratégia. Nos meus romances de ficção científica — *Genesis Code*, que explora as implicações da revolução genética, e *Eternal Sonata*, uma especulação acerca do futuro da extensão da vida — imaginei o que as tecnologias genéticas revolucionárias significarão para nós a um nível muito humano. Tentei trazer as pessoas para a história do nosso futuro genético de formas que pudessem ser mais prontamente absorvidas.

Mas depois aconteceu algo de inesperado durante as minhas turnés de apresentação do livro. As pessoas nos meus encontros ficavam algo entusiasmadas com as milícias apocalípticas, os espões intriguistas, os romances fluorescentes e as explosões estrondosas que tinha criado para dar vida ao meu mundo de ficção científica, mas os seus olhos abriam-se muito mais quando eu descrevia a verdadeira ciência da revolução genética e aquilo que parecia significar para nós, seres humanos. Quando explicava a ciência usando a linguagem e a narrativa de um romancista, as audiências pareciam compreender subitamente como os pequenos fragmentos de informação científica com que se haviam deparado ao longo do seu dia a dia se enquadravam na história do nosso futuro. Dei por mim a debater menos a ficção e a passar mais tempo a falar acerca da tecnologia muito real que tinha o potencial para transformar a nossa espécie de um modo fundamental.

As conversas animadas que ia tendo com as pessoas nas minhas turnés e noutros eventos desafiou-me a aprender mais e inspirou-me a fazer a mim

mesmo perguntas mais difíceis acerca do futuro da engenharia genética humana e a minha relação pessoal com ela.

Cheguei a meio dos quarenta sem as crianças que sempre presumira que haveria de ter, em parte devido à minha duradoura e não completamente racional fé na ciência, na vida saudável e na atitude positiva para controlar os ataques do tempo e a crueldade da biologia. No meu coração sou um otimista tecnológico, mas à medida que ia conjurando imagens do nosso mundo perante as minhas audiências, dei por mim a perguntar se acreditava verdadeiramente na magia da tecnologia tanto quanto professava.

Acreditaria eu, realmente, que o conhecimento obtido em cento e cinquenta anos de ciência genética era suficiente para alterar milhares de milhões de anos da nossa biologia evolucionista? Estaria mesmo disposto a apostar que as alterações genéticas que ajudariam os meus filhos futuros a serem mais saudáveis, mais inteligentes e mais fortes os fariam igualmente mais felizes? Sendo aluno de história, não temeria eu que as pessoas geneticamente melhoradas pudessem usar as suas capacidades avançadas para dominar todos os outros como as potências coloniais sempre fizeram? E como filho de um refugiado da Europa nazi, estaria eu disposto a aceitar a ideia de que pais pudessem, e até devessem, começar a selecionar e criar os seus filhos futuros com base em teorias genéticas pouco informadas?

Fossem quais fossem as minhas respostas, uma coisa era clara: depois de quase quatro mil milhões de anos de evolução de acordo com um conjunto de regras, a nossa espécie está prestes a começar a evoluir de acordo com outro.

No seu perspicaz romance de 1865 *Da Terra à Lua*, o romancista francês Jules Verne descreveu uma equipa de três homens que se lançava num projétil até à Lua e depois regressava de paraquedas. Em 1865, tratava-se de uma pura obra de ficção científica fantástica. Muito pouca da tecnologia que haveria de levar os homens à Lua um século depois tinha já sido inventada. Imaginar uma alunagem em 1865 era como imaginar os seres humanos a aterrarem num sistema solar diferente hoje — um dia poderá ser possível, mas não fazemos a mínima ideia de como o fazer. A ciência ainda não existe.

Um século depois, em 1962, o Presidente americano John F. Kennedy subia ao pódio em Houston para oferecer o seu famoso discurso que anunciava que os Estados Unidos iriam enviar o homem para a Lua até ao final da década. O Presidente Kennedy sentia-se confortável em colocar a credibilidade dos EUA em risco no auge da Guerra Fria porque, em 1962, quase toda a tecnologia que haveria de permitir uma alunagem de sucesso — os foguetões, os escudos de calor, os sistemas de apoio de vida e os computadores que realizavam complexos cálculos matemáticos — já existia. Não estava a conjurar

um futuro distante como Jules Verne, nem a inventar uma obra de ficção científica. Estava a retirar inferências muito claras da tecnologia existente que necessitavam apenas de mais uns acertos adicionais. Estava quase tudo pronto, a concretização era inevitável, apenas o momento permanecia em debate. Sete anos depois, Neil Armstrong desceu a escada da Apollo 11 e proferiu «um pequeno passo para o homem, um salto gigante para a humanidade.»

Para a revolução genética, o momento que vivemos agora é equivalente não a 1865, mas a 1962. Conversas acerca da reformulação da nossa espécie não são ficção científica especulativa mas a extensão lógica a curto prazo das crescentes tecnologias em rápido crescimento que já existem. Agora temos todas as ferramentas de que necessitamos para alterar a composição genética da nossa espécie. A ciência está pronta. A concretização é inevitável. As únicas variáveis prendem-se com a possibilidade de este processo descolar em pleno algumas décadas mais cedo ou mais tarde e que valores iremos utilizar para guiar a evolução da tecnologia.

Nem todos ouviram falar da lei de Moore, a observação de que a potência de processamento computadorizado duplica aproximadamente a cada dois anos, mas todos interiorizámos estas implicações. É por isso que estamos à espera que cada nova versão dos nossos *iPhones* e computadores portáteis se saia melhor e faça mais. Mas está a tornar-se cada vez mais claro que existe um equivalente da lei de Moore para a compreensão e alteração de toda a biologia, incluindo a nossa.

Começamos a aperceber-nos de que a nossa biologia é apenas mais um tipo de tecnologia de informação. A nossa hereditariedade não é mágica, já o aprendemos, mas um código cada vez mais compreensível, legível, editável e reprogramável. Por isso, teremos em breve muitas das mesmas expectativas para nós que tivemos com a restante tecnologia de informação. Ver-nos-emos cada vez mais, em muitos aspetos, *como* TI.

Esta ideia assusta muitas pessoas, e assim deve ser. Também nos deve entusiasmar tendo em conta as incríveis possibilidades de afirmação da vida. Independentemente daquilo que possamos sentir, o futuro genético irá chegar muito mais depressa do que aquilo para que estamos preparados, erguendo-se sobre as tecnologias já existentes.

Muitas das primeiras aplicações parecerão simultaneamente milagrosas e confortáveis, dado que melhoram a qualidade dos nossos cuidados de saúde. Uma crescente compreensão da genética humana permitir-nos-á realizar a mudança do nosso atual sistema de cuidados de saúde generalizados baseados em médias populacionais para o nosso novo mundo de cuidados de saúde personalizados (igualmente conhecidos como precisão), em que todos

seremos tratados de modo diferente tendo em conta a nossa biologia única e individual. Para que possa oferecer a droga ou tratamento feito à medida para si, o seu médico necessitará de saber como está a um nível muito mais profundo do que o utilizado atualmente. É por isso que, a muito breve prazo, a maioria de nós terá os seus genomas sequenciados como parte dos registos de saúde eletrónicos que os nossos médicos e os seus algoritmos de inteligência artificial irão utilizar quando decidirem a melhor forma de nos tratar. Sendo parte essencial da transição sistémica para os cuidados personalizados, teremos em breve muitas pessoas com os seus genomas sequenciados — o que irá mudar tudo.

Poderíamos sequenciar os genomas de todos os habitantes da Terra e isso não significaria nada, a menos que tivéssemos forma de comparar aquilo que dizem os genes com o modo como os genes se estão a expressar ao longo da vida de uma pessoa. Mas esse é precisamente o tipo de informação que teremos nos registos eletrónicos de saúde e vida das pessoas. E quando compararmos a informação genética e de vida de milhares de milhões de pessoas, seremos igualmente capazes de decifrar o código da genética complexa. Isto não só melhorará dramaticamente a exatidão dos nossos cuidados de saúde personalizados como nos impelirá mais rapidamente de um paradigma de medicina de precisão para um de medicina, saúde e vida cada vez mais preditivas que irão transformar a maneira como pensamos acerca do potencial, da parentalidade e do destino humanos.

Mas as ainda mais revolucionárias aplicações das tecnologias genéticas irão revolucionar tanto a forma como fazemos bebés como a natureza dos bebés que fazemos.

Para começar, utilizaremos as tecnologias existentes na fertilização *in vitro* (FIV) e na seleção informada de embriões não apenas para eliminar as doenças genéticas mais simples e escolher o género, como já é possível, mas também para escolher a genética dos nossos futuros filhos de um modo mais amplo.

Uma segunda fase que se sobreporá a esta na revolução genética humana irá um passo mais longe, aumentando o número de óvulos disponíveis para a FIV ao induzir um grande número de células adultas, como as células do sangue ou da pele, a penetrarem células estaminais transformando-as em células de óvulos e depois fazendo crescer essas células num óvulo real.

Se e quando este processo se tornar seguro para os seres humanos, as mulheres sujeitas a FIV poderão fertilizar não só dez ou quinze dos seus óvulos, mas centenas. Em vez de rastrearem o pequeno número dos seus próprios embriões, estes futuros pais serão capazes de analisar o rastreio de centenas

ou mais, sobrecarregando o processo de seleção de embriões com a analítica de grandes volumes de dados.

Muitos pais considerarão a hipótese não só de escolher, mas também de alterar geneticamente os seus futuros filhos. As tecnologias de edição de genes já existem há anos, mas o recente desenvolvimento de novas ferramentas como o CRISPR-Cas9 está a tornar possível editar os genes de todas as espécies, incluindo a nossa, com uma precisão, velocidade, flexibilidade e acessibilidade muito maiores do que antes. Com o CRISPR e ferramentas como ele, será em última análise possível conceder aos embriões novos traços e capacidades inserindo ADN de outros humanos, animais ou, algum dia, fontes sintéticas.

Quando os pais se aperceberem de que podem utilizar o FIV e a seleção de embriões para eliminarem o risco de muitas doenças genéticas e eventualmente escolherem traços encarados como positivos como um QI mais elevado, uma maior extroversão e empatia, mais pais irão desejar que os seus filhos sejam concebidos fora da mãe. Muitos passarão a encarar a conceção através do sexo como um risco perigoso e desnecessário. Governos e companhias de seguros desejarão que os futuros pais utilizem a FIV e a seleção de embriões para evitar ter de pagar cuidados de saúde por doenças genéticas evitáveis e dispendiosas.

Seja qual for a mistura de catalisadores e primeiro interveniente, é quase impossível acreditar que a nossa espécie abdique de perseguir as vantagens das tecnologias que têm o potencial para erradicar doenças terríveis, melhorar a nossa saúde e aumentar a esperança média de vida. Abraçamos todas as novas tecnologias — dos explosivos à energia nuclear, passando pelos esteroides anabólicos e a cirurgia plástica — que prometem melhorar as nossas vidas apesar dos seus revezes potenciais, e esta não será uma exceção. Só a ideia de alterar a nossa genética exige uma dose enorme de humildade, mas seríamos uma espécie diferente se a humildade, e não a aspiração arrogante, tivesse sido o nosso princípio condutor.

Com estas ferramentas, desejaremos eliminar as doenças genéticas a curto prazo, alterar e realçar outras capacidades a médio prazo e, quem sabe, prepararmo-nos para vivermos numa terra mais quente, no espaço, ou noutras planetas durante mais tempo. Com o passar do tempo, dominar as ferramentas da manipulação genética passará a ser visto como a maior inovação da história da nossa espécie, a chave para libertar um potencial quase inimaginável e, em muitos aspetos, um futuro completamente novo.

Mas isso não faz de tudo isto menos perturbador.

À medida que esta revolução se desenrola, nem todos se sentirão

confortáveis com as melhorias genéticas tendo em conta as suas crenças ideológicas ou religiosas ou devido a preocupações de segurança reais ou entendidas. A vida não é apenas uma questão de ciência e código. Envolve mistério e acaso e, para alguns, espírito.

Se a nossa espécie fosse ideologicamente muito uniforme, esta transformação seria um desafio. Num mundo onde as diferenças de opinião e crença são tão vastas e os níveis de desenvolvimento tão díspares, tem o potencial, pelo menos se não formos cuidadosos, para ser cataclísmico.

Teremos de perguntar, e responder, a algumas perguntas verdadeiramente fundamentais. Iremos utilizar estas tecnologias poderosas para expandir ou limitar a nossa humanidade? Irão os benefícios desta ciência ficar nas mãos dos poucos privilegiados ou utilizaremos este avanço para reduzir o sofrimento, respeitar a diversidade e promover a saúde global e o bem-estar de todos? Quem tem o direito de tomar as decisões individuais ou coletivas que, em última análise, terão impacto sobre todo o património genético da humanidade? E de que tipo de processo necessitaremos para tomar as melhores decisões coletivas possíveis acerca da nossa trajetória evolutiva futura como uma, ou talvez mais do que uma, espécie?

Não existem respostas fáceis a qualquer uma destas perguntas, mas todos os seres humanos necessitam de ser parte do processo de abordagem às mesmas. Todos temos de nos ver como o Presidente Kennedy a subir ao pódio em 1962, em Houston, preparando-nos para apresentarmos o nosso próprio discurso acerca do futuro da nossa espécie à luz da revolução da genética e da biotecnologia. As nossas respostas coletivas, branqueadas pelas nossas conversas, organizações, movimentos civis, estruturas políticas e instituições globais, irão determinar em muitos aspetos quem somos, o que valorizamos e como iremos avançar. Mas para ser parte deste processo, todos temos uma necessidade urgente de nos educarmos acerca destas questões.

«Sr. Metlz, estamos prontos para si», chamou a rececionista. Abanei ligeiramente a cabeça e ergui os olhos, sentindo-me ainda um pouco nervoso. À medida que a porta se ia abrindo para o corredor do fundo, levantei-me lentamente, parei por um instante, e depois dei deliberadamente o primeiro passo em frente.

Escrevi este livro para expor a minha argumentação quanto ao porquê, embora a revolução genética humana seja inevitável e se aproxime rapidamente, *como* esta revolução se irá desenrolar está longe de ser inevitável e depende, em vários aspetos importantes, de nós. Para tomarmos as decisões coletivas mais inteligentes acerca do caminho a seguir, necessitaremos de compreender o que está a acontecer e o que está em causa e trazer tantos de

nós quanto possível para a conversa. Este livro é o meu humilde esforço para dar início a esse processo.

A porta está aberta para todos. Quer gostemos ou não, todos avançamos na sua direção. O nosso futuro espera-nos.

# Capítulo 1

## ONDE DARWIN E MENDEL SE ENCONTRAM



«**L**evante a mão se está a pensar ter mais um filho dentro de dez anos», perguntei a um grande grupo de *millennials* reunido na elegante sala de conferências de Washington, DC. Cerca de metade da audiência ergueu a mão.

Eu tinha estado a invetivar poeticamente acerca da revolução genética que se aproxima e que irá transformar a maneira como fazemos os bebés e, em última análise, a natureza dos bebés que fazemos. Tinha explicado o facto de acreditar que é inevitável que a nossa espécie venha a adotar e a abraçar um futuro geneticamente melhorado, o porquê de isto ser simultaneamente entusiasmante e profundamente perturbador, e aquilo que eu pensava que tínhamos de fazer agora para tentar garantir que podemos otimizar os serviços e minimizar os prejuízos das tecnologias genéticas revolucionárias.

«Se tem a mão no ar e é mulher, o mais certo é que deva congelar os seus óvulos. Se tem a mão no ar e é um homem, encorajo-o a congelar o seu esperma tão depressa quanto possível.»

A audiência fitou-me desconfiada.

«Independentemente do quão jovem e fértil seja», prossegui, «existe uma possibilidade não insignificante de que venha a conceber os seus filhos num laboratório, por isso mais vale congelar os seus óvulos e o seu esperma agora quando ainda está no auge biológico.»

Uma onda de apreensão rolou pelos rostos destes jovens profissionais de altos voos. Quase conseguia ouvir o conflito a crescer dentro deles. Durante décadas debatera-me com essa mesma pergunta que parecia estar a

perturbá-los: como equilibramos a maravilha magnífica e a crueldade brutal da nossa própria biologia?

Nascemos através de um processo que parece praticamente milagroso, iniciando de imediato a nossa batalha interminável e desde logo perdida com o tempo, as doenças e os elementos. Sentimos uma forte atração pelo que nos parece natural, mas a nossa espécie é definida pelos seus implacáveis esforços para domar a natureza. Queremos que os nossos filhos nasçam naturalmente saudáveis, mas praticamente não existem limites para aquilo que os pais estarão dispostos a fazer no desafio da natureza para salvar os seus filhos da doença.

Uma jovem de fato azul ergueu a mão. «Acaba de nos explicar para onde pensa que a revolução genética avança e como nos deveríamos preparar para ela, mas então e o senhor? Estaria disposto a manipular geneticamente os seus próprios filhos?»

Numa reação que não me é característica, estaquei. Há muitos anos que escrevia e prelecionava acerca do futuro da reprodução humana, mas, de algum modo, a pergunta nunca me fora colocada de forma tão direta. Não sabia bem o que responder à pergunta daquela mulher e necessitei de um momento para pensar.

A ciência da genética humana tem avançado tão rapidamente que todos nós continuamos a correr para a alcançar. Quando James Watson, Francis Crick, Rosalind Franklin e Maurice Wilkins identificaram a estrutura de hélice dupla do ADN em 1953, mostraram como o manual da vida está organizado como uma escada retorcida. Tendo descoberto como sequenciar os genes apenas um quarto de século mais tarde, provou que o manual podia ser lido e ainda mais bem compreendido. Desenvolver as ferramentas para uma edição precisa do genoma poucas décadas depois permitiu aos cientistas escrever e reescrever o código da vida. Legível, editável, programável — os avanços científicos do último meio século transformaram a biologia em mais uma forma de tecnologia de informação e os seres humanos de seres indecifráveis em redes neurais que transportam o seu próprio código de *software*.

Compreender a genética como TI conduziu-nos a ver cada vez mais as variações genéticas e as mutações a provocarem doenças terríveis e a realçar o sofrimento quer como um custo necessário da diversidade emotiva quer como *bugs* irritantes que interferem com qualquer programa de computador. Prossequindo nesta metáfora, não deveríamos desejar as atualizações de *software* que possam estar disponíveis para nos assegurarmos de que os nossos sistemas correm de um modo ótimo?

Senti que os meus pensamentos ganharam forma. Recuperei a capacidade

de focar os olhos. «Se fosse seguro e eu soubesse que podia impedir o meu filho de um sofrimento considerável», disse, percorrendo o palco, «fá-lo-ia. Se acreditasse verdadeiramente que poderia ajudar o meu filho a viver uma vida mais longa, mais saudável, mais feliz, fá-lo-ia. E se necessitasse de dar ao meu filho capacidades especiais para ter sucesso num mundo competitivo onde quase todos os outros tivessem adquirido tais capacidades, pensaria pelo menos muito seriamente em relação a isso. Então e a menina?»

A mulher agitou-se na sua cadeira. «É difícil», disse ela, «percebo o que diz. Mas há algo em tudo isto que não me parece natural.»

«Deixe-me insistir consigo nesse campo», respondi. «O que quer dizer com *natural*?»

«Provavelmente, apenas as coisas tal como eram antes de terem sido alteradas pelos seres humanos.»

«Então a agricultura é natural?», perguntei. «Só há doze mil anos é que começámos a praticá-la.»

«É e não é», disse ela cautelosamente, começando a reconhecer que a natureza era um argumento fugaz para se agarrar.

«O milho orgânico é natural? Andemos para trás nove mil anos e seria impossível encontrar algo que se assemelhasse ao milho de hoje. Encontraria uma variedade de ervas selvagens chamada *teosinto* com alguns bagos de aspeto triste dele pendurados. Juntemos alguns milénios de manipulações humanas ativas e obtemos o belo e amarelo gigante que cobre as nossas mesas de piquenique de hoje. São tantos os outros frutos e vegetais que comemos, mesmo os orgânicos da Whole Foods, que não passam, em tantos aspetos, de criações humanas oriundas de um cultivo consciente e seletivo ao longo de milénios. São naturais?»

«É uma zona cinzenta», concedeu ela, continuando a agarrar-se ao seu conceito original de natureza.

«Seria mais natural se vivêssemos em cidades de caçadores-recoletores como os nossos antepassados?»

«Provavelmente.»

Eu não queria continuar a insistir, mas necessitava de atingir um argumento essencial. «Gostaria de fazer isso?»

Um sorriso malandro deslizou-lhe pelo rosto. «Há serviço de quarto?»

«OK, então está no Four Seasons e tem uma terrível infeção bacteriológica», prossegui. «Gostaria de ser tratada como os nossos antepassados de há dezenas de milhares de anos, com encantamentos e bagas, ou preferiria os antibióticos que lhe podem salvar a vida?»

«Prefiro os antibióticos», disse ela.

«Natural?»

«Percebo o que diz.»

Olhei em redor da sala. «Todos temos ideias profundamente enraizadas acerca do que é natural, mas muito não é natural de todo. Talvez seja aquilo que nos é familiar de um tempo anterior, mas nós, enquanto humanos, temos vindo a alterar agressivamente o nosso mundo há milénios. E se temos estado a alterar os sistemas biológicos e outros que nos rodeiam há tanto tempo, deveremos pensar na biologia que herdámos dos nossos pais como nosso destino? Teremos o direito ou até a obrigação de remover os *bugs* e erros de codificação de *software* no *hardware* dos nossos corpos e dos nossos filhos?»

A audiência remexeu-se nas cadeiras.

«Se o seu futuro filho tiver uma terrível doença que sabe que irá matá-lo, levante a mão se estaria disposto a sujeitar o seu filho a uma cirurgia para salvar a sua vida», insisti.

Todas as mãos se ergueram.

«Se pudesse impedir que o seu filho tivesse a doença, não o faria?»

As mãos permaneceram em cima.

«Mantenham as mãos em cima se o fariam através da FIV e de um rastreio dos embriões para se assegurar de que o seu futuro filho não estaria em risco.»

As mãos mantiveram-se no ar.

«Então e realizar uma pequena alteração segura nos genes do seu filho quando ele ou ela ainda for um embrião pré-implantado?» Algumas mãos desceram.

Virei-me para um dos jovens cuja mão tinha descido, um rapaz de vinte e alguns anos, bem-posto, que parecia saído de um catálogo de L.L.Bean. «Pode dizer-me porquê?»

«Quem somos nós para começar a manipular os nossos filhos?», disse ele. «Parece-me um percurso escorregadio. Quando começarmos, onde paramos? Podemos acabar com Frankensteins. Deixa-me nervoso.»

«Trata-se de um ponto muito válido», disse eu. «*Deveria* deixá-lo nervoso. Deveria deixar-nos a todos nervosos. Se não estiverem a sentir uma mistura de entusiasmo e receio, não estão a perceber bem. As tecnologias genéticas permitir-nos-ão realizar coisas maravilhosas que irão aliviar o sofrimento humano e libertar potenciais que mal podemos imaginar. Novas versões de nós, *Homo sapiens 2.0* e mais além, irão utilizar estas capacidades para inventar tecnologias ainda melhores, explorar novos mundos, criar arte fenomenal e experimentar uma gama ainda maior de emoções. Mas se não fizermos as coisas da maneira certa, essas mesmas tecnologias podem pôr-nos em risco,

dividir sociedades, criar hierarquias opressivas entre as pessoas melhoradas e as não melhoradas, minar a diversidade, levar-nos a desvalorizar e a banalizar a vida humana, e até provocar fortes conflitos nacionais e internacionais.»

«Então, quem determina para onde isto nos leva?», perguntou uma outra mulher.

«Essa será a pergunta mais importante e conseqüente que nós, em termos individuais e coletivos, iremos colocar durante os próximos anos», disse eu deliberadamente. «Como lhe responderemos irá determinar quem e o que somos, onde vivemos e onde podemos viver, e o que é possível para nós enquanto pessoas e enquanto espécie.»

A audiência endireitou-se nos seus lugares. Eu conseguia sentir os níveis de ansiedade a subirem na sala.

«Teremos de ser nós a perceber para onde iremos com tudo isto. É por isso que estou aqui a falar convosco. A nossa espécie como um todo irá tomar decisões monumentais acerca do nosso futuro genético durante os próximos anos. Algumas destas decisões, como acontece com as leis, ocorrerão ao nível da sociedade. Mas muitas escolhas significativas serão feitas pelos indivíduos, como nós, tentando perceber como queremos fazer os nossos filhos. Cada indivíduo e cada casal não sentirá que está a decidir o futuro da nossa espécie, mas coletivamente estaremos a fazê-lo.»

Aquela mistura familiar de terror, maravilhamento e confusão que aprendera a esperar de todas as minhas palestras ao longo dos anos espalhou-se pela sala.

Depois, como sempre, as mãos ergueram-se repentinamente. Como os alunos do sétimo ano com quem falara em Nova Jérquia, tal como os ricos em festivais de ideias como o Google Zeitgeist, o Tech Open Air, e o South by Southwest, os especialistas da Exponential Medicine e da New York Academy of Science, os alunos de Stanford e Harvard, e os cientistas, estudiosos e líderes de negócios em conferências por todo o mundo, a audiência começou a compreender e interiorizar a espantosa responsabilidade que este momento histórico lançou sobre cada um de nós.

Trata-se de uma responsabilidade que advém de um incrível ponto de inflexão na nossa história enquanto espécie, quando a nossa biologia e tecnologia se interseccionam como nunca antes e estão a virar de pernas para o ar algumas das nossas práticas e tradições mais sagradas. Como os outros, os *millennials* de Washington começavam a compreender que o futuro da engenharia genética humana não se prendia apenas com a realização de algumas alterações ao nível dos nossos genes e dos genes dos nossos filhos, mas criar um novo e muito diferente futuro para a nossa espécie.

Mas para compreender para onde vamos, temos primeiro de recuar um passo e compreender de onde vimos.

DURANTE OS PRIMEIROS 2,5 MIL MILHÕES DE ANOS DE VIDA NA TERRA, OS nossos antepassados unicelulares reproduziram-se clonalmente.\* Uma bactéria, por exemplo, dividir-se-ia em duas bactérias separadas com a mesma genética e, depois, o processo recomeçava. Era uma excelente forma de fazer as coisas porque não implicava perder tempo e energia em busca de um companheiro. Bastava encontrar alimento e dividir-se, e a sua linhagem prosseguiria. O revés é que o processo de reprodução clonal criava uma imensa consistência genética entre os organismos unicelulares de uma dada comunidade, limitando as opções disponíveis para a seleção natural quando comparadas com o que viria depois.

Esta consistência, contudo, não estava completa. As bactérias desenvolveram uma forma de, literalmente, agarrarem em genes de outras bactérias utilizando arpões microscópicos a que chamamos *pili*.<sup>3</sup> Ainda assim, embora a reprodução clonal tenha ajudado as bactérias a transmitir mutações benéficas, também pôs em risco colónias inteiras quando os perigos, como, por exemplo, os vírus que infetavam bactérias, surgiram, pois as bactérias clonadas possuíam muitas das mesmas desadequações nos seus mecanismos de defesa. A reprodução sexual alterou isto de um modo considerável. As cópias exatas na biologia raramente são exatamente perfeitas. Embora seja impossível indicar o momento exato, o registo fóssil sugere que há cerca de 1,2 mil milhões de anos um destes organismos simples desenvolveu uma estranha mutação. Em vez de se limitarem a copiar-se ou a agarrar em alguns genes de outros microrganismos, acasalaram de algum modo com outros micróbios de modo a criar uma prole combinando o ADN de ambos os progenitores — *et voilà*, nasceu o sexo, expandindo dramaticamente as possibilidades evolutivas.

Era necessária mais energia para encontrar um parceiro do que a despendida para se clonar numa altura em que, por definição, não existiam outros potenciais pretendentes com os quais lutar. Os que estavam em busca do melhor parceiro tinham de desenvolver novas e cada vez melhores capacidades para atrair os melhores parceiros e afastar a concorrência. Mas uma vez garantido um parceiro, podiam misturar de um modo mais pleno e aleatório a sua genética aquando da procriação — uma enorme vantagem.

---

\* Há cerca de 3,5 mil milhões de anos, os primeiros micróbios unicelulares dividiram-se em dois ramos: bactérias e arquea. Alguns biólogos defendem a existência de um terceiro ramo, os eucariotas.

Os organismos que se reproduzem sexualmente tinham mais perdedores genéticos do que os seus antepassados clonais, mas também tinham uma maior possibilidade de evoluir até se transformarem em vencedores genéticos. Com tantos modelos diferentes de organismos de reprodução sexual a serem constantemente gerados, as espécies que se reproduzem sexualmente eram capazes de se adaptar mais depressa às circunstâncias em mutação, serem melhores a afastar os intrusos, a descobrir alimentos e a acelerar o processo de mudança evolutiva. Sendo um destes, toda a nossa história evolutiva é feita destas mutações genéticas, frequentemente aleatórias, e variações que criam uma multiplicidade de novos traços, os mais úteis disseminando-se através da nossa espécie. Armados com estas diferenças, os nossos antepassados competiram uns com os outros para ganhar vantagem bem como com o ambiente à nossa volta num processo a que Darwin chamou *seleção natural*.

Com o passar do tempo, também o processo de reprodução sexual em si enfrentou pressões evolutivas a que criaturas diferentes responderam de formas diferentes. Alguns, como os salmões de hoje, libertam tantos ovos quanto possível para o mundo, na esperança de que alguns destes encontrem esperma. Libertar milhares de ovos em buracos no fundo dos rios aumentava a probabilidade de que pelo menos alguns deles pudessem ser fertilizados pelo esperma dos machos, mas esta abordagem também eliminava a possibilidade de parentalidade. Independentemente daquilo que possa pensar acerca dos seus pais, a parentalidade em si mesma confere inúmeras vantagens evolutivas.

Em vez de gerarem números enormes de ovos, outros organismos — incluindo os nossos antepassados mais recentes — mantinham os ovos dentro das fêmeas até à fertilização, gestando depois os embriões dentro do seu corpo. Se o sexo fosse um jogo da roleta, criaturas como o salmão colocam uma ficha em cada número, mas criaturas como nós colocam as suas fichas apenas em alguns números. Ao produzir menos crias do que outros mamíferos e ao mantê-las mais perto de casa, os nossos antepassados investiram mais na criação das crianças, o que significava que os nossos filhos podiam desenvolver competências muito para além daquelas que um salmão, que se libertava sozinho do seu ovo, alguma vez poderia desenvolver.

A reprodução sexual sobrecarregou a diversidade, criando uma corrida às armas evolutivas constante. Quando o salmão ganhava, reproduziam-se em grandes números, mas não podiam, por definição, fazer algo para criar os filhos, que já há muito haviam partido. Nós, por outro lado, protegemos os nossos bebés indefesos depois do nascimento, permitindo que os seus cérebros continuem a crescer e cuidando deles para que possam desenvolver

novas aptidões. A nossa natureza criou a possibilidade evolutiva do carinho. Quando ganhámos, construímos a civilização.

O impulso sexual inato garantia que os nossos antepassados prosseguiam com a reprodução sexual ainda que não compreendessem, pelo menos a um nível técnico, muito do que estava a acontecer. As primeiras civilizações atribuíam a magia da reprodução aos deuses, mas o nosso cérebro inerentemente inquisitivo estava preparado para continuar a busca para uma compreensão mais profunda do mundo à nossa volta. Durante milénios, progressos assaz lentos foram realizados na compreensão da nossa biologia, mas o nosso conhecimento expandiu-se consideravelmente com o advento das filosofias e ferramentas da Revolução Científica.

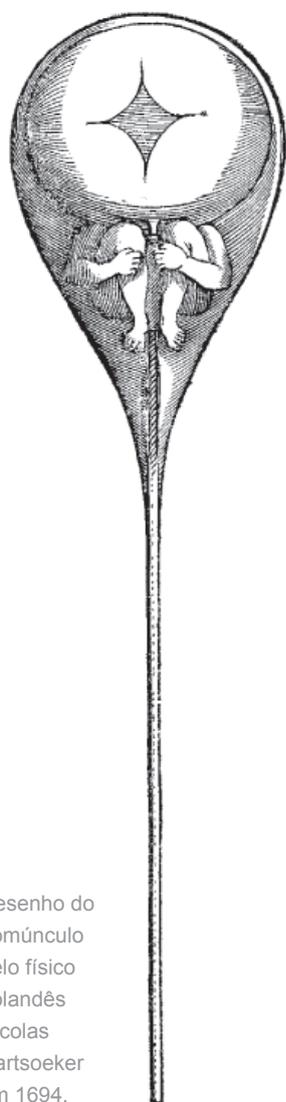
EM 1677, O ALEGRE HOLANDÊS ANTONIE VAN LEEUWENHOEK SALTOU DA cama. Inventor de um microscópio muito melhor do que qualquer outro inventado antes, já tinha, por si mesmo, espreitado profundamente para os fluidos corporais do sangue, saliva e lágrimas. Desta feita, contudo, recrutou a esposa. Depois de um encontro sexual, Van Leeuwenhoek colocou um pouco da sua ejaculação sob o microscópio e ficou espantado por ver aquilo que descreveu como «vermes seminais» que se contorciam como «enguias a nadar em água»<sup>4</sup>. Isso é que é matar a vontade! Mas que papel, perguntou-se, representariam aqueles vermes que se contorciam?

Um ponto de vista proeminente na Europa da altura, um que tinha a sua origem nos gregos antigos, era a de que o sémen masculino continha homúnculos, o nome dado a pessoas minúsculas que aguardavam por começar a crescer. O corpo feminino, de acordo com esta hipótese, era o solo rico em que a semente cresce. Uma crença alternativa era a de que os óvulos femininos contivessem pequenos minieus, cujo crescimento fosse catalisado pelo sémen masculino. Um terceiro grupo de pessoas, provavelmente as mais tolas, acreditava que a vida era gerada espontaneamente como moscas que emergem da carne putrefacta.

No século XVIII, o brilhante sacerdote católico e polímato italiano Lazzaro «Magnifico» Spallanzani criou uma experiência engenhosa para testar a sua hipótese acerca da procriação. Criando minúsculas calças para sapos feitas de tafetá, tornou impossível aos machos passarem os seus «fluidos» para as fêmeas. Hoje em dia, todos os jovens aprendem isto em educação sexual, mas no século XVIII era uma grande novidade que os sapos do sexo feminino não poderiam engravidar quando o esperma dos machos era filtrado pelas calças. Quando Spallanzani inseminou artificialmente os sapos do sexo feminino

com o esperma dos sapos masculinos, as fêmeas engravidaram. O esperma, tornava-se agora claro, era uma componente essencial do sémen necessária para engravidar as fêmeas.<sup>5</sup> *Magnifico!* Foi necessário mais um século para que os cientistas conseguissem perceber que tanto as células sexuais masculinas quanto as femininas contribuía em partes iguais para o óvulo fertilizado.

Aprender mais acerca de como os seres humanos são feitos fundiu-se então com uma outra constatação que os nossos antepassados já tinham percebido intuitivamente, mas nunca haviam compreendido plenamente — a ciência da hereditariedade.



Desenho do homúnculo pelo físico holandês Nicolas Hartsoeker em 1694.

DURANTE MILÉNIOS, OS NOSSOS ANTEPASSADOS devem ter desconfiado do funcionamento da hereditariedade. Sempre que um homem alto e uma mulher alta tinham um filho alto, recebiam uma pista. Quando um homem alto e uma mulher alta tinham um filho baixo, provavelmente ficavam algo confusos e era possível que o homem lançasse um olhar desconfiado ao baixo e animado Casanova que habitava a uma gruta de distância. Os nossos antepassados utilizavam este conhecimento limitado de hereditariedade para começar a mudar o mundo à sua volta.

Os nossos antepassados nómadas caçadores-recoletores, por exemplo, começaram a aperceber-se de que determinados lobos que vasculhavam o lixo eram mais amigáveis do que outros. Tendo começado há cerca de quinze mil anos, provavelmente na Ásia Central, começaram a cruzar esses lobos mais amigáveis uns com os outros, acabando por criar cães. Sem qualquer intervenção humana, a natureza por si mesma provavelmente não teria transformado o maravilhoso lobo num irritante *chihuahua*, mas os nossos antepassados forçaram a criação de uma subespécie completamente nova.

O mesmo processo de domesticação conduzido pelos seres humanos transformou as

plantas. Depois de os vastos lençóis de gelo terem recuado há quase doze mil anos, começaram a replantar plantas especialmente úteis que tinham colhido nas florestas.<sup>6</sup> Muito antes de Monsanto ter começado a manipular geneticamente as sementes, os nossos antepassados humanos aperceberam-se de que algumas plantas em especial faziam algo diferente e mais desejável do que outras que estavam a ser cultivadas. Perceberam que, se plantassem sementes dessas plantas, a geração seguinte faria com maior frequência a mesma coisa extraordinária. Durante os milénios que se seguiram, este processo de reprodução seletiva foi utilizado para transformar as plantas selvagens naquilo que conhecemos hoje como trigo, cevada, e ervilhas do Médio Oriente, arroz e milho miúdo da China, e abóboras e milho do México. À medida que os seres humanos de todo o globo chegavam sozinhos ao processo de domesticação de animais e plantas, ou eram expostos a ele por outros, fomos considerando cada vez mais a natureza da hereditariedade.

Os nossos antepassados sabiam como utilizar a hereditariedade, mas compreendiam muito mal o seu real funcionamento. Grandes pensadores humanos como Hipócrates e Aristóteles na Grécia Antiga, Charaka na Índia, e Abu al-Qasim al-Zahrawi e Judah Halevi na Espanha islâmica lançaram hipóteses acerca da hereditariedade humana, mas nenhum percebeu bem a coisa.

Em 1831, um cavalheiro explorador inglês com uma profunda curiosidade imiscuiu-se numa viagem de estudo de cinco anos ao longo das costas de África, da América do Sul, da Austrália e da Nova Zelândia. Um arguto observador dos pormenores, Charles Darwin estudou cuidadosamente o seu ambiente, recolheu enormes provas de espécimes e tomou notas meticulosas. Regressando a Inglaterra em 1836, passou os vinte e três anos seguintes a trabalhar obsessivamente as suas descobertas e a compilar uma poderosa hipótese acerca de como os organismos evoluem. Darwin reconheceu que a sua teoria iria chocar a moralidade cristã, assim queria ter a certeza de que estava certo antes de publicar o seu trabalho. Quando soube que um concorrente com ideias perigosamente próximas das suas estava prestes a ir a público, Darwin publicou, finalmente, *A Origem das Espécies e a Seleção Natural*, em 1859.

Na sua obra-prima, Darwin descrevia a sua teoria de que toda a vida está relacionada e que as espécies evoluem porque pequenas alterações nos traços hereditários competem num processo a que chamou *seleção natural*. Com o passar do tempo, uma espécie com traços que lhe confirmam vantagens específicas num dado ambiente prospera e reproduz-se mais do que aquelas com menos configurações vantajosas. Se o ambiente se alterar, os diferentes

traços enfrentam pressões seletivas diferentes num processo interminável de adaptação e evolução. Um traço muitíssimo vantajoso num ambiente poderá tornar-se um risco noutro, e vice-versa. Darwin acertara em cheio com a sua teoria da evolução, mas pouco sabia acerca de como a hereditariedade funcionava, de facto, a nível molecular. Seria necessário um outro génio para desbloquear esse mistério.

Na altura em que o grande trabalho de Darwin foi publicado, um obscuro frade agostinho, Gregor Mendel, dedicava o seu tempo livre, mente analítica e registo cuidadoso à tentativa de perceber como os traços eram transmitidos de geração em geração.

Filho brilhante de um agricultor, Mendel juntou-se ao mosteiro agostinho de S. Tomás, em Brno (na República Checa de hoje), em 1843. De imediato, assumiu um interesse ativo pelo trabalho que já estava a ser levado a cabo por outros monges que tentavam compreender como os traços eram transmitidos nas ovelhas. Reconhecendo as capacidades de Mendel, o abade enviou o jovem Gregor para estudar física, química e zoologia na Universidade de Viena. Depois de regressar dos seus estudos, Mendel convenceu o abade a dar-lhe rédea solta para levar a cabo experiências mais ambiciosas. Criando mais de dez mil ervilhas de vinte e duas variedades diferentes entre 1856 e 1863, registou meticulosamente como os vários traços eram passados das plantas pais para a sua prole, e deduziu cuidadosamente as leis da hereditariedade que ainda hoje se mantêm em grande parte verdadeiras.

Primeiro, confirmou Mendel, cada traço herdado era definido por um par de genes, sendo que cada um era oferecido por cada progenitor. Segundo, cada traço é determinado independentemente de outros traços pelos dois genes para esse traço. Terceiro, se um par de genes tem dois genes diferentes para o mesmo traço, uma forma desses genes será dominante. Mendel publicou as suas conclusões revolucionárias num estudo seminal de 1866: «Experiments in plant hybridization» (Experiências na hibridização de plantas) e depois... nada aconteceu. Poucos cientistas conheciam o trabalho, que fora publicado originalmente na pouco lida *Proceedings of the Natural History Society of Brünn*. O trabalho incrível de Mendel ficou, de momento, perdido.

No entanto, quando outros cientistas que exploravam a natureza da hereditariedade em 1900 depararam com cópias esfarrapadas do grande trabalho de Mendel, a semente da era genética foi replantada. Dez anos depois, o biólogo americano Thomas Hunt Morgan provou que os genes que Mendel descrevera estavam organizados em estruturas de moléculas chamadas *chromossomas*. Ao longo das décadas seguintes, os cientistas foram

revelando o funcionamento da genética através de muitos organismos diferentes. A genética mendeliana tornou-se um veículo subjacente a toda a vida. Combinado com a evolução de Darwin, garantia as chaves fundamentais necessárias para abrir e depois transformar toda a biologia, incluindo a nossa.

TODO O CÓDIGO GENÉTICO É COMPOSTO POR LONGAS CADEIAS DE ÁCIDO desoxirribonucleico, ou ADN, que oferece instruções às células para produzirem proteínas. As espécies que se reproduzem sexualmente, como nós, têm duas cadeias de ADN emparelhadas no núcleo de praticamente todas as nossas células (os nossos glóbulos vermelhos não têm núcleo), uma da nossa mãe e outra do nosso pai. Se fôssemos um bolo, cada um dos nossos pais poderia contribuir com cerca de metade de cada ingrediente.

Mas em vez de ser feito de farinha, açúcar e fermento, o nosso ADN é composto por quatro tipos de moléculas diferentes chamados *nucleótidos*. Estas «bases» nucleótidas chamam-se *guanina*, *adenina*, *timina* e *citossina*, mas cada uma é mais comumente referida apenas pela primeira letra: *G*, *A*, *T* ou *C*. Os *G*, *A*, *T* e *C* estão presos uns aos outros como comboios em dois caminhos de ferro paralelos, tocando apenas ao de leve uns nos outros. A ordem dos comboios, as sequências de ADN a que chamamos *genes*, criam um conjunto de instruções único que é entregue por mensageiros chamados ácido ribonucleico, ou *ARN*, às células para criarem proteínas. As proteínas são os verdadeiros atores nas nossas células que levam a cabo todas as tarefas que lhes foram atribuídas — como se tornarem um determinado tipo de células específico, estruturarem e regularem os nossos tecidos e órgãos, transportarem oxigénio, gerarem reações bioquímicas, e crescerem.

Os nossos genes humanos são, depois, normalmente agrupados em vinte e três pares de cadeias de ADN nas nossas células — os nossos cromossomas —, sendo cada cromossoma especificamente dirigido para o conjunto de funções nos nossos corpos. Os humanos têm cerca de vinte e um mil genes e 3,2 mil milhões de pares-base — pontos no genoma, o conjunto completo dos genes do nosso corpo — em que os *G* estão emparelhados com os *C* e os *A* emparelhados com *T*.

Os genes que têm maior impacto sobre nós são os que garantem instruções às nossas células para criarem proteínas, mas quase 99 por cento do ADN total não codifica de todo as proteínas. Estes genes não codificados costumavam ser apelidados de «*junk DNA*» porque os cientistas acreditavam

que não tinham qualquer função biológica significativa. Hoje conseguimos pensar nos genes não codificados como jogadores de futebol que se mantêm junto à linha lateral encorajando, aconselhando e transmitindo indicações aos seus companheiros de equipa no campo. Estes genes não codificados desempenham um importante papel na direção da criação de determinadas moléculas ARN que transportam instruções dos nossos genes fora do núcleo e na regulação do modo como os genes que codificam as proteínas são expressos.

Cada uma das nossas células que contenha um núcleo inclui um esquema de todo o nosso corpo, mas o resultado seria um caos se todas as células tivessem tentado criar a pessoa inteira. Em vez disso, o nosso ADN genético é regulado por um processo chamado *epigenética* para determinar que genes são expressos. Uma célula de pele, por exemplo, contém o esquema de uma célula de fígado e de todas as outras células, mas as «marcas» epigenéticas dizem à célula da pele para produzir pele. Na nossa analogia da equipa de futebol, cada jogador tem todo o plano de jogo, mas precisa apenas de realizar a sua função em especial quando recebe instruções para o fazer.<sup>7</sup>

É por isso que a célula do nosso óvulo fertilizado original consegue crescer dando origem a seres tão complexos como nós. A primeira célula contém as instruções para gerar todos os tipos diferentes de células, mas as células começam, em seguida, a especializar-se em diferentes modos de realizar as suas funções particulares. Estas células especializadas, contudo, não são atores independentes, mas partes diferenciadas de um ecossistema celular interligado. E, tal como os nossos órgãos colaboram uns com os outros dentro do sistema do nosso corpo, também os nossos genes se influenciam uns aos outros dentro do sistema dinâmico do nosso genoma.

Tudo isto parece muito complicado, e é. Foi por isso que foram necessárias centenas de anos para compreender como funciona o sistema, e ainda estamos no início. Mas ter a receita e compreender a linguagem das instruções e a natureza dos ingredientes é um ponto de partida bastante relevante quando se está a fazer um bolo. A partir do momento em que os cientistas reconheceram que os genes eram o alfabeto da linguagem da vida, necessitaram de descobrir o que as letras diziam para poderem ler o livro. A dupla hélice do ADN era o manual composto de letras, mas o que é que estas diziam?

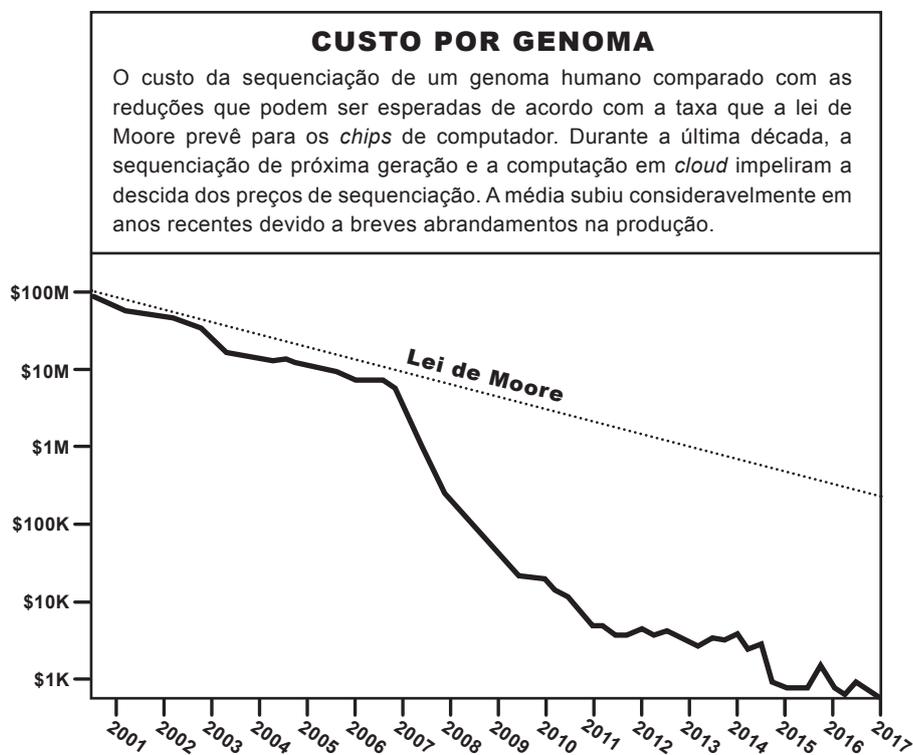
Ler o genoma humano de um modo significativo era demasiado difícil para os seres humanos sozinhos, mas não, em última análise, para os seres humanos aliados às máquinas. Em meados dos anos de 1970, os cientistas

de Cambridge Frederick Sanger e Alan Coulson inventaram uma forma engenhosa de transmitir uma corrente elétrica através do gel para interromper o genoma de uma célula; manchando os fragmentos e separando os diferentes nucleótidos tendo em conta o comprimento antes de fazerem passar o gel através de uma câmara especialmente concebida para o efeito, para ler os padrões genéticos. Este primeiro processo de sequenciação do genoma de primeira geração foi lento e dispendioso, mas um gigantesco passo em frente.

Ao perceber como automatizar este processo e ler melhor os *flashes* de luz que passavam através das «letras» de ADN, os investigadores como Lee Hood e Lloyd Smith aumentaram enormemente tanto a velocidade quanto a eficácia da sequenciação do genoma e lançaram as bases para mais um grande passo em frente. Quando, em 1988, os Institutos Nacionais de Saúde dos EUA lançaram uma importante iniciativa para sobrecarregar o desenvolvimento da geração seguinte dessas máquinas sequenciadoras de ADN, estava montado o palco para uma iniciativa ainda mais ambiciosa para sequenciar todo o genoma.<sup>8</sup>

O Projeto do Genoma Humano, um esforço audaz, internacionalmente orientado pelos EUA para sequenciar e mapear o primeiro genoma humano, custou 2,7 mil milhões de dólares e demorou treze anos até ficar completo em 2003. Por essa altura, uma empresa privada liderada pelo empreendedor no ramo da ciência Craig Venter tinha sido pioneira numa abordagem alternativa à sequenciação do genoma humano que era menos abrangente mas muito mais rápida do que o esforço conduzido pelo governo. Juntas, estas iniciativas eram verdadeiramente um passo gigante para a humanidade, e os passos não paravam de avançar. O lançamento de empresas como a Illumina, de San Diego, e a BGI-Shenzhen, da China, transformaram a sequenciação do genoma numa indústria global competitiva, em rápido crescimento, de vários milhares de milhões de dólares. Os sequenciadores Nanopore de próxima geração, que empurram eletricamente o ADN através de buracos minúsculos nas proteínas para ler o seu conteúdo como se de papel picado se tratasse, têm o potencial para revolucionar a sequenciação de genes ainda mais.<sup>9</sup>

À medida que a tecnologia se foi tornando mais exata e poderosa, os custos têm descido dramaticamente. O gráfico abaixo oferece algumas indicações do quão rapidamente o custo da sequenciação do genoma tem diminuído durante a última década e meia.



Fonte: «The Cost of Sequencing a Human Genome»,  
 NIH, última modificação a 30 de outubro de 2019,  
<https://genome.gov/about-genomics/fact-sheets/DNA-Sequencing-Costs-Data>.

Hoje em dia, sequenciar um genoma inteiro demora cerca de um dia e pode custar menos de 600 dólares.<sup>10</sup> O CEO da Illumina, Francis deSouza, anunciou no início de 2017 que a empresa estava à espera de conseguir sequenciar um genoma inteiro por cerca de cem dólares num futuro não muito distante. À medida que os custos da sequenciação vão descendo para se aproximarem dos custos dos materiais exigidos e a sequenciação do genoma se torna de consumo, ficarão disponíveis mais dados por valores mais baixos. Dado que a genómica é o derradeiro desafio dos grandes volumes de dados, mais e mais baratos dados lançarão as bases para mais e melhores descobertas.

Mas mesmo que a sequenciação fosse completamente omnipresente, de consumo e livre, não significaria nada a menos que os cientistas fossem capazes de compreender o que os genomas estavam a dizer.