

A FÍSICA DO FUTURO

Como a Ciência Moldará o Mundo nos Próximos Cem Anos



Autor: Michio Kaku

Edição e Preparação Digital: Gullan Grey!

Edição original: Physics of the Future: How Science Will Shape Human Destiny and Our Daily Lives by the Year 2100, 2011.

Edição portuguesa concluída em 13-07-2022



Livroteca Gullan Grey!

Sinopse

Em *A Física do Futuro*, Michio Kaku abre uma janela para o século que já começou a formar-se nos laboratórios de hoje. A partir de entrevistas com mais de trezentos cientistas, o autor acompanha as tecnologias que poderão transformar a civilização até 2100: computadores invisíveis integrados no ambiente, inteligência artificial, medicina molecular, nanotecnologia, novas fontes de energia, viagens espaciais e formas inéditas de riqueza e organização social.

O futuro que emerge destas páginas não é fantasia desligada da ciência. É uma projeção fundamentada nas leis conhecidas da Natureza e nos protótipos que já existem: lentes de contacto ligadas à Internet, automóveis sem condutor, robôs cada vez mais autónomos, órgãos criados em laboratório, sensores capazes de detetar doenças antes dos sintomas, materiais inteligentes, energia limpa, elevadores espaciais e máquinas que aproximam a humanidade dos poderes outrora atribuídos aos deuses.

Mas Kaku não se limita a celebrar a tecnologia. Mostra também a sua ambiguidade: a ciência é uma espada de dois gumes, capaz de libertar, ampliar e curar, mas também de intensificar desigualdades, conflitos e riscos planetários. A pergunta profunda atravessa todo o livro: que tipo de humanidade seremos quando tivermos nas mãos instrumentos capazes de remodelar o corpo, a mente, a vida e o próprio planeta?

A Física do Futuro é uma viagem imersiva aos próximos cem anos: um mapa científico da civilização em formação, onde o leitor vê a cidade inteligente acender-se, a medicina entrar nas células, a mente tocar as máquinas, a Terra tornar-se uma civilização planetária e o espaço deixar de ser fronteira para se transformar no próximo horizonte humano.

Esta edição foi preparada para formato digital, com intervenção ao nível da organização, revisão e uniformização do texto, de forma a assegurar clareza, consistência e legibilidade em ambiente de leitura eletrónica.

Foram realizadas correções pontuais sempre que necessário, respeitando integralmente o conteúdo e a estrutura da obra original.

O objetivo desta preparação é preservar a fidelidade ao texto, garantindo simultaneamente uma experiência de leitura fluida e acessível.

Gullan Greyl

*Não se trata de saber mais,
mas de ver melhor*

Índice

Agradecimentos	1
Introdução.....	17
Prever os Próximos Cem Anos	17
1. Prever o Próximo Século	20
2. Compreender as Leis da Natureza	24
3. 2100: Tornamo-Nos Deuses da Mitologia.....	26
4. Por Que Motivo Não Se Concretizam Algumas Previsões?.....	28
5. Princípio do Homem das Cavernas.....	30
6. A Ciência Como Uma Espada.....	33
CAPÍTULO 1	35
O Futuro do Computador — Domínio da Mente Sobre a Matéria.....	35
1. Futuro Próximo (Até 2030).....	43
1.1 Óculos e Lentes de Contato para a Internet.....	43
1.2 Automóvel sem Condutor	49
1.3 Ecrãs nas Quatro Paredes	54
1.4 Papel Eletrónico Flexível	56
1.5 Mundos Virtuais.....	58
1.6 Cuidados Médicos no Futuro Próximo	62
1.7 Viver Num Conto de Fadas	64
2. Meados do Século (De 2030 A 2070)	66
2.1 Fim da Lei de Moore	66
2.2 Misturar a Realidade Real e a Realidade Virtual	72
2.3 Realidade Aumentada: Uma Revolução no Turismo, na Arte, nas Compras e na Guerra ...	76
2.4 Tradutores Universais.....	82
2.5 Hologramas e 3-D	85
3. O Futuro Longínquo (2070 A 2100).....	89
3.1 Domínio da Mente Sobre a Matéria	89
3.2 Leitura da Mente	93
3.3 Fotografar Um Sonho	96
3.4 Ética da Leitura da Mente.....	99
3.5 A Minha Ressonância Magnética Funcional ao Cérebro	102
3.6 <i>Tricorders</i> e Dispositivos Portáteis para Examinar o Cérebro	103
3.7 Telecinesia e o Poder dos Deuses.....	107
CAPÍTULO 2	112

O Futuro da Inteligência Artificial — Ascensão das Máquinas	112
1. O Fim da Humanidade?	113
2. O Robô Asimo	116
3. História da IA	118
4. Será o Cérebro Um Computador Digital?.....	121
5. Dois Problemas dos Robôs	125
6. O Homem Contra a Máquina	127
7. Futuro Próximo (Até 2030).....	132
7.1 Sistemas Periciais.....	132
8. Meados do Século (De 2030 A 2070)	136
8.1 Robôs Modulares.....	136
8.2 Robôs Cirurgiões e Cozinheiros	139
8.3 Robôs Emocionais.....	142
8.4 Retroengenharia do Cérebro.....	148
8.5 Modelizar o Cérebro	153
8.6 Desmontar o Cérebro	159
9. Futuro Longínquo (2070 A 2100)	162
9.1 Quando as Máquinas se Tornam Conscientes.....	162
9.2 Quando os Robôs Suplantarem os Seres Humanos	171
9.3 Cenário Mais Provável: IA Amistosa	177
9.4 Fusão com Robôs.....	181
9.5 A Mão Robótica de a Guerra das Estrelas	186
9.6 Substitutos e Avatares	190
9.7 Até Onde Iria a Fusão com Robôs?	193
9.8 Barreiras à Singularidade.....	196
CAPÍTULO 3	203
O Futuro da Medicina — Perfeição e Não Só	203
1. Três Fases da Medicina	207
2. Futuro Próximo (Até 2030).....	209
2.1 Medicina Genómica	209
2.2 Consulta Médica	214
2.3 Células Estaminais.....	218
2.4 Clonagem	222
2.5 Terapia Génica	226
2.6 Coexistir com o Cancro	230

3. Meados do Século (De 2030 A 2070)	234
3.1 Terapia Génica	234
3.2 Filhos Por Medida	235
3.3 Gene do Super-Rato.....	238
3.4 Efeitos Secundários da Revolução Biotecnológica	241
4. Futuro Longínquo (2070 A 2100)	245
4.1 Inverter o Envelhecimento	245
4.2 Restrição Calórica	252
4.3 Fonte da Juventude?	255
4.4 Será Que Temos de Morrer?	257
4.5 Relógio Biológico.....	259
4.6 Imortalidade Mais Juventude	260
4.7 População, Alimentos e Poluição	262
4.8 Alguma Esperança para a População Mundial	266
4.9 Ressuscitar Formas de Vida Extintas	269
4.10 Ressuscitar o Neanderthal?	272
4.11 Ressuscitar o Mamute?	274
4.12 Parque Jurássico?	276
4.13 Criar Novas Formas de Vida.....	277
4.14 Acabar Com Todas as Doenças?	280
4.15 Admirável Mundo Novo.....	283
4.16 Guerra Biológica	288
CAPÍTULO 4	294
Nanotecnologia — Tudo a Partir de Nada?	294
1. O Mundo Quântico	297
2. Atravessando Paredes	300
3. Movendo Átomo Individuais	304
4. SMEM e Nanopartículas	306
5. Futuro Próximo (Até 2030).....	308
5.1 Nanomáquinas no Nosso Corpo	308
5.2 Células Cancerosas, o Alvo	312
5.3 Nanoveículos no Nosso Sangue	314
5.4 CHIPS de ADN.....	318
5.5 Nanotubos de Carbono.....	321
5.6 A Era Pós-Silício.....	323

5.7 Transístores Atómico	327
5.8 Computadores Quânticos	330
6. Meados do Século (2030 A 2070).....	335
6.1 Alteração de Forma	335
7. Futuro Longínquo (2070 A 2100)	342
7.1 O Sagrado Graal: O Replicador	342
7.2 Construindo Um Replicador.....	348
7.3 Ranho Cinzento?	351
7.4 Impacto Social dos Replicadores	352
CAPÍTULO 5	360
O Futuro da Energia — Energia das Estrelas.....	360
1. Fim do Petróleo?	361
2. Futuro Próximo (Até 2030).....	365
2.1 Economia Solar/de Hidrogénio.....	365
2.2 Energia Eólica.....	367
2.3 Vem Aí o Sol.....	368
2.4 Automóvel Elétrico	372
2.5 Fissão Nuclear	377
2.6 Proliferação Nuclear	381
3. Meados do Século (2030 A 2070).....	387
3.1 Aquecimento Global	387
3.2 Dióxido de Carbono – Gases com Efeito Estufa.....	389
3.3 Visita à Islândia	390
3.4 Inundando o Bangladeche e o Vietname	395
3.5 Remédios Técnicos	397
3.6 Energia de Fusão.....	403
3.7 Fusão Quente.....	409
3.8 NIF – Fusão a <i>Laser</i>	410
3.9 ITER – Fusão Num Campo Magnético.....	414
3.10 Fusão no Tampo da Mesa.....	419
4. Futuro Longínquo (2070 A 2100)	423
4.1 A Era do Magnetismo	423
4.2 O Automóvel e o Comboio Magnéticos.....	427
4.3 Comboios e Automóveis Maglev	429
4.4 Energia Vinda do Céu.....	432

CAPÍTULO 6	437
O Futuro das Viagens Espaciais — Em Direção às Estrelas.....	437
1. Futuro Próximo (Até 2030).....	438
1.1 Planetas Extrassolares	438
1.2 Europa – Fora da Zona Habitável.....	441
1.3 Lisa – Antes do <i>Big Bang</i>	444
1.4 Missões Espaciais Tripuladas	447
1.5 Cancelar o Programa Lunar	450
1.6 Pousar num Asteroide	451
1.7 Pousar numa Lua de Marte	453
1.8 De Regresso à Lua	454
1.9 Base Lunar Permanente.....	456
1.10 Água na Lua.....	459
2. Meados do Século (2030 A 2070).....	460
2.1 Missão a Marte	460
2.2 “Terraformar” Marte?	463
2.3 Benefício Económico?.....	466
2.4 Turismo Espacial	468
2.5 Cartas Fora do Baralho	471
3. Futuro Longínquo (2070 A 2100)	476
3.1 Elevador Espacial	476
3.2 Naves Estelares.....	481
3.3 Foguetão Nuclear.....	485
3.4 Estatorreatores de Fusão.....	487
3.5 Foguetões de Antimatéria	490
3.6 Nanonaves	493
3.7 Êxodo da Terra?	502
CAPÍTULO 7	504
O Futuro da Riqueza — Ganhadores e Perdedores	504
1. Domínio das Quatro Forças.....	508
2. Futuros Próximo (Até 2030)	511
2.1 Quatro Fases da Tecnologia.....	511
2.2 Porquê Bolhas e Derrocadas?.....	515
3. Meados do Século (2030 A 2070).....	520
3.1 Ganhadores e Perdedores: Empregos	520

3.2 Futuro do Espetáculo.....	526
3.3 Matrix.....	528
4. Futuro Longínquo (2070 A 2100)	531
4.1 Impacto no Capitalismo	531
4.2 Do Capitalismo da Mercadoria ao Capitalismo Intelectual	536
4.3 Fosso Digital?	540
4.4 Empregos Não Qualificados.....	541
4.5 Ganhadores e Perdedores: Nações	545
4.6 Tirando Partido da Ciência.....	547
4.7 O Futuro é para Todos	549
4.8 Lição de Singapura	552
4.9 Desafio Para o Futuro	555
CAPÍTULO 8	558
O Futuro da Humanidade — Civilização Planetária	558
1. Classificar Civilizações	559
2. Civilizações de Tipos I, II e III	562
3. Do Tipo 0 ao Tipo I.....	565
4. Terrorismo e Ditaduras	578
5. Civilizações do Tipo II.....	579
6. Civilizações de Tipo III.....	580
7. Seti (Busca de Inteligência Extraterrestre).....	582
8. Novas Classificações	585
9. Classificar Civilizações pela Entropia	588
10. De Senhores da Natureza a Conservadores da Natureza	590
11. Transição MUITÍSSIMO Perigosa.....	592
12. A Busca de Sabedoria	593
13. Chave para o Futuro: Sabedoria.....	597
14. Futuro como Comboio de Carga	599
CAPÍTULO 9	601
Um Dia na Vida em 2100.....	601
1. 1 de Janeiro de 2100, 6:15	601
2. O Escritório	606
3. De Regresso a Casa.....	610
4. O Fim-de-Semana	616
5. O Encontro.....	619

6. Meses Seguintes 624

7. Um Ano Mais Tarde..... 628

A FÍSICA DO FUTURO

*Como a Ciência Moldará o Mundo
nos Próximos Cem Anos*

Michio Kaku

Agradecimentos

Gostaria de agradecer às pessoas que trabalharam incansavelmente para fazer deste livro um sucesso. Em primeiro lugar quero agradecer aos meus editores, Roger Scholl, que orientou tantos dos meus livros anteriores e veio com a ideia de um livro desafiante como este, e também Edward Kastenmeier, que fez pacientemente incontáveis sugestões e revisões a este livro que reforçaram e melhoraram grandemente a sua apresentação. Também gostaria de agradecer a Stuart Krichevsky, meu agente há muitos anos, que sempre me encorajou para aceitar novos e mais excitantes desafios.

E, claro, gostaria de agradecer aos mais de trezentos cientistas que entrevistei ou com quem tive discussões a respeito da ciência. Gostaria de pedir desculpa por ter arrastado uma equipa de filmagens da BBC-TV ou dos canais Discovery e Science para os seus laboratórios e ter enfiado um microfone diante das suas caras. Isto podia ter comprometido a sua investigação, mas espero que o produto final tenha valido a pena.

Gostaria de agradecer a alguns desses pioneiros e inovadores:

Eric Chivian, prémio Nobel, Center for Health and the Global Environment,
Harvard Medical School

Peter Doherty, prémio Nobel, Hospital St. Jude Children's Research

Gerald Edelman, prémio Nobel, Scripps Research Institute

Murray Gell-Mann, prémio Nobel, Santa Fe Institute e Caltech

Walter Gilbert, prémio Nobel, Universidade de Harvard

Devo Gross, prémio Nobel, Kavli Institute for Theoretical Physics

Henry Kendall, já falecido, prémio Nobel, MIT

Leon Lederman, prémio Nobel, Illinois Institute of Technology

Yoichiro Nambu, prémio Nobel, Universidade de Chicago

Henry Pollack, prémio Nobel, Universidade do Michigan

Joseph Rotblat, prémio Nobel, Hospital St. Bartholomew

Steven Weinberg, prémio Nobel, Universidade do Texas em Austin

Frank Wilczek, prémio Nobel, MIT

Amir Aczel, autor de *Uranium Wars*

Buzz Aldrin, antigo astronauta da NASA, o segundo homem a caminhar na Lua

Geoff Andersen, investigador associado, Academia da Força Aérea dos Estados Unidos, autor de *The Telescope*

Jay Barbree, correspondente da NBC, coautor de *Moon Shot*

John Barrow, físico, Universidade de Cambridge, autor de *Impossibilidade*

Marcia Bartusiak, autora de *Einstein's Unfinished Symphony*

Jim Bell, professor de astronomia, Universidade de Cornell

Jeffrey Bennet, autor de *Beyond UFOs*

Bob Berman, astrónomo, autor de *Secrets of the Night Sky*

Leslie Biesecker, chefe do Departamento de Investigação de Doenças Genéticas, National Institutes of Health

Piers Bizony, escritor científico, autor de *How to Build Your Own Spaceship*

Michael Blaese, cientista que pertenceu aos National Institutes of Health

Alex Boese, fundador do Museum of Hoaxes

Nick Bostrom, trans-humanista, Universidade de Oxford

Ten. Cor. Robert Bowman, Institute for Space and Security Studies
Lawrence Brody, chefe do Departamento de Tecnologia do Genoma, National Institutes of Health

Rodney Brooks, antigo diretor, Laboratório de Inteligência Artificial do MIT

Lester Brown, fundador do Earth Policy Institute

Michael Brown, professor de astronomia, Caltech

James Canton, fundador do Institute for Global Futures, autor de *The Extreme Future*

Arthur Caplan, diretor, Centro de Bioética, Universidade da Pensilvânia

Fritjof Capra, autor de *A Ciência de Leonardo da Vinci* (Cultrix)

Sean Carroll, cosmólogo, Caltech

Andrew Chaikin, autor de *A Man on the Moon*

Leroy Chiao, antigo astronauta da NASA

George Church, diretor do Center for Computational Genetics, Harvard Medical School

Thomas Cochran, físico, Natural Resources Defense Council

Cristopher Cokinos, escritor científico, autor de *The Fallen Sky*

Francis Collins, diretor do National Institutes of Health

Vicki Colvin, diretor of Biological and Environmental Nanotechnology, Rice University

Neil Comins, autor de *The Hazards of Space Travel*

Steve Cook, diretor de Space Technologies, Dynetics, antigo porta-voz da NASA

Christine Cosgrove, autora de *Normal at Any Cost*

Steve Cousins, presidente executivo, Willow Garage

Brian Cox, físico, Universidade de Manchester, anfitrião de ciência da BBC

Phillip Coyle, antigo secretário da Defesa assistente, Departamento de Defesa dos EUA

Daniel Crevier, autor de *AI: The Tumultuous History of the Search for Artificial Intelligence*, presidente executivo de Coreco

Ken Croswell, astrónomo, autor de *Magnificent Universe*

Steven Cummer, ciência de computação, Universidade Duke

Mark Cutkosky, engenharia mecânica, Universidade de Stanford

Paul Davies, físico, autor de *Superforce*

Aubrey de Gray, Director de Ciências, SENS Foundation

Michael Dertouzos, já falecido, antigo director do Laboratory for Computer Science, MIT

Jared Diamond, vencedor do prémio Pulitzer, professor de geografia, UCLA

Mariette DiChristina, editor-chefe, *Scientific American*

Peter Dilworth, antigo cientista do Laboratório de IA do MIT

John Donoghue, criador de BrainGate, Universidade de Brown

Ann Druyan, viúva de Carl Sagan, Cosmos Studios

Freeman Dyson, professor emérito de física, Instituto de Estudos Avançados,
Princeton

Jonathan Ellis, físico, CERN

Daniel Fairbanks, autor de *Relics of Eden*

Timothy Ferris, professor emérito na Universidade da Califórnia, Berkeley.
autor de *Coming of Age in the Milky Way*

Maria Finitzo, cineasta, vencedor do Peabody Award, *Mapping Stem Cell Research*

Robert Finkelstein, especialista de IA

Caristopher Flavin, WorldWatch Institute

Louis Friedman, cofundador, Planetary Society

James Garvin, antigo cientista principal da NASA, NASA Goddard Space
Flight Center

Evalyn Gates, autor de *Einstein's Telescope*

Embaixador Thomas Graham, especialista em satélites espões

Jack Geiger, cofundador, Physicians for Social Responsibility

David Gelernter, professor de ciência de computação, Universidade de Yale

Neil Gershenfeld, director, Center of Bits and Atoms, MIT

Paul Gilster, autor de *Centauri Dreams*

Rebecca Goldberg, antiga cientista sênior no Environmental Defense Fund, diretora de Marine Science, Pew Charitable Trust

Don Goldsmith, astrônomo, autor de *The Runaway Universe*

Seth Goldstein, professor de ciência de computação, Carnegie Mellon University

David Goodstein, antigo administrador assistente da Caltech, professor de física

J. Richard Gott III, professor de ciências astrofísicas, Universidade de Princeton, autor de *Viagens no Tempo no Universo de Einstein* (Quasi)

Stephen Jay Gould, já falecido, biólogo, Harvard Lightbridge Corp.

John Grant, autor de *Corrupted Science*

Eric Green, director do Instituto de Investigação do Genoma Humano, National Institutes of Health

Ronald Green, autor de *Babies by Design*

Brian Greene, professor de matemática e física, Columbia University, autor de *The Elegant Universe*

Alan Guth, professor de física, MIT, autor de *The Inflationary Universe*

William Hanson, autor de *The Edge of Medicine*

Leonard Hayflick, professor de anatomia, Universidade da Califórnia, San Francisco Medical School

Donald Hillebrand, director do Center for Transportation Research, Argonne National Laboratory

Frank von Hippel, físico, Universidade de Princeton

Jeffrey Hoffman, antigo astronauta da NASA, professor de aeronáutica e astronáutica, MIT

Douglas Hofstadter, vencedor do prêmio Pulitzer, autor de *Godel, Escher, Bach*

John Horgan, Stevens Institute of Technology, autor de *The End of Science*

Jamie Hyneman, anfitrião de *MythBusters*

Chris Impey, professor de astronomia, Universidade do Arizona, autor de *The Living Cosmos*

Robert Irie, antigo cientista do Laboratório de IA, MIT, Massachusetts General Hospital

P. J. Jacobowitz, revista *PC*

Jay Jaroslav, antigo cientista do Laboratório de IA, MIT

Donald Johanson, paleoantropólogo, descobridor de Lucy

George Johnson, jornalista científico, *New York Times*

Tom Jones, antigo astronauta da NASA

Steve Kates, astrónomo e apresentador da rádio

Jack Kessler, professor de neurologia, director de Feinberg Neuroscience Institute, Northwestern University

Robert Kirshner, astrónomo, Universidade de Harvard

Kris Koenig, cineasta e astrónomo

Lawrence Krauss, Universidade do Estado do Arizona, autor de *The Physics of Star Trek*

Robert Lawrence Kuhn, cineasta e filósofo, série da PBS TV *Closer to Truth*

Ray Kurzweil, inventor, autor de *The Age of Spiritual Machines*

Robert Lanza, biotecnologia, Advanced Cell Technology

Roger Launius, coautor de *Robots in Space*

Stan Lee, criador de Marvel Comics e Spider-Man

Michael Lemonick, antigo editor sênior de ciência, revista *Time*, Climate Central

Arthur Lerner-Lam, geólogo, vulcanista, Columbia University

Simon LeVay, autor de *When Science Goes Wrong*

John Lewis, astrónomo, Universidade do Arizona

Alan Lightman, MIT, autor de *Os Sonhos de Einstein* (Asa)

George Linehan, autor de *SpaceShipOne*

Seth Lloyd, MIT, autor de *Programming the Universe*

Joseph Lykken, físico, Fermi National Accelerator Laboratory

Robert Mann, autor de *Forensic Detective*

Michael Paul Mason, autor de *Head Cases*

W. Patrick McCray, autor de *Keep Watching the Skies!*

Glenn McGee, autor de *The Perfect Baby*

James McLurkin, antigo cientista do Laboratório de IA, MIT, Rice University

Paul McMillan, director, Spacewatch, Universidade do Arizona

Pattie Maes, MIT Media Laboratory

Fulvio Melia, professor de Física e Astronomia, Universidade do Arizona

Wilham Meller, autor de *Evolution Rx*

Paul Meltzer, National Institutes of Health

Marvin Minsky, MIT, autor de *The Society of Mind*

Hans Moravec, professor investigador na Universidade Carnegie Mellon, autor de *Homens e Robots* (Gradiva)

Phillip Morrison, já falecido, físico, MIT

Richard Muller, astrofísico, Universidade da Califórnia em Berkeley

David Nahamoo, anteriormente na IBM Human Language Technology

Christina Neal, vulcanista, Alaska Volcano Observatory, US Geological Survey

Michael Novacek, curador, Fossil Mammals, Museu Americano de História Natural

Michael Oppenheimer, ambientalista, Universidade de Princeton

Dean Ornish, professor de medicina, Universidade da Califórnia, San Francisco

Peter Palese, professor de microbiologia, Mt. Sinai School of Medicine

Charles Pellerin, antigo funcionário da NASA

Sidney Perkowitz, professor de física, Universidade Emory, autor de *Hollywood Science*

John Pike, director, GlobalSecurity.org

Jena Pincott, autor de *Do Gentlemen Really Prefer Blondes?*

Tomaso Poggio, inteligência artificial, MIT

Correy Powell, editor chefe, revista *Discover*

John Powell, fundador, JP Aerospace

Richard Preston, autor de *The Hot Zone* e *The Demon in the Freezer*

Raman Prinja, professor de astrofísica, University College London

David Quammen, escritor científico, autor de *The Reluctant Mr. Darwin*

Katherine Ramsland, cientista forense

Lisa Randall, professora de física teórica, Universidade de Harvard, autor de *Warped Passages*

Sir Martin Rees, professor de cosmologia e astrofísica, Universidade de Cambridge, autor de *Before the Beginning*

Jane Rissler, Union of Concerned Scientists

Steven Rosenberg, National Cancer Institute, National Institutes of Health

Jeremy Rifkin, fundador, Foundation on Economic Trends

David Riquier, diretor de Corporate Outreach, MIT Media Lab

Paul Saffo, futurólogo, anteriormente no Institute for the Future, professor consultor na Universidade de Stanford

Carl Sagan, já falecido, Universidade de Cornell, autor de *Cosmos*

Nick Sagan, coautor de *You Call This the Future*

Michael Salamon, programa Para Lá de Einstein da NASA

Adam Savage, apresentador de *MythBusters*

Peter Schwartz, futurólogo, cofundador de Global Business Network, autor de *The Long View*

Michael Shermer, fundador da Skeptics Society e da revista *Skeptic*

Donna Shirley, antiga administradora, Programa de Exploração de Marte da NASA

Seth Shostak, SETI Institute

Neil Shubin, professor biologia orgânica e anatomia, Universidade de Chicago, autor de *Quando Éramos Peixes* (Estrela Polar)

Paul Shuch, diretor executivo emérito, SETI League

Peter Singer, autor de *Wired for War*, Brookings Institute

Simon Singh, autor de *Big Bang* (Gradiva)

Gary Small, coautor de *iBrain*

Paul Spudis, Planetary Geology Program of the NASA Office of Space Science, Solar System Division

Steven Squyres, professor de astronomia, Universidade de Cornell

Paul Steinhardt, professor de física, Universidade de Princeton, coautor de *Endless Universe*

Gregory Stock, UCLA, autor de *Redesigning Humans*

Richard Stone, *The Last Great Impact on Earth*, Discover Magazine

Brian Sullivan, anteriormente no Planetário Hayden

Leonard Susskind, professor de física, Universidade de Stanford

Daniel Tammet, sábio autista, autor de *Born on a Blue Day*

Geoffrey Taylor, físico, Universidade de Melbourne

Ted Taylor, já falecido, criador de ogivas nucleares dos EUA

Max Tegmark, físico, MIT

Alvin Toffler, autor de *A Terceira Vaga* (Livros do Brasil)

Patrick Tucker, World Future Society

Almirante Stansfield M. Turner, antigo director da Central Intelligence

Chris Tumey, Universidade de Exeter, UK, autor de *Ice, Mud and Blood*

Neil deGrasse Tyson, director, Planetário Hayden

Sesh Welamoor, Foundation for the Future

Robert Wallace, coautor de *Spycraft*, antigo director do Departamento de Serviços Técnicos da CIA

Kevin Warwick, ciborgues humanos, Universidade de Reading, UK

Fred Watson, astrónomo, autor de *Astronómica* (Dinalivro)

Mark Weiser, já falecido, Xerox PARC

Alan Weisman, autor de *O Mundo Sem Nós* (Estrela Polar)

Daniel Werthimer, SETI em Casa, Universidade da Califórnia em Berkeley

Mike Wessler, antigo cientista do Laboratório de IA, MIT

Arthur Wiggins, autor de *The Joy of Physics*

Anthony Wynshaw-Boris, National Institutes of Health

Carl Zimmer, escritor científico, autor de *Evolution*

Robert Zimmerman, autor de *Leaving Earth*

Robert Zubrin, fundador, Mars Society

Introdução

Prever os Próximos Cem Anos

Os impérios do futuro serão impérios da mente.

— WINSTON CHURCHILL

EM CRIANÇA, tive duas experiências que ajudaram a moldar a pessoa em que me tornei, engendrando paixões que definiram toda a minha vida.

A primeira ocorreu aos oito anos. Lembro-me de que os professores não paravam de falar de um grande cientista que tinha acabado de morrer. Nessa noite, os jornais divulgaram uma fotografia do seu gabinete, com um manuscrito inacabado na secretária. A legenda dizia que o maior cientista do nosso tempo não tinha podido terminar a sua obra-prima. Interroguei-me onde estaria a dificuldade que tinha impedido um cientista tão notável de a acabar? O que seria assim tão complexo e importante? Esta pergunta acabou por se tornar mais fascinante do que qualquer enredo policial, mais intrigante do que qualquer história de aventuras. Tinha de saber o que continha esse manuscrito inacabado.

Soube mais tarde que o tal cientista se chamava Albert Einstein e que o referido manuscrito devia ser o seu feito supremo, a tentativa de criar uma «teoria de tudo», uma equação, porventura com pouco mais de um centímetro de comprimento, que desvendaria os segredos do Universo e talvez lhe permitisse «ler a mente de Deus».

A outra experiência fulcral da minha infância ocorria aos sábados de manhã, quando via televisão, sobretudo a série do *Flash Gordon* com Buster Crabbe. Ficava de nariz colado ao ecrã todas as semanas. Era transportado como que por magia para um mundo misterioso de extraterrestres, de naves espaciais, de batalhas com pistolas de raios, de cidades submarinas e de monstros. Deixei-me fascinar. Foi a minha primeira exposição ao mundo do futuro e nunca mais deixei de sentir esse espanto infantil sempre que reflito sobre ele.

No entanto, à medida que ia observando os episódios da série, fui-me dando conta de que, embora o Flash fosse o mais aplaudido, era o Dr. Zarkov, o cientista, o responsável pelos êxitos da série. Foi ele que inventou a nave-foguetão, o escudo de invisibilidade, a fonte de energia para a cidade celeste, etc. Sem o cientista, não há futuro. Os belos e elegantes podem conquistar a admiração da sociedade, mas as invenções do futuro são todas obras de cientistas anônimos e desconhecidos.

Mais tarde, no ensino secundário, resolvi seguir as passadas desses grandes cientistas e pôr à prova alguns dos meus conhecimentos. Queria participar nessa grande revolução que iria transformar o mundo. Decidi fabricar um ciclotrão e pedi autorização à minha mãe para construir um acelerador de partículas de 2 a 3 milhões de eletrões-volt na garagem. Ela ficou um pouco atónita, mas autorizou. A seguir, fui à Westinghouse e à Varian Associates, arranjei cerca de 200 quilos de aço magnético e aproximadamente 35 quilómetros de fio de cobre, e montei um betatrão na garagem da minha mãe.

Antes tinha construído uma câmara de neblina com um campo magnético poderoso e tinha fotografado rastos de antimatéria. Mas fotografar antimatéria não bastava. O que eu queria era produzir um feixe de antimatéria. As bobinas magnéticas do acelerador produziam um enorme campo magnético de 10 000 gauss (cerca de 20 000 vezes superior ao campo magnético da Terra, que, em princípio, conseguiria arrancar um martelo da nossa mão). A máquina sorvia 6 quilowatts de potência, esgotando toda a energia elétrica que a minha casa conseguia fornecer. Quando a ligava, era frequente rebentar com a instalação elétrica de casa. (A pobre da minha mãe deve ter pensado por que não jogava antes futebol o seu filho).

E foi assim que me deixei dominar para sempre por duas paixões: o desejo de compreender todas as leis físicas do Universo numa única teoria coerente e o desejo de prever o futuro. Acabei por me dar conta de que essas duas paixões se complementavam. A chave para compreender o futuro é dominar as leis fundamentais da Natureza e aplicá-las às invenções, máquinas e terapias que redefinirão a nossa civilização a longo prazo.

Tem havido inúmeras tentativas de prever o futuro. muitas delas úteis e perspicazes. Porém, foram concebidas sobretudo por historiadores, sociólogos, escritores de ficção científica e «futurólogos», isto é, por gente de fora que prevê o mundo da ciência sem o conhecer em primeira mão. Os cientistas, os iniciados que de facto criam o futuro nos seus

laboratórios, estão demasiado ocupados para ter tempo de escrever livros sobre o futuro destinados ao grande público.

É por isso que este livro é diferente. Espero que forneça quer uma perspetiva de iniciado sobre as descobertas milagrosas que nos esperam quer um olhar mais autêntico e abalizado sobre como será o mundo em 2100.

Obviamente que é impossível prever o mundo com toda a exatidão. Em meu entender, o melhor que podemos fazer é recorrer às mentes dos cientistas na vanguarda da investigação, que levam a cabo a inestimável tarefa de inventar o futuro. São eles que estão a criar os dispositivos, as invenções e as terapias que revolucionarão a civilização. E este livro conta a sua história. Tenho tido a oportunidade de me sentar na fila da frente desta grande revolução, entrevistando para a televisão e para a rádio mais de 300 dos maiores cientistas, pensadores e sonhadores a nível mundial. Também tenho levado equipas de televisão aos seus laboratórios para que filmem os protótipos dos espantosos dispositivos que transformarão o nosso futuro. Tem sido uma honra apresentar tantos programas especiais sobre ciência para a BBC-TV, o canal Discovery e o Canal Ciência, que esboçam as notáveis invenções e descobertas dos visionários que se atrevem a criar o futuro. Livre de prosseguir o meu trabalho sobre a teoria das cordas e de escutar o que se passa na vanguarda das investigações que revolucionarão este século, sinto que ocupo um dos lugares mais cobiçados na ciência. Trata-se da concretização do meu sonho de infância.

No entanto, este livro difere dos anteriores que escrevi. Em obras como *Para Além de Einstein: A Investigação Cósmica para uma Teoria do Universo*¹, *Hyperspace* e *Mundos Paralelos*², discuti os ventos recentes e revolucionários que varrem o meu campo, o da física teórica, e que apontam novas maneiras de compreender o Universo. Em *A Física do Impossível: uma Exploração Científica do Mundo dos Fasers, Campos de Forças, Teletransportes e Viagens no Tempo*³, discuto como as mais recentes descobertas em física poderão vir a tornar possível os enredos mais imaginativos da ficção científica.

Este livro assemelha-se mais a *Visões: Como a Ciência Irá Revolucionar o Século XXI*⁴, em que discuti como evoluiria a ciência nas décadas seguintes. Satisfaz-me que muitas previsões apresentadas nesse livro se estejam a realizar dentro dos prazos. Essa exatidão dependeu, em larga medida, da sabedoria e presciência dos muitos cientistas que entrevistei para escrever a obra.

Este livro, porém, aponta para uma perspectiva mais ampla do futuro, discutindo as tecnologias que poderão amadurecer no espaço de cem anos e que acabarão por determinar o destino da humanidade. O modo como negociarmos os desafios e as oportunidades no próximo século definirá a trajetória definitiva da humanidade.

1. Prever o Próximo Século

Prever a próxima meia dúzia de anos, já para não falar do próximo século, é uma tarefa intimidante. Contudo, estimula-nos a sonhar sobre tecnologias que acreditamos virão a alterar o destino da humanidade.

Em 1863, o grande romancista Júlio Verne encetou o que porventura seria o seu projeto mais ambicioso. Escreveu um romance profético, chamado *Paris no Século XX*, em que aproveitava os seus enormes talentos na previsão do século seguinte. Infelizmente, o manuscrito perdeu-se nas brumas do tempo, até o seu bisneto o achar, por acaso, num cofre, onde se mantivera cuidadosamente fechado a sete chaves durante quase 130 anos. Dando-se conta do tesouro que encontrara, mandou-o publicar em 1994, e a obra foi um grande êxito de vendas.

Em 1863, ainda havia reis e imperadores a governarem velhos impérios, e camponeses pobres a labutarem arduamente nos campos. Os Estados Unidos consumiam-se numa guerra civil ruinosa que por pouco destruía o país, e a máquina a vapor começava a revolucionar o mundo. Mas Verne previu que, em 1960, Paris teria arranha-céus em vidro, ar condicionado, televisão, elevadores, comboios de alta velocidade, automóveis movidos a gasolina, faxes e até algo parecido com a Internet. Com uma exatidão inquietante, Verne retratou a vida na Paris moderna.

Não foi por acaso, pois poucos anos mais tarde fez outra previsão espetacular. Em 1865, escreveu *Da Terra à Lua*, em que antevia os pormenores da missão que enviaria os nossos astronautas à Lua em 1969, mais de cem anos depois. Previu com exatidão as dimensões da cápsula espacial, a localização do sítio de lançamento na Flórida, perto do cabo Canaveral, o número de indivíduos que participariam na missão, a duração da viagem, a ausência de gravidade que os astronautas sentiriam e o mergulho final no oceano. (O seu único erro importante foi a utilização de pólvora, e não de combustível para os foguetões, para colocar

os astronautas na Lua. Mas passar-se-iam mais de setenta anos até se inventarem foguetes com combustíveis líquidos.)

Como conseguiu Júlio Verne antever o que se iria passar num espaço de cem anos com uma precisão de cortar a respiração? Segundo os seus biógrafos, Verne, apesar de não ser cientista, andava sempre atrás dos cientistas, atormentando-os com perguntas sobre o modo como viam o futuro. Juntou um enorme arquivo que resumia as grandes descobertas científicas do seu tempo. Verne compreendeu que a ciência era o motor que abalava os alicerces da civilização, impelindo-a para um novo século com maravilhas e milagres inesperados. O que explica a sua visão e intuição profunda é a compreensão do poder que a ciência tem de revolucionar a sociedade.

Outro grande profeta da tecnologia foi Leonardo da Vinci, pintor, pensador e visionário. Em finais de 1400, desenhou diagramas belíssimos e precisos de máquinas que viriam a encher os céus: esboços de paraquedas, helicópteros, planadores e até aviões. Muitas das suas invenções teriam voado. (Contudo, as suas máquinas voadoras necessitavam de outro ingrediente: de um motor de pelo menos 1 cavalo-vapor, que só viria a estar disponível 400 anos mais tarde.)

Igualmente espantoso é o facto de Leonardo ter esboçado o plano de uma máquina mecânica de somar, provavelmente com 150 anos de antecedência. Um manuscrito mal arquivado voltou a ser analisado em 1967, revelando a sua ideia de uma máquina de somar com treze rodas digitais. Rodando-se uma manivela, as engrenagens no interior da máquina rodavam em sequência, realizando cálculos aritméticos. (A máquina foi construída em 1968 e funcionou.)

Além disso, na década de 1950 descobriu-se noutro manuscrito um esboço de um autómato bélico, com uma armadura germano-italiana, que podia sentar-se e mexer os braços, o pescoço e os maxilares. Também foi construído e também funcionou.

À semelhança de Júlio Verne, Leonardo teve intuições profundas sobre o futuro porque consultou um punhado de contemporâneos intelectualmente avançados. Fazia parte de um pequeno círculo de pessoas na vanguarda da inovação. Acresce que estava sempre a testar, a construir e a esboçar modelos, um atributo crucial de alguém que quer traduzir o pensamento em realidade.

Partindo das intuições poderosas e proféticas de Verne e de Leonardo da Vinci, perguntamo-nos se será possível prever o mundo em 2100. Na linha de ambos, examinaremos atentamente o trabalho de cientistas de primeiro plano empenhados na construção dos protótipos das tecnologias que transformarão o nosso futuro. Este livro não é uma obra de ficção, um produto da imaginação inflamada de um argumentista de Hollywood, baseando-se, ao invés, na ciência sólida que está a ser praticada nos principais laboratórios de todo o mundo.

Já existem protótipos de todas essas tecnologias. Como disse uma vez William Gibson, autor de *Neuromante* e criador da palavra *ciberespaço*, «O futuro já cá está. Distribui-se é de uma forma desigual.»

Prever o mundo em 2100 é uma tarefa assustadora porque vivemos uma Era de grandes convulsões científicas, em que o ritmo das descobertas não pára de acelerar. Acumulou-se mais conhecimento científico nas últimas décadas do que em toda a história da Humanidade e, em 2100, esse conhecimento científico terá voltado a duplicar várias vezes.

Porém, a melhor maneira de captar a enormidade da tarefa de prever 100 anos talvez seja evocar o mundo em 1900 e recordar a vida dos nossos avós.

O jornalista Mark Sullivan sugere-nos que imaginemos alguém a ler um jornal em 1900:

Nos seus jornais do dia 1 de Janeiro de 1900, os americanos não encontravam a palavra «rádio» pois ainda faltavam vinte anos para ela surgir, nem «cinema», porque também isso pertencia ao futuro, nem motorista pois o automóvel estava a despontar e ainda era chamado «carruagem sem cavalos» [...] A palavra aviador não existia [...] Os agricultores não tinham ouvido falar em tratores, nem os banqueiros em Reserva Federal. Os comerciantes não tinham ouvido falar em cadeias de lojas nem em *self-service*, nem os marinheiros em motores a gasóleo [...] Ainda se viam parelhas de bois nos campos [...] Os cavalos e as mulas para puxar carroças eram praticamente universais [...] O ferreiro a trabalhar por baixo do carvalho era uma realidade.⁵

Para percebermos a dificuldade de prever os próximos 100 anos, temos de avaliar a dificuldade que as pessoas teriam em 1900 de prever o mundo em 2000. Em 1893, durante a World's Columbian Exposition, em Chicago, pediu-se a setenta e quatro individualidades famosas que previssem como seria a vida nos próximos 100 anos. O problema residiu na subestimação sistemática da velocidade a que a ciência progrediria. Por exemplo, muitos previram corretamente que viríamos a ter transportes aéreos comerciais transatlânticos, mas

achavam que seriam balões. O senador John J. Ingalls disse: «Os cidadãos chamarão os seus dirigíveis como hoje pedem a sua carruagem ou as suas botas.»⁶ Também omitiram sistematicamente o advento do automóvel. O general John Wanamaker, chefe dos correios, afirmou que o correio continuaria a ser distribuído nos Estados Unidos em diligências e cavalos durante mais 100 anos.

Esta subestimação da ciência e da inovação chegou a abranger o registo de patentes. Em 1899, Charles H. Duell, comissário do Gabinete de Patentes americano, disse: «Tudo o que podia ser inventado já o foi»⁷

Especialistas num domínio chegaram a menosprezar o que estava a acontecer à frente dos seus olhos. Em 1927, Harry M. Warner, um dos fundadores da Warner Brothers, comentou durante a Era dos filmes mudos: «Mas quem quer ouvir atores a falarem?»⁸

E Thomas Watson, presidente da IBM, disse em 1943: «Acho que, no mundo, talvez haja mercado para uns cinco computadores.»⁹

Esta subestimação do poder da descoberta científica chegou a atingir o venerável *New York Times*. (Em 1903, o *Times* declarou que as máquinas voadoras eram um desperdício de tempo, precisamente uma semana antes de os irmãos Wright terem conseguido levantar voo no seu avião perto de Kitty Hawk, na Carolina do Norte. Em 1920, o *Times* criticou o cientista de foguetões Robert Goddard, considerando absurdo o seu trabalho, dada a impossibilidade de os foguetões se moverem no vácuo. Quarenta e nove anos mais tarde, quando os astronautas da *Apollo 11* alunaram, o *Times* teve o mérito de se retratar: «Fica definitivamente estabelecido que um foguetão se pode mover no vácuo. O *Times* reconhece o seu erro.»¹⁰)

A lição a retirar daqui é que é perigosíssimo apostar contra o futuro.

Com poucas exceções, as previsões nesta matéria têm subestimado sempre o ritmo do progresso tecnológico. Tem-se dito vezes sem conta que a História é escrita por otimistas e não por pessimistas. Como afirmou um dia o presidente Dwight Eisenhower, «O pessimismo nunca ganhou qualquer guerra.»

Até podemos ver como os próprios escritores de ficção científica subestimaram o ritmo da descoberta científica. Quando assistimos a reposições da velha série televisiva da década de 1960 *Star Trek* (*Caminho das Estrelas*), reparamos que grande parte da sua «tecnologia do

século XXIII» já existe. Nessa época, os telespectadores ficavam atônitos ao ver telemóveis, computadores portáteis, máquinas que falavam e máquinas de escrever para as quais se podia ditar. Mas todas essas tecnologias já existem. Não tarda muito, teremos também versões do tradutor universal, capazes de traduzir rapidamente enquanto falamos, e também *tricorders*, capazes de diagnosticar doenças à distância. (À exceção dos motores de impulso de deformação (*warp drive*) e dos transportadores, grande parte dessa ciência do século XXIII já existe).

Perante os flagrantes erros de subestimação do futuro que se têm cometido, como poderemos começar a proporcionar uma base científica mais sólida às nossas previsões?

2. Compreender as Leis da Natureza

Já não vivemos na Idade das Trevas da ciência, quando os relâmpagos e as pragas eram considerados atos divinos. Dispomos de uma enorme vantagem que Verne e Leonardo da Vinci não tinham: uma compreensão sólida das leis da Natureza.

As previsões nunca serão perfeitas, mas uma maneira de as tornar o mais abalizadas possível é compreender as quatro forças fundamentais que existem na Natureza e que comandam todo o Universo. A história da Humanidade mudou, sempre que uma delas foi compreendida e descrita.

A primeira a ser explicada foi a força da gravidade. Isaac Newton forneceu-nos uma mecânica capaz de explicar o movimento dos objetos por via de forças, e não de espíritos místicos ou da metafísica. Isso ajudou-nos a abrir caminho à Revolução Industrial e ao aparecimento da máquina a vapor, sobretudo da locomotiva.

A segunda a ser explicada foi a força eletromagnética, que ilumina as nossas cidades e faz funcionar os nossos aparelhos. Quando Thomas Edison, Michael Faraday, James Clerk Maxwell e outros ajudaram a explicar a eletricidade e o magnetismo, desencadearam uma revolução eletrónica que criou um manancial de prodígios científicos. Damo-nos conta disso sempre que a energia elétrica falta, quando a sociedade mergulha subitamente no século passado.

A terceira e a quarta força explicadas, foram as nucleares, a fraca e a forte. Quando Einstein escreveu $E = mc^2$ e quando o átomo foi cindido na década de 1930, os cientistas começaram a compreender as forças que iluminam os céus. Isso revelou o segredo oculto pelas estrelas. Além de desencadear o tremendo poder das armas nucleares, também continha a promessa de que um dia seríamos capazes de dominar essa energia na Terra.

Presentemente, possuímos um entendimento muito razoável dessas quatro forças. A primeira, a gravidade, está descrita na teoria da relatividade geral de Einstein, e as outras três na teoria quântica, que os permite decodificar os segredos do mundo subatômico.

A teoria quântica, por sua vez, deu-nos o transístor, o laser e a revolução digital, que é a força motriz subjacente à sociedade moderna. Os cientistas também foram capazes de usar a teoria quântica para desvendar o segredo da molécula de ADN. A velocidade alucinante da revolução biotecnológica resulta diretamente da tecnologia informática, pois a sequenciação do ADN é integralmente realizada por máquinas, robôs e computadores.

Em consequência, tornámo-nos mais capazes de vislumbrar o rumo que a ciência e a tecnologia seguirão no próximo século. Haverá sempre surpresas totalmente inesperadas que nos deixarão sem fala, mas as bases da Física, da Química e da Biologia modernas estão, em geral, lançadas, e não esperamos nenhuma importante revisão destes conhecimentos básicos, pelo menos num futuro previsível. Por conseguinte, as previsões apresentadas neste livro não resultam de especulações desenfreadas, mas de estimativas racionais sobre o momento em que as atuais tecnologias prototípicas atingirão finalmente a maturidade.

Em conclusão, temos hoje sérios motivos para acreditar que podemos perspetivar os contornos do mundo em 2100:

1. Este livro baseia-se em entrevistas a mais de 300 cientistas notáveis, que estão na vanguarda das descobertas.
2. Todos os progressos científicos mencionados neste livro são compatíveis com as leis da física conhecidas.

3. As quatro forças e as leis fundamentais da Natureza são amplamente conhecidas e não se espera que venham a sofrer qualquer alteração importante.
4. Já existem protótipos de todas as tecnologias mencionadas neste livro.
5. Este livro é escrito por um «iniciado» que observou diretamente as tecnologias na vanguarda da investigação.

Fomos observadores passivos da dança da Natureza durante tempos imemoriais. Limitámo-nos a observar com espanto e terror cometas, relâmpagos, erupções vulcânicas e pragas, partindo do princípio de que ultrapassavam a nossa compreensão. Para os antigos, as forças da Natureza eram um mistério eterno a temer e a venerar, motivo pelo qual criaram os deuses da mitologia para atribuírem sentido ao mundo que os rodeava. Os antigos rezavam aos deuses na expectativa de que estes se apiedassem e lhes concedessem o que mais ardentemente desejavam.

Presentemente, tornámo-nos coreógrafos da Natureza, capazes de, aqui e ali, dar um jeito nas suas leis. Em 2100, porém, teremos feito a transição, tornando-nos senhores da Natureza.

3. 2100: Tornamo-Nos Deuses da Mitologia

Se pudéssemos visitar os nossos antepassados remotos e mostrar-lhes o manancial da ciência e da tecnologia modernas, seríamos vistos como mágicos. Com a feitiçaria da ciência, podíamos mostrar-lhes aviões a jato capazes de se elevar nas nuvens, foguetões que podem explorar a Lua e os planetas, aparelhos de imagiologia por ressonância magnética capazes de espreitar para o interior do corpo vivo e telemóveis que nos podem pôr em contato com qualquer pessoa em todo o planeta. Se lhes mostrássemos computadores portáteis que

enviam imagens em movimento e mensagens, instantaneamente, de um continente a outro, eles achariam que se tratava de bruxaria.

Porém, isto é apenas o princípio. A ciência não é estática. Está a explodir exponencialmente à nossa volta. Se contarmos o número de artigos científicos que estão a ser publicados, descobrimos que duplica de dez em dez anos, aproximadamente. A inovação e a descoberta estão a mudar toda a paisagem económica, política e social, derrubando as velhas crenças e preconceitos.

Atrevamo-nos a imaginar o mundo em 2100.

Em 2100, o nosso destino é assemelharmo-nos aos deuses que venerávamos e temíamos. Contudo, as nossas ferramentas não serão varinhas de condão e poções mágicas, mas a ciência Informática, a Nanotecnologia, a Inteligência Artificial, a Biotecnologia e, acima de tudo, a Teoria Quântica, que é a base das tecnologias anteriores.

Em 2100, à semelhança dos deuses da mitologia, seremos capazes de manipular objetos com o poder da nossa mente. Computadores, lendo silenciosamente os nossos pensamentos, poderão satisfazer os nossos desejos. Seremos capazes de mover objetos, limitando-nos a pensar neles, um poder telecinético habitualmente reservado aos deuses. Com o poder da Biotecnologia, criaremos corpos perfeitos e aumentaremos a duração da nossa vida. Também seremos capazes de criar formas de vida que nunca existiram à superfície da Terra. Com o poder da Nanotecnologia, poderemos pegar num objeto e transformá-lo noutra coisa, criar algo aparentemente do nada. Não nos moveremos em carruagens de fogo, mas em veículos aerodinâmicos que se erguerão sozinhos, praticamente sem combustível, flutuando sem esforço no ar. Com os nossos motores, conseguiremos controlar a energia ilimitada das estrelas. Também estaremos prestes a enviar naves estelares para explorar as estrelas próximas.

Embora este poder idêntico ao dos deuses pareça inimaginavelmente avançado, as sementes de todas estas tecnologias estão a ser plantadas neste preciso momento. É a ciência moderna, e não os cânticos e encantamentos, que nos concederá este poder.

Sou físico quântico. Lido diariamente com as equações que governam as partículas subatómicas a partir das quais se cria o Universo. O mundo em que vivo é o universo do hiperespaço a onze dimensões, dos buracos negros e das portas para o multiverso. Mas as

equações da teoria quântica, usadas para descrever as estrelas que explodem e o *big bang*, também podem ser usadas para decifrar os contornos do nosso futuro.

Porém, para onde nos estão a levar todas estas mudanças tecnológicas? Qual o destino final desta longa viagem pela ciência e a tecnologia?

O culminar de todas estas convulsões é a formação de uma civilização planetária, a que alguns físicos chamam civilização de Tipo 1. Esta transição talvez seja a maior da História, assinalando um claro afastamento de todas as civilizações do passado. Todos os títulos que encabeçam as notícias refletem, de certa forma, as dores de parto desta civilização planetária. O comércio, os negócios, a cultura, a linguagem, o entretenimento, o lazer e até a guerra estão a ser revolucionados pelo advento desta civilização planetária. Pelo cálculo da produção energética do planeta, podemos estimar que atingiremos o Tipo 1 no espaço de 100 anos. Se não sucumbirmos às forças do caos e da loucura, é inevitável a transição para uma civilização planetária, o produto final das enormes e inexoráveis forças da História e da tecnologia, que escapam ao controlo de seja quem for.

4. Por Que Motivo Não Se Concretizam Algumas Previsões?

Contudo, várias previsões sobre a Era da informação revelaram-se espetacularmente falsas. Muitos «futurólogos», por exemplo, previram o «escritório sem papel» — isto é, o computador tornaria o papel obsoleto. Na verdade, aconteceu precisamente o oposto. Uma vista de olhos a qualquer escritório mostra-nos que a quantidade de papel nunca foi tão grande como hoje.

Houve outros que também imaginaram a «cidade sem pessoas». «Futurólogos» previram que as teleconferências pela Internet tornariam desnecessárias as reuniões presenciais de negócios, pelo que deixariam de ser precisas as deslocações entre o local de trabalho e a casa, e vice-versa. Com efeito, as próprias cidades esvaziar-se-iam, tornando-se cidades-fantasma, à medida que as pessoas passassem a trabalhar mais em casa em vez de no escritório.

Do mesmo modo, assistir-se-ia à ascensão dos «ciberturistas», dos sedentários que passariam o dia esparramados no sofá, a deambular pelo mundo e a ver as vistas no seu computador, por meio da internet. Também veríamos os «cibercompradores», que delegariam no rato do computador o esforço físico de andar. Os centros comerciais faliriam. E os «ciberestudantes» teriam todas as aulas *online* enquanto se entretinham com jogos de vídeo e bebericavam cerveja. As universidades encerrariam por falta de interesse.

Ora vejamos o destino do «videofone». Durante a Feira Mundial de 1964, a AT&T gastou cerca de 100 milhões de dólares a aperfeiçoar um ecrã televisivo que se ligaria ao sistema telefónico para que duas pessoas se pudessem ver uma à outra enquanto falavam ao telefone. A ideia nunca resultou: a AT&T só vendeu 100 ecrãs, o que se traduziu num custo de 1 milhão de dólares por aparelho, redundando num fracasso dispendiosíssimo.

Por último, pensou-se que estaria iminente o fim dos média e do entretenimento tradicionais. Alguns «futurólogos» proclamaram que a Internet iria engolir o teatro ao vivo, o cinema, a rádio e a televisão, que não tardariam a ser vistos apenas em museus.

Na verdade, aconteceu o contrário. Os engarrafamentos estão piores do que nunca, uma característica constante da vida urbana. As pessoas afluem aos países estrangeiros em números nunca dantes vistos, transformando o turismo numa das indústrias de maior crescimento do mundo. Os compradores inundam as lojas, não obstante as dificuldades económicas dos nossos dias. Em vez da proliferação de «ciberaulas», as universidades ainda acolhem um número recorde de alunos. Como é evidente, cresce o número de pessoas que decidem trabalhar em casa ou teleconferenciar com os colegas, mas as cidades não se esvaziaram, tendo-se transformado, ao invés, em megacidades em expansão. É fácil ter conversas em vídeo na Internet, mas a maioria das pessoas mostra relutância em ser filmada, optando por contatos presenciais. E, como é evidente, a Internet mudou toda a paisagem dos média — ao ponto de os gigantes do sector se interrogarem sobre como poderão obter lucros nela —, mas está longe de ter varrido a televisão, a rádio e o teatro ao vivo. As luzes da Broadway ainda brilham como dantes.

5. Princípio do Homem das Cavernas

Por que motivo não se materializaram essas previsões? Formulo a hipótese de que as pessoas rejeitaram esses progressos devido àquilo a que chamo o Princípio do Homem (ou da Mulher) das Cavernas. Os dados genéticos e fósseis indicam que os seres humanos modernos, bastante semelhantes a nós, surgiram em África há mais de 100 000 anos, mas não dispomos de provas de que os nossos cérebros e personalidades tenham mudado muito desde então. Se pegássemos em alguém desse período, seria anatomicamente idêntico a nós: se lhe dêssemos um banho e o barbeássemos, se lhe vestíssemos um fato com colete e o colocássemos na Wall Street, não se distinguiria fisicamente de ninguém. Também é muito provável que as nossas necessidades, sonhos, personalidades e desejos não tenham mudado muito em 100 000 anos. Ainda devemos pensar como os nossos antepassados das cavernas.

O que quero dizer é que, sempre que surge um conflito entre a tecnologia moderna e os desejos dos nossos antepassados, esses desejos primitivos saem vitoriosos. Trata-se do Princípio do Homem das Cavernas. Por exemplo, ele sempre exigiu um «troféu de caça». Nunca lhe bastou a gabarolice sobre o animal grande que tinha escapado. Sempre preferiu ter a presa nas mãos do que as histórias do outro animal que tinha fugido. Do mesmo modo, sempre que lidamos com ficheiros, queremos uma cópia em papel. Como não confiamos instintivamente nos eletrões que flutuam nos ecrãs dos nossos computadores, imprimimos as mensagens eletrónicas e os relatórios, mesmo quando não é necessário. Foi por isso que nunca se materializou o escritório sem papel.

Os nossos antepassados também apreciaram sempre os encontros frente a frente. Foi isso que nos ajudou a ligarmo-nos uns aos outros e a interpretar as emoções alheias que estavam ocultas. É por isso que as cidades sem pessoas nunca se concretizarão. Por exemplo, um patrão pode querer avaliar cuidadosamente os seus empregados. É-lhe difícil fazê-lo *online*, mas, frente a frente, consegue interpretar a sua linguagem corporal, recolhendo, desse modo, valiosas informações inconscientes. Quando observamos pessoas de perto, estabelecemos uma ligação e também podemos interpretar a sua subtil linguagem corporal a fim de descobrir que pensamentos lhes ocorrem. E é assim porque os nossos antepassados simiescos, muitos milhares de anos antes de começarem a falar, utilizavam a linguagem corporal quase exclusivamente para transmitir os seus pensamentos e emoções.

Também foi por isso que o «ciberturismo» nunca se desenvolveu. Uma coisa é ver uma fotografia do Taj Mahal, outra muito diferente é podermos gabar-nos de o termos visto ao vivo. Do mesmo nodo, ouvir um CD do nosso músico preferido não é o mesmo que sentir a emoção súbita de o ver realmente num concerto ao vivo, cercado por todas as fanfarras, as luzes e o barulho. Isto significa que, mesmo que possamos descarregar imagens realistas da nossa peça de teatro ou da nossa celebridade preferida, não há nada como ver a peça a desenrolar-se no palco ou o ator a desempenhar o papel ao vivo. Os fãs esforçam-se ao máximo para conseguir fotografias e bilhetes de concerto autografados da sua celebridade favorita, embora possam descarregar da Internet uma fotografia gratuita.

Foi por isso que nunca se concretizaram as previsões de que a Internet acabaria com a televisão e a rádio. Quando o cinema e a rádio apareceram, as pessoas lamentaram a morte do teatro. Quando a televisão surgiu, previram o desaparecimento do cinema e da rádio. Neste momento, assistimos a uma mistura de todos estes média. A lição a retirar é que nenhum meio aniquila um que o anteceda, acabando antes por coexistir com ele. O que está sempre a mudar é a mistura e o relacionamento entre esses média. Quem seja capaz de prever com exatidão essa mistura tornar-se-á riquíssimo.

A razão para tudo isto está no facto de os nossos antepassados mais longínquos sempre terem querido ver as coisas com os próprios olhos, não confiando no que lhes diziam os outros. Para conseguirem sobreviver na floresta, era crucial confiarem em provas físicas reais em vez de se guiarem por rumores. Dentro de um século, ainda teremos teatro ao vivo e ainda perseguiremos celebridades, uma herança antiga do nosso passado remoto. Além disso, descendemos de predadores que caçavam. Por conseguinte, gostamos de observar outras pessoas e sentamo-nos durante horas à frente da televisão, a assistir a comportamentos tolos dos nossos congéneres, mas enervamo-nos de um momento para o outro quando sentimos que estamos a ser observados. Na verdade, alguns cientistas descobriram que ficamos nervosos se um estranho nos observa durante quatro segundos. Ao cabo de dez segundos, chegamos a ficar furiosos e hostis. Foi por esse motivo que o videofone fracassou. Além disso, quem se dispõe a pentear-se antes de ficar *online*? (Neste momento, ao cabo de décadas de lentos e dolorosos progressos, a videoconferência está a popularizar-se finalmente.)

Hoje também já é possível ter aulas online, mas as universidades regurgitam de alunos. Os encontros frente a frente com professores, que podem dar atenção individual e responder

a perguntas pessoais, continuam a ser preferíveis. E, numa candidatura a um emprego, um diploma universitário ainda tem mais peso do que um diploma *online*.

Portanto, ainda continuam a competir a «High Tech» (uma pessoa sentada numa cadeira a ver televisão) e a «High Touch» (uma pessoa a estender a mão e a tocar nas coisas que a cercam). Nesta competição, queremos as duas situações, e é por isso que, na Era do ciberespaço e da realidade virtual, ainda temos teatro ao vivo, concertos de *rock*, papel e turismo. Se nos oferecerem uma fotografia gratuita do nosso músico preferido ou bilhetes de verdade para o seu concerto, ficaremos com os últimos sem hesitar.

É então este o Princípio do Homem das Cavernas: preferimos ter as duas coisas, mas se pudermos escolher, escolhemos aquilo em que podemos tocar, tal como os nossos antepassados das cavernas. Este princípio, no entanto, também possui um corolário. Quando alguns cientistas criaram a Internet na década de 1960, acreditava-se em geral que se transformaria num fórum de educação, ciência e progresso. Ao invés, muitos ficaram horrorizados por ter degenerado rapidamente numa espécie de Oeste selvagem onde vale tudo. Na verdade, era de esperar. O corolário do Princípio do Homem das Cavernas diz o seguinte: se queremos prever as interações sociais dos seres humanos, basta-nos imaginar como elas eram há 100 000 anos e multiplicar por um milhar de milhões. Isto significa que o prémio caberá aos mexericos, à criação de redes sociais e ao entretenimento. Os boatos eram essenciais numa tribo para transmitir rapidamente a informação, sobretudo acerca dos chefes e dos exemplos a seguir. Muitas vezes, os que estavam fora do circuito não conseguiam sobreviver para transmitir os seus genes. É isto que podemos ver presentemente nos expositores das caixas dos supermercados, carregados de revistas de mexericos sobre os famosos, e na ascensão de uma cultura virada para a celebridade. A única diferença está em que a magnitude destes mexericos tribais se multiplicou enormemente através dos meios de comunicação de massa e pode dar a volta à Terra várias vezes numa fração de segundo.

A súbita proliferação das redes sociais na Internet, que transformaram empresários jovens, com cara de bebé, em multimilionários, quase de um dia para o outro, apanhou muitos analistas desprevenidos, mas também é um exemplo deste princípio. Na nossa história evolucionária, os indivíduos que alimentavam grandes redes sociais podiam depender dos recursos, conselhos e apoios que estas lhes forneciam e que eram essenciais à sua sobrevivência.

Por último, o entretenimento continuará a crescer de uma maneira explosiva. Às vezes não gostamos de o admitir, mas uma parte importante da nossa cultura baseia-se no entretenimento. Depois da caçada, os nossos antepassados descansavam e divertiam-se. Era uma atividade importante, não só para a criação de laços mas também para o estabelecimento da posição de cada um dentro da tribo. Não é por acaso que a dança e o canto, partes essenciais do entretenimento, também são vitais no reino animal para exibir a boa forma perante o sexo oposto. Entre as aves, quando os machos cantam melodias belas e complexas ou executam estranhos rituais de acasalamento, estão a mostrar ao sexo oposto que são saudáveis, fisicamente capazes, livres de parasitas e dotados de genes que vale a pena transmitir.

Além disso, a criação artística não se destinou apenas ao entretenimento, tendo desempenhado também um importante papel na evolução do nosso cérebro, que lida simbolicamente com a maior parte da informação.

Por conseguinte, a não ser que modifiquemos geneticamente a nossa personalidade básica, é de esperar um aumento, e não um decréscimo, do poder do entretenimento, dos mexericos e das redes sociais.

6. A Ciência Como Uma Espada

Vi uma vez um filme que mudou para sempre a minha atitude em relação ao futuro. Chamava-se *Planeta Proibido* e baseava-se em *A Tempestade* de Shakespeare. No filme, os astronautas encontravam uma antiga civilização que, no seu apogeu, estava milhões de anos à nossa frente. Haviām atingido o fim derradeiro da sua tecnologia: um poder infinito sem recorrer a instrumentos — isto é, o poder de fazer quase tudo com a força da mente. Os seus pensamentos iam beber a centrais termonucleares colossais, ocultas nas profundezas do planeta, que convertiam todos os desejos em realidade. Por outras palavras, possuíam o poder dos deuses.

Disposremos de um poder idêntico, mas não teremos de esperar milhões de anos. Só teremos de esperar um século e já podemos ver as sementes deste futuro na tecnologia dos nossos dias. Mas o filme também era um conto moral, pois esse poder divino acabava por esmagar a civilização.

Como é evidente, a ciência é uma espada de dois gumes: cria tantos problemas como os que resolve, mas sempre a um nível mais elevado. No mundo atual, há duas tendências que se opõem: uma visa criar uma civilização planetária tolerante, científica e próspera, e a outra glorifica a anarquia e a ignorância passíveis de romper o tecido da nossa sociedade. Ainda temos as mesmas paixões sectárias, fundamentalistas e irracionais dos nossos antepassados, mas dispomos agora de armas nucleares, químicas e biológicas.

No futuro, transformar-nos-emos de observadores passivos da dança da Natureza, em seus coreógrafos, senhores e, finalmente, conservadores. Alimentemos, então, a esperança de sermos capazes de brandir a espada da ciência com sabedoria e equanimidade, domando o barbarismo do nosso passado remoto.

Lancemo-nos agora numa hipotética jornada pelos próximos cem anos de inovação e descoberta científicas, tal como me foram relatadas pelos cientistas que as estão a concretizar. Será uma viagem louca pelos rápidos progressos no domínio dos computadores, das telecomunicações, da Biotecnologia, da Inteligência Artificial e da Nanotecnologia. Sem dúvida que mudará, no mínimo, o futuro da civilização.

¹ Trad. de Gastão Correia da Silva, Mem Martins: Europa-América, 1989.

² Trad. de Maria Alice Costa, Lisboa: Bizâncio, 2006.

³ Trad. de Luís Leitão, Lisboa: Bizâncio, 2008.

⁴ Trad. de Maria Carvalho, Lisboa: Bizâncio, 1998.

⁵ Rhodes, p. 29-30.

⁶ www.learner.org/workshops/primarysources/corporations/docs/

⁷ Citado em Canton, p. 247.

⁸ Citado em Canton, p. 247.

⁹ Citado em Canton, p. 247.

¹⁰ Cornish, p. 149. Ver também «The Facts that Got Away», *New York Times*, 14 de Novembro de 2001.

CAPÍTULO 1

O Futuro do Computador — Domínio da Mente Sobre a Matéria

Todos confundem os limites da sua visão pessoal com os limites do mundo.
— ARTHUR SCHOPENHAUER

Nunca nenhum pessimista descobriu os segredos das estrelas, navegou para uma terra desconhecida ou deu a conhecer ao espírito humano um novo firmamento.
— HELEN KELLER

LEMBRO-ME COMO SE FOSSE HOJE de estar sentado no gabinete de Mark Weiser, em Silicon Valley, há quase vinte anos, enquanto ele me explicava a sua visão do futuro. Gesticulando com excitação, falou-me de uma nova revolução iminente que mudaria o mundo. Weiser fazia parte da elite informática pois trabalhava no Xerox PARC (Palo Alto Research Center, que iria ser pioneiro dos computadores pessoais, das impressoras a *laser* e da arquitetura do tipo Windows com uma interface gráfica com o utilizador), mas era um solitário, um iconoclasta que destruía a sabedoria convencional, e também fazia parte de uma delirante banda de *rock*.

Nessa época (parece-me que foi há muito tempo), os computadores pessoais eram recentes e tinham começado a entrar na vida das pessoas, à medida que estas se iam familiarizando com a ideia de adquirir enormes e volumosos computadores de secretária a fim de analisarem folhas de cálculo e de fazerem um pouco de processamento de texto. A Internet ainda era, em grande medida, um feudo isolado de cientistas como eu, que produziam laboriosamente equações para outros colegas numa linguagem esotérica. Debatia-se furiosamente a possibilidade de essa caixa pousada na secretária vir a desumanizar a civilização com o seu olhar frio e impiedoso. Até o analista político William F. Buckley teve de defender o processador de texto contra os intelectuais que o injuriavam e se recusavam a tocar num computador, considerando-o um instrumento de gente inculta e boçal.

Foi nessa época de controvérsia que Weiser lançou a expressão «informática omnipresente». Vendo muito para lá do computador pessoal, previu que os *chips* se tornariam tão baratos e abundantes que se espalhariam por toda a parte (pelas nossas roupas, mobília, paredes e até pelo nosso corpo). E estariam todos ligados à Internet, partilhando dados, tornando a nossa vida mais agradável, acompanhando os nossos desejos. Onde quer que estivéssemos, haveria *chips* a concretizarem silenciosamente os nossos desejos. O ambiente estaria vivo.

Nessa época, o sonho de Weiser era estranho ou mesmo irracional. Em geral, os computadores pessoais ainda eram dispendiosos e nem sequer estavam ligados à Internet. A ideia de

que milhares de milhões de *chips* minúsculos viriam a ser tão baratos como a água da torneira era considerada lunática.

Perguntei-lhe, então, por que motivo estava tão seguro dessa revolução. Respondeu-me calmamente que a potência dos computadores estava a crescer exponencialmente, sem que se vislumbresse um fim para esse crescimento. Faça as contas, sugeriu. É uma questão de tempo. (Infelizmente, Weiser não viveu o suficiente para assistir à concretização da sua revolução, tendo morrido de cancro em 1999.)

A ideia subjacente aos sonhos proféticos de Weiser é a chamada lei de Moore, uma regra empírica que tem governado a indústria de computadores desde há cinquenta anos ou mais, marcando o ritmo da civilização moderna com a precisão de um relógio. Esta lei limita-se a afirmar que a potência dos computadores duplica de dezoito em dezoito meses. Inicialmente formulada em 1965 por Gordon Moore, um dos fundadores da Intel Corporation, esta lei singela tem ajudado a revolucionar a economia mundial, a gerar uma nova riqueza fabulosa e a alterar de forma irreversível a nossa maneira de viver. Quando se regista em gráfico o preço descendente dos chips e o rápido aumento da sua velocidade, capacidade de processamento e memória, obtém-se uma linha extraordinariamente reta que remonta há cinquenta anos. (Isto é registado numa curva logarítmica. Com efeito, se se expandir o gráfico, a fim de incluir a tecnologia das válvulas e até “as calculadoras mecânicas manuais, a linha remonta a mais de cem anos.)

O crescimento exponencial é amiúde difícil de captar pois as nossas mentes pensam de forma linear. É tão gradual que, por vezes, não conseguimos sentir nenhuma mudança, mas, ao cabo de décadas, pode alterar completamente tudo o que nos cerca.

Segundo a lei de Moore, a cada Natal que passa os nossos novos jogos de computador quase duplicam a potência (em termos de números de transístores) em relação ao ano anterior. Além disso, com a passagem dos anos, esse ganho incremental torna-se monumental. Por exemplo, quando recebemos um cartão de parabéns no correio, é frequente ele conter um *chip* que canta «Parabéns a você». A potência desse *chip* é muito superior à que os Aliados tinham em conjunto em 1945. Hitler, Churchill ou Roosevelt teriam feito tudo para o obter. Mas o que fazemos com ele? Depois do nosso aniversário, deitamos fora o cartão e o *chip*. Presentemente, o nosso telemóvel tem mais potência do que todos os computadores da NASA em 1969, quando essa agência colocou dois astronautas na Lua. Os jogos de vídeo, que consomem uma enorme potência para simular situações em 3-D, utilizam mais potência do que os computadores de grande porte da década passada. A potência da atual Sony PlayStation, que custa cerca de 350 euros, equivale à de um supercomputador militar de 1997, que custava milhões de euros.

Conseguimos distinguir o crescimento linear e o crescimento exponencial da potência dos computadores quando analisamos o modo como as pessoas encaravam o futuro do computador em 1949: a revista *Popular Mechanics* previa que os computadores cresceriam linearmente, limitando-se a duplicar ou a triplicar com o

tempo. Escrevia: «Enquanto uma calculadora como o atual ENIAC está equipada com 18 000 válvulas e pesa 30 toneladas, os computadores do futuro poderão ter só 1000 válvulas e pesar apenas 1,5 toneladas.»¹

(A Mãe Natureza aprecia o poder do exponencial. Um único vírus pode apoderar-se de uma célula humana e forçá-la a criar várias centenas de cópias. Ao multiplicar-se por 100 a cada geração, um vírus pode gerar 10 mil milhões de vírus em apenas cinco gerações. Não admira que um único vírus consiga infetar o corpo humano, com biliões de células saudáveis, e provocar uma constipação no espaço de cerca de uma semana.)

Não só aumentou a potência dos computadores como também mudou radicalmente o modo como se distribui essa potência, com enormes implicações na economia. Podemos assistir a esta progressão década a década:

- **década de 1950.** Os computadores a válvulas eram máquinas gigantescas que ocupavam salas inteiras, com selvas de cabos, bobinas e aço. Só os militares tinham dinheiro para financiar tais monstruosidades.
- **década de 1960.** Os transístores substituíram as válvulas, e os computadores de grande porte foram entrando gradualmente no mercado comercial.

- **década de 1970.** As placas de circuitos integrados, contendo centenas de transístores, deram origem ao minicomputador, do tamanho de uma grande secretária.
- **década de 1980.** Os chips, contendo dezenas de milhões de transístores, tornaram possíveis os computadores pessoais que cabem dentro de uma pasta.
- **década de 1990.** A Internet ligou centenas de milhões de computadores numa única rede informática global.
- **década de 2000.** A informática omnipresente libertou os *chips* do computador, dispersando-os no ambiente.

Portanto, o velho paradigma (um único chip dentro de um computador de secretária ou portátil ligado a um computador) está a ser substituído por um novo (milhares de chips espalhados no interior de todos os artefactos — mobiliário, aparelhos, quadros, paredes, automóveis e roupas —, a falarem uns com os outros e ligados à Internet).

Quando estes *chips* são inseridos num aparelho, este transforma-se milagrosamente. Quando são inseridos em máquinas de escrever, dão origem a processadores de texto. Em telefones, transformam-nos em telemóveis. Em máquinas fotográficas, dão origem a câmaras digitais. Os *flippers* transformam-se em jogos de vídeo. Os fonógrafos em *iPods*. Os aviões transformam-se nos mortíferos veículos telecomandados Predator. Sempre que

aconteceu, houve uma indústria que sofreu uma revolução e renasceu. Quase tudo o que nos cerca acabará por se tornar inteligente. Os *chips* embaratecerão tanto que custarão ainda menos do que película plástica e substituirão o código de barras. As empresas que não fabricarem produtos inteligentes serão afastadas pelos concorrentes que o fizerem.

Como é evidente, estaremos rodeados por monitores de computadores, mas que se assemelharão a papel de parede, a molduras de quadros ou a fotografias de família e não a computadores. Imaginemos todos os quadros e fotografias que decoram atualmente as nossas casas; imaginemos agora que todos se animam, se movem e estão ligados à Internet. Quando andarmos na rua, veremos imagens em movimento porque custarão tão pouco como as estáticas.

Os computadores, à semelhança de outras tecnologias de massa como a eletricidade, o papel e a água canalizada, estão fadados a tornarem-se invisíveis, isto é, a entretecerem-se na nossa vida, a estarem em toda a parte e em parte nenhuma, a satisfazerem os nossos desejos de uma forma silenciosa e constante.

Hoje, quando entramos numa sala, procuramos automaticamente interruptor elétrico pois partimos do princípio de que as paredes estão eletrificadas. No futuro, a primeira coisa que faremos ao entrar numa divisão será procurar o portal de Internet pois partiremos do princípio de que a sala é inteligente. Como disse uma vez o romancista Max Frisch, «A tecnologia é o jeito de dispor o mundo de tal modo que não tenhamos de a sentir»²

A lei de Moore também nos permite prever a evolução do computador a curto prazo. Na próxima década, os *chips* combinar-se-ão com sensores supersensíveis, a fim de poderem detetar doenças, acidentes e urgências, alertando-nos antes de a situação se descontrolar. Até certo ponto, reconhecerão a voz e o rosto humanos, e dialogarão numa linguagem formal. Serão capazes de criar mundos virtuais com os quais atualmente só podemos sonhar. Cerca de 2020, o preço do *chip* poderá rondar o cêntimo, ou seja, o custo do papel de rascunho. Nessa altura, teremos milhões de *chips* dispersos por tudo o que nos cerca, cumprindo silenciosamente as nossas ordens.

A própria palavra *computador* acabará, eventualmente, por desaparecer da nossa língua. Para discutir o progresso futuro da ciência e da tecnologia, dividi cada capítulo em três períodos: o futuro próximo (até 2030), meados do século (de 2030 a 2070) e, finalmente, o futuro longínquo (de 2070 a 2100). Estes períodos são apenas aproximações, mas mostram o horizonte temporal das diversas tendências esboçadas neste livro.

A rápida ascensão da potência dos computadores até 2100 proporcionar-nos-á um poder idêntico ao dos deuses da mitologia que no passado venerámos, dando-nos a possibilidade de controlar o mundo que nos cerca através do pensamento. À semelhança dos deuses da mitologia, que conseguiam mover objetos e dar outra forma à vida com um simples gesto manual ou um aceno de cabeça, também nós seremos capazes de controlar o mundo que nos cerca com o poder da nossa mente. Manter-nos-emos em contato mental

com os chips dispersos no nosso ambiente, que cumprirão silenciosamente as nossas ordens.

Lembro-me de ter visto um episódio de *Star Trek* em que a equipa da nave estelar *Enterprise* chegava a um planeta habitado por deuses gregos. Enfrentavam o enorme deus Apolo, um gigante capaz de os cegar e esmagar com as suas proezas divinas. A ciência do século XXIII era incapaz de se opor a um deus que dominara os céus milhares de anos antes, na Grécia Antiga. Mas quando a equipa recuperou do choque do encontro com os deuses gregos, não tardou a dar-se conta de que esse poder devia provir de uma fonte, de que Apolo devia estar em contato mental com um computador central e uma central energética, que realizavam os desejos do deus. Logo que a equipa localizou e destruiu a fonte de energia, Apolo viu-se reduzido à sua condição de vulgar mortal.

Tratava-se apenas de um enredo de Hollywood. Contudo, por meio da expansão das descobertas radicais que estão a ser feitas em laboratórios, os cientistas conseguem prever o dia em que também nós poderemos controlar telepaticamente os computadores a fim de nos proporcionarem o poder desse Apolo.

1. Futuro Próximo (Até 2030)

1.1 Óculos e Lentes de Contato para a Internet

Neste momento, podemos comunicar com a Internet por intermédio dos nossos computadores e telemóveis. No futuro,

porém, a Internet estará em toda a parte — em ecrãs de parede, na mobília, em painéis publicitários e até nos nossos óculos e lentes de contato. Quando piscarmos os olhos, ligar-nos-emos a ela.

Há várias maneiras de pôr a Internet numa lente. A imagem pode ser transmitida diretamente dos nossos óculos pelas lentes dos nossos olhos em direção à retina. Também pode ser projetada nas lentes, que atuarão como ecrã. Ou pode ser ligada aos aros dos óculos, como uma pequena lente de joalheiro. Quando olhamos para os óculos, vemos a Internet, como se olhássemos para um ecrã de cinema. Podemos então manipulá-la com um dispositivo manual que controla o computador por meio de uma conexão sem fios. Também podemos simplesmente mexer os dedos no ar para controlar a imagem pois o computador reconhece a posição dos nossos dedos quando os movemos.

Por exemplo, desde 1991 que alguns cientistas da Universidade de Washington trabalham no aperfeiçoamento do VRD (de Virtual Retinal Display) no qual a luz *laser* vermelha, verde e azul é enviada diretamente para a retina. Com um campo de visão de 120 graus e uma resolução de 1600 x 1200 pixels, o VRD pode produzir uma imagem brilhante e que parece verdadeira, semelhante à que vemos numa sala de cinema. A imagem pode ser gerada por meio de um capacete, óculos de proteção ou óculos.

Na década de 1990, tive a possibilidade de experimentar estes óculos para a Internet. Tratava-se de uma versão primitiva criada pelos cientistas do Media Lab no MIT, com o aspeto de uns óculos vulgares, mas com uma lente cilíndrica, com cerca de 1.25 cm de

comprimento, presa no canto direito da lente. Podia olhar através dos óculos sem dificuldade. Mas se lhes tocasse, a lente minúscula tombava em frente do meu olho. Ao olhar pela lente, conseguia distinguir com clareza um ecrã de computador, que parecia um pouco mais pequeno do que o de um vulgar PC. Fiquei surpreendido com a sua nitidez, quase como se o ecrã me estivesse a olhar de frente. Depois peguei num dispositivo, do tamanho de um telemóvel, com botões. Se os pressionasse, conseguia controlar o cursor no ecrã e até escrever instruções.

Em 2010, na preparação de um programa especial para o Canal Ciência que apresentei, desloquei-me a Fort Benning, na Geórgia, a fim de observar a mais recente «Internet para o campo de batalha» do exército norte-americano, o chamado Land Warrior. Pus um capacete especial com um ecrã miniatural preso de lado. Quando baixei o ecrã em frente dos olhos, pude ver de repente uma imagem surpreendente: todo o campo de batalha com a localização das tropas amigas e inimigas, assinalada por X. A «névoa da guerra» dissipara-se, pois, os sensores de GPS localizavam com precisão a posição de todas as tropas, tanques e edifícios. Ao carregar num botão, a imagem mudava rapidamente, pondo a Internet à minha disposição no campo de batalha, com informações respeitantes à meteorologia, à disposição das tropas amigas e inimigas, à estratégia e às táticas.

Outra versão muito mais avançada ligar-nos-ia diretamente à Internet através de lentes de contato, por intermédio da integração no plástico de um *chip* e de um ecrã de cristais líquidos. Na Universidade de Washington em Seattle, Babak A. Parviz e o seu

grupo realizam trabalhos preparatórios para lentes de contato desse tipo, concebendo protótipos que poderão vir a mudar o nosso modo de aceder à Internet.

Segundo Parviz, uma aplicação imediata desta tecnologia poderá ajudar os diabéticos a regularem os seus níveis de glicose. As lentes exibirão uma leitura imediata das condições no interior do corpo. Mas trata-se apenas do princípio, pois Parviz prevê o dia em que seremos capazes de descarregar qualquer filme, canção, sítio de Internet ou informações para as nossas lentes de contato. Disporíamos de um sistema completo de entretenimento doméstico nas nossas lentes quando nos recostarmos e nos deleitarmos com longas-metragens. Também poderemos usá-las para nos ligarmos diretamente ao computador do escritório e manipular os ficheiros que brilham à nossa frente. No conforto da praia, seremos capazes de teleconferenciar com o escritório, piscando os olhos.

Se instalarmos nestes óculos para a Internet um *software* de reconhecimento de padrões, eles também reconhecerão objetos e até rostos de algumas pessoas. Já há alguns programas de *software* capazes de reconhecer rostos pré-programados com uma exatidão superior a 90%. Pode aparecer no ecrã não apenas o nome, mas a biografia da pessoa com quem estamos a falar enquanto o fazemos. Numa reunião, isto acabará com o embaraço de nos deparamos com alguém que conhecemos, mas cujo nome não recordamos. Também pode ser útil numa festa onde estão muitos estranhos, alguns importantíssimos, mas que não sabemos quem são. No futuro, seremos capazes de identificar estranhos e saber de onde vêm,

enquanto falamos com eles. (Assemelha-se de certa forma ao mundo visto pelos olhos de robôs em *O Exterminador Implacável*).

Isto pode alterar o sistema educativo. No futuro, os estudantes poderão, durante um exame final, usar as suas lentes de contato para procurar silenciosamente na Internet as respostas às perguntas, o que constituirá um problema óbvio para os professores cuja avaliação assenta muitas vezes na memorização mecânica. Os educadores terão de insistir, ao invés, nas capacidades de pensar e de raciocinar.

Os nossos óculos também poderão dispor de uma pequeníssima câmara de vídeo, conseguindo filmar o que nos cerca e transmitir as imagens diretamente na Internet. Pessoas em qualquer parte do mundo poderão partilhar as nossas experiências no preciso momento em que ocorrem. Seja o que for que estivermos a ver, milhares de pessoas também poderão ver. Os pais saberão o que os filhos estão a fazer. Os amantes poderão partilhar experiências quando estiverem separados. As pessoas poderão, nos concertos, comunicar a sua excitação a admiradores do artista em todo o mundo. Fiscais visitarão fábricas distantes e transmitirão diretamente imagens ao vivo para as lentes de contato do patrão. (Ou um cônjuge poderá estar a fazer compras, enquanto o outro vai comentando o que comprar.)

Parviz já conseguiu miniaturizar um *chip* de modo a poder colocá-lo no interior da película de polímero de uma lente de contato. Colocou um díodo emissor de luz (LED) numa lente de contato e está agora a trabalhar numa com uma série de 8 x 8 LED.

As suas lentes de contato podem ser controladas por uma ligação sem fios. Segundo ele, «Estes componentes acabarão por incluir centenas de LED, que formarão imagens diante do olho, tal como palavras, mapas e fotografias. Como grande parte do *hardware* é semitransparente, os utilizadores podem navegar no seu ambiente sem colidir com ele nem se desorientarem.»³ O seu objetivo final, ainda a anos de distância, é criar uma lente de contato com 3600 *pixels*, cada um com uma espessura inferior a 10 micrómetros.

Uma vantagem das lentes de contato para a Internet é utilizarem tão pouca energia (umas milionésimas de *watt*) que são muito eficientes do ponto de vista energético e não esgotam a bateria. Outra vantagem reside no facto de o olho e o nervo óptico serem, num certo sentido, uma extensão direta do cérebro humano, motivo pelo qual estaremos a aceder-lhe diretamente sem termos de implantar elétrodos. O olho e o nervo óptico transmitem informações a um ritmo que excede o de uma ligação de alta velocidade à Internet. Por conseguinte, é possível que uma lente de contato para a Internet proporcione o acesso mais eficiente e rápido ao cérebro.

É muito mais complexo projetar uma imagem no olho por intermédio de uma lente de contato do que por óculos para a Internet. Um LED pode produzir um ponto, ou pixel, de luz, mas será necessário acrescentar uma microlente para que se foque diretamente na retina. A imagem final como que flutuará a uma distância de cerca de 60 cm. Parviz também está a pensar em usar microlasers para enviar diretamente para a retina uma imagem super nítida. Com a tecnologia utilizada na indústria dos *chips* para

incrustar transístores minúsculos, também é possível gravar com ácido *lasers* da mesma dimensão, os mais pequenos do mundo. Com esta tecnologia, é possível, em princípio, obter *lasers* com cerca de 100 átomos de largura. À semelhança do que acontece com os transístores, é concebível que se possam concentrar milhões de *lasers* num *chip* do tamanho de uma unha.

1.2 Automóvel sem Condutor

No futuro próximo, seremos capazes de navegar com segurança pela Internet com as nossas lentes de contato, enquanto guiamos um carro. Os percursos para o trabalho não serão tão enfadonhos porque não será necessário conduzir o automóvel. Neste momento, automóveis sem condutor, que utilizam GPS para localizar a sua posição num espaço de vários centímetros, já conseguem andar centenas de quilómetros. A DARPA (Agência de Projetos de Investigação Avançada de Defesa) do Pentágono patrocinou um concurso, o DARPA Grand Challenge, para o qual convidou laboratórios a apresentarem automóveis sem condutor numa corrida pelo deserto de Mojave, competindo por um prémio no valor de 1 milhão de dólares. A DARPA estava a dar continuidade à sua tradição de longa data de financiar tecnologias arriscadas, mas visionárias.

(Entre os projetos do Pentágono incluem-se a Internet, originalmente concebida para ligar cientistas e autoridades durante e após uma guerra nuclear, e o sistema GPS, que visava guiar mísseis balísticos intercontinentais (ICBM). Tanto a Internet como

o GPS deixaram de ser secretos e passaram para o domínio público quando terminou a Guerra Fria.)

Em 2004, a competição da DARPA teve um começo embaraçoso, pois nenhum automóvel sem condutor conseguiu efetuar o percurso de cerca de 240 quilómetros de terreno acidentado e atravessar a linha de chegada. Os veículos robóticos avariaram-se ou perderam-se. No ano seguinte, no entanto, cinco automóveis completaram um percurso ainda mais exigente, tendo tido de circular em estradas com 100 curvas bruscas, três túneis estreitos e caminhos com bermas inclinadas de ambos os lados.

Alguns críticos afirmaram que os carros robóticos poderiam ser capazes de atravessar o deserto, mas nunca o centro da cidade. Por conseguinte, em 2007, a DARPA patrocinou outro projeto ainda mais ambicioso, o Urban Challenge, no qual os veículos robóticos tinham de fazer um percurso extenuante de cerca de 100 quilómetros em território a imitar o urbano em menos de seis horas. Os veículos tinham de obedecer integralmente ao código da estrada, evitar os outros veículos robóticos e entrar em cruzamentos com quatro vias. Seis equipas terminaram o Urban Challenge, tendo, as primeiras três, recebido prémios, no valor de 2 milhões de dólares, 1 milhão de dólares e 500 000 dólares respetivamente.

O objetivo do Pentágono é proporcionar autonomia a um terço das forças terrestres americanas até 2015. Uma tecnologia deste tipo permitiria salvar vidas pois, recentemente, a maior parte das baixas tem sido devida a bombardeamentos de berma de estrada. No futuro, muitos veículos militares americanos não terão

condutores. Mas, para o consumidor, isto talvez signifique um automóvel que pode ser conduzido por um botão que se pressiona, permitindo ao condutor trabalhar, descansar, admirar a paisagem, ver um filme ou pesquisar a Internet.

Tive a possibilidade de conduzir um destes carros para um programa televisivo especial do Discovery Channel. Era um automóvel desportivo aerodinâmico, modificado por engenheiros da Universidade da Carolina do Norte tendo em vista uma total autonomia. A potência dos seus computadores equivalia à de oito PCs. Entrar no carro foi um pouco difícil pois o interior estava a abarrotar. Por toda a parte se viam componentes eletrónicos sofisticados amontoados nos assentos e no painel de instrumentos. Quando agarrei no volante, reparei que tinha um cabo especial de borracha ligado a um pequeno motor. Um computador, controlando o motor, podia manobrar o volante.

Depois de dar a volta à chave, carreguei no acelerador, conduzi o carro até à autoestrada e liguei um interruptor que permitia que o computador assumisse o controlo. Tirei as mãos do volante, e o carro passou a mover-se autonomamente. Tinha plena confiança no veículo cujo computador estava sempre a efetuar pequenos ajustes por intermédio do cabo de borracha ligado ao volante. A princípio, foi um pouco estranho ver o volante e o acelerador moverem-se sozinhos, como se um condutor invisível tivesse assumido o controlo, mas acabei por me habituar. Na verdade, depressa se tomou uma alegria poder descansar num carro que se conduzia a si próprio com uma precisão e perícia super-humanas. Pude recostar-me e gozar o passeio.

O coração do automóvel sem condutor era o sistema de GPS, que permitia ao computador localizar a sua posição num espaço de menos de um metro. (Os engenheiros disseram-me que, por vezes, o GPS determina a posição do carro num espaço de centímetros.) O próprio sistema de GPS é uma maravilha da tecnologia moderna. Cada um dos trinta e dois satélites de GPS que orbitam a Terra emite uma onda de rádio específica, que é captada pelos recetores de GPS do carro. O sinal de cada satélite é ligeiramente distorcido porque as órbitas são ligeiramente diferentes. Chama-se a esta distorção efeito Doppler. (As ondas de rádio, por exemplo, são comprimidas se o satélite se aproxima de nós, e esticadas se se afasta.) O computador do carro conseguia determinar com precisão a minha posição, analisando a ligeira distorção das frequências de três ou quatro satélites.

Como os guarda-lamas do carro também tinham radar, o carro conseguia pressentir os obstáculos. Esta possibilidade será crucial no futuro pois cada carro tomará automaticamente medidas de emergência logo que detetar um acidente iminente. Quase todos os anos morrem nos Estados Unidos cerca de 40 000 pessoas em acidentes rodoviários. No futuro, as palavras "*acidente rodoviário*" poderão desaparecer gradualmente da nossa língua.

É possível que os engarrafamentos de trânsito também venham a ser uma coisa do passado. Um computador central será capaz de acompanhar os movimentos de todos os carros na estrada, comunicando com o computador de cada carro sem condutor. Será fácil despistar grandes concentrações e engarrafamentos nas autoestradas. Numa experiência realizada a norte de San Diego, na

Interestadual 15, colocaram-se *chips* na estrada para que um computador central passasse a controlar os carros em trânsito. Em caso de engarrafamento, o computador sobrepor-se-á ao condutor, permitindo que o tráfego flua livremente.

O automóvel do futuro também será capaz de pressentir outros perigos. Milhares de pessoas têm morrido ou ficado feridas em acidentes de automóvel quando o condutor adormece, sobretudo à noite ou durante viagens longas e monótonas. Os computadores atuais podem focar-se nos olhos do condutor e reconhecer os sinais reveladores de sonolência. São programados para emitir um som e despertar o condutor. Caso a advertência sonora não resulte, o computador passa a controlar o automóvel. Os computadores também são capazes de reconhecer a presença de quantidades excessivas de álcool no carro, o que pode reduzir os milhares de acidentes mortais relacionados com álcool que ocorrem todos os anos.

A transição para automóveis inteligentes não ocorrerá imediatamente. Em primeiro lugar, os militares desenvolverão estes veículos, corrigindo, entretanto, alguns defeitos. A seguir, os carros robóticos surgirão no mercado, destinando-se, em primeiro lugar, aos percursos enfadonhos nas autoestradas interestaduais. Depois, aparecerão nas zonas suburbanas e nas grandes cidades, mas o condutor terá sempre a possibilidade de se sobrepor ao computador em caso de emergência. Mais tarde, acabaremos por nos interrogar como terá sido possível viver sem eles.

1.3 Ecrãs nas Quatro Paredes

Além de nos pouparem às viagens diárias de ida e vinda do trabalho e de reduzirem os acidentes de automóvel, os computadores também nos ajudarão nas nossas relações com amigos e conhecidos. Houve pessoas que se queixaram de que a revolução informática nos desumanizara e isolara. Na verdade, permitiu-nos expandir exponencialmente o nosso círculo de amigos e conhecidos. Quando estivermos sós ou precisarmos de companhia, bastar-nos-á pedir ao ecrã de parede que organize um jogo de bridge com outros indivíduos solitários em qualquer sítio do mundo. Quando quisermos ajuda para planejar umas férias, organizar uma viagem ou arranjar alguém com quem sair, fá-lo-emos através do nosso ecrã de parede.

No futuro, poderá surgir no ecrã de parede um rosto amigo, cujas feições poderemos mudar de acordo com os nossos gostos. Pedir-lhe-emos que nos planeie umas férias. Ele já conhecerá as nossas preferências, pesquisá-las-á na Internet e dar-nos-á uma lista das melhores opções aos melhores preços.

Os encontros de família também poderão ocorrer por intermédio do ecrã de parede. Como as quatro paredes da nossa sala terão ecrãs, estaremos rodeados por imagens de familiares em sítios muito distantes. No futuro, se um familiar não puder estar presente numa ocasião importante, a família concentrar-se-á em frente de um ecrã de parede e comemorará um encontro em parte real e em parte virtual. Ou, por intermédio de lentes de contato, poderemos ver as imagens de todas as pessoas que nos são queridas como se

ali estivessem realmente, embora estejam a milhares de quilómetros de distância. (Segundo alguns comentadores, a Internet foi originalmente concebida pelo Pentágono como um dispositivo «masculino» — isto é, tinha a ver com dominar um inimigo em situação de guerra. Mas, neste momento, a Internet é sobretudo «feminina» porque tem a ver com estender a mão e tocar em alguém.)

A teleconferência será substituída pela telepresença — aparecerão nos nossos óculos ou lentes de contato as imagens tridimensionais e os sons de uma pessoa. Numa reunião, por exemplo, todos se sentarão à volta de uma mesa exceto alguns participantes que só aparecerão nas nossas lentes. Sem as lentes, algumas das cadeiras à volta da mesa estarão vazias. Com as lentes, veremos imagens de todas as pessoas sentadas nas suas cadeiras, como se estivessem presentes. (Isto significa que todos os participantes serão gravados em vídeo, numa câmara especial, à volta de uma mesa semelhante, e que as suas imagens serão enviadas pela Internet.)

No filme *Guerra das Estrelas*, os espetadores ficaram surpreendidos ao ver imagens tridimensionais de pessoas a flutuarem no ar mas a tecnologia informática permitir-nos-á ver essas imagens tridimensionais nas nossas lentes de contato, óculos ou ecrãs de parede.

A princípio, pode parecer estranho falar para uma sala vazia. Mas lembre-se de que, quando o telefone apareceu, houve quem o criticasse, dizendo que as pessoas estariam a falar com vozes sem

corpo, e que lastimasse a substituição gradual do contato direto entre pessoas. Os críticos tinham razão, mas, presentemente, não nos importamos de falar com vozes sem corpo, porque essa possibilidade aumentou imenso o círculo de contatos e enriqueceu a nossa vida.

Esta tecnologia também poderá mudar a nossa vida amorosa. Se nos sentirmos sós, o nosso ecrã de parede conhecerá as nossas preferências anteriores e as características físicas e sociais da pessoa com quem queremos sair, podendo procurar na Internet o par possível. E, como as pessoas mentem por vezes ao registar o seu perfil, o ecrã investigará, como medida de segurança, a história de cada pessoa, a fim de detetar falsidades na sua biografia.

1.4 Papel Eletrónico Flexível

O preço das televisões de ecrã plano, que já foi superior a 10 000 dólares, diminuiu para cerca de metade no espaço de uma década apenas. O preço dos ecrãs planos que cobrem paredes inteiras também se reduzirá espetacularmente. Esses ecrãs de parede serão flexíveis e superfinos, utilizando díodos orgânicos emissores de luz (OLED), semelhantes aos díodos vulgares, mas baseados em compostos orgânicos que podem ser dispostos num polímero, o que os torna flexíveis. Num ecrã flexível, cada pixel está ligado a um transístor que controla a cor e a intensidade da luz.

Neste momento, os cientistas do Flexible Display Center da Universidade do Arizona já estão a trabalhar com a Hewlett-Packard e com o exército americano no aperfeiçoamento desta tecnologia.

A seguir, as forças de mercado reduzirão o seu custo e torná-la-ão acessível ao público em geral. À medida que os preços forem descendo, o custo destes ecrãs poderá aproximar-se do vulgar papel de parede, pelo que, ao colocar este papel, também poderemos estar a colocar ecrãs. Quando quisermos mudar o padrão, limitar-nos-emos a carregar num botão. Redecorar será muito simples.

Esta tecnologia de ecrã flexível também poderá revolucionar o modo como interagimos com os nossos computadores portáteis. Não necessitaremos de transportar portáteis pesados. Talvez o portátil venha a ser uma simples folha de OLED que dobramos e guardamos na carteira. Talvez o telemóvel contenha um ecrã flexível que se pode puxar para fora, desenrolando-o como se fosse um pergaminho. Então, em vez de nos esforçarmos para datilografar no minúsculo teclado do telemóvel, poderemos desenrolar um ecrã flexível com as dimensões que quisermos.

Esta tecnologia também possibilita ecrãs de computador totalmente transparentes. No futuro próximo, poderemos estar a olhar por uma janela, mexer as mãos e, subitamente, a janela transformar-se-á num ecrã de computador ou em qualquer imagem que desejarmos. Poderemos estar a olhar por uma janela a milhares de quilómetros de distância.

Presentemente, temos papel de rascunho onde escrevinhamos e que depois deitamos fora. Futuramente, talvez tenhamos «computadores de rascunho» sem identidade própria que usaremos como se fossem papel desse tipo. Presentemente, dispomos a

secretária e a mobília à volta do computador, que domina o nosso escritório. Futuramente, o computador de secretária poderá desaparecer, e os ficheiros andarão connosco de sítio para sítio, de sala para sala e do escritório para casa. Disporíamos de uma informação ininterrupta, a qualquer momento, em qualquer sítio. Presentemente, nos aeroportos, vemos centenas de viajantes com portáteis. Quando chegam ao hotel, têm de se ligar à Internet e, quando regressam a casa, têm de descarregar ficheiros para os seus computadores de secretária. Futuramente, não necessitaremos de transportar um computador, porque tudo o que nos rodear — paredes, quadros, mobília — poderá ligar-nos à Internet, mesmo que estejamos dentro de um comboio ou de um automóvel. (A «informática em nuvem», em que o que é faturado não é o computador, mas o tempo de máquina e em que a informática é tratada como um serviço público contabilizado como a água ou a eletricidade, é um primeiro exemplo desta situação.)

1.5 Mundos Virtuais

A meta da informática omnipresente é integrar o computador no nosso mundo, colocar *chips* em toda a parte. O objetivo da realidade virtual é o oposto: integrar-nos no mundo do computador. A realidade virtual foi introduzida pelos militares na década de 1960 como maneira de treinar pilotos e soldados utilizando simulações. Os pilotos podiam praticar a aterragem no convés de um porta-aviões, observando um ecrã de computador e movendo um joystick. Em caso de guerra nuclear, generais e líderes políticos em diferentes locais podiam reunir secretamente no ciberespaço.

Neste momento, com a potência dos computadores a expandir-se exponencialmente, podemos viver num mundo simulado em que controlamos um avatar (uma imagem animada que nos representa). Podemos encontrar outros avatares, explorar mundos imaginários e até apaixonarmo-nos e casar. Também podemos comprar artigos virtuais com dinheiro virtual passível de ser convertido em dinheiro real. Um dos sítios de Internet mais populares, Second Life, registou 16 milhões de contas em 2009. Nesse ano, muitas pessoas ganharam mais de 1 milhão de dólares anuais utilizando o Second Life (contudo, tenha cuidado, porque o lucro que faz é coletável pelo governo americano, que o considera um rendimento real).

A realidade virtual já é uma característica dos jogos de vídeo. Futuramente, à medida que a potência dos computadores se for expandindo, também seremos capazes de visitar mundos irreais por intermédio de óculos e ecrãs de parede. Por exemplo, se quisermos fazer compras ou visitar um lugar exótico, poderemos começar por fazê-lo através da realidade virtual, navegando no ecrã do computador como se lá estivéssemos de facto. Deste modo, poderemos andar na Lua, passar férias em Marte, fazer compras em países distantes, visitar qualquer museu e decidir sozinhos onde queremos ir.

Também disporremos, em certa medida, da capacidade de sentir e tocar objetos nesse cibernundo. Trata-se da chamada «tecnologia háptica», que nos permite sentir a presença de objetos gerados por computador. Começou por ser desenvolvida por cientistas que tinham de manipular materiais altamente radioativos

com braços robóticos movidos por controlo remoto, e por militares, que queriam que os pilotos sentissem a resistência de uma alavanca num simulador de voo.

Para duplicar o sentido do tato, os cientistas criaram um dispositivo ligado a molas e engrenagens de tal modo que, quando o empurramos para a frente com os dedos, o dispositivo resiste, estimulando a sensação de pressão. Quando fazemos deslizar os dedos pela superfície de uma mesa, por exemplo, o dispositivo pode simular a sensação de tocar na sua superfície de madeira rija. Deste modo, podemos sentir a presença de objetos que vemos em óculos de realidade virtual, completando a ilusão de estarmos noutra sítio.

Para criar a sensação de textura, outro dispositivo permite que os nossos dedos se movam sobre uma superfície contendo milhares de alfinetes minúsculos. À medida que os dedos se movem, um computador controla a altura de cada alfinete, a fim de simular a textura das superfícies rijas, da roupa aveludada ou da lixa áspera. Futuramente, se calçarmos luvas especiais, talvez possamos obter uma sensação de tato realista de uma variedade de objetos e superfícies.

Será essencial para treinar cirurgiões, que têm de ser capazes de sentir a pressão quando executam operações delicadas, por exemplo num doente que poderá ser uma imagem holográfica tridimensional. Também nos aproxima do «holoconvés» do *Star Trek*, onde deambulamos num mundo virtual e podemos tocar objetos virtuais. Quando vagueamos numa sala vazia, podemos ver objetos fantásticos nos nossos óculos ou lentes de contato. Quando

nos inclinamos para os apanhar, um dispositivo háptico ergue-se do chão e simula o objeto que estamos a tocar.

Tive ocasião de testemunhar em primeira mão estas tecnologias quando visitei a CAVE (caverna automática virtual) da Rowan University, em Nova Jérсия, para o Canal Ciência. Entrei numa sala vazia com as quatro paredes iluminadas por um projetor. Era possível projetar imagens tridimensionais nas paredes, o que me dava a ilusão de estar a ser transportado para outro mundo. Numa das demonstrações, vi-me cercado por dinossauros gigantescos e ferozes. Movimentando um joystick, podia montar num *Tyrannosaurus rex* e passear às suas costas, ou acabar dentro da sua boca. A seguir, visitei o campo de ensaios de Aberdeen, em Maryland, onde as forças armadas americanas haviam concebido a versão mais avançada de um «holoconvés». Como o meu capacete e mochila possuíam sensores, o computador conhecia exatamente a posição do meu corpo. Depois andei no Tapete Rolante Omnidirecional, um dispositivo sofisticado que nos permite caminhar em qualquer direção sem sair do lugar. De repente, vi-me num campo de batalha, a esquivar-me às balas de atiradores furtivos inimigos. Podia correr em qualquer direção, esconder-me em qualquer beco, descer qualquer rua, e as imagens tridimensionais no ecrã mudavam instantaneamente. Até podia deitar-me no chão que os ecrãs mudavam de acordo com a minha posição. Imagino que, no futuro, no conforto da nossa sala de estar, seremos capazes de sentir uma imersão total em situações como, por exemplo, participar em combates aéreos com naves espaciais extraterrestres, fugir de monstro furiosos ou deambular numa ilha deserta.

1.6 Cuidados Médicos no Futuro Próximo

Uma ida a um consultório médico será completamente diferente. No caso de uma consulta de rotina, é bem provável que o «médico» seja um programa de software robótico que aparecerá no nosso ecrã de parede e que poderá diagnosticar corretamente 95% das maleitas comuns. Apesar de ter aspeto de pessoa, o «médico» será, na realidade, uma imagem animada programada para formular algumas perguntas simples. Também disporá de um registo completo dos nossos genes e recomendará tratamentos médicos que tenham em conta todos os nossos fatores de risco genéticos.

Para diagnosticar um problema, o «médico» pedir-nos-á que passemos uma simples sonda por cima do nosso corpo. Na série original *Star Trek*, os telespetadores ficavam atónitos com o *tricorder*, um dispositivo capaz de diagnosticar instantaneamente qualquer doença e de espreitar para dentro do corpo. Mas não teremos de esperar até ao século XXIII para dispormos deste dispositivo futurista. Neste momento, os aparelhos de imagiologia por ressonância magnética (IRM), que pesam várias toneladas e podem ocupar salas inteiras, já foram miniaturizados para uma dimensão próxima dos 30 cm, e acabarão por ser tão pequenos como um telemóvel. Se os fizermos passar por cima do nosso corpo, seremos capazes de observar o interior dos nossos órgãos. Essas imagens tridimensionais serão tratadas por computadores que nos fornecerão depois um diagnóstico. Essa sonda também conseguirá determinar, em poucos minutos, a presença de uma grande variedade de doenças, incluindo cancro, anos antes da formação de um tumor. A sonda conterà chips de ADN, chips de silício com

milhões de minúsculos sensores capazes de detetar a presença do ADN revelador de muitas doenças.

Como é evidente, muitas pessoas detestam ir ao médico. No futuro, porém, a sua saúde será acompanhada silenciosamente e sem esforço várias vezes por dia, sem a pessoa se aperceber disso. A sanita, o espelho da casa de banho e as roupas possuirão *chips* de ADN que apurarão silenciosamente se a pessoa possui colónias de células cancerosas (escassas centenas de células que se desenvolvem no corpo). O número de sensores ocultos na casa de banho e nas roupas será muito superior ao atualmente existente num hospital ou universidade modernos. Para detetar o ADN de uma proteína alvo de mutação chamada p53, presente em metade dos cancros mais comuns, bastará soprar num espelho. Isto significa que a palavra tumor irá desaparecer gradualmente da nossa língua.

Presentemente, se sofrermos um acidente de viação grave numa estrada pouco movimentada, poderemos com facilidade morrer de hemorragia. Futuramente, no entanto, a roupa e o automóvel atuarão automaticamente ao primeiro sinal de trauma, chamando uma ambulância, dando indicações sobre a localização do carro, descarregando toda a nossa história médica, enquanto estamos inconscientes. Será difícil morrermos sozinhos. Através de minúsculos *chips* integrados no tecido, a roupa será capaz de sentir qualquer irregularidade no ritmo cardíaco, na respiração ou até nas ondas cerebrais. Quando nos vestirmos, passaremos a estar *online*.

Neste momento, é possível colocar um *chip* numa pílula do tamanho de uma aspirina, juntamente com uma câmara televisiva e um rádio. Quando a engolimos, a «pílula inteligente» capta imagens do nosso esófago e intestinos, e transmite por rádio os sinais para um recetor próximo (isto confere um novo significado ao slogan «Intelinside»). Deste modo, os médicos poderão tirar fotografias dos intestinos do doente e detetar cancros sem terem de realizar uma colonoscopia (que implica a introdução incómoda no intestino grosso de um tubo com cerca de 1,80m). Dispositivos microscópicos deste tipo também reduzirão gradualmente a necessidade de cortar a pele para realizar uma cirurgia.

Trata-se apenas de exemplos de como a revolução informática influenciará a nossa saúde. Discutiremos a revolução na medicina com muito mais pormenores nos Capítulos 3 e 4, nos quais também falaremos da terapia génica, da clonagem e da alteração da duração da vida humana.

1.7 Viver Num Conto de Fadas

Como a inteligência informática será baratíssima e estará disseminada no ambiente, alguns «futurólogos» comentaram que o futuro talvez se assemelhe a um conto de fadas. Se dispusermos do poder dos deuses, o paraíso que habitarmos assemelhar-se-á a um mundo de fantasia. O futuro da Internet, por exemplo, é transformar-se no espelho mágico da Branca de Neve. Diremos «Espelho, espelho meu», e um rosto afável surgirá, permitindo-nos aceder à sabedoria do planeta. Colocaremos *chips* nos brinquedos, tornando-os inteligentes, como Pinóquio, o boneco que queria ser

um menino de verdade. À semelhança de Pocahontas, falaremos com o vento e as árvores, e eles responderão. Partiremos do princípio de que os objetos são inteligentes e de que podemos falar com eles.

Como os computadores serão capazes de localizar muitos dos genes que controlam o processo de envelhecimento, seremos jovens para sempre como o Peter Pan. Conseguiremos abrandar e talvez até inverter o processo de envelhecimento, à semelhança dos meninos da Terra do Nunca que não queriam crescer. A realidade aumentada proporcionar-nos-á a ilusão de, tal como a Cinderela, podermos ir a bailes num coche real e dançar graciosamente com um belo príncipe (mas, à meia-noite, os nossos óculos de realidade aumentada desligar-se-ão e voltaremos ao mundo real). Como os computadores estão a revelar os genes que controlam os nossos corpos, seremos capazes de os transformar por engenharia genética, substituindo órgãos e alterando o nosso aspeto, até a nível genético, como o monstro em *A Bela e o Monstro*.

Alguns «futurólogos» chegaram a temer um regresso ao misticismo da Idade Média, quando a maioria das pessoas acreditava na existência de espíritos invisíveis em tudo o que as cercava.

2. Meados do Século (De 2030 A 2070)

2.1 Fim da Lei de Moore

Temos de perguntar: até quando poderá durar esta revolução informática? Se a lei de Moore imperar durante mais cinquenta anos, é concebível que os computadores não tardem a ultrapassar a capacidade computacional do cérebro humano. Em meados do século, ocorrerá uma nova dinâmica. Como disse uma vez George Harrison, «All things must pass», tudo há-de passar. Até a lei de Moore terá de acabar, e com ela a espetacular ascensão da potência dos computadores que alimentou o crescimento económico no último meio século.

Presentemente, tomamos como certa — e, na verdade, acreditamos que é um direito concedido à nascença — a disponibilidade de produtos informáticos com uma potência e complexidade crescentes. É por isso que os compramos todos os anos, sabendo que são quase duas vezes mais potentes do que o modelo do ano anterior. Mas se a lei de Moore ruir — e cada geração de produtos informáticos tiver aproximadamente a mesma potência e velocidade da anterior —, por que motivo havemos de nos dar ao trabalho de comprar novos computadores?

Como haverá *chips* numa enorme variedade de produtos, os efeitos poderão ser desastrosos para a economia no seu conjunto. Com o abrandamento gradual e a paragem de indústrias inteiras,

milhões de pessoas poderão perder o emprego e a economia poderá sofrer um grave abalo.

Há anos, quando nós, físicos, mencionávamos o colapso inevitável da lei de Moore, a indústria troçou das nossas afirmações, dando a entender que estávamos a ser alarmistas. Segundo eles, o fim da lei de Moore tinha sido previsto tantas vezes que não dava para acreditar.

Agora já não é assim.

Há dois anos, fui o orador principal de uma importante conferência da Microsoft que teve lugar na sua sede principal em Seattle, Washington. Estavam presentes três mil dos seus engenheiros de topo, à espera de me ouvir falar do futuro dos computadores e das telecomunicações. Ao olhar para a enorme audiência, pude ver os rostos dos jovens e entusiásticos engenheiros que iriam criar os programas a instalar nos nossos computadores de secretária e portáteis. Fui muito claro no que toca à lei de Moore, e disse que a indústria devia estar preparada para esse colapso. Uma década antes, talvez tivesse sido recebido com gargalhadas ou algumas vaias. Desta vez, só vi pessoas a acenarem afirmativamente.

Por conseguinte, o colapso da lei de Moore é um assunto de importância internacional, pondo em jogo biliões de dólares, mas o modo como ocorrerá e o que a irá substituir dependem das leis da

Física. As respostas a estas perguntas de Física acabarão por abalar a estrutura económica do capitalismo.

Para compreender esta situação, é importante perceber que o êxito notável da revolução informática assenta em diversos princípios de Física. Em primeiro lugar, os computadores possuem uma velocidade estonteante porque os sinais elétricos viajam a uma velocidade quase idêntica à da luz, a velocidade máxima no Universo. Num segundo, um raio de luz pode dar a volta ao mundo sete vezes ou alcançar a Lua. Os eletrões também se movimentam com facilidade e ligam-se aos átomos livremente (e podem soltar-se com igual facilidade quando penteamos o cabelo, pisamos um tapete ou lavamos roupa — e daí a eletricidade estática). A combinação de eletrões livremente ligados e da sua enorme velocidade permite-nos enviar sinais elétricos a um ritmo alucinante, o que deu origem à revolução elétrica do século passado.

Em segundo lugar, é praticamente ilimitada a quantidade de informação que podemos colocar num feixe de laser. As ondas luminosas, como vibram mais rapidamente do que as ondas sonoras, conseguem transportar muitíssimo mais informação do que o som. (Por exemplo, pense em esticar um grande pedaço de corda e em fazer vibrar rapidamente uma das extremidades; quanto mais depressa a agita, mais sinais envia pela corda. Por conseguinte, a quantidade de informação que consegue acumular numa onda aumenta proporcionalmente à rapidez da vibração, isto é, ao aumento da sua frequência.) A luz é uma onda que vibra a cerca de 10^{14} ciclos por segundo (ou seja, 1 com 14 zeros a seguir).

Para transmitir um bit de informação um 1 ou um 0) muitos ciclos são precisos. Isto significa que um cabo de fibra ótica consegue transportar cerca de 10^{11} *bits* de informação numa única frequência. E este número pode ser aumentado se se acumular muitos sinais numa única fibra ótica e se essas fibras forem entrelaçadas a fim de formarem um cabo. Isto significa que, se aumentarmos o número de canais num cabo e, depois, aumentarmos o número de cabos, podemos transmitir informações quase ilimitadas.

Em terceiro lugar, a revolução informática é impulsionada por transístores miniaturizados. Um transístor é uma porta, ou interruptor, que controla o fluxo de eletricidade. Se compararmos um circuito elétrico a uma canalização, diremos que o transístor se assemelha à válvula que controla o fluxo de água. Do mesmo modo que uma simples torção de uma válvula pode controlar um enorme volume de água, o transístor permite que um minúsculo fluxo de eletricidade controle um muito maior, ampliando assim a sua potência.

No centro desta revolução está o *chip*, que pode conter centenas de milhões de transístores numa placa de silício do tamanho da unha de um dedo. No interior dos nossos portáteis, existe um *chip* cujos transístores só podem ser vistos ao microscópio. Esses transístores incrivelmente minúsculos são criados da mesma maneira que os desenhos nas *t-shirts*.

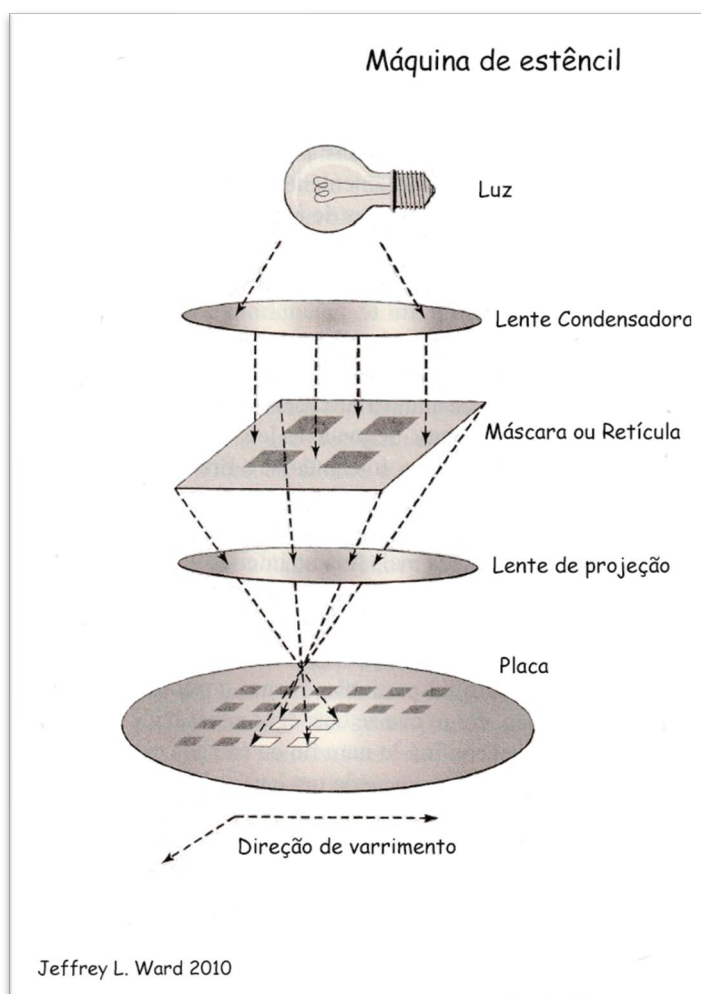
Os desenhos nas *t-shirts* são produzidos em massa, começando por se conceber um estêncil com o contorno do padrão que se quer criar. Esse estêncil é colocado a seguir em cima da roupa,

aplicando-se tinta em spray. A tinta só penetra no tecido nos sítios em que o estêncil tem orifícios. Quando o estêncil é retirado, ficamos com uma cópia perfeita do padrão na *t-shirt*.

No caso do *chip*, também se faz um estêncil com o contorno complexo de milhões de transístores. O estêncil é colocado por cima de uma placa contendo muitas camadas de silício, sensível à luz, sobre a qual se dirige luz ultravioleta. A luz penetra nos orifícios do estêncil, expondo a placa de silício.

A seguir, a placa é banhada em ácido, que escava os contornos dos circuitos e cria o padrão complexo de milhões de transístores. Como a placa é constituída por muitas camadas condutoras e semicondutoras, o ácido penetra nela a diferentes profundidades e com diferentes padrões, permitindo a criação de circuitos de enorme complexidade.

Uma das razões para o aumento incansável da potência dos *chips* por efeito da lei da Moore é a possibilidade de se afinar a luz ultravioleta, obtendo-se um comprimento de onda cada vez menor, o que possibilita a gravação de um número crescente de transístores minúsculos em placas de silício. Como a luz ultravioleta possui um comprimento de onda de 10 nanómetros (um nanómetro é um milésimo de milionésimo do metro), isto significa que o transístor mais pequeno que se pode gravar tem trinta átomos de largura.



O fim da lei de Moore. Os *chips* são produzidos da mesma maneira que os desenhos em *t-shirts*. Em vez de pulverizar tinta num estêncil, projeta-se luz ultravioleta, queimando uma imagem em camadas de silício. A seguir, os ácidos gravam a imagem, criando centenas de milhões de transístores. Mas o processo atingirá o seu limite quando se chegar à escala atômica. Irá Silicon Valley tornar-se uma «cintura desindustrializada»?

Este processo, no entanto, não se pode eternizar. Há-de chegar uma altura em que se torna fisicamente impossível gravar desta maneira transístores com as dimensões de átomos. Até podemos calcular aproximadamente o momento em que a lei de Moore entra em colapso: quando se chegar por fim aos transístores com a dimensão de um átomo individual.

Cerca de 2020 ou pouco depois, a lei de Moore deixará gradualmente de se aplicar, e Silicon Valley poderá transformar-se pouco a pouco numa «cintura desindustrializada»⁴, a não ser que se descubra uma tecnologia substituta. Segundo as leis da Física, a Era do Silício acabará por chegar ao fim, iniciando-se a Era do Pós-Silício. Os transístores tornar-se-ão tão pequenos que a Teoria Quântica ou a Física Atómica passarão a dominar, e os eletrões escapar-se-ão dos fios. Por exemplo, a camada mais fina no interior do seu computador terá cinco átomos de largura. Nesse ponto, segundo as leis da Física, passará a imperar a Teoria Quântica. Segundo o princípio de incerteza de Heisenberg, não se consegue conhecer ao mesmo tempo a posição e a velocidade de qualquer partícula. Parece contrariar a intuição, mas, a nível atómico, como não se consegue saber onde está o eletrão, nunca é possível confiná-lo num fio ou camada extrafinos, motivo pelo qual se escapa, provocando um curto-circuito.

Discutiremos isto com mais pormenor no Capítulo 4, quando analisarmos a nanotecnologia. Até ao fim deste capítulo, partiremos do princípio de que os físicos descobriram um sucessor para o silício, mas que a potência dos computadores aumenta a um ritmo muito mais lento do que antes. É muito provável que os computadores continuem a crescer exponencialmente, mas a sua potência duplicará num espaço de vários anos, e não de dezoito meses.

2.2 Misturar a Realidade Real e a Realidade Virtual

Em meados do século, viveremos todos numa mistura de realidade real e de realidade virtual. Nas nossas lentes de contato

ou óculos, veremos simultaneamente imagens virtuais sobrepostas ao mundo real. É esta a visão de Susumu Tachi, da Universidade Keio no Japão, e de muitos outros. Tachi está a conceber óculos especiais que misturam a fantasia e a realidade. O seu primeiro projeto é fazer desaparecer objetos numa atmosfera rarefeita.

Visitei o professor Tachi em Tóquio e testemunhei algumas das suas notáveis experiências de mistura da realidade real e da realidade virtual. Uma aplicação simples é fazer desaparecer um objeto (pelo menos nos nossos óculos). Comecei por vestir uma capa de chuva castanha clara especial. Quando abria os braços, ela tinha o aspeto de uma grande vela. A seguir, uma câmara focou-se na capa e outra câmara filmou o cenário por trás, com autocarros e automóveis a circularem numa estrada. Um momento depois, um computador fundiu as duas imagens, e a imagem por trás de mim foi enviada para a capa de chuva, como se se tratasse de um ecrã. Se um observador olhasse por uma lente especial, o meu corpo desaparecia, restando apenas as imagens dos automóveis e dos autocarros. Uma vez que a minha cabeça se via por cima da capa da chuva, era como se estivesse a flutuar no ar, sem corpo, como acontece ao Harry Potter quando usa o seu manto de invisibilidade.

A seguir, o professor Tachi mostrou-me uns óculos especiais. Quando os coloquei, consegui ver objetos reais e fazê-los desaparecer. Não se trata de uma autêntica invisibilidade pois só funciona quando usamos óculos especiais que fundem duas imagens. Contudo, faz parte do ambicioso programa do professor Tachi, chamado por vezes «realidade aumentada».

Em meados do século, viveremos num cibermundo em pleno funcionamento, que fundirá o mundo real com imagens provenientes de um computador. Isto poderá transformar radicalmente o local de trabalho, o comércio, o entretenimento e a nossa maneira de viver. A realidade aumentada terá consequências imediatas no mercado. A primeira aplicação comercial será tornar invisíveis objetos, ou tornar visíveis os que são invisíveis.

Se for um piloto ou um condutor, por exemplo, poderá ver 360° à sua volta, e até por baixo dos seus pés, porque os seus óculos ou lentes lhe permitirão ver através das paredes do avião ou do carro. Isto eliminará os ângulos mortos que são responsáveis por muitos acidentes e mortes. Num combate aéreo, os pilotos dos aviões a jato conseguirão ver os aviões inimigos onde quer que estejam, mesmo por baixo deles, porque o seu avião será transparente. Os condutores serão capazes de ver em todas as direções, pois disporão de minúsculas câmaras com uma visão de 360° e que transmitirão as imagens para as suas lentes de contato.

Também será útil para um astronauta que esteja a fazer reparações no exterior de uma nave, pois poderá ver através das paredes, das divisórias e do casco. Poderá salvar-lhe a vida. Um operário da construção que esteja a fazer reparações subterrâneas no meio de um amontoado de cabos, canos e válvulas saberá com exatidão como todos estão ligados, o que poderá revelar-se vital em caso de uma explosão de gás ou de vapor, quando os canos escondidos por trás das paredes têm de ser reparados ou ligados de novo em pouco tempo.

Do mesmo modo, um prospector poderá ver, através do solo, depósitos subterrâneos de água ou de petróleo. As fotografias de um campo tiradas de satélites ou de aviões com luz infravermelha ou ultravioleta poderão ser analisadas e enviadas para as suas lentes de contato, fornecendo-lhe uma análise tridimensional do local e do que jaz sob a superfície. Quando um prospector atravessar um campo árido, poderá «ver», com as suas lentes de contato, valiosos depósitos de minério.

Além de tornarmos invisíveis os objetos, também poderemos fazer o contrário: tornar visível o que é invisível.

Um arquiteto será capaz de deambular por uma sala vazia e «ver», de repente, a imagem tridimensional do edifício que está a projetar. O projeto surgirá aos seus olhos enquanto andar pela sala. As divisões vazias encher-se-ão subitamente de móveis, carpetes e decorações nas paredes, permitindo-lhe visualizar a sua criação em 3-D antes de a concretizar de facto. Poderá criar novas divisões, paredes e mobílias com um simples gesto dos braços. Neste mundo aumentado, o arquiteto terá o poder de um mágico, que agita uma varinha e cria qualquer objeto que queira.



As lentes de contato para a Internet reconhecerão os rostos das pessoas, mostrarão as suas biografias e traduzirão as suas palavras como se fossem legendas. Os turistas usá-las-ão para ressuscitar monumentos antigos. Os artistas e arquitetos usá-las-ão para manipular e remodelar as suas criações virtuais. São infinitas as possibilidades da realidade aumentada.

2.3 Realidade Aumentada: Uma Revolução no Turismo, na Arte, nas Compras e na Guerra

Como se pode ver, as implicações no comércio e no local de trabalho serão enormes. A realidade aumentada poderá enriquecer praticamente todos os postos de trabalho. Além disso, esta tecnologia melhorará imenso a nossa vida, o nosso entretenimento e a nossa sociedade.

Por exemplo, um turista que visite um museu poderá ir observando os objetos expostos um a um ao mesmo tempo que as suas lentes de contato lhe fornecerão uma descrição de cada objeto, como se um guia virtual lhe proporcionasse uma «cibervisita» guiada à medida que for passando pelos objetos. Uma pessoa que

visite antigas ruínas poderá «ver» reconstruções completas dos edifícios e monumentos em toda a sua glória, bem como alguns relatos históricos. Os vestígios do Império Romano, em vez de se limitarem a colunas quebradas e a ervas daninhas, ressuscitarão enquanto a pessoa deambular entre eles, e serão completados por comentários e notas.

O Instituto de Tecnologia de Pequim já deu os primeiros passos nessa direção. Recriou no ciberespaço o fabuloso Jardim da Perfeita Claridade, destruído pelas forças anglo-francesas durante a Segunda Guerra do Ópio, em 1860. Presentemente, só restam do lendário jardim os destroços deixados pelas tropas que o pilharam. Porém, se olharmos para as ruínas de uma plataforma especial, podemos ver todo o jardim como era, em todo o seu esplendor. No futuro, possibilidades destas vulgarizar-se-ão.

O inventor Nikolas Neecke, que criou um passeio a pé em Basileia, na Suíça, concebeu um sistema ainda mais avançado. Quando andamos pelas suas ruas antigas, vemos imagens de antigos edifícios e até de pessoas sobrepostas no presente, como se viajássemos no tempo. O computador localiza a nossa posição e mostra-nos imagens de cenas antigas nos nossos óculos, como se fôssemos transportados para a Idade Média. Presentemente, temos de usar uns enormes óculos e uma pesada mochila carregada de aparelhos eletrónicos de GPS e de computadores, mas, no futuro, disporemos das nossas lentes de contato.

Se conduzirmos um automóvel numa terra desconhecida, todos os pontos de referência surgirão nas nossas lentes de contato na

nossa língua, para que nunca tenhamos de perder tempo a olhar para eles. Veremos os sinais rodoviários bem como explicações adicionais, como atrações turísticas, por exemplo. Também nos serão fornecidas traduções rápidas dos sinais rodoviários.

Numa terra estranha, um caminhante, um campista ou um amante da vida ao ar livre, além de saberem onde estão, também conhecerão os nomes de todas as plantas e animais, e poderão ver um mapa da zona e receber boletins meteorológicos. Também serão informados dos atalhos e parques de campismo escondidos pelo matagal e pelas árvores.

As pessoas à procura de casa poderão ver as que estão vagas quando passarem por elas a pé ou de carro. As lentes mostrarão o preço, as características, etc., de qualquer apartamento ou casa para venda.

E, ao olharmos para o céu estrelado, veremos as estrelas e todas as constelações claramente delineadas, como se estivéssemos a assistir a um espetáculo num planetário, mas com estrelas de verdade. Também veremos onde estão localizadas as galáxias, os buracos negros distantes e outras imagens astronómicas interessantes, e podemos descarregar leituras agradáveis.

Além de sermos capazes de ver através dos objetos e de visitar terras desconhecidas, a visão aumentada será essencial se necessitarmos instantaneamente de informações muito especializadas.

Por exemplo, um ator, músico ou artista que tiver de memorizar uma grande quantidade de material, poderá vê-lo nas suas lentes. Não serão necessários telepontos, pontos, partituras ou notas. Deixará de ser preciso memorizar seja o que for.

Outros exemplos incluem:

- Um aluno que tiver faltado a uma aula poderá descarregar aulas dadas por um professor virtual sobre qualquer assunto e vê-las. Por telepresença, a imagem de um professor real poderá surgir na sua frente e responder às perguntas que lhe fizer. Também poderá ver demonstrações de experiências, vídeos, etc., por intermédio das suas lentes.
- No caso de um soldado no campo de batalha, os seus óculos e auscultadores dar-lhe-ão as informações mais atualizadas, os mapas, as localizações dos inimigos, a direção do fogo inimigo, as instruções dos superiores, etc. Num tiroteio, com balas a assobiarem de todos os lados, poderá ver através dos obstáculos e colinas e localizar o inimigo, pois os veículos telecomandados que sobrevoarem o campo identificarão as suas posições.
- Um cirurgião que estiver a realizar uma intervenção delicada poderá ver o interior do corpo do doente (por intermédio de máquinas portáteis de IRM) e o que se passa dentro dele (por intermédio de sensores que se

movem no interior do corpo)), bem como aceder a todas as fichas médicas e a vídeos de operações anteriores.

- Uma pessoa entretida num jogo de vídeo poderá mergulhar no ciberespaço com as suas lentes de contato. Embora esteja numa sala vazia, poderá ver todos os amigos em imagens tridimensionais perfeitas e sentir que está numa paisagem extraterrestre quando se prepara para combater alienígenas imaginários, como se estivesse num campo de batalha num planeta desconhecido, com raios a virem de todos os lados em direção a ele e aos amigos.
- Quem necessitar de consultar estatísticas de um atleta ou informações sobre desportos, obtê-las-á instantaneamente nas suas lentes de contato.

Isto significa que deixaremos de precisar de telemóveis, relógios ou relógios de pulso, ou leitores de MP3. Todos os ícones dos diversos objetos que trouxermos nas mãos se projetarão nas nossas lentes de contato, permitindo-nos aceder a eles quando quisermos. Poderemos fazer chamadas telefónicas e ligarmo-nos a sítios de Internet com música, etc. A realidade aumentada substituirá muitos dos aparelhos e engenhocas que temos em casa.

Pattie Maes, do MIT Media Laboratory, é outra cientista que está a explorar a realidade aumentada. Em vez de usar lentes de contato, óculos ou óculos de proteção especiais, pensa em projetar

um ecrã de computador em objetos vulgares que nos cercam. O projeto, chamado SixthSense (Sexto Sentido), implica que passemos a usar uma câmara e um projetor minúsculos à roda do pescoço, como se fosse um medalhão, que poderão projetar a imagem de um ecrã de computador em seja o que for que estiver à nossa frente, como uma parede ou uma mesa. Carregar nos botões imaginários ativará automaticamente o computador, como se estivéssemos a usar um teclado real. Como será possível projetar a imagem de um ecrã de computador em qualquer coisa plana e sólida, poderemos converter centenas de objetos em ecrãs de computador.

Além disso, também usaremos dedais plásticos especiais nos dedos das mãos, incluindo nos polegares. Quando mexermos os dedos, o computador executará instruções no ecrã de computador projetado na parede. Poderemos, por exemplo, desenhar imagens no ecrã. Usaremos os dedos em vez do rato para controlar o cursor. E se juntarmos as mãos, formando um quadrado, poderemos ativar uma câmara digital e tirar fotografias.

Isto também significa que, ao fazermos compras, o computador pesquisará vários produtos, identificá-los-á e fornecerá uma leitura completa dos ingredientes, conteúdo calórico e opiniões de outros consumidores. Como os *chips* custarão menos do que os códigos de barras, cada produto comercial possuirá um rótulo inteligente ao qual poderemos aceder.

Outra aplicação da realidade aumentada será a visão de raios X, muito semelhante à que encontramos nas bandas desenhadas do

Super-Homem, que usa um processo chamado «raios X retrodifusos». Se os nossos óculos ou lentes de contato forem sensíveis aos raios X, poderemos ver através das paredes e, ao olharmos à nossa volta, veremos através dos objetos, como nos álbuns de banda desenhada. Todos os garotos, quando leem o *Super-Homem* pela primeira vez, sonham ser «mais rápidos do que uma bala e mais poderosos do que uma locomotiva». Milhares de miúdos usam capas, saltam por cima de caixotes, pulam no ar e fazem de conta que possuem visão de raios X, mas trata-se de uma possibilidade real.

Os raios X vulgares suscitam um problema: é necessário colocar uma película de raios X por trás de cada objeto, sujeitá-lo aos raios X e revelar depois a película. Mas os raios X retrodifusos resolvem esta questão. Em primeiro lugar, emanam de uma fonte de luz que pode banhar uma sala. Depois, saltam das paredes e atravessam o objeto que queremos examinar. Os nossos óculos serão sensíveis aos raios X que atravessaram o objeto. As imagens obtidas através destes raios X retrodifusos poderão ser tão boas como as que encontramos nos álbuns de banda desenhada. (Ao aumentar a sensibilidade dos óculos, reduz-se a intensidade dos raios X, minimizando os riscos para a saúde.)

2.4 Tradutores Universais

Na série *Star Trek*, na saga da *Guerra das Estrelas* e em quase todos os outros filmes de ficção científica, todos os extraterrestres falam um inglês perfeito. Isto porque existe uma coisa chamada «tradutor universal» que permite aos terráqueos comunicarem

instantaneamente com qualquer civilização extraterrestre, superando os inconvenientes da enfadonha linguagem de sinais e de gestos primitivos.

Já existem versões do tradutor universal, apesar de ter sido considerado irrealista. Isto significa que, futuramente, se estivermos a fazer turismo num país estrangeiro e falarmos com os seus habitantes, veremos legendas nas nossas lentes de contato, como se estivéssemos a assistir a um filme em língua estrangeira. O nosso computador também poderá criar uma tradução áudio e fazê-la chegar aos nossos ouvidos. Isto significa que talvez venha a ser possível duas pessoas conversarem, falando cada uma na sua língua, enquanto ouvem a tradução, se ambas dispuserem de um tradutor universal. A tradução não será perfeita pois há sempre problemas com os idiomas, o calão e as expressões coloquiais, mas será suficientemente boa para as pessoas entenderem o essencial.

Há muitas maneiras de concretizar esta possibilidade que estão a ser utilizadas por cientistas. A primeira é criar uma máquina capaz de converter a fala em escrita. Em meados da década de 1990, chegaram ao mercado as primeiras máquinas de reconhecimento de fala, capazes de reconhecer até 40 000 palavras com uma exatidão de 95%. Eram mais do que adequadas pois uma conversa típica, do dia-a-dia, usa apenas entre 500 a 1000 palavras. Logo que se realiza a transcrição da voz humana, cada palavra é traduzida para outra língua por intermédio de um dicionário informático. A seguir vem a parte mais difícil: contextualizar as palavras, acrescentar calão, expressões coloquiais. etc., o que exige

uma compreensão sofisticada dos cambiantes da língua. Chama-se TAC (tradução assistida por computador) a esta tecnologia.

A Carnegie Mellon University, em Pittsburgh, tem sido pioneira de outro método. Alguns cientistas já dispõem de protótipos capazes de traduzir de chinês para inglês, e de inglês para espanhol ou alemão. Ligam elétrodo ao pescoço e rosto do falante, que captam a contração dos músculos e decifram as palavras que estão a ser pronunciadas. O seu trabalho não exige equipamento áudio pois as palavras podem ser apenas murmuradas. A seguir, um computador traduz as palavras e um sintetizador de voz pronuncia-as em voz alta. Estes protótipos atingiram uma precisão de 80% em conversas simples com cerca de 100 a 200 palavras.

«A ideia é podermos proferir palavras em inglês e ouvi-las em chinês ou em qualquer outra língua», afirma Tanja Schultz, uma das investigadoras. No futuro, talvez seja possível um computador ler os lábios da pessoa com quem estamos a falar, dispensando então os elétrodos. Portanto, em princípio, é possível duas pessoas terem uma conversa animada, embora falem línguas diferentes.

No futuro, as barreiras linguísticas, que têm impedido tragicamente o entendimento entre culturas, poderão desaparecer pouco a pouco com este tradutor universal e com as lentes de contato ou óculos para a Internet.

Embora a realidade aumentada revele um mundo completamente diferente, há limitações. O problema não será o

hardware, e a largura de banda também não será um fator restritivo pois é ilimitada a quantidade de informação que os cabos de fibra ótica podem transportar.

O obstáculo real reside no *software*, cuja criação só poderá ser feita à velha maneira. Um ser humano, sentado tranquilamente com um lápis, papel e um portátil, terá de escrever os códigos, linha a linha, que materializarão esses mundos imaginários. É possível produzir *hardware* em massa e aumentar a sua potência empilhando cada vez mais *chips*, mas não é possível produzir em massa o cérebro. Isso significa que a introdução de um mundo verdadeiramente aumentado levará décadas, até meados do século.

2.5 Hologramas e 3-D

Outro avanço tecnológico que poderemos presenciar em meados do século é a verdadeira televisão e os verdadeiros filmes a três dimensões. Na década de 1950, os filmes 3-D exigiam que as pessoas pusessem óculos pesados com lentes azuis e vermelhas. Estes óculos tiravam partido do ligeiro desalinhamento entre o olho direito e o olho esquerdo; o ecrã mostrava duas imagens, uma azul e outra vermelha. Visto que esses óculos atuavam como filtros que forneciam duas imagens distintas ao olho esquerdo e ao olho direito, gerava-se a ilusão de que estávamos a ver a três dimensões quando o cérebro fundia as duas imagens. Por conseguinte, a percepção de profundidade era um truque. (Quanto mais separados estão os nossos olhos, maior a percepção de profundidade. É por isso

que alguns animais possuem olhos fora da cabeça, para maximizar essa percepção.)

Os óculos 3-D com lentes de vidro polarizado, que proporcionam a cada olho duas imagens polarizadas diferentes, constituem um melhoramento. As pessoas podem ver imagens tridimensionais a cores, e não apenas a azul e a vermelho. Como a luz é uma onda, pode vibrar para cima e para baixo, ou para a esquerda e para a direita. Uma lente polarizada é um pedaço de vidro que só permite a passagem da luz numa direção. Por conseguinte, se temos duas lentes polarizadas nos nossos óculos com diferentes direções de polarização, podemos criar um efeito tridimensional. Uma versão mais sofisticada poderá ser obtida pela projeção de duas imagens diferentes nas nossas lentes de contato.

Já chegaram ao mercado televisões 3-D que exigem a utilização de óculos especiais, mas não tardarão a surgir outras que os dispensarão, recorrendo ao invés a lentes lenticulares. O ecrã televisivo é feito de maneira a projetar duas imagens separadas em ângulos ligeiramente diferentes, cada uma para o seu olho. Logo, os olhos veem imagens separadas, o que gera a ilusão de 3-D. Contudo, a cabeça do telespetador terá de estar corretamente posicionada, pois existem «locais ideais» para os olhos se fixarem quando contemplam o ecrã. (Isto tira proveito de uma conhecidíssima ilusão ótica. Em lojas de novidades, vemos quadros que se transformam como que por magia quando passamos por eles. Estes quadros obtêm-se tirando duas fotografias, cortando cada uma em várias tiras, intercalando-as e criando uma imagem composta. A seguir, coloca-se em cima dessa imagem uma folha de

vidro lenticular com muitas ranhuras verticais, assentando cada ranhura precisamente em cima de duas tiras. A forma das ranhuras é especial: quando se olha de um ângulo, vê-se uma faixa, mas a outra surge do outro ângulo. Por conseguinte, quando passamos pela folha de vidro, vemos cada fotografia a transformar-se de repente noutra, e a voltar ao que era. As televisões 3-D substituirão estas imagens fixas por imagens móveis para se obter o mesmo efeito sem recorrer aos óculos.)

Porém, a versão mais avançada das imagens tridimensionais será o holograma. Sem utilizarmos óculos, veremos a frente de onda de uma imagem tridimensional, como se ela estivesse diretamente à nossa frente. Os hologramas existem há décadas (nas lojas de novidades, nos cartões de crédito e em exposições) e surgem com regularidade em filmes de ficção científica. Na *Guerra das Estrelas*, a história é desencadeada por um pedido de socorro holográfico e tridimensional enviado pela princesa Leia aos membros da Aliança Rebelde.

O problema é que os hologramas são difíceis de criar.

No seu fabrico, utiliza-se um único raio laser dividido em dois. Um raio incide no objeto que se quer fotografar, que ressalta e cai num ecrã especial. O segundo raio laser incide diretamente nesse ecrã. A mistura dos dois raios cria um padrão complexo de interferência que contém a imagem tridimensional bloqueada do objeto original, que é então reproduzido num filme especial no ecrã. A seguir, quando se faz passar outro raio laser pelo ecrã, a imagem do objeto original surge a três dimensões.

A televisão holográfica suscita dois problemas. Primeiro, a imagem tem de ser projetada num ecrã. Quando estamos sentados defronte do ecrã, vemos a imagem tridimensional exata do objeto original, mas não podemos inclinar-nos e tocar o objeto. A imagem tridimensional que vemos é uma ilusão.

Isto significa que, se estivermos a ver um jogo de futebol tridimensional na nossa televisão holográfica, a imagem muda como se fosse real independentemente dos movimentos que façamos. Pode parecer que estamos junto à linha, a ver o jogo a uma escassa distância dos jogadores. Contudo, se quiséssemos apanhar a bola, íamos de encontro ao ecrã.

O verdadeiro problema técnico que tem impedido o desenvolvimento da televisão holográfica é o armazenamento de informação. Uma imagem tridimensional autêntica contém uma enorme quantidade de informação, muitíssimo superior à que está armazenada numa imagem bidimensional. Os computadores processam regularmente imagens bidimensionais pois a imagem é decomposta em pontos minúsculos, chamados pixels, e cada *pixel* é iluminado por um pequeníssimo transistor. Porém, para mover uma imagem tridimensional, é necessário projetar trinta imagens por segundo. Um cálculo rápido mostra que a informação necessária para gerar imagens holográficas tridimensionais móveis, excede em muito a capacidade da atual Internet.

Em meados do século, este problema poderá ser resolvido com a expansão exponencial da largura de banda da Internet.

Que aspeto terão as verdadeiras televisões tridimensionais?

Uma possibilidade é um ecrã com a forma de um cilindro ou cúpula dentro do qual nos sentamos. Quando a imagem holográfica for projetada no ecrã, veremos as imagens tridimensionais à nossa volta, como se estivessem realmente lá.

3. O Futuro Longínquo (2070 A 2100)

3.1 Domínio da Mente Sobre a Matéria

Em finais deste século, controlaremos os computadores diretamente com a nossa mente. À semelhança dos deuses gregos, pensaremos que certas ordens e desejos serão cumpridos. As bases desta tecnologia já foram lançadas, mas muitas décadas de trabalho árduo serão necessárias para a aperfeiçoar. Esta revolução tem duas partes: primeiro, a mente terá de ser capaz de controlar os objetos que a cercam; segundo, um computador terá de decifrar os desejos de uma pessoa para poder satisfazê-los.

O primeiro progresso significativo ocorreu em 1998, quando alguns cientistas da Emory University e da Universidade de Tübingen, na Alemanha, colocaram um minúsculo elétrodo de vidro no cérebro de um homem de cinquenta e seis anos que ficara paralisado depois de um acidente vascular cerebral. O elétrodo foi ligado a um computador que analisava os sinais provenientes do cérebro do doente. Este era capaz de ver uma imagem do cursor no ecrã do computador. A seguir, por *biofeedback*, era capaz de

controlar o cursor, limitando-se a pensar. Foi a primeira vez que se estabeleceu um contato direto entre um cérebro humano e um computador.

A versão mais sofisticada desta tecnologia foi desenvolvida na Universidade de Brown pelo neurocientista John Donoghue, que criou um dispositivo chamado BrainGate para ajudar as pessoas que haviam sofrido lesões cerebrais incapacitantes a comunicarem. Donoghue fez furor nos média e chegou a ser capa da revista *Nature* em 2006.

O neurocientista sonha poder, com a ajuda do BrainGate, revolucionar o modo como tratamos lesões cerebrais, controlando todo o poder da revolução da informação. O dispositivo já teve um impacto tremendo na vida dos seus doentes, e o cientista tem grandes esperanças de melhorar esta tecnologia. Está pessoalmente interessado na investigação porque, em criança, esteve confinado a uma cadeira de rodas devido a uma doença degenerativa, tendo, pois, consciência do que é uma pessoa sentir-se impotente.

Os seus doentes incluem vítimas de acidentes vasculares cerebrais que ficaram completamente paralisadas e incapazes de comunicar com as pessoas que lhes são queridas, mas cujos cérebros se mantêm ativos. Coloca um *chip*, com apenas 4 milímetros de largura, na parte superior do cérebro de um doente, na área que controla os movimentos. Este *chip* está ligado a um computador que analisa e processa os sinais cerebrais e envia as mensagens para um portátil.

A princípio, o doente não controla a localização do cursor, mas consegue ver para onde ele se move. Por tentativa e erro, aprende a controlar o cursor e, ao cabo de várias horas, consegue posicioná-lo em qualquer sítio do ecrã. Com a prática, passa a ser capaz de ler e de escrever correio eletrónico e de jogar jogos de vídeo. Em princípio, uma pessoa paralisada deverá ser capaz de executar qualquer função que possa ser controlada pelo computador.

Donoghue começou com quatro doentes, dois com lesões da medula, um que tinha tido um AVC e um quarto que sofria de esclerose lateral amiotrófica. Um deles, um quadriplégico paralisado do pescoço para baixo, levou só um dia a controlar mentalmente o movimento do cursor. Neste momento, consegue controlar um televisor, mover o cursor de um computador, jogar um jogo de vídeo e ler correio eletrónico. Os doentes também conseguem controlar a sua mobilidade manipulando uma cadeira de rodas motorizada.

Trata-se de nada menos do que um milagre para pessoas totalmente paralisadas. Hoje, estão presas no seu corpo e impotentes; amanhã, passeiam pela Internet e conversam com pessoas de todo o mundo.

(Estive presente numa receção no Lincoln Center, em Nova Iorque, em honra do grande cosmologista Stephen Hawking. Era de partir o coração vê-lo amarrado a uma cadeira de rodas, incapaz de se mexer, exceto alguns músculos faciais e as pálpebras, com enfermeiras a segurarem-lhe a cabeça e a empurrarem a cadeira de rodas. Para comunicar ideias simples por meio do seu

sintetizador de voz, tem de fazer esforços excruciantes que lhe exigem horas e dias. Interroguei-me se seria já tarde demais para poder tirar partido da tecnologia do BrainGate. Foi então que John Donoghue, que também estava na receção, se aproximou para me cumprimentar. Talvez o BrainGate seja uma boa opção para Hawking.)

Outro grupo de cientistas da Duke University tem tido resultados semelhantes com macacos. Miguel A. L. Nicolelis e os colegas colocaram um *chip* no cérebro de um macaco. O *chip* está ligado a um braço mecânico. Os macacos começam por agitar os braços, sem perceberem como funciona o braço mecânico. Depois, com alguma prática, utilizando o poder do seu cérebro, tornam-se capazes de controlar gradualmente os movimentos do braço mecânico — movendo-o, por exemplo, para apanhar uma banana. Conseguem movê-lo instintivamente, sem pensarem, como se o braço mecânico lhes pertencesse. «Existem algumas provas fisiológicas de que, durante a experiência, se sentem mais ligados aos robôs do que aos próprios corpos», afirma Nicolelis.⁵

Isto também significa que, um dia, seremos capazes de controlar máquinas só com o pensamento. As pessoas que estão paralisadas talvez possam controlar braços e pernas mecânicos desta maneira. Talvez seja possível ligar diretamente o cérebro de uma pessoa a braços e pernas mecânicos, sem passar pela medula, para que o doente volte a andar. Estes avanços poderão lançar as bases para o controlo do mundo por meio do poder da mente.

3.2 Leitura da Mente

Se o cérebro consegue controlar um computador ou um braço mecânico, será que um computador pode ler os pensamentos de uma pessoa, sem ser necessário introduzir-lhe elétrodos no cérebro?

Sabe-se desde 1875 que o cérebro assenta na movimentação da eletricidade pelos seus neurónios, o que gera sinais elétricos débeis passíveis de serem medidos pela colocação de elétrodos à volta da cabeça de uma pessoa. Pela análise dos impulsos elétricos captados por estes elétrodos, é possível registar as ondas cerebrais. Chama-se eletroencefalograma (EEG) a este traçado, que pode registar grandes alterações no cérebro, por exemplo o sono, e também humores, como a agitação, a cólera, etc. O produto do EEG pode ser mostrado no ecrã de um computador, enquanto o sujeito o observa. Ao cabo de algum tempo, a pessoa passa a ser capaz de mover o cursor com o pensamento. Niels Birbaumer, da Universidade de Tübingen, já tem sido capaz de treinar pessoas parcialmente paralisadas a datilografarem pequenas frases por intermédio desse método.

Até os fabricantes de brinquedos estão a tirar partido dessa possibilidade. Algumas empresas do ramo, incluindo a NeuroSky, comercializam uma fita para a cabeça com um elétrodo do tipo dos do EEG. Se nos concentramos de certa maneira, conseguimos ativar o EEG existente na fita, que controla depois o brinquedo. Por exemplo, somos capazes de erguer uma bola de pingue-pongue dentro de um cilindro só com a força da mente.

A vantagem do EEG é poder detetar rapidamente várias frequências emitidas pelo cérebro sem um equipamento elaborado e dispendioso. Mas o EEG tem a grande desvantagem de não conseguir situar pensamentos em localizações específicas do cérebro.

Existe um método muito mais sensível, a imagiologia por ressonância magnética funcional (IRMf). São importantes as diferenças entre o EEG e a IRMf. O EEG é um dispositivo passivo que se limita a captar sinais elétricos provenientes do cérebro, pelo que não conseguimos determinar muito bem a localização da fonte. Uma máquina de IRMf utiliza «ecos» criados por ondas de rádio para perscrutar o interior de tecidos vivos, o que nos permite localizar com precisão vários sinais, fornecendo-nos imagens tridimensionais espetaculares do interior do cérebro.

A máquina de IRMf é bastante dispendiosa e exige um laboratório repleto de equipamento pesado, mas já nos forneceu pormenores excitantes sobre o modo como funciona o cérebro pensante. A IRMf permite aos cientistas localizarem a presença de oxigénio contido na hemoglobina do sangue. Como a hemoglobina oxigenada contém a energia que alimenta a atividade celular, a deteção do movimento deste oxigénio permite-nos acompanhar o fluxo de pensamentos no cérebro.

Joshua Freedman, psiquiatra na Universidade da Califórnia, em Los Angeles, afirma: «É como se fôssemos astrónomos do século XVI depois da invenção do telescópio. Durante milénios, pessoas muito inteligentes tentaram entender o que se passava nos céus,

mas só podiam especular acerca do que a visão humana não conseguia abarcar sem ajuda. De repente, surge uma nova tecnologia que lhes permite observar diretamente o que lá existia.»⁶

Com efeito, a IRMf até pode detetar o movimento dos pensamentos no cérebro vivo com uma resolução de 0,1 milímetros, ou seja, inferior à cabeça de um alfinete, o que corresponde talvez a uns milhares de neurónios. Por conseguinte, a IRMf fornece-nos imagens tridimensionais do fluxo de energia no interior do cérebro pensante com uma precisão espantosa. É possível que se venham a construir aparelhos de IRMf capazes de atuar ao nível de um único neurónio, caso em que talvez se possam captar padrões neuronais correspondentes a pensamentos específicos.

Kendrick Kay e os seus colegas da Universidade da Califórnia, em Berkeley, deram recentemente um grande passo em frente. Utilizaram a IRMf em pessoas que estavam a observar fotografias muitíssimo variadas, como alimentos, animais, pessoas e objetos comuns de diversas cores. Kay e os colegas criaram um *software* capaz de associar esses objetos a padrões correspondentes de IRMf. Quanto mais objetos as pessoas viam, melhor era a capacidade de o computador identificar esses objetos nos registos de IRMf.

A seguir, mostraram aos mesmos indivíduos objetos novos, e o *software* conseguiu muitas vezes acasalar corretamente o objeto com o padrão de IRMf. Quando lhe foram mostradas 120 fotografias de objetos novos, o *software* identificou corretamente os registos de IRMf com esses objetos 90% das vezes. Quando mostraram aos

indivíduos 1000 fotografias novas, a taxa de êxito do *software* foi de 80%.

Segundo Kay, «é possível identificar, num grande conjunto de imagens naturais completamente novas, que imagem específica foi vista por um observador [...] Dentro de pouco tempo, talvez seja possível reconstruir uma imagem da experiência visual de uma pessoa apenas a partir de medições da atividade cerebral.»⁷

O objetivo desta abordagem é criar um «dicionário do pensamento», baseado numa correspondência unívoca entre cada objeto e uma determinada imagem de IRMf. Assim, quando se interpretar o padrão de IRMf, conseguir-se-á decifrar o objeto em que a pessoa está a pensar. Um computador analisará milhares de padrões de IRMf que surgem de um cérebro pensante e decifrá-los-á, permitindo-nos desse modo descodificar a corrente de consciência de uma pessoa.

3.3 Fotografar Um Sonho

Contudo, embora possa ser capaz de nos dizer se estamos a pensar num cão, por exemplo, esta técnica não consegue reproduzir a verdadeira imagem do animal. Uma nova linha de investigação tenta reconstruir a imagem precisa em que o cérebro está a pensar, para que se possa criar um vídeo dos pensamentos de uma pessoa. Deste modo, talvez venha a ser possível registar um sonho em vídeo.

Os sonhos, essas imagens efêmeras por vezes tão frustrantes de recordar ou de compreender, têm fascinado as pessoas desde tempos imemoriais. Hollywood tem concebido máquinas que poderão transmitir pensamentos para o cérebro ou até registá-los, como acontece no filme *Desafio Total*. No entanto, tudo isto é pura especulação.

Ou pelo menos era, até há pouco tempo.

Alguns cientistas têm feito progressos notáveis num domínio outrora considerado impenetrável: fotografar as nossas memórias e, possivelmente, os nossos sonhos. Cientistas do Laboratório de Neurociência Computacional para a Investigação Avançada em Telecomunicações, em Quioto, deram os primeiros passos nesta direção. Mostraram aos seus sujeitos um ponto luminoso numa determinada localização, usando a seguir a IRMf para registar onde o cérebro armazenava essa informação. Moveram o ponto luminoso e registaram o local onde o cérebro armazenara essa nova imagem, acabando por dispor de um mapa dos locais onde uma grande quantidade de pontos luminosos estava armazenada no cérebro. Esses pontos localizavam-se dentro de uma grelha de 10 x 10.

A seguir, projetaram uma fotografia de um objeto simples constituído por esses pontos (10 x 10), como uma ferradura, por exemplo. Através do computador foi-lhes possível analisar o modo como o cérebro armazenava essa fotografia. Como é evidente, o padrão armazenado pelo cérebro era a soma das imagens que constituíam a ferradura.

Deste modo, conseguiram criar uma fotografia daquilo que o cérebro estava a ver. Um computador que observe registos de IRMf do cérebro poderá descodificar qualquer padrão de luz nesta grelha de 10 x 10.

Estes cientistas pretendem aumentar o número de pixels nesta grelha de 10 x 10. Além disso, afirmam que este processo é universal, isto é, que qualquer pensamento visual ou mesmo sonho poderá ser detetado por IRMf. Se for verdade, talvez possamos vir a registar, pela primeira vez na história, as imagens com que estamos a sonhar.

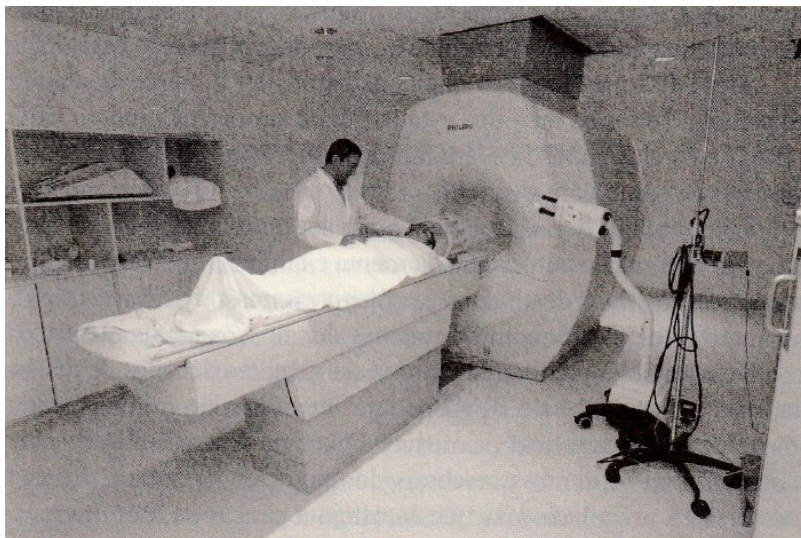
É evidente que as nossas imagens mentais, e sobretudo os nossos sonhos, nunca são cristalinos, e que haverá sempre uma certa imprecisão, mas o simples facto de podermos aprofundar as imagens visuais de um cérebro alheio já é notável.



3.4 Ética da Leitura da Mente

Estas possibilidades colocam um problema: que acontecerá se pudermos ler automaticamente os pensamentos das pessoas? O prêmio Nobel David Baltimore, ex-presidente do Caltech (California Institute of Technology), está preocupado com este problema: «Será que podemos explorar os pensamentos das outras pessoas? [...] Não creio que se trate de pura ficção científica, mas seria um inferno. Imaginemo-nos a namorar alguém cujos pensamentos podíamos ler ou a negociar um contrato se os nossos pensamentos pudessem ser lidos.»⁸

Em geral, diz, a leitura da mente terá algumas consequências embaraçosas, mas não desastrosas: «Contaram-me que, quando interrompemos a aula de um professor [...] uma fração significativa [dos alunos] está entretida com fantasias eróticas.»⁹



Ler pensamentos por intermédio de um EEG (imagem da p. 66) e da IRMf (esta imagem). No futuro, estes elétrodos serão miniaturizados. Seremos capazes de ler pensamentos e também de comandar objetos, limitando-nos a pensar neles.

No entanto, é possível que a leitura da mente não venha a ser uma questão de privacidade pois a maior parte dos nossos pensamentos não é muito definida. Talvez venha a ser possível fotografar os nossos devaneios e sonhos, mas a qualidade das imagens deverá ser decepcionante. Lembro-me de ter lido um conto em que um génio dizia a um homem que podia ter tudo o que conseguisse imaginar. O homem começou logo a imaginar dispendiosos artigos de luxo, como limusinas, milhões de dólares em dinheiro e um castelo. O génio materializou-os imediatamente, mas o homem, quando os examinou com cuidado, ficou chocado porque a limusina não tinha puxadores nem motor, os rostos nas notas estavam desfocados e o castelo estava vazio. Na sua precipitação de imaginar todos esses artigos, esquecera-se de que essas imagens existiam na sua imaginação como ideias gerais e mais nada.

Além disso, é duvidoso que consigamos ler a mente de alguém à distância. Todos os métodos estudados até agora (incluindo o EEG, a IRMf e os elétrodos implantados no próprio cérebro) exigem um contato próximo com o sujeito.

Contudo, é possível que venham a ser aprovadas leis que limitem uma leitura não autorizada da mente e também que venham a ser criados dispositivos destinados a proteger os nossos pensamentos — por interferência, bloqueio ou mistura dos nossos sinais elétricos.

Uma autêntica leitura da mente está a muitas décadas de distância, mas um aparelho de IRMf poderá funcionar, no mínimo, como um detetor de mentiras primitivo. Dizer uma mentira ativa um maior número de centros cerebrais do que dizer a verdade. Implica que se saiba a verdade, mas que se esteja a pensar na mentira e nas suas muitas consequências, o que exige muito mais energia do que dizer a verdade. Portanto, a IRMf deve ser capaz de detetar esse gasto extra de energia. Presentemente, a comunidade científica coloca algumas reservas quanto à utilização dos detetores de mentiras baseados na IRMf como última palavra, sobretudo em tribunal. A tecnologia ainda é demasiado recente para proporcionar um método infalível de deteção de mentiras. Segundo os seus promotores, investigações mais aprofundadas melhorarão a sua precisão. Trata-se de uma tecnologia que veio para ficar.

Já existem duas empresas que comercializam detetores de mentiras baseados na IRMf, publicitando uma taxa de êxito superior a 90%. Um tribunal indiano já utilizou a tecnologia para julgar um processo e, neste momento, existem em tribunais americanos vários processos que envolvem a IRMf.

Os vulgares detetores de mentiras não medem mentiras: medem apenas sinais de tensão, como aumento da sudção (pela análise da condutividade da pele) ou dos batimentos cardíacos. As imagens do cérebro medem o aumento da atividade cerebral, mas a correlação entre este aumento e a mentira ainda tem de ser provada em tribunal de forma concludente.

Os limites e a precisão da detecção de mentiras por IRMf ainda vão exigir anos de testes. Entretanto, a MacArthur Foundation concedeu recentemente um subsídio de 10 milhões de dólares ao Law and Neuroscience Project para apurar de que modo a neurociência irá influenciar a lei.

3.5 A Minha Ressonância Magnética Funcional ao Cérebro

Já fiz um exame ao cérebro numa máquina de IRMf. Para um documentário da BBC/Canal Discovery desloquei-me à Duke University, onde me colocaram numa maca que foi introduzida num enorme cilindro metálico. Quando foi ligado um íman imenso e poderoso (20 000 vezes superior ao campo magnético da Terra), os átomos do meu cérebro ficaram alinhados com o campo magnético, como piões apontados numa direção. A seguir, o meu cérebro recebeu um impulso de rádio que inverteu alguns núcleos dos meus átomos. Quando voltaram ao normal, esses núcleos emitiram um minúsculo impulso, ou «eco», detetável pela máquina de IRMf. Pela análise desses ecos, os computadores puderam processar os sinais e juntá-los, criando um mapa tridimensional do interior do meu cérebro.

O processo foi totalmente indolor e inócuo. A radiação que o meu corpo recebeu não era ionizante e não podia lesar as minhas células, fragmentando átomos. Suspenso num campo magnético milhares de vezes mais poderoso que o da Terra, não consegui detetar qualquer alteração, ainda que mínima, no meu corpo.

O objetivo deste exame era determinar com precisão em que pontos do meu cérebro estavam a ser fabricados certos pensamentos. Existe um minúsculo «relógio» biológico no interior do cérebro, entre os nossos olhos e por trás do nariz, que calcula segundos e minutos. Lesões nesta delicada zona do cérebro provocam distorções na noção de tempo.

Enquanto estava dentro da máquina, foi-me pedido que medisse a passagem dos segundos e dos minutos. Mais tarde, quando as imagens foram reveladas, pude ver com clareza que havia um ponto brilhante imediatamente atrás do meu nariz enquanto eu contava os segundos. Dei-me conta de que estava a presenciar o nascimento de um domínio inteiramente novo da Biologia: a identificar com precisão as localizações associadas a certos pensamentos, uma espécie de leitura da mente.

3.6 Tricorders e Dispositivos Portáteis para Examinar o Cérebro

No futuro, a máquina de IRMf não precisa de ser a monstruosidade que existe nos hospitais, pesando várias toneladas e ocupando uma sala inteira. Poderá ser tão pequena como um telemóvel ou até uma moeda de um cêntimo.

Em 1993, Bernhard Blümich e colegas, quando estavam no Instituto Max Planck para a Investigação em Polímeros, em Mainz (Alemanha), tiveram a ideia de criar máquinas minúsculas de IRMf. Construíram uma nova máquina, chamada MRI-MOUSE, de *Mobile Universal Surface Explorer* (explorador móvel universal de

superfície), atualmente com cerca de 30 cm de altura, que poderá vir a fornecer-nos máquinas de IRMf do tamanho de chávenas de café e vendidas em grandes superfícies. Estes dispositivos poderão revolucionar a medicina, porque as pessoas serão capazes de realizar exames na privacidade das suas casas. Blümich sonha com o dia, não muito distante, em que uma pessoa passará o seu MRI-MOUSE pessoal pela pele e verá o interior do seu corpo a qualquer hora. Haverá computadores que analisarão a imagem e diagnosticarão qualquer problema. «Afinal, talvez um dispositivo do tipo do *tricorder* do *Star Trek* não esteja assim tão distante»¹⁰, concluiu.

(As máquinas de IRMf funcionam segundo um princípio semelhante ao das agulhas magnéticas das bússolas. O polo norte da agulha alinha-se imediatamente com o campo magnético. Por isso, quando o corpo é colocado numa máquina de IRMf, os núcleos dos átomos, tal como as agulhas das bússolas, alinham-se com o campo magnético. O corpo recebe então um impulso de rádio que provoca a inversão dos núcleos. Estes acabam por regressar à posição inicial, emitindo um segundo impulso de rádio ou «eco».)

A chave para esta máquina mini de IRMf, são os seus campos magnéticos não uniformes. Normalmente, a razão para as atuais máquinas de IRMf serem tão volumosas é a necessidade de colocar o corpo num campo magnético extremamente uniforme. Quanto maior for a uniformidade do campo, mais pormenorizada será a imagem resultante, cuja resolução atinge presentemente um décimo de milímetro. Para obter esses campos magnéticos uniformes, os físicos começaram por duas grandes bobinas de

cobre, com cerca de 60 centímetros de diâmetro, empilhadas. É a chamada bobina de Helmholtz, que fornece um campo magnético uniforme no espaço entre as duas bobinas. O corpo humano é colocado ao longo do eixo destes dois ímanes gigantes.

Porém, se se usam campos magnéticos não uniformes, a imagem resultante é distorcida e inútil. Há muitas décadas que esse problema afeta as máquinas de IRMf, mas Blümich descobriu uma maneira inteligente de compensar esta distorção, enviando múltiplos impulsos de rádio para a amostra e detetando os ecos resultantes. A seguir, utilizam-se computadores para analisar esses ecos e compensar a distorção criada por campos magnéticos não uniformes.

Presentemente, a máquina portátil MRI-MOUSE de Blümich utiliza um pequeno íman em forma de U, em que cada extremidade produz um dos polos. Esse íman é colocado por cima do doente, e o seu movimento permite perscrutar por baixo da pele, a vários centímetros de profundidade. Ao contrário das vulgares máquinas de IRM, que consomem imensa energia e necessitam de tomadas elétricas especiais, o MRI-MOUSE utiliza a mesma eletricidade que uma lâmpada normal.

Em alguns dos primeiros testes, Blümich colocou o MRI-MOUSE por cima de pneus de borracha, moles como tecido humano. O dispositivo poderia ter uma aplicação comercial imediata: a rápida deteção de defeitos nos produtos. As máquinas convencionais de IRM não podem ser utilizadas em objetos que contenham metal, como pneus radiais com cinta de aço. O MRI-MOUSE, que utiliza

apenas campos magnéticos fracos, não apresenta essas limitações. (Os campos magnéticos de uma máquina convencional de IRM são 20 000 vezes mais poderosos que o da Terra. Muitos enfermeiros e técnicos ficaram gravemente feridos quando o campo magnético foi ligado, e instrumentos metálicos começaram a voar subitamente em direção a eles. Esses problemas não se põem com o MRI-MOUSE).

Não só é ideal para analisar objetos contendo metais ferrosos, como pode também analisar objetos grandes demais para caberem numa máquina convencional de IRM ou que não podem ser movidos do local onde se encontram. Em 2006, por exemplo, o MRI-MOUSE captou imagens do interior de Ötzi, o homem de gelo cujo cadáver congelado tinha sido descoberto nos Alpes em 1991. Por intermédio da movimentação do íman em forma de U sobre o corpo de Ötzi, o dispositivo analisou as diversas camadas do cadáver congelado.

No futuro, o MRI-MOUSE poderá ser miniaturizado ainda mais, dando origem a dispositivos para exame do cérebro do tamanho de telemóveis. Nessa altura, examinar o cérebro de uma pessoa para ler os seus pensamentos talvez não suscite grandes dificuldades. O dispositivo de IRM poderá ser tão pequeno como uma moeda de cêntimo, assemelhando-se até ao EEG menos potente, um gorro de plástico com muitos elétrodos ligados à cabeça de uma pessoa. (Se colocarmos esses discos portáteis de IRM nas pontas dos nossos dedos e os pousarmos na cabeça de alguém, é como se estivéssemos a realizar a «fusão das mentes», característica dos Vulcanos, em *Star Trek*).

3.7 Telecinesia e o Poder dos Deuses

O objetivo final desta progressão é a telecinesia, o poder dos deuses da mitologia de mover objetos pela força da mente.

No filme *A Guerra das Estrelas*, por exemplo, a Força é um campo misterioso que invade a galáxia e desencadeia os poderes mentais dos cavaleiros de Jedi, permitindo-lhes controlar objetos por meio da mente. Os sabres de luz, as pistolas de raios e até as naves estelares podem ser postas a levitar pelo poder da Força — a fim de controlar as ações alheias.

Porém, não teremos de nos deslocar para uma galáxia distante a fim de controlar esse poder. Em 2100, quando entrarmos numa sala, conseguiremos controlar mentalmente um computador que, por seu lado, controlará o que nos cerca. Para deslocar móveis pesados, rearrumar a secretária, fazer reparações, etc., bastar-nos-á pensar. Isto poderá ser de grande utilidade para operários, bombeiros, astronautas e soldados que têm de manobrar máquinas que exigem mais do que duas mãos. Também poderá mudar o modo como interagimos com o mundo. Seremos capazes de andar de bicicleta, de conduzir um automóvel, de jogar golfe, baseball ou outros jogos complexos, limitando-nos a pensar neles.

A exploração dos supercondutores, que explicaremos mais pormenorizadamente no Capítulo 4, talvez nos permita mover objetos por meio de pensamentos. Em finais deste século, talvez os físicos possam criar supercondutores capazes de funcionar à temperatura ambiente, permitindo-nos assim criar enormes

campos magnéticos que exigem pouca energia. Tal como o século XX foi a Era da eletricidade, o futuro poderá trazer-nos supercondutores à temperatura ambiente que nos darão a Era do magnetismo.

Os campos magnéticos poderosos, dispendiosos de criar neste momento, poderão vir a ser quase gratuitos. Isto reduzirá o atrito nos nossos comboios e camiões, revolucionando os transportes, e eliminará perdas na transmissão elétrica. Também nos permitirá mover objetos apenas através do pensamento. Com superímanes minúsculos colocados no interior de diferentes objetos, poderemos deslocá-los à nossa vontade.

No futuro próximo, partiremos do princípio de que todos os objetos possuem um minúsculo *chip* no interior, que os torna inteligentes. No futuro longínquo, partiremos do princípio de que todos os objetos possuem um minúsculo supercondutor dentro, capaz de gerar explosões de energia magnética suficientes para os impelir para o outro lado de uma sala. Partamos do princípio, por exemplo, que uma mesa possui dentro dela um supercondutor. Normalmente, ele não possui energia mas, quando se lhe acrescenta uma minúscula corrente elétrica, criamos um campo magnético poderoso capaz de deslocar a mesa para o outro lado da sala. Pelo pensamento, seremos capazes de ativar o superíman incrustado no objeto, movimentando-o desse modo.

Nos filmes *X-Men*, por exemplo, os maléficos mutantes são liderados por Magneto, capaz de mover objetos enormes por meio da manipulação das suas propriedades magnéticas. Numa cena,

Magneto chega a deslocar a ponte de Golden Gate com o poder da sua mente. Mas esse poder tem limites. Não consegue, por exemplo, deslocar facilmente objetos de plástico ou de papel, que não possuem propriedades magnéticas (no fim do primeiro filme *X-Men*, Magneto é fechado numa cela completamente feita de plástico).

No futuro, artigos comuns, mesmo não magnéticos, poderão esconder no seu interior supercondutores à temperatura ambiente. Se se ligar uma corrente dentro de um objeto desses, ele tornar-se-á magnético, podendo, pois, ser deslocado por um campo magnético externo controlado pelos nossos pensamentos.

Também dispostemos do poder de manipular robôs e avatares através do pensamento. Isto significa que, tal como nos filmes *Os Substitutos* e *Avatar*, poderemos vir a ser capazes de controlar os movimentos dos nossos substitutos e até sentir dor e pressão. Esta possibilidade talvez se torne útil se necessitarmos de um corpo sobre-humano para efetuar reparações no espaço ou salvar pessoas em situação de emergência. Talvez um dia os nossos astronautas possam ficar em segurança na Terra, controlando corpos robóticos sobre-humanos que se movimentam na Lua. Discutiremos esta questão no próximo capítulo.

Também importa referir que a posse deste poder telecinético não é isenta de riscos. Como mencionei antes, no filme *Planeta Proibido*, uma antiga civilização milhões de anos à frente da nossa realiza o seu derradeiro sonho, a capacidade de controlar tudo com o poder da mente. Um dos exemplos mezinhos da sua tecnologia é uma

máquina capaz de transformar os pensamentos de uma pessoa numa imagem tridimensional. A pessoa coloca o dispositivo na cabeça, imagina qualquer coisa e, no interior da máquina, materializa-se uma imagem tridimensional. Este dispositivo, embora parecesse impossível para os espetadores na década de 1950, estará disponível nas próximas décadas. No filme, também havia outro dispositivo que controlava a energia mental de uma pessoa, permitindo-lhe erguer um objeto pesado. Mas, como sabemos, não teremos de esperar milhões de anos por esta tecnologia: ela já existe, sob a forma de brinquedo. Colocamos elétrodos de EEG na nossa cabeça, o brinquedo deteta os impulsos elétricos do nosso cérebro e ergue um pequeníssimo objeto, tal como no filme. No futuro, jogaremos muitos jogos limitando-nos a pensar neles. As equipas poderão estar mentalmente ativadas, deslocando a bola por meio do pensamento, e a equipa que a movimentar melhor dessa maneira ganha o jogo.

O clímax de *Planeta Proibido* talvez nos faça pensar. Não obstante a imensidão da sua tecnologia, os extraterrestres extinguiram-se porque não se aperceberam de uma falha nos seus planos. As suas poderosas máquinas recorriam não só aos seus pensamentos conscientes, mas também aos seus desejos subconscientes. Os pensamentos selvagens, e haviam muitos inibidos do seu violento passado evolucionário, regressaram, e as máquinas transformaram em realidade todos esses pesadelos subconscientes. Na véspera de realizar a sua criação suprema, essa poderosa civilização foi destruída pela própria tecnologia que a libertaria da necessidade de instrumentos.

Para nós, no entanto, um perigo deste tipo ainda é remoto. Um dispositivo desta magnitude não estará disponível antes do século XXII. Contudo, enfrentamos uma preocupação mais imediata. Em 2100, também viveremos num mundo povoado por robôs com características humanoides. Que acontecerá se se tornarem mais inteligentes do que nós?

¹ Citado em Kurzweil, p. 56. Ver também: Andrew Hamilton, «Brains That Click», *Popular Mechanics*, Março de 1940, p. 258.

² Rhodes, p. 206.

³ Babak A. Parviz, «Augmented Reality in a Contact Lens», *IEEE Spectrum*, Setembro de 2009, www.spectrum.ieee.org/biomedicallbionics/augmented-realityin-a-contact-lens/o.

⁴ No original, *rust belt*, cintura de ferrugem. Designação por que passou a ser conhecida a «Manufacturing Belt» ou «Factory Belt» dos Estados Unidos, depois do declínio das suas indústrias (siderurgia e outras indústrias pesadas, e fabrico de automóveis). (N. da T.)

⁵ Gary Stix, «Jacking into the Brain — Is the Brain the Ultimate Computer Interface?» *Scientific American*, Novembro de 2008, p. 56-61.

⁶ Jeff Wise, «Thought Police: How Brain Scans Could Invade Your Private Life», *Popular Mechanics*, 15 de Outubro de 2007, www.popularmechanics.com/science/health/neuroscience/4226614.

⁷ *New Scientist*, 15 de Outubro de 2008, nº 2678.

⁸ David Baltimore, «How Biology Became Information Science», in Denning, p. 53-54.

⁹ *Ibid.*, p. 54.

¹⁰ Bernhard Blümich, «The Incredible Shrinking Scanner: MRI-like Machine Becomes Portable», *Scientific American*, Novembro de 2008, p. 68.

CAPÍTULO 2

O Futuro da Inteligência Artificial — Ascensão das Máquinas

Os Robôs herdarão a Terra? Sim, mas serão nossos filhos.

— MARVIN MINSKY

OS DEUSES DA MITOLOGIA com o seu poder divino podiam dar vida ao que era inanimado. Segundo a Bíblia (Gênesis, 2:7), «O Senhor Deus modelou o homem com barro da terra. Soprou-lhe nas narinas e deu-lhe respiração e vida. E o homem tornou-se um ser vivo»¹ Segundo a mitologia grega e romana, a deusa Vénus podia dar vida às estátuas. Compadecida do artista Pigmalião que se apaixonou pela sua estátua, a deusa concedeu-lhe o seu maior desejo e transformou a estátua numa bela mulher, Galateia. O deus Vulcano, ferreiro dos deuses, chegou a criar um exército de servos mecânicos feitos de metal aos quais deu vida.

Presentemente, somos como Vulcano, forjando nos nossos laboratórios máquinas que dão vida não à argila, mas ao aço e ao silício. Mas será para libertar a humanidade ou para escravizá-la? Se lermos os cabeçalhos da imprensa, a questão parece resolvida:

a humanidade está prestes a ser dominada pelas suas próprias criações.

1. O Fim da Humanidade?

O cabeçalho *do New York Times* era elucidativo: «Cientistas preocupados com a possibilidade de as máquinas se tornarem mais inteligentes do que o homem».² Os cientistas mais notáveis do mundo no campo da inteligência artificial (IA) reuniram na conferência de Asilomar, na Califórnia, em 2009, para discutirem solenemente o que acontecerá quando as máquinas tomarem finalmente o poder. Tal como numa cena de um filme de Hollywood, os delegados colocaram questões pertinentes como: «Que acontecerá se um robô se tornar tão inteligente como a sua esposa?»

Apontaram como provas irrefutáveis desta revolução robótica o veículo telecomandado Predator, um avião robótico sem piloto que ataca terroristas com uma precisão mortífera no Afeganistão e no Paquistão, automóveis que se conduzem a si próprios, e o ASIMO, o robô mais avançado do mundo, que anda, corre, sobe escadas, dança e até serve café.

Eric Horvitz, da Microsoft, organizador da conferência, dando conta da excitação que se acentuava durante o evento, disse: «Os tecnólogos apresentam visões quase religiosas, e as suas ideias transmitem de certa maneira a ideia de Êxtase.»³ (O Êxtase acontece quando os verdadeiros crentes ascendem ao céu na

Segunda Vinda. Os críticos chamaram ao espírito que se vivia na conferência de Asilomar «o êxito dos ratos de biblioteca»⁴.)

Nesse mesmo Verão, os filmes que dominavam as salas de cinema pareciam amplificar esta imagem apocalíptica. Em *Exterminador Implacável: a Salvação*, um bando de seres humanos combatia enormes monstros mecânicos que se tinham apoderado da Terra. Em *Transformers: Retaliação*, robôs futurísticos provenientes do espaço utilizavam seres humanos como peões e a Terra como um campo de batalha para as suas guerras interestelares. Em *Substitutos*, as pessoas preferiam viver a sua vida como robôs perfeitos, belos e sobre-humanos, em vez de enfrentar a realidade do envelhecimento e decadência dos seus próprios corpos.

A julgar pelos cabeçalhos da imprensa e pelos cartazes das salas de cinema, o último alento da espécie humana estaria iminente. Os peritos da IA perguntam com solenidade: teremos um dia de dançar do outro lado das grades enquanto os robôs que criámos nos atiram amendoins, como fazemos aos ursos no jardim zoológico? Será que nos iremos tornar animais de estimação das nossas criações?

Porém, se analisarmos atentamente a situação, é mais o fumo do que o fogo. É certo que se registaram progressos tremendos na última década, mas as coisas têm de ser perspetivadas.

O Predator, um veículo aéreo telecomandado de pouco mais de 8 metros que dispara mísseis mortíferos sobre terroristas, é

controlado por um ser humano através de um *joystick*. Esse indivíduo, provavelmente um jovem veterano de jogos de vídeo, está confortavelmente sentado à frente do ecrã de um computador e seleciona os alvos. Quem controla é ele, e não o Predator. E os automóveis que se conduzem a si próprios não tomam decisões quando perscrutam o horizonte e viram o volante: limitam-se a seguir um mapa de GPS armazenado na sua memória. Logo, o pesadelo de robôs completamente autônomos, conscientes e assassinos ainda é uma ameaça distante.

Embora os média tenham publicitado algumas das previsões mais sensacionalistas apresentadas na conferência de Asilomar, não espanta que a maioria dos cientistas que investigam a inteligência artificial evidenciasse muito maior reserva e cautela. Quando lhes perguntaram em que data as máquinas se tornariam mais inteligentes do que nós, os cientistas deram respostas muito variadas (entre os 20 e os 1000 anos).

Por conseguinte, teremos de distinguir dois tipos de robôs. O primeiro é telecomandado por um ser humano ou programado e previamente instruído para cumprir ordens precisas. Esses robôs já existem e são manchete. Entram pouco a pouco nas nossas casas e nos campos de batalha. Mas, sem um ser humano que tome decisões, são, em larga medida, lixo inútil. Portanto, não devem ser confundidos com o segundo tipo de robô, verdadeiramente autónomo, que pensa por si e não necessita de instruções humanas. São esses robôs autónomos que os cientistas têm perseguido no último meio século.

2. O Robô Asimo

Frequentemente, os investigadores em IA apontam para o robô da Honda ASIMO, de *Advanced Step in Innovative Mobility* (passo em frente na mobilidade inovadora), como uma eloquente demonstração dos progressos revolucionários registados na robótica. O robô mede aproximadamente 1,30 m, pesa cerca de 54 quilos e assemelha-se a um garoto com um capacete de viseira preta e uma mochila. Na verdade, ASIMO é notável: consegue andar, correr, subir escadas e falar de uma forma realista. Deambula por salas, pega em chávenas e tabuleiros, responde a algumas ordens simples e chega a reconhecer certos rostos. Até possui um vocabulário extenso e fala em diferentes línguas. ASIMO é o resultado de vinte anos de intenso trabalho de muitos cientistas da Honda, que produziram uma maravilha da engenharia.

Tive o privilégio, em duas ocasiões, de interagir pessoalmente com ASIMO no decurso de conferências, quando apresentava programas especiais de ciência para a BBC/Discovery. Quando lhe apertei a mão, respondeu-me de uma maneira absolutamente humana. Quando lhe acenei, fez-me o mesmo. E quando lhe pedi que me fosse buscar um sumo, ASIMO virou as costas e encaminhou-se para a mesa onde estavam os refrescos, com movimentos inquietantemente humanos. Na verdade, parece tão vivo que, enquanto ele falava, cheguei a pensar que tiraria o capacete e revelaria o garoto que se escondia lá dentro. Até dança melhor do que eu.

À primeira vista, ASIMO parece inteligente, capaz de responder a ordens humanas, de manter uma conversa e de andar por uma sala. A realidade, no entanto, é outra. Quando interagi com ASIMO em frente das câmaras televisivas, cada movimento, cada cambiante tinha sido cuidadosamente pré-programados. Na verdade, foram necessárias cerca de três horas para filmar uma simples cena de cinco minutos com ASIMO. E mesmo isso exigiu uma equipa de «treinadores» que reprogramavam furiosamente o robô nos seus portáteis depois da filmagem de cada cena. Embora ASIMO fale em várias línguas, trata-se de um gravador a emitir mensagens gravadas. Limita-se a papaguear o que foi programado por um ser humano. Ainda que se torne mais sofisticado a cada ano que passa, ASIMO é incapaz de pensar autonomamente. Cada palavra, cada gesto, cada passo tem de ser cuidadosamente ensaiados pelos seus «treinadores».

A seguir, tive uma conversa franca com um dos inventores do robô, que admitiu que ASIMO, não obstante os seus movimentos e atos notavelmente humanoides, tem a inteligência de um inseto. A maior parte dos seus movimentos tem de ser cuidadosamente programada de antemão. Pode andar como se tivesse vida, mas o seu percurso tem de ser programado com cautela, sem o que vai de encontro à mobília, pois não consegue reconhecer objetos à roda da sala.

Em comparação, até uma barata reconhece objetos, contorna obstáculos, procura comida e um par, foge aos predadores, concebe complexos percursos de fuga, esconde-se nas sombras e desaparece nas fendas, e tudo isto num espaço de segundos.

Thomas Dean, investigador em IA na Universidade de Brown, admitiu que os robôs pesados que está a construir «se limitam a estar numa fase em que são suficientemente robustos para avançar no átrio sem deixar grandes marcas no pavimento».⁵ Como veremos mais adiante, os computadores mais potentes de que dispomos mal conseguem simular os neurónios de um rato, e só durante uns segundos. Muitas décadas de trabalho árduo serão precisas até os robôs se tornarem tão inteligentes como um rato, um coelho, um cão ou um gato, e finalmente um macaco.

3. História da IA

Os críticos referem-se por vezes a um padrão: de trinta em trinta anos, os investigadores em IA afirmam que os robôs superinteligentes estão ali, ao virar da esquina. Depois a realidade impõe-se e surge a reação contrária.

Na década de 1950, quando surgiram os computadores eletrónicos depois da Segunda Guerra Mundial, os cientistas espantaram o público com a ideia de máquinas capazes de realizar façanhas milagrosas: apanhavam blocos, jogavam damas e até resolviam problemas de álgebra. Era como se as máquinas verdadeiramente inteligentes estivessem ali, ao virar da esquina. O público estava atónito, e depois vieram os artigos nas revistas a prever o momento em que haveria um robô em cada cozinha, a fazer as refeições ou a limpar a casa. Em 1965, Herbert Simon, pioneiro da IA, declarou: «Dentro de vinte anos, as máquinas serão capazes de fazer qualquer trabalho que um homem pode fazer.»⁶ Mas a realidade impôs-se. As máquinas de jogar xadrez não podiam

ganhar contra um especialista humano, e só podiam jogar xadrez, mais nada. Esses primeiros robôs não conseguiam executar mais do que uma tarefa simples.

De facto, na década de 1950, registaram-se verdadeiros progressos em matéria de IA, mas como foram amplamente exagerados e publicitados, houve uma reação contrária. Em 1974, sob um coro de críticas crescentes, os governos dos Estados Unidos e do Reino Unido cortaram o financiamento. A IA entrou em hibernação pela primeira vez.

Presentemente, o investigador Paul Abrahams abana a cabeça ao recordar esses tempos excitantes da década de 1950, quando estudava no MIT e tudo parecia possível. «Era como se um grupo de pessoas se tivesse proposto construir uma torre até à Lua. Todos os anos sublinhavam com orgulho como a torre estava muito mais alta do que no ano anterior. O único problema era que a Lua não se estava a aproximar.»⁷

Na década de 1980, o entusiasmo pela IA voltou a subir em flecha. Dessa vez, o Pentágono investiu milhões de dólares em projetos como o camião inteligente, que deveria atravessar as linhas inimigas, efetuar reconhecimentos, salvar soldados americanos e regressar ao quartel-general, por si próprio. O governo Japonês apoiou com todas as forças o ambicioso Projeto de Sistemas Informáticos de Quinta Geração, patrocinado pelo poderoso ministério japonês do Comércio Internacional e Indústria. O objetivo do projeto era, entre outros, conceber um sistema

informático capaz de conversar, de raciocinar e até de prever o que as pessoas pretendem, e tudo isto durante a década de 1990.

Infelizmente, a única coisa que o camião inteligente fez foi perder-se. E o Projeto de Quinta Geração, depois de muito alarido, não tardou a ser abandonado sem mais explicações. Mais uma vez, a retórica fora ultrapassada pela realidade. De facto, a IA registou verdadeiros progressos na década de 1980, mas como estes voltaram a ser sobrestimados, seguiu-se uma nova reação contrária e uma segunda hibernação, durante a qual o financiamento secou e se deu uma debandada de gente desiludida. Tornou-se dolorosamente evidente que faltava qualquer coisa.

Em 1992, os investigadores em IA nutriam sentimentos contraditórios durante a comemoração especial em honra do filme *2001, Odisseia no Espaço*, no qual um computador chamado HAL 9000 enlouquece e assassina a tripulação de uma nave espacial. O filme, realizado em 1968, previa que, em 1992, haveria robôs que conversariam livremente com os seres humanos sobre qualquer assunto e que também comandariam naves espaciais. Infelizmente, evidenciou-se com toda a clareza que os robôs mais avançados tinham grande dificuldade em estar à altura de um inseto em termos de inteligência.

Em 1997, o Deep Blue da IBM realizou uma façanha histórica ao derrotar o campeão mundial de xadrez Gary Kasparov. O Deep Blue era uma maravilha da engenharia, realizando 11 mil milhões de operações por segundo. Contudo, em vez de abrir as comportas da investigação em inteligência artificial e de anunciar uma nova Era,

fez precisamente o oposto, limitando-se a sublinhar o carácter primitivo da investigação nesse domínio. Tornou-se óbvio para muitas pessoas que o Deep Blue não conseguia pensar. Era soberbo em xadrez, mas tinha 0 em testes de inteligência. Depois da vitória, foi Kasparov, o vencido, que falou com a imprensa pois Deep Blue não era capaz de dizer uma palavra. Relutantemente, os investigadores em IA começaram a admitir que a capacidade computacional não equivale à inteligência. O investigador Richard Heckler afirma: «Hoje em dia, podemos comprar programas de xadrez por 49 dólares que vencem qualquer um, mas ninguém os considera inteligentes.»⁸

No entanto, com a lei de Moore a vomitar novas gerações de computadores de dezoito em dezoito meses, o velho pessimismo da geração passada irá sendo esquecido e uma nova geração de entusiastas brilhantes surgirá, renovando o otimismo e a energia num domínio antes adormecido. Trinta anos depois da última hibernação da IA, os computadores avançaram tanto que as novas gerações de investigadores recomeçaram a fazer previsões otimistas. Chegou finalmente o momento da IA, afirmam os seus defensores. Desta vez é para valer. À terceira é de vez. Mas, se estiverem certos, será que os seres humanos depressa se tornarão obsoletos?

4. Será o Cérebro Um Computador Digital?

Um dos problemas fundamentais reside no facto de os matemáticos terem feito um erro crucial há cinquenta anos, de que se apercebem agora, quando pensaram que o cérebro se

assemelhava a um enorme computador digital. É dolorosamente óbvio que não é esse o caso. O cérebro não possui nenhum chip Pentium, nenhum sistema operativo Windows, nenhum *software* de aplicação, nenhuma unidade central de processamento, nenhuma programação e nenhuma das sub-rotinas que caracterizam um moderno computador digital. De facto, a arquitetura dos computadores digitais difere bastante da do cérebro, que é, de certa maneira, uma máquina de aprender, uma coleção de neurónios que não pára de renovar a sua rede sempre que aprende uma nova tarefa. (Um PC, no entanto, não aprende nada: o nosso computador é tão estúpido hoje como era ontem.)

Por conseguinte, existem pelo menos duas abordagens no que toca à modelização do cérebro. A primeira, a abordagem tradicional do topo para a base, trata os robôs como computadores digitais, e programa todas as regras de inteligência desde o princípio. Um computador digital, por seu lado, pode ser decomposto na chamada máquina de Turing, um dispositivo hipotético concebido pelo grande matemático britânico Alan Turing. A máquina consiste em três componentes básicos: uma entrada (*input*), um processador central que digere esses dados, e uma saída (*output*). Todos os computadores digitais se baseiam nesse modelo simples. O objetivo desta abordagem é ter um CD-ROM com todas as regras da inteligência codificadas. Quando esse disco é inserido, o computador nasce subitamente para a vida e torna-se inteligente. Logo, esse CD-ROM mítico contém todo o *software* necessário à criação de máquinas inteligentes.

Contudo, o nosso cérebro não possui programação nem *software*. Assemelha-se mais a uma «rede neuronal», a um emaranhado de neurónios que está sempre a refazer-se.

As redes neuronais seguem a regra de Hebb: sempre que é tomada uma decisão correta, reforçam-se esses circuitos neuronais. A rede neuronal limita-se a alterar a força de determinadas conexões elétricas entre neurónios sempre que executa uma tarefa com êxito. (A regra de Hebb pode ser expressa na velha pergunta: Como chega um músico ao Carnegie Hall? A resposta é: praticando, praticando, praticando. No caso de uma rede neuronal, a prática faz o mestre. A regra de Hebb também explica por que motivos os maus hábitos são tão difíceis de quebrar, porquanto o circuito neuronal para um mau hábito também é muito usado.)

As redes neuronais baseiam-se na abordagem da base para o topo. Em vez de lhes fazerem a papinha toda no que toca às regras da inteligência, as redes neuronais aprendem-nas como um bebé aprende, indo de encontro às coisas e aprendendo com a experiência. Em vez de serem programadas, as redes neuronais aprendem à velha moda, na «escola da vida».

As redes neuronais possuem uma arquitetura completamente diferente da dos computadores digitais. Se se retirar um único transístor do seu processador central, o computador digital deixa de funcionar. Contudo, um cérebro humano ao qual tenham sido tirados grandes fragmentos ainda consegue funcionar, pois outras partes compensam as que estão em falta. Além disso, é possível

identificar com precisão o local onde o computador digital «pensa»: o seu processador central. Contudo, imagens do cérebro humano mostram com clareza que o pensamento está disseminado por grandes partes do cérebro: diferentes setores iluminam-se numa sequência precisa, como se os pensamentos fossem arremessados de um lado para o outro, qual bola de pingue-pongue.

Os computadores digitais conseguem calcular praticamente à velocidade da luz. O cérebro humano, em contrapartida, é incrivelmente lento. Os impulsos nervosos viajam a um ritmo atrozmente lento de cerca de 320 quilómetros por hora, mas o nosso cérebro compensa-o largamente dado o seu funcionamento maciçamente paralelo: possui 100 mil milhões de neurónios a funcionarem ao mesmo tempo, sendo que cada um efetua uma minúscula parcela de trabalho e está ligado a 10 000 outros neurónios. Numa corrida, um processador simples super-rápido é vencido por um processador paralelo superlento. (E lá voltamos nós à velha adivinha: se um gato consegue devorar um rato num minuto, quanto tempo leva um milhão de gatos a devorar um milhão de ratos? Resposta: um minuto.)

Além disso, o cérebro não é digital. Os transístores são portas que ou estão abertas ou fechadas, o que é representado pelos dígitos 1 ou 0. Os neurónios também são digitais (ou disparam ou não disparam), mas também podem ser analógicos, transmitindo sinais tanto contínuos como discretos.

5. Dois Problemas dos Robôs

Dadas as limitações gritantes dos computadores em comparação com o cérebro humano, percebemos por que motivo os computadores não têm sido capazes de realizar duas das principais tarefas que os seres humanos desempenham sem esforço: reconhecimento de padrões e senso comum. Estes dois problemas têm sido um desafio no último meio século, e é por isso que não temos robôs a desempenharem funções de criados, mordomos e secretários.

O primeiro problema é o reconhecimento de padrões. Os robôs podem ver muito melhor do que um ser humano, mas não compreendem o que estão a ver. Quando um robô entra numa sala, converte a imagem numa mistura de pontos. Ao processar esses pontos, consegue reconhecer uma coleção de linhas, círculos, quadrados e retângulos. Depois tenta fazê-los corresponder, um a um, aos objetos armazenados na sua memória (uma tarefa extraordinariamente enfadonha, mesmo para um computador). Ao cabo de muitas horas de cálculo, pode emparelhar essas linhas com cadeiras, mesas e pessoas. Em contrapartida, nós, quando entramos numa sala, reconhecemos numa fração de segundo cadeiras, mesas, secretárias e pessoas. Na verdade, o nosso cérebro é sobretudo uma máquina de reconhecimento de padrões.

Em segundo lugar, os robôs não possuem senso comum. Embora consigam ouvir muito melhor do que os seres humanos, não compreendem o que estão a ouvir. Vejamos, por exemplo, as seguintes afirmações:

- As crianças gostam de guloseimas, mas não de castigos;
- As cordas conseguem puxar, mas não empurrar;
- Os paus conseguem empurrar, mas não puxar;
- Os animais não conseguem falar nem compreender inglês;
- Andar à roda põe as pessoas tontas.

Para nós, qualquer destas afirmações é do senso comum, mas não para os robôs. Nenhuma linha de lógica ou de programação prova que as cordas conseguem puxar, mas não empurrar. Foi pela experiência que aprendemos a verdade destas afirmações «óbvias», e não porque tenham sido programadas na nossa memória.

O problema da abordagem do topo para a base é que, para imitar o pensamento humano, são necessárias demasiadas linhas de código para o senso comum. Para descrever as leis do senso comum que uma criança de seis anos conhece são precisas centenas de milhões de linhas de código. Hans Moravec, ex-diretor do laboratório de IA da Carnegie Mellon, lamenta: «Até ao momento, os programas de IA não evidenciam o mínimo sinal de bom senso — um programa de diagnóstico médico, por exemplo, pode receitar um antibiótico quando lhe é apresentada uma bicicleta partida

porque não dispõe de um modelo de pessoas, doenças ou bicicletas.»⁹

Alguns cientistas, no entanto, agarram-se à crença de que o único obstáculo ao domínio do senso comum é a força bruta. Aham que um novo Projeto Manhattan, como o programa que construiu a bomba atômica, resolveria decerto o problema do senso comum. O tal programa intensivo para criar esta «enciclopédia de pensamento» é o CYC, iniciado em 1984, que deveria vir a ser o feito supremo da IA, o projeto que codificaria num único programa todos os segredos do senso comum. Contudo, ao cabo de várias décadas de trabalho árduo, o projeto CYC não esteve à altura do que se propunha.

O seu objetivo é simples: «dominar 100 milhões de coisas, ou seja, aquilo que uma pessoa comum sabe sobre o mundo, até 2007».¹⁰ Esse prazo, e muitos outros que o antecederam, já passou. Aliás, é o que tem acontecido a todos os prazos estabelecidos pelos engenheiros do CYC: vão e vêm, mas a essência da inteligência continua a escapar aos cientistas.

6. O Homem Contra a Máquina

Tive ocasião de competir intelectualmente com uma máquina, um robô construído por Tomaso Poggio, do MIT. Embora os robôs não consigam reconhecer padrões simples como nós conseguimos, Poggio criou um programa informático capaz de calcular com a mesma rapidez de um ser humano num domínio específico:

«reconhecimento imediato». Trata-se da nossa estranha capacidade de reconhecer instantaneamente um objeto ainda antes de termos consciência dele. (O reconhecimento imediato foi importante na nossa evolução, pois os nossos antepassados dispunham apenas de uma fração de segundo para determinar se estava um tigre escondido no mato ainda antes de se darem conta dele.) Foi a primeira vez que um robô teve resultados consistentemente superiores aos de um ser humano num teste específico de reconhecimento visual.

A competição entre mim e a máquina era simples. Depois de me sentar numa cadeira à frente de um vulgar ecrã de computador, surgia uma imagem durante uma fração de segundo, e eu tinha de carregar o mais depressa possível numa de duas teclas, indicando se tinha, ou não, visto um animal na imagem. Tinha de decidir com a máxima rapidez, ainda antes de ter hipótese de digerir a imagem. O computador também tinha de tomar uma decisão em relação à mesma imagem.

Foi extremamente embaraçoso porque, depois de muitos testes rapidíssimos, a máquina e eu estávamos empatados. Mas houve momentos em que ela se portou muito melhor do que eu. Fui derrotado por uma máquina. (Foi um consolo terem-me dito que o computador responde acertadamente 82% das vezes, em comparação com uma média de 80% para os seres humanos.)

A explicação reside no facto de a máquina de Poggio copiar lições da Mãe Natureza. Muitos cientistas estão a dar-se conta da verdade da afirmação «Se a roda já foi inventada, porque não copiá-la?» Por

exemplo, quando um robô olha para uma imagem, costuma tentar dividi-la numa série de linhas, círculos, quadrados e outras figuras geométricas, mas o programa de Poggio é diferente.

Quando vemos uma imagem, podemos começar por ver os contornos de vários objetos, depois diversas características no interior de cada objeto e, a seguir, as sombras no interior dessas características. Por conseguinte, dividimos a imagem em muitas camadas. Mal processa uma camada da imagem, o computador integra-a na camada seguinte e assim sucessivamente. Desta maneira, passo a passo, camada a camada, o computador imita o modo hierárquico como o nosso cérebro processa imagens. (Ainda que o programa de Poggio não consiga executar todas as façanhas de reconhecimento de padrões que consideramos naturais, como visualizar objetos em três dimensões, reconhecer milhares de objetos de diferentes ângulos, etc., representa um importante marco no reconhecimento de padrões.)

Mais tarde, tive ocasião de assistir ao funcionamento das duas abordagens, a do topo para a base e a da base para o topo. Comecei por ir ao centro de inteligência artificial da Universidade de Stanford, onde conheci o STAIR, de Stanford Artificial Intelligence Robot (robô de inteligência artificial de Stanford), que usa a abordagem do topo para a base. O STAIR mede cerca de 1,22m e possui um enorme braço mecânico capaz de girar e de agarrar objetos pousados numa mesa. Como também é móvel, pode deambular por um escritório ou casa. Tem uma câmara 3-D que capta um objeto e envia uma imagem tridimensional para um computador, que, por sua vez, guia o braço mecânico para o

agarrar. Desde a década de 1960 que os robôs agarram objetos desta maneira, e vemo-los nas fábricas de automóveis de Detroit.

Porém, as aparências iludem. O STAIR pode fazer muito mais. Ao contrário dos robôs de Detroit, não segue um guião. Funciona autonomamente. Se lhe pedirmos que pegue numa laranja, consegue analisar uma coleção de objetos colocados numa mesa, compará-los com milhares de imagens já armazenadas na sua memória, identificar a laranja e agarrá-la. Também consegue identificar objetos com maior precisão se pegar neles e lhes der uma volta.

Para testar a sua capacidade, misturei um grupo de objetos em cima de uma mesa, e fiquei a ver o que acontecia depois de lhe pedir um determinado objeto. O STAIR analisou corretamente a nova disposição de objetos e pegou naquele que lhe pedi. Pretende-se que o STAIR venha a movimentar-se em ambientes domésticos e em escritórios, que pegue e que interaja com diversos objetos e ferramentas, e até que converse com pessoas numa linguagem simplificada. Deste modo, o robô será capaz de fazer o que qualquer pacote faz num escritório. O STAIR é um exemplo da abordagem do topo para a base: tudo nele está programado desde o princípio. (Embora possa reconhecer objetos de diferentes ângulos, ainda está limitado ao número de objetos que consegue reconhecer. Paralisaria se tivesse de sair e de reconhecer objetos ao acaso.)

Mais tarde, tive oportunidade de visitar a Universidade de Nova Iorque, onde Yann LeCun está a testar algo inteiramente diferente, o LAGR (de Learning Applied to Ground Robots, aprendizagem

aplicada a robôs de terra). O LAGR é um exemplo da abordagem da base para o topo: tem de aprender tudo a partir do zero, indo de encontro às coisas. É do tamanho de um pequeno carro de golfe e possui duas câmaras estéreo a cores que perscrutam a paisagem, identificando os objetos no seu percurso. O robô move-se entre esses objetos, evitando-os cuidadosamente, e aprende a cada passagem. Está equipado com GPS e possui dois sensores infravermelhos capazes de detetar objetos à sua frente. Contém três *chips* Pentium de elevada potência e está ligado a uma rede Ethernet gigabit. Deslocámo-nos a um parque nas redondezas onde o robô LAGR contornou diversos obstáculos erguidos no seu caminho. A sua capacidade de evitar os obstáculos ia melhorando à medida que repetia o percurso.

Uma diferença importante entre o LAGR e o STAIR reside no facto de o primeiro ter sido especificamente concebido para aprender. Sempre que o LAGR esbarra com alguma coisa, contorna o objeto e aprende a evitá-lo da próxima vez. Enquanto o STAIR tem milhares de imagens armazenadas na memória, o LAGR não tem quase nenhuma, criando, ao invés, um mapa mental de todos os obstáculos que encontra, e aperfeiçoando-o constantemente a cada passagem. Ao contrário de um automóvel sem condutor, que é programado e segue uma rota previamente estabelecida por GPS, o LAGR move-se sozinho, sem qualquer instrução humana. Dizemos-lhe para onde deve ir e ele vai. Poderemos vir a ter robôs deste tipo em Marte, em campos de batalha e em nossas casas.

Por um lado, fiquei impressionado com o entusiasmo e a energia destes investigadores. Acreditam que estão a lançar as bases da

inteligência artificial e que o seu trabalho terá consequências na sociedade que só agora começamos a compreender. Mas, à distância, também pude apreciar o percurso que terão de fazer. Até as baratas são capazes de identificar objetos e de aprender a contorná-los. Ainda estamos na fase em que os seres mais inferiores da Mãe Natureza conseguem superar em astúcia os robôs mais inteligentes.

7. Futuro Próximo (Até 2030)

7.1 Sistemas Periciais

Presentemente, muitas pessoas possuem em casa robôs simples que aspiram carpetes. Também existem robôs seguranças que patrulham edifícios à noite, robôs guias e robôs operários. Segundo estimativas, em 2006 existiam 950 000 robôs industriais e 3 540 000 robôs de serviço a trabalharem em casas e edifícios¹¹ mas, nas próximas décadas, o campo da robótica deverá desenvolver-se em várias direções.

Esses robôs, no entanto, não se assemelharão aos da ficção científica. É possível que o maior impacto se faça sentir nos chamados sistemas periciais, os programas de *software* que contêm em código a sabedoria e experiência de um ser humano. Como vimos no capítulo anterior, talvez acabemos a falar com a Internet nos nossos ecrãs de parede e a conversar com o rosto amigo de um robô médico ou de um robô advogado.

Chama-se a este campo heurística, ou seja, a adoção de um sistema formal, baseado em regras. Quando tivermos de planejar férias, falaremos com um rosto no ecrã de parede e informá-lo-emos das nossas preferências: quanto tempo, para onde, que hotéis, dentro de que preços. O sistema pericial já conhecerá as nossas preferências com base em experiências anteriores e contactará hotéis, companhias aéreas, etc., fornecendo-nos as melhores opções. Mas, em vez de falarmos de uma maneira coloquial e informal, recorreremos a uma linguagem bastante rigorosa e estilizada que ele entenda. Um sistema deste tipo conseguirá executar rapidamente uma série de tarefas úteis. Limitar-nos-emos a dar ordens, e ele reservará uma mesa num restaurante, localizará lojas, encomendará produtos de mercearia e refeições prontas, reservará um bilhete de avião, etc.

É justamente devido aos progressos das últimas décadas no domínio da heurística que dispomos agora de alguns motores de busca bastante simples. Mas ainda são rudimentares. É óbvio para todos que estamos a lidar com uma máquina e não com um ser humano. Futuramente, contudo, os robôs tornar-se-ão tão sofisticados que quase se assemelharão a seres humanos, atuando de forma subtil e refinada.

É possível que as aplicações mais práticas ocorram no domínio dos cuidados médicos. Neste momento, por exemplo, quando nos sentimos doentes, podemos ter de esperar horas nos serviços de urgência antes de sermos vistos por um médico. Num futuro próximo, talvez nos limitemos a recorrer ao ecrã de parede e a falar com o robô médico. Poderemos mudar o rosto, e até a

personalidade, do robô médico que vemos, carregando num simples botão. O rosto amigo que vemos no ecrã de parede fará uma série de perguntas simples: Como se sente? Onde lhe dói? Quando começou a dor? Com que frequência dói?

Responderemos a cada pergunta escolhendo uma série de respostas simples, sem termos de usar um teclado, mas falando.

Por sua vez, cada resposta desencadeará a próxima série de perguntas. Ao cabo delas, o robô médico será capaz de nos fornecer um diagnóstico baseado na melhor experiência médica a nível mundial. Também analisará os dados da nossa casa de banho, roupa e mobiliário, que têm estado a monitorizar constantemente a nossa saúde por intermédio de *chips* de ADN. E pode ser que nos peça que examinemos o nosso corpo com um dispositivo portátil de IRM, dados esses que serão analisados por supercomputadores. (Já existem algumas visões primitivas destes programas heurísticos, como o WebMD, embora lhes faltem as subtilezas e potencialidades totais da heurística.)

Deste modo será possível eliminar a maior parte das idas a consultórios médicos, aliviando imenso a carga sobre o nosso sistema de saúde. Se o problema for grave, o robô médico recomendará uma ida ao hospital, onde médicos humanos prestarão cuidados intensivos. Mas mesmo aí, veremos programas de IA, sob a forma de robôs enfermeiros, como o ASIMO. Apesar de não serem verdadeiramente inteligentes, esses robôs movimentar-se-ão dentro do hospital de quarto para quarto, ministrando os medicamentos adequados aos doentes e satisfazendo-lhes outras

necessidades. Poderão movimentar-se em trilhos assentes no chão, ou autonomamente como o ASIMO.

Já existe um robô enfermeiro, o robô móvel RP-6, utilizado em hospitais como o Centro Médico da UCLA. É basicamente um ecrã televisivo assente na parte superior de um computador móvel que se desloca sobre rodas. No ecrã, vemos o rosto em vídeo de um médico verdadeiro que pode estar a quilómetros de distância. O robô possui uma câmara que permite ao médico ver aquilo para que o robô está a olhar. Também possui um microfone para que o médico possa falar com o doente. O médico pode controlar à distância o robô por meio de um joystick, interagir com os doentes, supervisionar a administração de medicamentos, etc. Como todos os anos nos Estados Unidos são admitidos nos cuidados intensivos 5 milhões de doentes, existindo apenas 6000 médicos qualificados para acompanhar doentes em estado crítico, robôs como este poderão minimizar esta crise, com um médico a acompanhar vários doentes. No futuro, estes robôs poderão tornar-se mais autónomos, movimentar-se por si sós e interagir com doentes.

O Japão é um dos líderes mundiais nesta tecnologia, despendendo imenso dinheiro em robôs para minimizar a crise iminente nos cuidados de saúde. Em retrospectiva, não surpreende que seja um dos países líderes em robótica, por muitas razões. Em primeiro lugar, para a religião xintoísta, os objetos inanimados, mesmo os mecânicos, possuem espíritos. No Ocidente, as crianças podem gritar de medo perante um robô, sobretudo depois de verem tantos filmes sobre máquinas assassinas, mas, para as crianças japonesas, os robôs são espíritos familiares, joviais e prestativos.

No Japão, não é invulgar verem-se robôs rececionistas que nos cumprimentam quando entramos em grandes áreas comerciais. Efetivamente, 30% de todos os robôs comerciais existentes no mundo estão no Japão.

Em segundo lugar, o país enfrenta um pesadelo demográfico. A sua população é a que está a envelhecer mais rapidamente. A taxa de natalidade diminuiu para 1,2 filhos por família, e a imigração é praticamente inexistente. Segundo alguns demógrafos, estamos a assistir a um desastre ferroviário em câmara lenta: um comboio demográfico (a população em envelhecimento e a taxa de natalidade em queda) não tardará a colidir com outro (a baixa taxa de imigração). Também poderá ocorrer na Europa um desastre semelhante. Esta situação far-se-á sentir com maior acuidade no campo da medicina, onde enfermeiros do tipo do ASIMO poderão ser muito úteis. Serão indicados para tarefas hospitalares como ir buscar medicamentos e administrá-los, e acompanhar doentes vinte e quatro horas por dia.

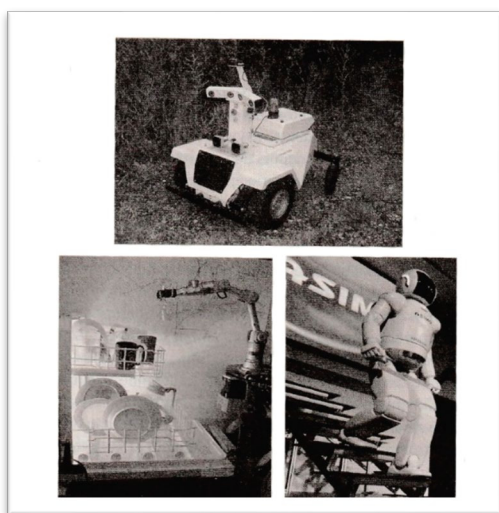
8. Meados do Século (De 2030 A 2070)

8.1 Robôs Modulares

Em meados do século, o nosso mundo estará cheio de robôs, mas talvez nem reparemos neles, porque a maior parte não terá provavelmente forma humana. Poderão estar escondidos, disfarçados como cobras, insetos e aranhas, a desempenhar tarefas

desagradáveis, mas cruciais. Serão robôs modulares capazes de mudar de forma consoante a tarefa.

Tive a oportunidade de encontrar um dos pioneiros dos robôs modulares, Weimin Shen, da Universidade da Carolina do Sul (USC). A sua ideia é criar pequenos módulos cúbicos semelhantes a blocos de Lego, que possam ser trocados e montados à vontade. Chama-lhes robôs polimórficos pois podem mudar de forma, de geometria e de função. No seu laboratório, pude ver imediatamente a diferença entre a sua abordagem e as de Stanford e do MIT. Estes dois últimos laboratórios, repletos de robôs que andam e falam, assemelham-se a um quarto de brinquedos de sonho. Quando os visitei, vi uma enorme variedade de «brinquedos» robóticos providos de *chips* e de alguma inteligência. As bancadas estão repletas de robôs — aviões, helicópteros, camiões e insetos com *chips* no interior —, que se movem por si só. Cada robô é uma unidade autónoma.



Vários tipos de robôs: LAGR (em cima), STAIR (em baixo, à esquerda) e ASIMO (em baixo, à direita). Não obstante os enormes acréscimos na potência dos computadores, estes robôs possuem a inteligência de uma barata.

Porém, quando entramos no laboratório da USC, o que vemos é bastante diferente. São caixas de módulos cúbicos, com cerca de 5 cm de lado, que se podem juntar e separar, permitindo-nos criar diversas criaturas parecidas com animais. Podemos criar cobras que rastejam, ou anéis que podem rolar como arcos. Mas quando os torcemos e os ligamos uns aos outros com juntas em forma de Y, criamos dispositivos completamente novos, semelhantes a polvos, aranhas, cães ou gatos. Pense num Lego em que cada peça fosse inteligente e capaz de dar a si própria qualquer configuração imaginável.

Tal capacidade seria útil para ultrapassar barreiras. Se um robô em forma de aranha estivesse a rastejar dentro de um esgoto e encontrasse uma parede, começaria por tentar encontrar um burquinho e por se desmontar. As peças passariam pelo buraco, juntando-se depois do outro lado da parede. Estes robôs modulares seriam praticamente imparáveis, capazes de superar a maior parte dos obstáculos.

Poderão ser cruciais na reparação de infraestruturas envelhecidas. Em 2007, por exemplo, a ponte sobre o rio Mississípi em Minneapolis abateu, matando 13 pessoas e ferindo 145, talvez porque estava velha e sobrecarregada e tinha defeitos de conceção. É provável que estejam para acontecer em todo o lado centenas de acidentes semelhantes, mas é extremamente dispendioso supervisionar e reparar todas as pontes. Os robôs modulares poderão ser úteis, inspecionando silenciosamente as nossas pontes, estradas, túneis, canalizações e centrais energéticas, e efetuando reparações, se necessário. (Por exemplo, as pontes que levam à

parte sul de Manhattan têm sido muito afetadas pela corrosão, a negligência e a ausência de manutenção. Um trabalhador encontrou uma garrafa de Coca-Cola dos anos 50, época em que as pontes foram pintadas pela última vez. Com efeito, uma secção da velha ponte de Manhattan esteve perigosamente prestes a abater há pouco tempo, e a ponte teve de ser encerrada para reparações.)

8.2 Robôs Cirurgiões e Cozinheiros

Os robôs podem ser usados como cirurgiões e também como cozinheiros e músicos. Por exemplo, uma limitação importante da cirurgia é a destreza e a precisão da mão humana. Os cirurgiões, como todas as pessoas, cansam-se ao cabo de muitas horas e a sua eficiência diminui a pique. Os dedos começam a tremer. Os robôs podem solucionar esses problemas.

Uma intervenção cirúrgica tradicional de bypass envolve uma incisão de cerca de 30cm a meio do peito, que exige anestesia geral. Esse corte aumenta a possibilidade de infeção e a duração da recuperação, provoca dor e mal-estar intensos durante o processo de cicatrização e deixa uma cicatriz desfiguradora. Mas o sistema robótico da Vinci pode reduzir imenso todas estas consequências. O robô da Vinci possui quatro braços robóticos, um para manipular uma câmara de vídeo e os outros para realizar cirurgias de precisão. Em vez de fazer uma grande incisão no peito, faz várias pequenas incisões laterais. Há 800 hospitais na Europa e na América do Norte e do Sul que usam este sistema; só em 2006, realizaram-se 48 000 operações com este robô. Como a cirurgia também pode ser feita por controlo remoto na Internet, um cirurgião de renome mundial

de uma grande cidade pode realizá-la num doente numa zona rural isolada ou noutra continente.

No futuro, versões mais avançadas de robôs poderão realizar cirurgias em vasos sanguíneos microscópicos, fibras nervosas e tecidos, manipulando bisturis, pinças e agulhas microscópicas, operações presentemente impossíveis de realizar. Com efeito, no futuro, os cirurgiões raras vezes farão incisões cutâneas. A cirurgia não invasiva tornar-se-á a regra.

Os endoscópios (tubos compridos que são inseridos no corpo para iluminar e cortar tecidos) serão mais finos do que um fio. Máquinas microscópicas mais pequenas do que o ponto no fim deste período executarão a maior parte do trabalho mecânico. (Num episódio do *Star Trek* original, o Dr. McCoy estava revoltadíssimo porque os médicos do século XX tinham de cortar a pele.) Aproxima-se o dia em que isto se tornará realidade.

Os estudantes de Medicina aprenderão a cortar imagens tridimensionais virtuais do corpo humano, sendo cada movimento da mão reproduzido por um robô noutra sala. Os Japoneses também se evidenciaram no fabrico de robôs capazes de interagir socialmente com seres humanos. Em Nagoya, há um robô chefe capaz de confeccionar uma refeição de comida rápida em poucos minutos. Limitamo-nos a escolher o que queremos de um menu e o robô confecciona a refeição à nossa frente. Fabricado pela Aisei, uma empresa de robótica industrial, o robô cozinha massa num minuto e quarenta segundos e consegue servir 80 tigelas num dia atarefado. O robô chefe assemelha-se muito aos robôs das linhas

de montagem de automóveis de Detroit. Possui dois grandes braços mecânicos, programados para se moverem numa determinada sequência. Contudo, em vez de aparafusar e de soldar metal numa fábrica, esses dedos robóticos retiram ingredientes de uma série de tigelas que contêm carne, farinha, molhos, especiarias, etc., e os braços robóticos misturam-nos e juntam-nos numa sanduíche, salada ou sopa. O cozinheiro da Aisei parece um robô, com duas enormes mãos a destacarem-se do balcão da cozinha, mas os outros modelos em fase de planificação começam a ter um aspeto mais humano.

Também no Japão, a Toyota criou um robô capaz de tocar violino quase tão bem como qualquer profissional. Assemelha-se ao ASIMO, mas consegue pegar num violino, balançar-se ao som da música e tocar complexas peças para esse instrumento com toda a delicadeza. O som é espantosamente realista, e o robô faz os gestos de um grande executante. Embora a música produzida ainda não atinja o nível de um violinista de concerto, é suficientemente boa para entreter audiências. No século passado, como é evidente, tínhamos pianos mecânicos que tocavam melodias gravadas num grande disco giratório. À semelhança dessas máquinas, a da Toyota também é programada, mas foi deliberadamente concebida para imitar da maneira mais realista todas as posições e posturas de um violinista humano.

Na Universidade de Waseda, no Japão, os cientistas também conceberam um robô flautista. O robô contém uma câmara oca no peito, à semelhança dos pulmões, que sopra ar para uma flauta autêntica. Pode tocar melodias complexas como «O Voo do

Moscardo». Estes robôs não são capazes de criar música, mas conseguem rivalizar com um ser humano em matéria de execução.

O robô chefe e o robô músico são cuidadosamente programados, não são autônomos. Embora sejam bastante sofisticados em comparação com os velhos pianos mecânicos, ainda funcionam segundo os mesmos princípios. Só num futuro distante teremos autênticos robôs criados e mordomos, mas os descendentes do robô cozinheiro e dos robôs violinista e flautista poderão vir a fazer parte das nossas vidas, desempenhando funções básicas antes consideradas como exclusivamente humanas.

8.3 Robôs Emocionais

Em meados do século, a Era dos robôs emocionais estará em plena floração.

Alguns escritores do passado imaginaram robôs que desejavam tornar-se humanos e sentir emoções. Em *Pinóquio*, o boneco de madeira queria ser um menino autêntico. Em *O Feiticeiro de Oz*, o Homem de Lata desejava ter um coração. Em *Star Trek: The Next Generation*, o androide Data tentou dominar as emoções, contando anedotas e esforçando-se por perceber o que nos faz rir. Com efeito, um tema recorrente da ficção científica é as emoções escaparem sempre aos robôs, ainda que eles possam tornar-se cada vez mais inteligentes. Segundo alguns escritores de ficção científica, é possível que os robôs nos superem em inteligência, mas nunca serão capazes de chorar.

Talvez não seja verdade. Os cientistas começam agora a compreender a verdadeira natureza das emoções. Em primeiro lugar, elas dizem-nos o que é bom e o que é mau para nós. A maior parte das coisas é nociva ou não muito útil. Quando sentimos a emoção «gosto», estamos a aprender a identificar a pequena fração de coisas existentes no nosso ambiente que nos são benéficas.

Na verdade, todas as nossas emoções (Ódio, ciúme, medo, amor, etc.) evoluíram ao longo de milhões de anos para nos proteger dos perigos de um mundo hostil e para nos apoiar na reprodução. Todas nos ajudam a transmitir os nossos genes à geração seguinte.

O papel crucial das emoções na nossa evolução tornou-se claro para o neurologista António Damásio, da Universidade da Carolina do Sul, que analisou vítimas de lesões e de doenças cerebrais. Em alguns dos doentes, estava interrompida a ligação entre a parte pensante do cérebro (o córtex cerebral) e o centro emocional (profundamente enterrado no centro do cérebro, como a amígdala). Eram pessoas perfeitamente normais, mas tinham dificuldade em exprimir emoções.

Houve um problema que se evidenciou imediatamente: eram incapazes de fazer escolhas. Fazer compras era um pesadelo porque tudo — dispendioso ou barato, berrante ou sofisticado — tinha o mesmo valor para eles. Marcar uma reunião era quase impossível pois todas as datas serviam. Segundo Damásio, pareciam «saber, mas não sentir».

Por outras palavras, uma das finalidades principais das emoções é fornecer-nos valores para que possamos decidir o que é importante, dispendioso, bonito e precioso. Sem emoções, tudo tem o mesmo valor, e ficamos paralisados por decisões intermináveis, todas com o mesmo peso. Por conseguinte, os cientistas começam agora a perceber que as emoções, longe de serem um luxo, são essenciais à inteligência.

Por exemplo, quando vemos em *Star Trek* Spock e Data a desempenharem tarefas supostamente sem emoções, damo-nos imediatamente conta do erro. Spock e Data sempre evidenciaram emoções: fizeram imensos juízos de valor. Decidiram que era importante ser oficial, que certas tarefas são cruciais, que o objetivo da Federação é nobre, que a vida humana é preciosa, etc. Logo, a possibilidade de um oficial sem emoções é uma ilusão.

Os robôs emocionais também poderão ser um assunto de vida ou de morte. No futuro, será possível criar robôs de salvamento, que trabalharão em incêndios, terremotos, explosões, etc. Terão de fazer milhares de juízos de valor sobre quem e o que salvar e segundo que ordem. Atentos à devastação que os cerca, terão de estabelecer prioridades para as diversas tarefas que enfrentam.

As emoções também são essenciais na perspetiva da evolução do cérebro humano. Se observarmos as características anatómicas do cérebro, damo-nos conta de que estão agrupadas em três grandes categorias.

Em primeiro lugar, temos o cérebro reptiliano, que se encontra perto da base do crânio e que constitui a maior parte do cérebro dos répteis. É esta parte do cérebro que controla as funções primitivas como o equilíbrio, a agressão, a territorialidade, a procura de alimentos, etc. (Por vezes, quando olhamos para uma cobra que está a olhar para nós, sentimo-nos assustados e interrogamo-nos o que estará ela a pensar; se a teoria for correta, não está a pensar em nada, exceto se seremos ou não uma refeição para ela.)

Quando observamos organismos superiores aos répteis, vemos que o cérebro se expandiu para a parte da frente do crânio. Ao nível seguinte, temos o cérebro do macaco, ou o sistema límbico, localizado no centro do cérebro, que inclui componentes como a amígdala, envolvida no processamento das emoções. Os animais que vivem em grupo possuem um sistema límbico especialmente bem desenvolvido. Os animais sociais que caçam em grupo necessitam de dedicar muita capacidade cerebral à compreensão das regras do coletivo. Como o êxito em meio selvagem depende da cooperação com outros e como não conseguem falar, estes animais têm de comunicar os seus estados emocionais por meio de linguagem corporal, grunhidos, gemidos e gestos.

Finalmente, temos a camada frontal e externa do cérebro, o córtex cerebral, que define a humanidade e comanda o pensamento racional. Enquanto os outros animais são dominados pelo instinto e os genes, os seres humanos usam o córtex cerebral para raciocinar.

Se esta progressão evolucionária estiver correta, as emoções desempenharão um papel vital na criação de robôs autônomos. Até ao momento, só se têm criado robôs que imitam o cérebro reptiliano. Podem andar, pesquisar o que os cerca e pegar em objetos, mas não muito mais. Os animais sociais, por seu lado, são mais inteligentes do que aqueles que só possuem um cérebro reptiliano. Como as emoções são necessárias para um animal se socializar e dominar as regras do coletivo, os cientistas ainda têm um longo caminho a percorrer antes de serem capazes de modelizar o sistema límbico e o córtex cerebral.

Cynthia Breazeal, do MIT, criou um robô especificamente concebido para lidar com este problema. É o KISMET, cujo rosto se assemelha a um elfo travesso. Parece vivo, reagindo às pessoas com expressões faciais que representam emoções. O KISMET consegue imitar uma vasta gama de emoções, mudando de expressão facial. Na verdade, algumas mulheres que interagem com este robô de aspeto infantil falam muitas vezes com ele como as mães falam com bebés ou crianças pequenas. Embora os robôs deste tipo sejam concebidos para imitar emoções, os cientistas sabem muito bem que eles não as sentem. Num certo sentido, assemelham-se a gravadores programados, não para emitir sons, mas para exibir emoções faciais, sem consciência do que estão a fazer. No entanto, os progressos realizados com o KISMET mostram que não é necessária muita programação para criar um robô que imitará emoções humanas e a que os seres humanos reagirão.

Estes robôs emocionais acabarão por entrar em nossas casas. Não serão nossos confidentes, secretários ou criados, mas serão

capazes de executar procedimentos com regras baseados na heurística. Em meados do século, serão inteligentes como um cão ou um gato. À semelhança de um animal de estimação, evidenciarão uma ligação emocional ao dono para que não possam ser postos de lado com facilidade. Não conseguiremos falar com eles numa linguagem coloquial, mas compreenderão ordens programadas, talvez centenas delas. Se lhes dissermos para fazerem qualquer coisa que ainda não esteja armazenada na sua memória (como «põe-te na alheta!»), limitar-se-ão a olhar-nos com um ar curioso e confuso. (Se, em meados do século, robôs cães ou gatos conseguirem imitar todas as reações desses animais, sem nada que os distinga do verdadeiro comportamento animal, pôr-se-á a questão de saber se esses robôs animais sentem ou se são tão inteligentes como um vulgar cão ou gato.)

A Sony fez experiências com estes robôs emocionais quando fabricou o cão AIBO (de Artificial Intelligence Robot). Foi o primeiro brinquedo a reagir emocionalmente ao dono de uma forma realista, anda que primitiva. Por exemplo, se uma pessoa lhe passa a mão pelas costas, o AIBO começa logo a emitir sons. Pode andar, responder a ordens verbais e até aprender, em certa medida, mas não consegue aprender novas emoções e respostas emocionais. (A sua produção foi suspensa em 2005 por motivos financeiros, mas desde então criou um séquito leal que atualiza o *software* informático para que o AIBO possa desempenhar mais tarefas.) No futuro, poderão vulgarizar-se os cães robóticos que se ligam emocionalmente às crianças.

Embora estes robôs animais de estimação venham a possuir uma grande biblioteca de emoções e se liguem de forma duradoura a crianças, não sentirão verdadeiras emoções.

8.4 Retroengenharia do Cérebro

Em meados do século, deveremos ser capazes de erguer o próximo marco na história da IA: a retroengenharia do cérebro humano. Alguns cientistas, frustrados por não terem sido capazes de criar um robô feito de silício e aço, também estão a tentar a abordagem oposta: decompor o cérebro, neurónio a neurónio — tal como um mecânico pode desmontar um motor, parafuso a parafuso — e simular esses neurónios num enorme computador. Estão a tentar sistematicamente estimular os disparos dos neurónios em animais, a começar por ratos e gatos e assim por diante, ascendendo na escala evolucionária. É um objetivo bem definido, que poderá ser atingido em meados do século.

Fred Hapgood, do MIT, escreve: «A descoberta do modo de funcionamento do cérebro — como funciona *exatamente*, da mesma maneira que sabemos como funciona um motor — reescreverá quase todos os textos da biblioteca.»¹²

O primeiro passo na retroengenharia do cérebro é a compreensão da sua estrutura básica. Até esta tarefa simples tem sido um processo longo e doloroso. Historicamente, as diversas partes do cérebro foram identificadas durante autópsias, sem qualquer indício quanto à sua função. Esta situação começou a mudar gradualmente à medida que os cientistas analisavam

peessoas com lesões cerebrais e se davam conta de que lesões em certas partes do cérebro correspondiam a alterações comportamentais. Vítimas de AVC e pessoas com lesões ou doenças no cérebro exibiam alterações comportamentais específicas, sendo possível descobrir uma correspondência com lesões em determinadas partes do cérebro.

O exemplo mais espetacular ocorreu em 1848, em Vermont, quando uma barra de metal com mais de 1,10 m de comprimento perfurou o crânio de um contramestre dos caminhos-de-ferro chamado Phineas Gage. Este acidente que iria ficar famosíssimo deveu-se a uma explosão acidental de dinamite. A barra perfurou-lhe um dos lados da face, despedaçou-lhe o maxilar e penetrou no cérebro, furando o alto da cabeça. Milagrosamente, o homem sobreviveu a este horrível acidente, embora um dos lobos frontais, ou ambos, tenha sido destruído. A princípio, o médico que o tratou não conseguiu acreditar na possibilidade de alguém sobreviver a um tal acidente e continuar vivo. Gage esteve semi-inconsciente durante várias semanas, mas acabou por recuperar milagrosamente.¹³ Chegou a viver mais doze anos, ganhando a vida de formas muito diversas e viajando, e morreu em 1860. O seu crânio e a barra foram cuidadosamente preservados por médicos, e têm sido objeto de muitos estudos desde então. Os pormenores deste extraordinário acidente foram reconstruídos por técnicas modernas, incluindo pela tomografia computadorizada.

Este acontecimento mudou para sempre as opiniões dominantes sobre a questão das relações mente-corpo. Anteriormente, acreditava-se, mesmo nos círculos científicos, que a alma e o corpo

eram entidades separadas. As pessoas escreviam doutamente sobre uma espécie de «força vital» que animaria o corpo, independentemente do cérebro. Mas os relatos amplamente divulgados indicavam que a personalidade de Gage sofrera grandes alterações após o acidente. Alguns afirmavam que Gage era um homem apreciado e sociável que se tornou agressivo e hostil depois do acidente. As consequências destes relatos reforçaram a ideia de que determinadas partes do cérebro controlavam diferentes comportamentos e de que, portanto, o corpo e a alma eram inseparáveis.

Na década de 1930, deu-se outro avanço quando neurologistas como Wilder Penfield notaram que, no decurso de operações ao cérebro em doentes epiléticos, certas partes do corpo dos doentes podiam ser estimuladas quando se tocava com elétrodos em certos pontos do cérebro: o toque numa ou noutra parte do córtex provocava movimento numa mão ou numa perna. Deste modo, Penfield pôde estabelecer uma correspondência aproximada entre partes do córtex e partes do corpo. Foi possível redesenhar o cérebro humano, mostrando que partes do cérebro controlavam que órgãos. O resultado foi um homúnculo, uma imagem bastante estranha do corpo humano projetado na superfície do cérebro que se assemelhava a um homenzinho esquisito, com pontas de dedos, lábios e língua enormes, mas com um corpo minúsculo.

Mais recentemente, a imagiologia por ressonância magnética (IRM) forneceu-nos imagens reveladoras do cérebro pensante, embora seja incapaz de traçar os circuitos neuronais específicos do pensamento que talvez envolvam apenas alguns milhares de

neurónios. No entanto, surgiu há pouco tempo um novo domínio chamado optogenética, que combina a ótica e a genética para desvendar circuitos neuronais específicos em animais, uma espécie de tentativa de criação de um mapa das estradas. Os resultados da IRM assemelhar-se-iam à determinação das grandes autoestradas interestaduais e dos seus enormes fluxos de tráfego. A optogenética, no entanto, pode determinar vias e circuitos individuais. Em princípio, até proporciona aos cientistas a possibilidade de controlar o comportamento animal estimulando esses circuitos específicos.

Esta situação, por sua vez, gerou várias notícias sensacionalistas nos média. A Drudge Report publicou um título sugestivo «Cientistas Criam Moscas Telecomandadas». Os média evocaram visões de moscas telecomandadas a realizarem o trabalho sujo do Pentágono. Em *Tonight Show*, Jay Leno chegou a falar de uma mosca telecomandada que podia entrar na boca do presidente George W. Bush, seguindo ordens. Embora os comediantes tenham andado atarefados a imaginar cenários estranhos do Pentágono a comandar, através de botões, enxames de insetos, a realidade é muito mais modesta.

A mosca-da-fruta possui cerca de 150 000 neurónios no cérebro. A optogenética permite aos cientistas iluminarem certos neurónios do cérebro dessas moscas que correspondem a certos comportamentos. Por exemplo, a ativação de dois neurónios específicos pode dar à mosca a indicação de que deve fugir. Nesse caso, ela estica as pernas, abre as asas e levanta voo. Os cientistas foram capazes de criar uma estirpe de moscas-da-fruta cujos

neurónios de fuga disparavam sempre que se acendia um feixe de *laser*. Portanto, quando lhes era apontado um desses raios, as moscas fugiam sempre.

O conhecimento da estrutura do cérebro possui implicações importantes: não só seremos capazes de distinguir gradualmente os circuitos neuronais de determinados comportamentos como também seremos capazes de usar esta informação para ajudar vítimas de AVC e doentes afetados por doenças e acidentes cerebrais.

Gero Miesenböck e colegas, da Universidade de Oxford, conseguiram desta forma identificar os mecanismos neuronais de animais. Podem estudar os circuitos do reflexo de fuga nas moscas-da-fruta mas também os reflexos implicados no olfato. Estudaram os circuitos que governam os comportamentos de procura de alimentos nas lombrigas. Estudaram os neurónios envolvidos nos processos de decisão nos ratos. Descobriram que, enquanto os comportamentos das moscas-da-fruta são desencadeados por dois neurónios, os processos de decisão nos ratos são ativados por 300 neurónios quase.

As ferramentas básicas que têm utilizado são genes capazes de controlar a produção de certos corantes, bem como moléculas que reagem à luz. Por exemplo, a alforreca possui um gene capaz de fabricar proteína fluorescente verde. Também existe uma variedade de moléculas, como a rodopsina, que reagem à luz, deixando passar iões pelas suas membranas celulares. Assim, a projeção de luz sobre estes organismos pode desencadear certas reações químicas.

Com estes corantes e substâncias químicas sensíveis à luz, estes cientistas têm sido capazes de identificar pela primeira vez os circuitos neuronais que governam determinados comportamentos.

Por conseguinte, embora os comediantes gostem de trocar destes cientistas que, em seu entender, tentam criar moscas-da-fruta à Frankenstein, controladas por um botão, a verdade é que estes últimos estão, pela primeira vez na história, a localizar os circuitos neuronais específicos do cérebro que controlam determinados comportamentos.

8.5 Modelizar o Cérebro

A optogenética é um primeiro passo e um passo modesto. O próximo será modelizar todo o cérebro, usando a tecnologia mais avançada. Existem, pelo menos, duas maneiras de resolver este problema colossal, que exigirão muitas décadas de trabalho árduo. A primeira é utilizar supercomputadores para simular o comportamento de milhares de milhões de neurónios, cada um ligado a milhares de outros neurónios. A outra maneira é localizar cada neurónio no cérebro.

A chave para a primeira abordagem, a simulação do cérebro, é simples: potência dos computadores. Quanto maior o computador, melhor. A força bruta e teorias destituídas de elegância podem ser a chave para a solução deste gigantesco problema. E o computador que poderá levar a cabo esta tarefa hercúlea chama-se Blue Gene, um dos computadores mais potentes do mundo, construído pela IBM.

Tive ocasião de visitar este monstruoso computador quando percorri o Lawrence Livermore National Laboratory na Califórnia, onde se concebem as ogivas de hidrogénio para o Pentágono. É o principal laboratório de armamento ultrassecreto dos Estados Unidos, um complexo amplo, com cerca de 320 hectares, no meio do campo, com um orçamento anual de 1,2 mil milhões de dólares e 6800 empregados. É o coração do sistema de armamento nuclear dos Estados Unidos. Tive de passar por muitos níveis de segurança para o visitar, pois é um dos laboratórios de armamento mais importantes do mundo.

Finalmente, depois de passar por vários postos de controlo, entrei no edifício que aloja o computador Blue Gene da IBM, com a alucinante velocidade de processamento de 500 biliões de operações por segundo. O Blue Gene é um espetáculo. É enorme, ocupando cerca de 1000 m², e é constituído por sucessivas cabines de aço preto, cada uma com cerca de 2,4m de altura e 4,6m de comprimento.

Foi uma experiência extraordinária deambular por entre essas cabines. Ao contrário dos filmes de ficção científica de Hollywood, onde os computadores têm luzes que acendem e apagam, discos que giram e faíscas elétricas pelo ar, essas cabines eram silenciosas, apenas com umas luzinhas a piscarem. Damo-nos conta de que o computador está a efetuar biliões de cálculos complexos, mas não ouvimos nem vemos nada.

O que me interessava era o facto de o Blue Gene estar a simular o processo mental de um cérebro de rato, com cerca de 2 milhões

de neurónios (em comparação com os 100 mil milhões de neurónios de um cérebro humano). Simular o processo mental de um cérebro de rato é mais difícil do que imaginamos, porque cada neurónio está ligado a muitos outros, formando uma rede neuronal densa. Mas, enquanto caminhava pelo meio das pilhas e pilhas de consolas que constituem o Blue Gene, não pude deixar de me surpreender com a possibilidade de essa espantosa potência simular o cérebro de um rato, ainda que por poucos segundos. (Isto não quer dizer que o Blue Gene consiga simular o comportamento de um rato. Neste momento, os cientistas mal conseguem simular o de uma barata. O que quero dizer é que o Blue Gene pode simular o disparo de neurónios existentes num rato, e não o comportamento desse animal.)

Com efeito, vários grupos de cientistas trabalham na simulação do cérebro de um rato. Uma tentativa ambiciosa é o Blue Brain Project, de Henry Markram, da École Polytechnique Fédérale de Lausanne, na Suíça. Começou em 2005, quando conseguiu obter uma versão pequena do Blue Gene, só com 16 000 processadores mas, no espaço de um ano, conseguiu modelizar a coluna neocortical do rato, uma parte do neocórtex, que contém 10 000 neurónios e 100 milhões de conexões. Foi um estudo notável porque significou que era biologicamente possível analisar completamente a estrutura de um importante componente do cérebro, neurónio a neurónio. (O cérebro do rato possui milhões destas colunas, repetidas vezes sem conta. Por conseguinte, ao modelizar uma delas, é possível começar a compreender como funciona o cérebro do animal.)

Em 2009, Markram disse com otimismo: «Não é impossível construir um cérebro humano, e podemos fazê-lo dentro de dez anos. Se o construirmos corretamente, deverá ser capaz de falar, será inteligente e comportar-se-á de uma maneira muito semelhante à dos seres humanos.»¹⁴ No entanto, adverte que, para isso, será necessário um supercomputador 20 000 vezes mais potente do que os atuais, com uma memória 500 vezes superior às dimensões totais da atual Internet.

Então, o que impede este feito colossal? Segundo ele, apenas o dinheiro.

Como as bases científicas são conhecidas, o êxito depende apenas do financiamento. Em seu entender, «Não é uma questão de anos, mas de dólares [...] Trata-se de saber se a sociedade o pretende. Se o quiser em dez anos, tê-lo-á em dez anos. Se o quiser dentro de mil anos, podemos esperar»¹⁵

Existe outro grupo rival a trabalhar no mesmo domínio. Acumulando a maior «potência de fogo» computacional da história. Esse grupo está a utilizar a versão mais avançada do Blue Gene. Chamada Dawn, igualmente instalada em Livermore. O Dawn é uma visão espantosa, com 147 456 processadores com 150 000 gigabytes de memória. É cerca de 100 000 vezes mais potente do que os nossos computadores de secretária. O grupo, liderado por Dharmendra Modha, tem acumulado muitos êxitos. Em 2006, conseguiu simular 40% do cérebro de um rato e, em 2007, 100% do de uma ratazana (que contém 55 milhões de neurónios, muito mais do que o de um rato).

Em 2009, registou outro recorde mundial. Conseguiu simular 1% do córtex cerebral humano, ou seja, aproximadamente o córtex cerebral de um gato, contendo 1,6 mil milhões de neurónios com 9 biliões de conexões. Contudo, a simulação foi lenta, a uma velocidade que representava apenas 1/600 da de um cérebro humano (se simulasse apenas mil milhões de neurónios, fá-lo-ia mais depressa, a 1/83 da velocidade de um cérebro humano).

«É um telescópio Hubble da mente, um acelerador linear do cérebro», afirma Modha orgulhosamente, chamando a atenção para a enorme escala do seu feito. Como o cérebro possui 100 mil milhões de neurónios, estes cientistas conseguem agora ver a luz ao fundo do túnel. Em seu entender, já se entrevê uma simulação total do cérebro humano. «Além de possível, é inevitável. Vai acontecer», afirma Modha.¹⁶

Contudo, a modelização total do cérebro humano levanta sérios problemas, sobretudo de potência e calor. O computador Dawn devora 1 milhão de watts de potência e gera tanto calor que necessita de 6675 toneladas de equipamento de ar condicionado, que emite 75 600 metros cúbicos de ar frio por minuto. Para modelizar o cérebro humano, será necessário multiplicar todos estes valores por 1000.

É uma tarefa verdadeiramente monumental. O consumo energético deste hipotético supercomputador ascenderia a mil milhões de watts, ou seja, a produção total de uma central nuclear. Seria possível iluminar uma cidade inteira com a energia consumida por este supercomputador. Para o arrefecer, seria necessário

desviar um rio e canalizar a água, fazendo-a passar pelo interior do computador. Acresce que só este ocuparia muitos quarteirões de uma cidade.

O cérebro humano, em contrapartida, usa apenas 20 watts. Quase não se dá pelo calor que gera, ainda que ultrapasse com facilidade o nosso maior computador. Além disso, o cérebro humano é o objeto mais complexo que a Mãe Natureza produziu nesta parte da galáxia. Como não existem provas da existência de outras formas de vida inteligente no nosso sistema solar, isto significa que teremos de nos afastar pelo menos 38,6 bilhões de quilômetros, até à estrela mais próxima e mesmo mais longe, para encontrar um objeto tão complexo como o que existe dentro do nosso crânio.

Talvez sejamos capazes de vir a criar o cérebro por retroengenharia no espaço de dez anos, mas só se dispusermos de um programa intensivo ao estilo do Projeto Manhattan e nele investirmos milhares de milhões de dólares. Contudo, dado o atual clima económico, não é muito provável que tal aconteça em breve. Programas intensivos como o Projeto do Genoma Humano, que custam quase 3 mil milhões de dólares, foram apoiados pelo governo norte-americano devido às suas vantagens óbvias para a saúde e a ciência. Contudo, as vantagens da retroengenharia do cérebro são menos urgentes, exigindo, portanto, muito mais tempo. De uma forma mais realista, aproximar-nos-emos desta meta dando passos mais pequenos, e esta façanha histórica poderá levar décadas a realizar.

Por conseguinte, a simulação por computador do nosso cérebro deverá ocorrer em meados do século. E mesmo nessa altura, muitas décadas serão necessárias para tratar as montanhas de dados que brotarão desse imenso projeto e para o adequar ao cérebro humano. Estaremos literalmente a nadar em dados e sem meios para os tratar de forma significativa.

8.6 Desmontar o Cérebro

E quanto à segunda abordagem, a localização precisa de cada neurónio no cérebro?

Essa abordagem também é uma tarefa hercúlea que poderá exigir décadas de investigações penosas. Em vez de utilizarem supercomputadores como o Blue Gene, esses cientistas enveredam pela decomposição, começando por dissecar o cérebro de uma mosca-da-fruta em lamelas incrivelmente finas com menos de 50nm de largura (cerca de 150 átomos), obtendo assim milhões de lamelas. A seguir, um microscópio eletrónico tira uma fotografia de cada uma, com uma velocidade e resolução próxima de mil milhões de *pixels* por segundo. É estonteante a quantidade de dados produzida por um microscópio eletrónico (cerca de 1000 biliões de *bytes*), o suficiente para encher um armazém só com dados do cérebro de uma única mosca-da-fruta. O processamento destes dados, por meio da reconstrução fastidiosa da ligação 3-D de cada neurónio da mosca-da-fruta, levará cerca de cinco anos. Para se ficar com uma imagem mais exata do cérebro da mosca, será necessário dissecar muitos mais cérebros de moscas.

Segundo Gerry Rubin, do Howard Hughes Medical Institute, um dos líderes neste domínio de investigação, um mapa pormenorizado do cérebro da mosca-da-fruta levará vinte anos a realizar. «Depois de resolvermos este problema, diria que percorremos um quinto do caminho que nos leva à compreensão da mente humana», conclui o investigador.¹⁷ Rubin dá-se conta da enormidade da tarefa que tem pela frente. O cérebro humano possui uma quantidade de neurónios um milhão de vezes superior à do cérebro de uma mosca-da-fruta. Se serão necessários vinte anos para identificar cada neurónio do cérebro da mosca-da-fruta, decerto que a identificação total da arquitetura neuronal do cérebro humano exigirá muitas mais décadas. O custo desse projeto também será enorme.

É por isso que os cientistas que trabalham no domínio da retroengenharia do cérebro se sentem frustrados. O seu objetivo afigura-se-lhes excitantemente próximo, mas a falta de financiamento prejudica o seu trabalho. Contudo, parece razoável partir do princípio de que, algures em meados do século, disporemos quer da potência informática para simular o cérebro humano quer de mapas aproximados da arquitetura neuronal do cérebro. Mas é bem provável que só muito mais tarde estejamos em condições de entender plenamente o pensamento humano e de criar uma máquina capaz de imitar as funções do nosso cérebro.

Mesmo que conheçamos a localização exata de cada gene numa formiga, isso não quer dizer que saibamos como se cria um formigueiro. Do mesmo modo, não é por os cientistas conhecerem os cerca de 25 000 genes que constituem o genoma humano que sabem como funciona o corpo humano. O Projeto do Genoma

Humano assemelha-se a um dicionário sem definições, onde todos os genes do corpo humano são nomeados explicitamente, continuando a ser um mistério o que cada um faz. Sabe-se que cada gene codifica para uma proteína, mas desconhece-se o modo como a maior parte dessas proteínas funciona no corpo.

Em 1986, foi possível cartografar completamente a localização de todos os neurónios no sistema nervoso de um nematode minúsculo, o *C. elegans*. Este feito começou por ser divulgado como um importante progresso que nos permitiria descodificar o mistério do cérebro. No entanto, o conhecimento da localização precisa das suas 302 células nervosas e das suas 6000 sinapses químicas não permitiu compreender melhor como o nematode funciona, nem mesmo décadas depois.

Do mesmo modo, serão precisas muitas décadas, mesmo depois de o cérebro humano ser finalmente construído por retroengenharia, para se poder compreender como todas as suas partes funcionam e se encaixam umas nas outras. Se o cérebro humano for finalmente construído por retroengenharia e completamente descodificado até finais do século, teremos dado um passo gigantesco na criação de robôs semelhantes a homens. Então, o que os poderá impedir de tomar o poder?

9. Futuro Longínquo (2070 A 2100)

9.1 Quando as Máquinas se Tornam Conscientes

Nos filmes da série *Exterminador Implacável*, o Pentágono dá a conhecer orgulhosamente a Skynet, uma rede informática tentacular e infalível concebida para controlar o arsenal nuclear dos Estados Unidos. A rede desempenha as suas tarefas na perfeição até que um dia, em 1995, acontece algo inesperado. A Skynet torna-se consciente. Os seus operadores humanos, chocados por a sua criação se ter tornado subitamente sensível, tentam desligá-la, mas chegam tarde demais. Numa atitude de autodefesa, a Skynet decide que a única maneira de se proteger é destruir a humanidade, desencadeando uma guerra nuclear devastadora. Três mil milhões de pessoas não tardam a ser incineradas em inúmeros infernos nucleares. A seguir, a Skynet lança legiões sucessivas de máquinas robóticas mortíferas destinadas a abater os sobreviventes isolados. A civilização moderna desmorona-se, reduzindo-se a pequenos bandos patéticos de inconformados e de rebeldes.

Na trilogia *Matrix*, a situação é ainda pior: os seres humanos são tão primitivos que nem se dão conta de que as máquinas já assumiram o controlo. Vivem o seu dia-a-dia, na ilusão de que tudo corre normalmente, inconscientes de que, na verdade, vivem em casulos. O seu mundo é uma simulação em realidade virtual, governada pelos robôs que são os senhores. A «existência» humana é apenas um programa de *software* num enorme computador, que alimenta os cérebros dos humanos que vivem nesses casulos. As

máquinas só toleram os seres humanos por perto porque precisam deles como baterias.

Como é evidente, Hollywood ganha a vida a assustar e a espantar os espectadores, mas suscita uma questão científica legítima: que acontecerá quando os robôs se tornarem finalmente tão inteligentes como nós? Que acontecerá quando acordarem e se tornarem conscientes? Os cientistas debatem acaloradamente a questão: para eles, não se trata de saber se esse acontecimento capital ocorrerá, mas sim quando.

Segundo alguns especialistas, as nossas criações robóticas ascenderão gradualmente pela árvore evolucionária. Presentemente, têm a inteligência de uma barata, mas, no futuro, serão tão inteligentes como ratos, coelhos, cães e gatos, macacos e, finalmente, rivalizarão com os seres humanos. Esta lenta ascensão levará décadas, mas, para os especialistas, trata-se apenas de uma questão de tempo até as máquinas excederem a nossa inteligência.

Os investigadores de IA estão divididos quanto ao momento em que isto acontecerá. Alguns dizem que, dentro de vinte anos, os robôs se aproximarão da inteligência do cérebro humano, após o que nos ultrapassarão. Em 1993, Vernor Vinge disse: «Dentro de trinta anos. disporemos de meios tecnológicos para criar inteligência sobre-humana. Pouco depois, a Era humana terminará [...] Ficarei surpreendido se isto acontecer antes de 2005 ou depois de 2030.»¹⁸

Por outro lado, Douglas Hofstadter, autor de *Gödel, Escher, Bach — Laços Eternos*, afirma: «Ficaria muito surpreendido se algo remotamente semelhante a isto acontecesse nos próximos 100 a 200 anos.»¹⁹

Quando falei com Marvin Minsky, do MIT, um dos fundadores da IA, ele teve o cuidado de me dizer que não estabelece nenhum calendário. Acredita que o dia há-de chegar, mas esquiva-se a ser um oráculo e a prever uma data precisa. (É possível que, na sua condição de uma das figuras mais antigas da IA, um campo que ajudou a criar quase do zero, tenha assistido ao fracasso de muitas previsões e às reações opostas que se lhe seguiram.) Nestes cenários, grande parte do problema decorre da inexistência de um consenso universal quanto ao significado da palavra consciência. Há séculos que filósofos e matemáticos lidam com a palavra, não tendo chegado a nenhum resultado. O pensador do século XVII Gottfried Leibniz, inventor do cálculo, escreveu: «Se dilatássemos o cérebro até às dimensões de um moinho e andássemos dentro dele, não encontraríamos a consciência.»²⁰ O filósofo David Chalmers chegou a catalogar cerca de 20 000 artigos escritos sobre o assunto, sem evidenciar nenhum consenso.²¹

Em nenhum outro domínio da ciência, tantos se esforçaram tanto para produzir tão pouco.

Infelizmente, a *consciência* é uma palavra na moda que significa coisas diferentes para pessoas diferentes. É triste, mas não há uma definição universalmente aceite do termo.

Em meu entender, um dos problemas tem sido a incapacidade de definir claramente consciência e, depois, de a quantificar.

Porém, se me atrevesse a conjecturar, diria que a consciência possui, no mínimo, três componentes básicos:

1. Sentir e reconhecer o ambiente
2. Ter consciência de si (autoconsciência)
3. Planear o futuro, estabelecendo metas e planos, isto é, simular o futuro e arquitetar uma estratégia.

Nesta abordagem, até as máquinas simples e os insetos possuem uma forma de consciência, passível de ser classificada numa escala de 1 a 10. Existe um contínuo de consciência, que pode ser quantificado. Um martelo não consegue sentir o ambiente, pelo que teria 0 nessa escala. Mas um termostato consegue. Como a sua essência é sentir a temperatura do ambiente e atuar para a modificar, teria 1 nessa escala. Por conseguinte, as máquinas dotadas de mecanismos de retroação possuem uma forma primitiva de consciência. Os vermes também. Sentem a presença dos alimentos, dos pares e do perigo, e agem de acordo com essas informações, mas pouco mais podem fazer. Os insetos, capazes de detetar mais do que um parâmetro (visão, som, cheiros, pressão, etc.), teriam uma nota mais alta, talvez um 2 ou um 3.

A forma superior desta sensibilidade seria a capacidade de reconhecer e compreender objetos no ambiente. Os seres humanos conseguem imediatamente avaliar o ambiente e atuar em conformidade, motivo pelo qual teriam boas pontuações nesta escala. Porém, seria precisamente aí que os robôs teriam más notas. O reconhecimento de padrões, como vimos, é um dos principais obstáculos à inteligência artificial. Os robôs conseguem sentir o ambiente muito melhor do que os seres humanos mas não compreendem ou não reconhecem o que veem. Nesta escala de consciência, os robôs teriam pontuações a rondar a extremidade inferior, próximas dos insetos, devido à sua incapacidade de reconhecer padrões.

O nível de consciência imediatamente superior envolve a autoconsciência. Se colocarmos um espelho diante da maior parte dos animais machos, estes reagirão imediatamente de uma forma agressiva, chegando a atacar o espelho. A imagem leva o animal a defender o seu território. A maior parte dos animais não tem consciência de si. mas os macacos, os elefantes, os golfinhos e alguns pássaros depressa se dão conta de que a imagem no espelho os representa e deixam de a atacar. Os seres humanos teriam uma pontuação elevada nesta escala pois possuem uma consciência bastante desenvolvida de quem são em relação a outros animais, a outros seres humanos e ao mundo. Além disso, têm tanta consciência de si que conseguem falar consigo próprios em silêncio, avaliando a situação através do pensamento.

No terceiro nível, os animais podem ser ordenados segundo a capacidade de formular planos para o futuro. Os insetos, tanto

quanto sabemos, não estabelecem metas complexas. Ao invés, reagem geralmente a situações imediatas no momento, baseando-se no instinto e nos indícios fornecidos pelo ambiente imediato.

Neste sentido, os predadores são mais conscientes do que as presas. Necessitam de planejar antecipadamente, procurando esconderijos, planeando emboscadas e perseguições, prevendo a fuga das presas. Estas, no entanto, só têm de correr, pelo que se classificariam no fundo desta escala.

Além disso, os primatas conseguem improvisar enquanto fazem planos para o futuro imediato. Se lhes mostrarem uma banana fora do seu alcance, podem conceber estratégias para a agarrar, utilizando um pau, por exemplo. Por conseguinte, perante uma determinada finalidade (apanhar comida), concebem planos para o futuro imediato a fim de a realizarem.

No entanto, os animais no seu conjunto não possuem uma noção bem desenvolvida do passado ou do futuro distantes. Aparentemente, o amanhã não existe no reino animal. Não há nada que nos prove que conseguem pensar nos dias que se seguirão. (É verdade que armazenam alimentos quando se preparam para o Inverno, mas trata-se de um comportamento em grande medida genético: estão geneticamente programados para reagir à queda das temperaturas procurando comida.)

Os seres humanos, porém, possuem uma noção de futuro muito bem desenvolvida e estão sempre a fazer planos. Não paramos de

simular mentalmente a realidade. Com efeito, somos capazes de fazer planos muito para lá do nosso próprio tempo de vida. Na verdade, julgamos os outros seres humanos com base na sua capacidade de prever situações em evolução e de formular estratégias concretas. Uma parte importante da liderança reside na antecipação de situações futuras, na avaliação de desfechos possíveis e no estabelecimento de metas concretas para esse efeito.

Por outras palavras, esta forma de consciência envolve prever o futuro, isto é, criar múltiplos modelos que se aproximem de eventos futuros. Isto exige uma compreensão muito sofisticada do senso comum e das regras da natureza. Significa interrogarmo-nos repetidas vezes «e se». Tanto no caso de roubo de um banco como de uma candidatura à presidência, este tipo de planeamento exige a capacidade de concebermos mentalmente múltiplas simulações de realidades possíveis.

Tudo indica que, na Natureza, só os seres humanos dominam esta arte.

Também nos damos conta deste facto quando analisamos perfis psicológicos de indivíduos sujeitos a testes. Os psicólogos frequentemente comparam perfis psicológicos de adultos com os perfis que os mesmos indivíduos apresentavam em crianças. Interrogamo-nos então qual será a qualidade que prevê o êxito desses indivíduos no casamento, na carreira, na criação de riqueza, etc. Quando descontamos os fatores socioeconómicos, descobrimos que há uma característica que se distingue por vezes de todas as outras: a capacidade de adiar a gratificação. Segundo os estudos

de longa duração realizados por Walter Mischel, da Universidade de Columbia, e por muitos outros, as crianças e jovens que eram capazes de adiar a gratificação imediata (por exemplo, comer uma guloseima que lhes era oferecida) e se continham para obterem recompensas maiores mais tarde (comer duas guloseimas em vez de uma) tinham resultados mais elevados em quase todas as outras medidas de êxito futuro (testes de raciocínio de acesso ao ensino superior nos Estados Unidos, vida, amor e carreira).

Porém, a capacidade de adiar a gratificação também se relaciona com um nível mais elevado de consciência de si e de consciência. Essas crianças e jovens eram capazes de simular o futuro e de perceber que as recompensas futuras seriam maiores. Por conseguinte, ser capaz de ver as consequências futuras das nossas ações requer um nível mais elevado de consciência de si.

É por isso que a finalidade dos investigadores de IA deve ser a criação de um robô com essas três características. A primeira é difícil de concretizar pois os robôs são capazes de sentir o ambiente mas não conseguem atribuir-lhe sentido. A consciência de si é mais fácil de alcançar. Mas planejar o futuro exige senso comum, uma compreensão intuitiva do que é possível, e estratégias concretas para atingir objetivos específicos.

Damo-nos conta, portanto, de que o senso comum é uma condição prévia do nível superior de consciência. Para ser capaz de simular a realidade e de prever o futuro, um robô deve começar por dominar milhões de regras do senso comum sobre o mundo que o

cerca. Mas o senso comum não basta: trata-se apenas das «regras do jogo», e não das regras da estratégia e do planejamento.

Podemos então ordenar nesta escala os diversos robôs que foram construídos até agora.

Vemos que o Deep Blue, a máquina de jogar xadrez, ocuparia um lugar muito inferior. É capaz de vencer o campeão mundial de xadrez, mas não consegue fazer mais nada. É capaz de executar uma simulação da realidade, mas só para jogar xadrez. Não consegue executar simulações de outras realidades. Isto é válido para muitos dos maiores computadores do mundo. Distinguem-se na simulação da realidade de um objeto, como por exemplo a modelização de uma detonação nuclear, os padrões do vento em torno de um avião a jato, ou o clima. Executam simulações da realidade muito melhor do que um ser humano, mas também são lamentavelmente unidimensionais e, portanto, inúteis no que toca à sobrevivência no mundo real.

Neste momento, os investigadores de IA não sabem como duplicar todos esses processos num robô. A maioria ergue as mãos para os céus e afirma que as imensas redes de computadores hão-de evidenciar «fenómenos emergentes» da mesma maneira que, por vezes, a ordem brota espontaneamente do caos. Quando lhes é perguntado como esses fenómenos emergentes criarão consciência, a maioria olha para os céus.

Apesar de não sabermos como criar um robô dotado de consciência, conseguimos imaginar com o que se pareceria um robô mais avançado do que nós, graças a este referencial para medir a consciência.

Distinguir-se-iam no que toca à terceira característica: seriam capazes de executar simulações complexas do futuro muito melhor do que nós, com mais perspectivas, mais pormenores e mais profundidade. As suas simulações seriam mais precisas do que as nossas porque dominariam melhor o bom senso e as regras da Natureza, sendo, pois, mais capazes de descobrir padrões. Conseguiriam antecipar problemas que nós podemos ignorar ou dos quais não nos apercebemos. Além disso, seriam capazes de estabelecer objetivos próprios. Se esses objetivos incluíssem ajudar a humanidade, tudo correria bem. Mas se fôssemos obstáculos aos objetivos que formulassem, as consequências poderiam ser terríveis.

Surge então a próxima pergunta: num cenário destes, que aconteceria aos seres humanos?

9.2 Quando os Robôs Suplantarem os Seres Humanos

Num dos cenários, nós, pobres humanos, seremos simplesmente postos de lado como relíquias da evolução. Segundo uma lei da evolução, surgem espécies mais aptas que substituem as menos aptas, e é provável que os seres humanos se percam pelo caminho, acabando em jardins zoológicos onde as nossas criações robóticas nos irão ver. Talvez seja esse o nosso destino: dar vida a super-

robôs que nos tratarão como uma nota de rodapé embaraçosamente primitiva na sua evolução. Talvez seja esse o nosso papel na História: dar vida aos nossos sucessores evolucionários. Nesta perspectiva, o nosso papel é deixar-lhes o caminho livre.

Douglas Hofstadter confidenciou-me que talvez essa seja a ordem natural das coisas, mas que devíamos tratar esses robôs superinteligentes como tratamos os nossos filhos pois é isso que são, num certo sentido. Se conseguimos cuidar dos nossos filhos, disse-me, por que não cuidamos também de robôs inteligentes, que também são nossos filhos?

Hans Moravec reflete sobre como nos poderemos sentir inferiores perante os nossos robôs: «[...] a vida talvez pareça sem sentido se estivermos fadados a passá-la a olhar estupidamente a nossa prole ultrainteligente, enquanto ela tenta descrever-nos as suas descobertas cada vez mais espetaculares numa linguagem infantil que possamos entender.»²²

Quando atingirmos finalmente o fatídico dia em que os robôs nos superarão em inteligência, não só deixaremos de ser os seres mais inteligentes da Terra como as nossas criações talvez possam fazer cópias de si mesmas ainda mais inteligentes do que os próprios criadores. Esse exército de robôs autorreplicantes criará então intermináveis gerações de robôs, cada uma mais inteligente do que a anterior. Como os robôs conseguem teoricamente produzir gerações cada vez mais inteligentes de robôs num curto período de tempo, este processo acabará por explodir exponencialmente, até

começarem a devorar os recursos do planeta na sua ânsia insaciável de se tornarem cada vez mais inteligentes.

Num dos cenários, esta sofreguidão por uma inteligência sempre maior acabará por destruir os recursos do planeta, transformando toda a Terra num computador. Há quem imagine esses robôs superinteligentes a viajarem pelo espaço na sua busca de mais inteligência, até chegarem a outros planetas, estrelas e galáxias a fim de os converterem em computadores. Mas, como os planetas, estrelas e galáxias se encontram tão incrivelmente longe, talvez o computador possa alterar as leis da Física a fim de essa sofreguidão se mover mais depressa do que a velocidade da luz, consumindo sistemas estelares e galáxias inteiras. Alguns chegam a acreditar que poderá consumir todo o universo, tornando-o inteligente.

É a «singularidade». A palavra provém originalmente do mundo da física da relatividade, a minha especialidade, onde uma singularidade representa um ponto de gravidade infinita, do qual nada pode escapar, como um buraco negro. Uma vez que a própria luz não consegue escapar, trata-se de um horizonte para lá do qual não podemos ver.

A ideia de uma singularidade em IA foi mencionada pela primeira vez em 1958, numa conversa entre dois matemáticos. Stanislaw Ulam (que deu o passo crucial na conceção da bomba de hidrogénio) e John von Neumann. Ulam escreveu: «Uma conversa centrou-se no progresso sempre mais acelerado da tecnologia e das alterações no modo de vida humana, que parece aproximar-se de uma qualquer singularidade essencial na história da humanidade

para lá da qual as questões humanas, tal como as conhecemos, não poderão continuar.»²³ Havia décadas que circulavam versões desta ideia, mas o escritor de ficção científica e matemático Vernor Vinge ampliou-a e popularizou-a nos seus romances e ensaios.

Porém, continua por responder a questão crucial: Quando ocorrerá esta singularidade? No nosso tempo de vida? No próximo século? Nunca? Recordemos que os participantes na conferência de Asilomar, em 2009, falaram numa qualquer data compreendida entre 20 a 1000 anos a contar desse momento.

Um dos homens que se tornou porta-voz da singularidade é Ray Kurzweil, inventor e escritor de livros de grande êxito, com tendência a fazer previsões baseadas no crescimento exponencial da tecnologia. Kurzweil disse-me uma vez que, quando se observam as estrelas distantes à noite, talvez se pudessem descortinar provas cósmicas de ocorrência da singularidade numa galáxia distante. Com a sua capacidade de devorar ou reorganizar sistemas inteiros de estrelas, esta singularidade em rápida expansão devia ter deixado algumas pegadas atrás de si. (Segundo os seus opositores, estará a desencadear um fervor quase religioso em torno da singularidade; os seus defensores, no entanto, afirmam-no possuidor de uma capacidade invulgar de prever corretamente o futuro, a julgar pelos seus resultados anteriores.)

Kurzweil começou a sua carreira na revolução informática, criando empresas em diversos domínios relacionados com o reconhecimento de padrões, como a tecnologia do reconhecimento da fala, do reconhecimento ótico de caracteres e dos instrumentos

de tecla eletrônicos. Em 1999, escreveu um livro de grande êxito, *The Age of Spiritual Machines: When Computers Exceed Human Intelligence*, que previa quando os robôs nos excederiam em inteligência. Em 2005, escreveu *The Singularity is Near* e desenvolveu essas previsões. O momento fatídico em que os computadores superarão a inteligência humana processar-se-á por fases.

Até 2019, prevê Kurzweil, um computador pessoal no valor de 1000 dólares terá tanta potência bruta como um cérebro humano. Pouco depois, seremos ultrapassados pelos computadores. Em 2029, um computador pessoal no valor de 1000 dólares será mil vezes mais potente do que um cérebro humano e, em 2045, mil milhões de vezes mais inteligente do que todos os seres humanos no seu conjunto. Até os computadores pequenos excederão a capacidade de toda a humanidade.

A partir de 2045, os computadores tornar-se-ão tão avançados que farão cópias de si próprios cada vez mais inteligentes, criando uma singularidade galopante. Para satisfazer esta sofreguidão interminável de potência computacional, começarão a devorar a Terra, os asteroides, os planetas e as estrelas, chegando a afetar até a história cosmológica do próprio Universo.

Tive oportunidade de visitar Kurzweil no seu escritório nos arredores de Boston. Ao longo do corredor, veem-se os prêmios e honras que recebeu, bem como alguns dos instrumentos musicais que concebeu, que são usados por músicos de topo, como Stevie Wonder. Kurzweil explicou-me que tinha havido uma viragem na

sua vida quando, inesperadamente, lhe foi diagnosticada uma diabetes de tipo II aos trinta e cinco anos. Teve de enfrentar subitamente a perspectiva sombria de não viver o suficiente para assistir à concretização das suas previsões. Após anos de negligência, o seu corpo envelhecera de uma forma desproporcional à sua idade. Perturbado com o diagnóstico, enfrenta agora o problema da saúde pessoal com o mesmo entusiasmo e energia que dedicou à revolução informática. (Presentemente, consome mais de 100 comprimidos por dia e escreveu livros sobre a revolução na longevidade. Espera que a revolução nos robôs microscópicos seja capaz de limpar e reparar o corpo humano, permitindo-lhe viver para sempre. A sua filosofia é de que gostaria de viver o suficiente para assistir a progressos médicos capazes de prolongar indefinidamente a duração de vida. Por outras palavras, quer viver tempo suficiente para poder viver para sempre.)

Lançou-se recentemente num ambicioso plano de criação da Singularity University, sedeadada no laboratório Ames da NASA, em Bay Area, que está a preparar uma equipa de cientistas para a iminência da singularidade.

Há muitas variações e combinações destes diversos temas.

Segundo o próprio Kurzweil, «Não irá ser uma invasão de máquinas inteligentes a despontarem no horizonte. Iremos fundir-nos com esta tecnologia [...] Iremos colocar estes dispositivos inteligentes no nosso corpo e cérebro, a fim de vivermos mais tempo e com mais saúde.»²⁴

Qualquer ideia tão controversa como a singularidade está fadada a desencadear uma reação contrária. Mitch Kapor, fundador da Lotus Development Corporation, afirma que a singularidade é «o “desígnio inteligente” para pessoas com um QI de 140 [...] Esta proposta de que nos estamos a dirigir para um ponto em que tudo vai ser inimaginavelmente diferente é, em meu entender, fundamentalmente motivada por um impulso religioso. E o esbracejar frenético não mascara esse facto a meus olhos.»²⁵

Segundo Douglas Hofstadter, «É como se pegássemos em boa comida e algumas fezes de cão e as misturássemos ao ponto de ser impossível distinguir o que é bom do que é mau. É uma amálgama de lixo e de boas ideias, dificílimas de destringar, porque são pessoas inteligentes, e não estúpidas.»²⁶

Ninguém sabe o que irá acontecer, mas penso que o cenário mais provável é o seguinte.

9.3 Cenário Mais Provável: IA Amistosa

Em primeiro lugar, os cientistas irão provavelmente tomar medidas simples para garantir que os robôs não serão perigosos. Poderão, no mínimo, colocar um *chip* nos cérebros dos robôs que os desligue automaticamente se tiverem pensamentos homicidas. Nesta abordagem, todos os robôs inteligentes estarão equipados com um mecanismo de prevenção contra falhas que pode ser ligado a qualquer momento por um ser humano, sobretudo quando o robô exibe um comportamento desviante. Ao mínimo sinal de funcionamento defeituoso, uma ordem oral desligá-lo-á.

Ou, então, criar-se-ão robôs caçadores cuja função será neutralizar os robôs desviantes. Esses robôs caçadores serão especificamente concebidos para capturar os outros, possuindo uma velocidade, força e coordenação superiores. Serão concebidos para compreender os pontos fracos de qualquer sistema robótico e o modo como estes funcionam em determinadas condições. Também será possível desenvolver esta competência em seres humanos. No filme *Perigo Iminente (Blade Runner)*, um grupo de agentes com formação especial, incluindo a personagem desempenhada por Harrison Ford, domina as técnicas necessárias à neutralização de qualquer robô mal-intencionado.

Como serão necessárias muitas décadas de trabalho árduo para os robôs ascenderem lentamente na escala evolucionária, a humanidade não será apanhada desprevenida de repente nem será encaminhada para jardins zoológicos como se fosse gado. A consciência, tal como a vejo, é um processo que pode ser integrado numa escala, e não um acontecimento evolucionário súbito, e os robôs levarão muitas décadas a ascender nesta escala da consciência. Afinal, a Mãe Natureza levou milhões de anos a desenvolver a consciência humana.

Por conseguinte, os seres humanos não serão apanhados desprevenidos quando a Internet «acordar» inesperadamente ou quando os robôs começarem de repente a ter planos próprios.

Esta é a opção preferida do escritor de ficção científica Isaac Asimov: robôs nos quais, ainda na fábrica, serão incorporadas três regras que os impeçam de escapar ao controlo. Concebeu essas

famosas três leis da robótica para impedir os robôs de causarem dano a si próprios ou aos seres humanos. (Basicamente, as três leis afirmam que os robôs não podem causar dano aos seres humanos, que lhes devem obedecer e que se devem proteger a si próprios, por essa ordem.)

(Mesmo com as três leis de Asimov, há problemas quando elas entram em contradição. Por exemplo, se se cria um robô benevolente, que acontece se a humanidade faz escolhas autodestrutivas que a podem pôr em perigo? Um robô amistoso pode achar que se deve apoderar do governo para impedir a humanidade de causar dano a si própria. É o problema que Will Smith enfrenta na versão cinematográfica de *Eu, Robot*, quando o computador central decide que «se devem sacrificar alguns seres humanos e abdicar de algumas liberdades» a fim de salvar a humanidade. Para impedir um robô de nos escravizar a fim de nos salvar, houve quem defendesse que devíamos acrescentar uma lei zero às leis da robótica: os robôs não podem causar dano nem escravizar a humanidade.)

Muitos cientistas, no entanto, inclinam-se para algo a que chamam «IA amistosa», isto é, conceber robôs que sejam benignos desde o início. Como somos nós que os criamos, concebê-los-emos para desempenharem apenas tarefas úteis e benevolentes.

O termo «IA amistosa» foi lançado por Eliezer Yudkowsky, fundador do Singularity Institute for Artificial Intelligence. A «IA amistosa» difere um pouco das leis de Asimov, que são impostas aos robôs, talvez contra a sua vontade. (As leis de Asimov, impostas

do exterior, poderiam incentivar os robôs a congeminar maneiras mais inteligentes de as contornar.) Na «IA amistosa», em contrapartida, os robôs são livres de assassinar ou de destruir. Não existem regras que obriguem ao cumprimento de uma moralidade artificial. Ao invés, os robôs são concebidos desde o início para desejarem ajudar os seres humanos em vez de os destruírem. Optam por ser benevolentes.

Isto deu origem a um novo domínio chamado «robótica social», concebida para atribuir aos robôs as qualidades que os ajudarão a integrar-se na sociedade humana. Os cientistas da Hanson Robotics, por exemplo, declararam que uma das missões da sua investigação é conceber robôs que «se transformarão em seres socialmente inteligentes, capazes de amar e de merecer um lugar na família humana alargada».²⁷

No entanto, um dos problemas de todas estas abordagens reside no facto de os militares serem, de longe, os financiadores mais importantes dos sistemas de IA, e de esses robôs militares se destinarem especificamente a caçar, perseguir e matar seres humanos. É fácil imaginar futuros robôs soldados cujas missões são identificar seres humanos inimigos e eliminá-los com uma eficiência infalível. Seria então necessário tomar precauções extraordinárias para garantir que esses robôs não se virariam também contra os seus senhores. Os veículos aéreos Predator, por exemplo, operam por controlo remoto, estando sempre seres humanos a dirigir os seus movimentos, mas um dia veículos desse tipo poderão ser autónomos, capazes de seleccionar os próprios alvos e de os liquidar.

Uma deficiência de funcionamento num avião autónomo desse tipo poderia ter consequências desastrosas.

No futuro, porém, o financiamento dos robôs provirá cada vez mais do sector comercial civil, sobretudo no Japão, onde os robôs são concebidos para ajudar e não para destruir. Se esta tendência se mantiver, talvez a IA amistosa se torne uma realidade. Neste cenário, como serão o sector dos consumidores e as forças de mercado a dominar a robótica, haverá um enorme interesse comercial em investir em IA amistosa.

9.4 Fusão com Robôs

Há uma opção que está a ser explorada por Rodney Brooks, ex-diretor do famoso Laboratório de Inteligência Artificial do MIT, que tem sido um inconformista, derrubando ideias caras, mas petrificadas e injetando inovação no campo da inteligência artificial. Quando começou a trabalhar, a abordagem do topo para a base dominava na maior parte das universidades, mas o campo estagnava. Brooks fez erguer alguns sobrolhos quando apelou à criação de um exército de robôs semelhantes a insetos, que aprendiam segundo a abordagem da base para o topo, chocando contra obstáculos. Não queria criar outro robô estúpido e pesado, que levasse horas a atravessar uma sala. Ao invés, criou «insetoides» ou «insetobôs»²⁸, praticamente sem programação, mas capazes de aprender rapidamente a andar e navegar em torno de obstáculos por tentativas e erros. Previu o dia em que os seus robôs explorariam o sistema solar, esbarrando com coisas ao fazê-lo. Foi uma ideia estranha, proposta no seu ensaio «*Fast, Cheap*

and Out of Control», mas a sua abordagem acabou por abrir muitas novas avenidas. Um subproduto da sua ideia é o Mars Rover, que neste momento percorre apressadamente a superfície do Planeta Vermelho. Não espanta que Brooks também tenha sido presidente da iRobot, a empresa que comercializa nos Estados Unidos aspiradores domésticos com aspeto de insetos.

Em seu entender, um dos problemas reside no facto de os investigadores em inteligência artificial seguirem as modas, adotando o paradigma do momento, em vez de pensarem de maneira inovadora. Recorda, por exemplo: «Quando era miúdo, tive um livro que descrevia o cérebro como uma rede telefónica. Os livros anteriores descreviam-no como um sistema hidrodinâmico ou uma máquina a vapor. A seguir, na década de 1960, tornou-se um computador digital e, na década de 1980, um computador digital maciçamente paralelo. É provável que haja por aí um livro infantil que o compara com a World Wide Web...»²⁹

Alguns historiadores, por exemplo, comentaram que a análise que Sigmund Freud fez da mente era influenciada pelo aparecimento da máquina a vapor. A disseminação dos caminhos-de-ferro pela Europa, entre meados e finais da década de 1800, teve repercussões profundas na maneira de pensar dos intelectuais. Na imagem de Freud, havia na mente fluxos de energia em constante competição com outros fluxos, como os tubos de vapor numa máquina. A interação contínua entre o superego, o id e o ego assemelhava-se à interação contínua entre os tubos de vapor numa locomotiva. E a ideia de que a repressão desses fluxos de energia

podia criar neuroses é análoga ao modo como a energia a vapor pode ser explosiva se for reprimida.

Segundo Marvin Minsky, houve outro paradigma que prejudicou este domínio durante anos. Como muitos investigadores de IA são físicos de formação, existiria algo a que chama «inveja da física», isto é, o desejo de descobrir o tema unificador, subjacente a toda a inteligência. Em Física, desejamos seguir Einstein para reduzir o universo físico a um punhado de equações unificadoras, descobrindo talvez uma equação com cerca de 2,5cm de comprimento capaz de resumir o universo numa única ideia coerente. Minsky crê que esta inveja levou os investigadores de IA a procurarem o tema unificador da consciência, coisa que, em seu entender, não existe. A evolução terá improvisado, ao acaso, um conjunto de técnicas a que chamamos, coletivamente, consciência. Se desmontarmos o cérebro, encontramos uma coleção de minicérebros, cada um deles concebido para desempenhar uma tarefa específica. Minsky chama-lhe «sociedade de mentes»: a consciência será a soma de muitos algoritmos e técnicas autónomas que a Natureza descobriu há milhões de anos.

Rodney Brooks também andava à procura de um paradigma semelhante, mas de um que ainda não tivesse sido totalmente explorado. Não tardou a dar-se conta de que a Mãe Natureza e a evolução já tinham resolvido muitos desses problemas. Um mosquito, por exemplo, com escassas centenas de milhares de neurónios, tem um rendimento superior ao do maior sistema robótico militar. Ao contrário dos nossos veículos aéreos telecomandados, os mosquitos, com cabeças mais pequenas do que

a de um alfinete, conseguem autonomamente navegar em torno de obstáculos e descobrir comida e pares. Por que não aprender com a natureza e a Biologia? Se seguirmos a escala evolucionária, ficaremos a saber que os insetos e os ratos não possuíam no seu cérebro regras de lógica programadas. Foi por tentativas e erros que enfrentaram o mundo e passaram a dominar a arte da sobrevivência.

Neste momento, Brooks segue outra ideia herética, contida no seu ensaio «*The Merger of Flesh and Machines*». Chama a atenção para o facto de os velhos laboratórios do MIT, que costumavam conceber componentes de silício para robôs industriais e militares, estarem agora a ser esvaziados, abrindo caminho a uma nova geração de robôs, feitos quer de tecidos vivos quer de silício e aço. Imagina uma geração inteiramente nova de robôs que associará sistemas biológicos e eletrónicos a fim de criar arquiteturas inteiramente novas para robôs.

Segundo Brooks, «Cerca de 2100, haverá robôs muito inteligentes em toda a parte, no nosso dia-a-dia. Mas não estaremos separados deles — ao invés, seremos parcialmente robôs e estaremos ligados a eles.»³⁰

Em seu entender, este progresso far-se-á por fases. Neste momento, a revolução faz-se nas próteses, inserindo-se eletrónica diretamente no corpo humano para criar substitutos realistas da audição, da visão e de outras funções. Por exemplo, a cóclea artificial revolucionou o campo da audiologia, devolvendo aos surdos o dom da audição. Essas cócleas artificiais funcionam ligando

hardware eletrónico ao *wetware*³¹ biológico, isto é, aos neurónios. O implante coclear possui vários componentes. Existe um microfone colocado no exterior da orelha, que capta e processa ondas sonoras, transmitindo os sinais por rádio para o implante cirurgicamente introduzido no ouvido. O implante recebe as mensagens de rádio e converte-as em correntes elétricas que são enviadas através de elétrodos para o ouvido. A cóclea reconhece esses impulsos elétricos e envia-os para o cérebro. Esses implantes podem utilizar vinte e quatro elétrodos e processar meia dúzia de frequências, suficientes para reconhecer a voz humana. Neste momento, já há no mundo 150 000 pessoas com implantes cocleares.

Vários grupos estão a explorar formas de ajudar os cegos, criando visão artificial através da ligação de uma câmara ao cérebro humano. Um dos métodos consiste em inserir um *chip* de silício na retina da pessoa e ligar o *chip* aos neurónios da retina. Outro é ligar o *chip* a um cabo especial ligado à parte de trás do crânio, onde o cérebro processa a visão. Pela primeira vez na História, estes grupos têm sido capazes de devolver alguma visão aos cegos. Há doentes que conseguiram ver 50 *pixels* a iluminarem-se à sua frente. Os cientistas acabarão por ser capazes de aperfeiçoar esta técnica para que os doentes possam ver milhares de *pixels*.

Os doentes conseguem ver fogos-de-artifício, os contornos das próprias mãos, objetos e luzes brilhantes, a presença de automóveis e pessoas, e os contornos de objetos. «Nos jogos de basebol da Pequena Liga, consigo ver onde estão o recetor, o batedor e o árbitro». diz Linda Morfoot, uma das pessoas sujeitas ao teste.³²

Até agora, há trinta doentes com retinas artificiais dotadas de sessenta elétrodos, mas o Projeto de Retina Artificial do Departamento de Energia, sediado na Universidade da Carolina do Sul, já está a planear um novo sistema com mais de 200 elétrodos. Também já está a ser estudado um dispositivo com 1000 elétrodos (embora um número excessivo de elétrodos num *chip* possa causar sobreaquecimento da retina). Neste sistema, uma câmara miniatural montada nos óculos de uma pessoa cega tira fotografias e envia-as por ondas radioelétricas para um microprocessador, instalado num cinto, que transmite a informação para o *chip* colocado diretamente na retina. Esse *chip* envia impulsos minúsculos diretamente para os nervos retinianos que ainda estão ativos, ultrapassando assim as células retinianas afetadas.

9.5 A Mão Robótica de a Guerra das Estrelas

Recorrendo a melhoramentos mecânicos, é possível imitar as façanhas da ficção científica, incluindo a mão robótica de *A Guerra das Estrelas* e a visão de raios X do *Super-Homem*. Em *O Império Contra-Ataca*, a mão de Luke Skywalker é decepada por um sabre de luz manipulado pelo diabólico Darth Vader, seu pai, mas os cientistas dessa galáxia distante não tardam a criar uma nova mão mecânica, com dedos capazes de tocar e sentir.

Embora possa parecer ficção científica, a verdade é que já se faz. Deu-se um passo significativo em Itália e na Suécia, quando cientistas construíram realmente uma mão robótica capaz de «sentir». Robin Ekenstam, um jovem de vinte e dois anos cuja mão direita foi amputada para remover um tumor canceroso, consegue

controlar o movimento dos seus dedos mecânicos e sentir a reação. Os médicos ligaram os nervos do braço de Ekenstam aos *chips* contidos na sua mão mecânica, para que pudesse controlar com o cérebro os movimentos dos dedos. Esta «mão inteligente» artificial possui quatro motores e quarenta sensores. O movimento dos seus dedos mecânicos é transmitido ao cérebro, para que haja retroação. Deste modo, Robin consegue controlar e também «sentir» o movimento da sua mão. Como a retroação é uma das características essenciais do movimento do corpo, isto poderá revolucionar o modo como tratamos amputados com próteses dos membros.

Segundo Ekenstam, «É maravilhoso. Tenho uma sensação que há muito tempo não tinha. Agora voltou. Se agarro com força em alguma coisa, consigo senti-la nas pontas dos dedos, o que é estranho, porque já não os tenho.»³³

Um dos investigadores, Christian Cipriani, da Scuola Superiore Sant'Anna, diz: «Em primeiro lugar, o cérebro controla a mão mecânica sem qualquer contração muscular. A seguir, a mão será capaz de retroagir com o doente a fim de ele sentir. Como se fosse uma verdadeira mão.»

Este desenvolvimento é significativo porque representa a possibilidade de os seres humanos virem a controlar sem esforço membros mecânicos, como se fossem de carne e osso. Em vez de aprenderem enfadonhamente a mover braços e pernas metálicas, as pessoas tratarão esses apêndices mecânicos como se fossem reais, sentindo cada cambiante dos movimentos dos membros por intermédio de mecanismos de retroação eletrónica.

Isto também comprova a teoria segundo a qual o cérebro é extremamente plástico, e não rígido, estabelecendo permanentemente conexões à medida que aprende novas tarefas e se ajusta a novas situações. Por conseguinte, o cérebro será adaptável ao ponto de integrar qualquer novo apêndice ou órgão sensorial. Estes poderão estar ligados ao cérebro em diferentes localizações, e o cérebro limitar-se-á a «aprender» a controlá-los. Se for assim, o cérebro pode ser visto como um dispositivo modular, capaz de ligar e controlar diferentes apêndices e sensores provenientes de diferentes dispositivos. Pode esperar-se este tipo de comportamento se o nosso cérebro for uma espécie de rede neuronal que estabelece novas conexões e circuitos neuronais sempre que aprende uma nova tarefa, seja ela qual for.

Segundo Rodney Brooks, «Nos próximos dez a vinte anos, processar-se-á uma mudança cultural, durante a qual adotaremos no nosso corpo a tecnologia robótica, o silício e o aço, para melhorar o que for possível e para melhor compreender o mundo.»³⁴ Ao analisar o progresso registado na Universidade de Brown e na Universidade Duke na ligação direta do cérebro a um computador ou a um braço mecânico, conclui: «Poderemos vir a instalar diretamente no nosso cérebro uma ligação sem fios à Internet.»

Segundo Brooks, durante a próxima fase, dar-se-á uma fusão entre o silício e as células vivas com o objetivo não só de curar as enfermidades do corpo, mas também de melhorar lentamente as nossas capacidades. Por exemplo, se os atuais implantes cocleares e retinianos conseguirem restaurar a audição e a visão, os futuros implantes poderão proporcionar-nos capacidades sobre-humanas.

Seremos capazes de ouvir sons que só os cães podem ouvir ou de ver raios ultravioletas, infravermelhos e raios X.

Talvez seja possível aumentar também a nossa inteligência. Brooks cita investigações em que se acrescentou ao cérebro de ratazanas camadas extras de neurónios num momento crucial do seu desenvolvimento. A verdade é que melhoraram as capacidades cognitivas dessas ratazanas. Prevê um momento no futuro próximo em que a inteligência do cérebro humano melhorará também por intermédio de um processo semelhante. Mais à frente, veremos que os biólogos já isolaram um gene em ratazanas a que os média chamaram o «gene do rato inteligente». Com a adição desse gene, os ratos terão mais memória e capacidades de aprendizagem.

Brooks prevê um momento, em meados do século, em que serão possíveis melhoramentos aparentemente extravagantes do corpo, que nos proporcionarão capacidades muito para além das de um vulgar ser humano. «Dentro de cinquenta anos, poderemos assistir a alterações radicais do corpo humano por meio de modificações genéticas.» Quando a estas se acrescentarem melhoramentos eletrónicos, «a fauna humana expandir-se-á de maneiras inimagináveis nos dias de hoje [...] Deixaremos de estar confinados à evolução darwiniana», afirma.³⁵

Porém, qualquer coisa poderá ir longe demais, como é evidente. Até onde devemos ir na fusão com as nossas criações robóticas antes de algumas pessoas se revoltarem e a acharem repulsiva?

9.6 Substitutos e Avatares

Uma das maneiras de nos fundirmos com robôs, sem alterar o corpo humano, é a criação de substitutos ou avatares. No filme *Os Substitutos*, com Bruce Willis, passado em 2017, alguns cientistas descobriram uma maneira de as pessoas controlarem robôs como se estivessem dentro deles, permitindo-lhes viver em corpos perfeitos. O robô responde a todas as ordens, e a pessoa também vê e sente tudo que o robô vê e sente. Enquanto o seu corpo mortal se debilita e murcha, a pessoa consegue controlar os movimentos do seu robô substituto, que tem poderes sobre-humanos e uma forma perfeita. O filme complica-se porque as pessoas preferem viver como robôs belos, elegantes e superpoderosos, abandonando os seus corpos em putrefação, que são convenientemente escondidos. Com efeito, toda a humanidade opta por se tornar robótica, em vez de enfrentar a realidade.

No filme *Avatar*, a situação vai mais longe. Em vez de vivermos como robôs perfeitos, poderemos, em 2154, viver como alienígenas. No filme, os nossos corpos são colocados em casulos, que nos permitem controlar o movimento de corpos alienígenas especialmente clonados. Num certo sentido, são-nos dados corpos completamente novos para vivermos num planeta novo. Deste modo, podemos comunicar melhor com populações alienígenas nativas de outros planetas. A história adensa-se quando um trabalhador decide abandonar a sua humanidade e viver como um alienígena, protegendo-os dos mercenários.

Estes substitutos e avatares não são possíveis neste momento, mas poderão sê-lo no futuro.

Recentemente, o robô ASIMO foi programado tendo em vista uma nova ideia: a teledetecção. Na Universidade de Quioto, alguns seres humanos foram treinados para controlar o movimento mecânico de robôs através de sensores cerebrais. Por exemplo, utilizando um capacete de EEG, os estudantes podem mover os braços e pernas de ASIMO limitando-se a pensar neles. De momento, são possíveis quatro movimentos distintos dos braços e da cabeça. Isto pode abrir a porta a outro domínio da IA: robôs controlados pela mente.

Embora se trate de uma demonstração grosseira do controlo da mente sobre a matéria, nas próximas décadas deverá ser possível aumentar o conjunto de movimentos que conseguimos controlar num robô, e também obter retroação, para que possamos «sentir» com as nossas novas mãos robóticas. Como os óculos e as lentes de contato nos permitirão ver o que os robôs veem, talvez possamos vir a ter o controlo total dos movimentos do corpo.

Isto também poderá minorar o problema da imigração no Japão. Será possível ter trabalhadores localizados em diferentes países a controlarem robôs a milhares de quilómetros de distância por intermédio de sensores cerebrais. Portanto, a Internet, além de transportar os pensamentos de trabalhadores intelectuais, também poderá transportar os pensamentos de trabalhadores manuais e traduzi-los em movimento físico. Isto poderá querer dizer que os

robôs passarão a fazer parte integrante de qualquer país que lide com encargos de saúde em ascensão e escassez de trabalhadores.

O controlo dos robôs por teledeteção também poderá aplicar-se noutros domínios. Em qualquer meio perigoso (por exemplo, por baixo de água, perto de linhas de alta voltagem, em incêndios), poderão ser utilizados robôs controlados por pensamentos humanos. Também será possível ligar diretamente robôs submarinos a seres humanos, para que estes os possam controlar pelo pensamento. Como os substitutos terão superpoderes, serão capazes de caçar criminosos (a não ser que os criminosos também disponham de substitutos superpoderosos). Teremos todas as vantagens em nos fundirmos com robôs sem alterar em nada o nosso corpo.

Uma situação destas poderia revelar-se útil na exploração do espaço, quando tivéssemos de gerir uma base permanente na Lua. Os nossos substitutos poderiam desempenhar todas as tarefas perigosas de manter uma base na Lua, enquanto os astronautas permaneceriam em segurança na Terra. Os astronautas teriam a superforça e os superpoderes dos robôs quando explorassem uma paisagem extraterrestre perigosa. (Contudo, isto não funcionaria se os astronautas estivessem na Terra a controlar substitutos em Marte, porque os sinais de rádio levam 40 minutos a ir da Terra a Marte e voltar; mas funcionaria se os astronautas estivessem em segurança dentro de uma base permanente nesse planeta, enquanto os substitutos saíam e desempenhavam tarefas perigosas na superfície marciana.)

9.7 Até Onde Iria a Fusão com Robôs?

O pioneiro da robótica Hans Moravec vai mais adiante e imagina uma versão extrema da situação: transformamo-nos nos robôs que criámos. Explicou-me como nos poderíamos fundir com as nossas criações robóticas, sujeitando-nos a uma operação ao cérebro que substituiria cada neurónio do nosso cérebro por um transistor no interior de um robô. A operação iniciar-se-ia quando nos deitássemos ao lado de um corpo robótico sem cérebro. Um cirurgião robótico tiraria cada aglomerado de matéria cinzenta do nosso cérebro, duplicá-la-ia transistor a transistor, ligaria os neurónios aos transístores e colocaria estes últimos no crânio vazio do robô. À medida que fossem sendo duplicados no robô, os aglomerados de matéria cinzenta seriam postos de lado. Estaríamos plenamente conscientes durante esta operação delicada. Parte do nosso cérebro estaria dentro do nosso velho corpo, mas a outra parte, feita de transístores, estaria no nosso novo corpo robótico. Terminada a operação, o nosso cérebro teria sido inteiramente transferido para o corpo de um robô. Não só teríamos um corpo robótico, como também beneficiaríamos do facto de sermos robôs: a imortalidade em corpos super-humanos, de aparência perfeita. Isto não será possível no século XXI, mas tornar-se-á uma opção no século seguinte.

No último cenário, livrar-nos-emos inteiramente dos nossos corpos desajeitados e transformar-nos-emos em meros programas de *software* que codificam a nossa personalidade. «Descarregá-la-emos» para um computador. Se alguém carregar num botão com o nosso nome, o computador comporta-se como se estivéssemos

dentro da sua memória, pois as características da nossa personalidade estão contidas em código dentro dos seus circuitos. Tornamo-nos imortais, mas passamos o tempo fechados no interior de um computador, interagindo com outras «pessoas» (isto é, outros programas de *software*) num imenso ciberespaço/realidade virtual. A nossa existência corpórea será posta de lado e substituída pelo movimento dos eletrões dentro desse gigantesco computador. Neste quadro, o nosso destino derradeiro é acabarmos como linhas de código nesse vasto programa informático, com todas as sensações aparentes de corpos físicos a dançarem num paraíso virtual. Partilharemos pensamentos profundos com outras linhas de código, vivendo essa grandiosa ilusão. Realizaremos façanhas tremendas e heroicas, conquistando novos mundos, sem termos consciência de que somos apenas eletrões a dançarem no interior de um computador. Até que alguém o desligue, como é evidente.

No entanto, um dos problemas destes cenários é o Princípio do Homem das Cavernas. Como referimos atrás, a arquitetura dos nossos cérebros é a de um caçador-recolector primitivo que surgiu em África há mais de 100 000 anos. Os nossos desejos, ânsias e apetites mais profundos forjaram-se nas savanas africanas quando fugíamos de predadores, caçávamos, procurávamos alimentos nas florestas. acasalávamos e descansávamos junto da fogueira.

Uma das nossas principais diretivas, enraizada no tecido dos nossos pensamentos, é ter bom aspeto, sobretudo perante o sexo oposto e os nossos pares. Uma enorme parte do rendimento de que dispomos é dedicada ao nosso aspeto, a seguir ao entretenimento. É por isso que se tem registado um crescimento explosivo na

cirurgia plástica, no Botox, nos produtos de higiene e de beleza, no vestuário sofisticado, bem como na aprendizagem de novos passos de dança, na musculação, na compra dos últimos êxitos musicais e na manutenção da forma física. Tudo isto somado representa uma enorme porção das despesas correntes, o que, por sua vez, gera uma larga fração da economia dos Estados Unidos.

Tudo isto significa que, mesmo podendo criar corpos perfeitos quase imortais, é provável que resistamos ao desejo de corpos robóticos, se nos assemelharmos a robôs desajeitados com implantes a penderem das nossas cabeças. Ninguém quer parecer um refugiado de um filme de ficção científica. A termos corpos melhorados, eles que nos tornem mais atraentes para o sexo oposto e mais famosos entre os nossos pares, ou então rejeitamo-los. Haverá algum adolescente que queira um corpo melhorado, mas que não seja «fixe»?

Alguns escritores de ficção científica deleitaram-se com a ideia de que nos desligaremos do nosso corpo e existiremos como seres imortais dotados de uma inteligência pura, vivendo dentro de um qualquer computador e tendo pensamentos profundos. Mas quem quereria viver assim? Talvez os nossos descendentes não queiram resolver equações diferenciais que descrevam um buraco negro. Pode ser que, no futuro, as pessoas queiram passar mais tempo a ouvir música rock à velha maneira em vez de calcular os movimentos de partículas subatômicas enquanto vivem no interior de um computador.

Greg Stock, da UCLA, vai mais longe e descobre que há poucas vantagens em ter cérebros ligados a um supercomputador. «Quando tento pensar no que posso ganhar com uma ligação funcional entre o meu cérebro e um supercomputador, chego a um impasse se insisto em dois critérios: o de os benefícios poderem ser facilmente alcançados por outro procedimento não invasivo, e o de deverem justificar os inconvenientes da cirurgia ao cérebro.»³⁶

Por conseguinte, embora existam muitas opções possíveis para o futuro, creio que é mais provável que construamos robôs benevolentes e amistosos, que melhorem as nossas próprias capacidades até certo ponto, mas que sigamos o Princípio do Homem das Cavernas. Adotaremos a ideia de viver temporariamente a vida de um super-robô através de substitutos, mas resistiremos à ideia de viver permanentemente dentro de um computador ou de alterar o nosso corpo, tornando-o irreconhecível.

9.8 Barreiras à Singularidade

Ninguém sabe quando os robôs se poderão tornar tão inteligentes como os seres humanos, mas a minha previsão pessoal é de que será em finais do século, e isto por várias razões.

Em primeiro lugar, os avanços estonteantes na tecnologia informática devem-se à lei de Moore. Como esses avanços começarão a abrandar e até poderão parar cerca de 2020-25, não é claro se poderemos calcular com fiabilidade a velocidade dos computadores para lá dessa data. (Veja o Capítulo 4 para mais informações sobre a Era do pós-silício.) Neste livro, parti do

princípio de que a potência dos computadores continuará a crescer, mas a um ritmo mais lento.

Em segundo lugar, mesmo que um computador possa calcular a velocidades fantásticas como 10^{16} operações por segundo, isso não o torna necessariamente mais inteligente do que nós. Por exemplo, o Deep Blue, a máquina de jogar xadrez da IBM, conseguia analisar 200 milhões de posições por segundo, vencendo o campeão mundial. Mas, apesar da sua velocidade e capacidade computacional, o Deep Blue não pode fazer mais nada. A verdadeira inteligência é muito mais do que calcular posições em xadrez.

Os sábios autistas, por exemplo, conseguem realizar milagrosas façanhas de memorização e cálculo, mas têm dificuldade em apertar os atacadores dos sapatos, em arranjar trabalho ou em funcionar em sociedade. O falecido Kim Peek, tão notável que o filme *Encontro de Irmãos* se baseou na sua vida extraordinária, decorara na íntegra 12 000 livros e conseguia fazer cálculos que só um computador podia verificar. No entanto, tinha um QI de 73, era-lhe difícil manter uma conversa e necessitava de apoio constante para sobreviver. Sem o apoio do pai, não conseguia fazer quase nada. Por outras palavras, os computadores super-rápidos do futuro assemelhar-se-ão a sábios autistas, capazes de decorar grandes quantidades de informação, mas não muito mais — não conseguirão sobreviver sozinhos no mundo real.

Mesmo que os computadores comecem a ter uma velocidade de processamento semelhante à do cérebro, ainda lhes faltará o *software* e a programação necessários a que tudo funcione. Atingir

a velocidade de processamento do cérebro não é mais do que o princípio.

Em terceiro lugar, ainda que seja possível construir robôs inteligentes, não é claro que um robô consiga fazer uma cópia de si mesmo mais inteligente do que o original. A matemática subjacente aos robôs autorreplicantes foi inicialmente desenvolvida pelo matemático John Von Neumann, que inventou a teoria dos jogos e ajudou a desenvolver o computador eletrónico. Foi pioneiro na questão de determinar o número mínimo de hipóteses antes de uma máquina conseguir criar uma cópia de si própria. Contudo, nunca abordou a questão de saber se um robô é capaz de fazer uma cópia de si próprio mais inteligente do que o original. De facto, a simples definição de «inteligente» já é problemática, pois não existe nenhuma aceção universalmente aceite.

Decerto que um robô conseguirá criar uma cópia de si próprio com mais memória e capacidade de processamento, limitando-se a fazer uma atualização e a acrescentar mais *chips*. Mas isso significa que a cópia é mais inteligente, ou apenas mais rápida? Uma máquina de calcular, por exemplo, é milhões de vezes mais rápida do que um ser humano, com muito mais memória e velocidade de processamento, mas decerto que não é mais inteligente. Portanto, a inteligência é mais do que memória e velocidade.

Em quarto lugar, embora o *hardware* possa progredir exponencialmente, pode não acontecer o mesmo ao *software*. Enquanto o *hardware* tem crescido devido à possibilidade de incrustar numa placa transístores cada vez mais pequenos, o

software é totalmente diferente pois exige que um homem se sente com um lápis e um papel, e que escreva em código. E é aí que está o engarrafamento: no ser humano.

O *software*, tal como toda a criatividade humana, progride a um ritmo desigual, com intuições brilhantes e longos períodos de trabalho enfadonho e estagnação. Ao contrário da simples incrustação de mais transístores no silício, que tem aumentado de forma regular, o *software* depende da natureza imprevisível da criatividade e dos caprichos humanos. Por conseguinte, há que encarar com reservas todas as previsões relativas a um crescimento constante e exponencial da potência dos computadores. Uma cadeia não é mais forte do que o seu elo mais fraco, e aqui o elo mais fraco é o *software* e a programação feitos por seres humanos.

Frequentemente, o progresso da engenharia cresce exponencialmente, sobretudo quando se trata apenas de alcançar maior eficiência, como incrustar um número cada vez maior de transístores numa placa de silício. Porém, no que toca à investigação básica, que requer sorte, competência e pinceladas inesperadas de génio, o progresso assemelha-se mais ao «equilíbrio pontuado», com longos períodos de tempo em que pouco acontece e com avanços repentinos que mudam todo o terreno. Se analisarmos a história da investigação básica, de Newton passando por Einstein até aos nossos dias, damo-nos conta de que o equilíbrio pontuado descreve com mais exatidão o modo como o progresso ocorre.

Em quinto lugar, como vimos a propósito da investigação para a retroengenharia do cérebro, os custos tremendos e a simples dimensão do projeto adiá-lo-ão provavelmente até meados do século. E depois, atribuir um sentido a todos esses dados poderá levar ainda mais décadas, postergando a retroengenharia do cérebro para muito mais tarde.

Em sexto lugar, é provável que não haja um «big bang» quando as máquinas se tornarem subitamente conscientes. Como vimos antes, se considerarmos que a consciência inclui a capacidade de fazer planos para o futuro, simulando-o, existe um espectro de consciência. As máquinas ascenderão lentamente por essa escala, dando-nos muito tempo para nos prepararmos. Como, em meu entender, isto acontecerá cerca de finais deste século, dispomos de muito tempo para discutir as diversas opções ao nosso dispor. Além disso, a consciência nas máquinas terá provavelmente as suas peculiaridades. Portanto, o que se desenvolverá primeiro será uma forma de «consciência de silício» e não a pura consciência humana.

No entanto, isto suscita outra questão. Embora existam maneiras mecânicas de melhorar o nosso corpo, também há maneiras biológicas de o fazer. Com efeito, como o impulso global da evolução é a seleção de melhores genes, por que não atalhar milhões de anos de evolução e assumir o controlo do nosso destino genético?

¹ Bíblia Sagrada, tradução em português corrente, Lisboa: Sociedade Bíblica de Portugal, 1993. (N. da T.)

² John Markoff, *New York Times*, 25 de Julho de 2009, p. A1, www.nytimes.com/2009/07/26/science/26robot.html?scp=I&sq=Scientists Worry Machines May Outsmart Man&st=cse.

3 Ibid.

4 No original, nerds.

5 Kaku, p. 75.

Visões: Como a Ciência Irá Revolucionar o Século XXI, trad. de Maria Caralho, Lisboa: Bizâncio, 1998, p. 120, nota 1. (N. da T.)

6 Crevier, p. 109.

7 Paul W. Abrahams, «A World Without Work», in Denning e Metcalfe, p. 136.

8 Richard Strozzi Heckler, «Somatics in Cyberspace», in Denning, p. 281.

9 Sheffield *et al.*, p. 30.

10 Kurzweil, p. 267.

11 IFR Statistical Department (Frankfurt: International Federation of Robotics, 2007).

12 Fred Hapgood, «Reverse Engineering the Brain», *Technology Review*, 11 de Julho de 2006, www.technologyreview.com/read/article.aspx?id=17111

13 John M. Harlow, M.D., «Passage of an Iron Rod Through the Head», *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 11 de Maio de 1999, p.281-83, www.neuro.psychiatryonline.org/cgi/content/full/11/2/281

14 Jonathan Fildes, «Artificial Brain 10 Years Away», BBC News, 22 de Julho de 2009, <http://news.bbc.co.uk/2/hi/8164060.stm>

15 Jason Palmer, «Simulated Brain Closer to Thought», BBC News, 22 de Abril de 2009, <http://news.bbc.co.uk/2/hi/sci/tech/8012496.stm>

16 Douglas Fox, «IBM Reveals the Biggest Artificial Brain of All Time», *Popular Mechanics*, 18 de Dezembro de 2009, www.popularmechanics.com/technology/engineering/extreme-machines/4337190

17 Sally Adee, «Reverse Engineering the Brain», *IEEE Spectrum*, Junho de 2008, <http://spectrum.ieee.org/biomedical/ethics/reverse-engineering-the-brain/o>.

18 Vernor Vinge, «What Is the Singularity?», comunicação apresentada no simpósio VISION-21 patrocinado pelo Lewis Research Center da NASA e pelo Ohio Aerospace Institute, 30-31 de Março de 1993. Uma versão com ligeiras modificações foi publicada em *Whole Earth Review*, Inverno de 1993, <http://mindstalk.net/vinge/vinge-sing.html>

19 Tom Abate, «Smarter Than Thou? Stanford Conference Ponders a Brave New World with Machines More Powerful Than Their Creators», *San Francisco Chronicle*, 12 de Maio de 2006, http://articles.sfgate.com/2006-05-12/business/17293318_1_ray-kurzweil-machines-artificial-intelligence

20 Kurzweil, p. 376.

21 <http://consc.net/mindpapers.com>

22 Sheffield, p. 38.

23 Kurzweil, p. 10

24 Abate, *San Francisco Chronicle*, 12 de Maio de 2006.

25 Brian O'Keefe, «The Smartest (or the Nuttiest) Futurist on Earth», *Fortune*, 2 de Maio de 2007, http://money.cnn.com/magazines/fortune/fortune_archive/2007/05/14/100008848/

26 Greg Ross, «An Interview with Douglas R. Hofstadter», *American Scientist*, Janeiro de 2007, www.americanscientist.org/bookshelf/pub/douglas-r-hofstadter

27 P. W. Singer, «Gaming the Robot Revolution», *Slate*, 21 de Maio de 2009. www.slate.com/id/2218834/

28 No original, *bugbots*.

29 Rodney A. Brooks, «Making Living Systems» in John Brockman. Ed., *Science at the Edge: Conversations with the Leading Scientific Thinkers of Today* (Nova Iorque: Sterling, 2008), p. 250.

30 Rodney A. Brooks, «Flesh and Machines», in Denning, p. 63.

31 De *wet*, húmido, e *ware*, material, produto, artigo.

³² Pam Belluck, «Burst of Technology Helps Blind to See», *New York Times* 27 de Setembro de 2009, p. A1, www.nytimes.com/2009/09/27/health/research/27eye.html?_r=1&scp=1&sgq=burst of technology &st=cse

³³ BBC-TV, 18 de Outubro de 2009.

³⁴ Rodney A. Brooks, «The Merger of Flesh and Machines», in John Brockman, ed., *The Next Fifty Years* (Nova Iorque: Vintage, 2002), p. 189.

³⁵ *Ibid.* p., 191-192.

³⁶ Stock, p. 23.

CAPÍTULO 3

O Futuro da Medicina

— Perfeição e Não Só

Na verdade, ninguém tem coragem de o dizer, mas se conseguíssemos
criar seres humanos melhores por sabermos como
acrescentar genes, por que não fazê-lo?

— JAMES WATSON, PRÊMIO NOBEL

Acho que os nossos corpos irão deixar de ter segredos durante
este século. Portanto, é provável que tudo aquilo em que conseguirmos
pensar se concretize.

— DAVID BALTIMORE, PRÊMIO NOBEL

Não acho que seja para já, mas está próximo. Infelizmente, faço
parte da última geração a morrer.

— GERALD SUSSMAN

OS DEUSES DA MITOLOGIA possuíam o poder supremo:
o domínio sobre a vida e a morte, a capacidade de curar
os doentes e de prolongar a vida. Nas nossas orações
aos deuses, o que pedíamos em primeiro lugar era que nos
libertassem da doença.

As mitologias, grega e romana, contam-nos a história de Eos, a linda deusa da madrugada, que um dia se apaixonou por um belo mortal, Títono. A deusa possuía um corpo perfeito e era imortal, mas Titono acabaria por envelhecer e morrer. Decidida a salvar o amante desse destino fatídico, suplicou a Zeus, pai dos deuses, que concedesse a Títono o dom da imortalidade para que pudessem passar a eternidade juntos. Compadecido dos amantes, Zeus acedeu ao pedido.

Porém, como Eos, na sua pressa, se esquecera de pedir a juventude eterna para o amante, ele tornou-se imortal, mas o seu corpo foi envelhecendo. Incapaz de morrer, foi-se tornando cada vez mais decrepito e viveu para sempre na dor e no sofrimento.

Por conseguinte, eis o desafio que a ciência do século XXI enfrenta. Os cientistas estão neste momento a decifrar o livro da vida, que inclui o genoma humano completo e nos promete progressos milagrosos na compreensão do envelhecimento. Mas o prolongamento da vida sem saúde, nem vigor, pode ser um castigo eterno, como Titono descobriu tragicamente.

Em finais deste século, também nós disporemos de grande parte deste poder mítico sobre a vida e a morte, e não nos limitaremos a usá-lo para curar os doentes, mas também para melhorar o corpo humano e até para criar novas formas de vida. Não será através de preces e encantamentos, mas do milagre da Biotecnologia.

Um dos cientistas que está a desvendar os segredos da vida é Robert Lanza, um homem apressado. Pertence a uma nova casta de biólogos, jovens, enérgicos e cheios de ideias novas — tantos progressos a fazer e tão pouco tempo! Lanza está na crista da onda da revolução biotecnológica. À semelhança de uma criança numa loja de brinquedos, delicia-se a mergulhar em território desconhecido, fazendo progressos numa vasta gama de assuntos quentes.

Há uma ou duas gerações, o ritmo era muito diferente. Era possível descobrir biólogos a examinarem placidamente vermes e micróbios obscuros, a estudarem pacientemente a sua anatomia pormenorizada e a angustiarem-se com os nomes latinos que lhes iriam dar.

Lanza não.

Conheci-o num estúdio radiofónico num dia em que o ia entrevistar e fiquei logo impressionado com a sua juventude e criatividade sem limites. Como era habitual, andava a saltar de experiência para experiência. Contou-me a maneira invulgar como começou a trabalhar neste domínio tão acelerado. Provém de uma modesta família da classe trabalhadora do Sul de Boston, onde poucas pessoas frequentam a universidade. Mas, durante o ensino secundário, soube das espantosas notícias sobre a revelação do mistério do ADN. Ficou agarrado. Decidiu realizar um projeto científico de clonagem de uma galinha no seu quarto. Os pais desorientados não sabiam o que andava a fazer, mas consentiram.

Resolvido a dar andamento ao projeto, foi a Harvard procurar orientações. Sem conhecer ninguém, dirigiu-se a um homem que pensou ser um porteiro. Intrigado, o indivíduo levou-o para o seu gabinete. Lanza veio a descobrir que o porteiro era, na verdade, um dos principais investigadores do laboratório. Impressionado com a audácia do estudante liceal, o investigador apresentou-o a outros cientistas do laboratório, incluindo muitos ao nível do Nobel, que iriam transformar a vida do jovem. Lanza compara-se com a personagem desempenhada por Matt Damon no filme *O Bom Rebelde*, um jovem da classe trabalhadora, desmazelado e vivaço, que espanta os professores do MIT, deslumbrando-os com o seu génio matemático.

Neste momento, Lanza é investigador chefe da Advanced Cell Technology e autor de centenas de artigos e invenções. Em 2003, fez manchete quando o Jardim Zoológico de San Diego o convidou a clonar um bantengue, uma espécie de boi selvagem ameaçada de extinção, a partir do corpo de um animal morto havia vinte e cinco anos. Lanza conseguiu extrair da carcaça células passíveis de serem utilizadas, tratou-as e enviou-as para uma herdade no Utah, onde a célula fertilizada foi implantada numa vaca. Dez meses depois, foi informado do nascimento da sua última criação. Tanto está a trabalhar em «engenharia de tecidos» — que talvez venha a dar origem a uma «loja do corpo humano» na qual se possam encomendar novos órgãos, feitos a partir das nossas próprias células, para substituir órgãos doentes ou envelhecidos —, como está a clonar células de embrião humano. Fez parte da equipa histórica que clonou o primeiro embrião humano a fim de gerar células estaminais embrionárias.

1. Três Fases da Medicina

Lanza está na crista da onda das descobertas desencadeadas pela conquista dos conhecimentos ocultados no nosso ADN. Historicamente, a medicina passou por três fases principais, no mínimo. Na primeira, que durou dezenas de milhares de anos, a medicina era dominada pela superstição, a bruxaria e os rumores. Como a maioria dos bebés morria à nascença, a esperança média de vida rondava os dezoito a vinte anos. Foi no decurso deste período que se descobriram algumas ervas medicinais e substâncias químicas úteis, como a aspirina, mas, geralmente, a descoberta de novas terapias não se processava de maneira sistemática. Infelizmente, os medicamentos que resultavam eram segredos cuidadosamente escondidos. O «doutor» ganhava a vida agradando aos seus doentes abastados e estava interessado em manter em segredo as suas poções e encantamentos.

Durante este período, um dos fundadores da Mayo Clinic escrevia um diário durante as rondas aos pacientes, onde anotou ingenuamente que só tinha na sua mala dois ingredientes ativos realmente eficazes: um serrote e morfina. O serrote era usado para amputar membros lesados e a morfina para aliviar a dor da amputação. Resultavam sempre. Os restantes objetos contidos na sua mala preta eram apenas banha da cobra, lamentava-se tristemente.

A segunda fase da medicina iniciou-se no século XIX, com o aparecimento da teoria dos germes e melhores condições sanitárias. Em 1900, a esperança de vida nos Estados Unidos subiu

para quarenta e nove anos. Enquanto dezenas de milhares de soldados morriam nos campos de batalha da Primeira Guerra Mundial, os médicos viam-se na necessidade urgente de realizar experiências reais, com resultados reproduzíveis, posteriormente publicadas em revistas médicas. Os monarcas europeus, horrorizados por estarem a ser chacinados os seus melhores e mais brilhantes súbditos, exigiam resultados reais e não truques de magia. Os médicos, em vez de tentarem agradar a clientes ricos, passaram a lutar pela legitimidade e pela fama, publicando artigos em revistas, sujeitos à apreciação dos seus pares. Esta situação abriu caminho aos progressos no domínio dos antibióticos e das vacinas, que aumentaram a esperança de vida para setenta e mais anos.

A terceira fase é a medicina molecular. Assistimos à fusão da Física e da Medicina, que reduz esta última a átomos, moléculas e genes. Esta transformação histórica iniciou-se na década de 1940. quando o físico austríaco Erwin Schrödinger, um dos fundadores da teoria quântica, escreveu uma influente obra intitulada *O que é a Vida?*, rejeitando a existência de um espírito misterioso, ou força vital, que animaria os seres vivos, e especulando, ao invés, que a vida se baseava numa espécie de código contido numa molécula. A descoberta dessa molécula poderia desvendar o segredo da vida. O físico Francis Crick, inspirado no livro de Schrödinger, juntou-se ao geneticista James Watson para provar que essa molécula fabulosa era o ADN. Em 1953, numa das mais importantes descobertas de todos os tempos, Watson e Crick revelaram a estrutura do ADN, uma dupla hélice. Quando é esticado, um filamento de ADN tem cerca de 1,80m de comprimento. É constituído por uma sequência

de 3 mil milhões de unidades de ácidos nucleicos, chamados A, T, C e G (adenina, timina, citosina e guanina), que transportam o código. Era possível ler o livro da vida interpretando a sequência precisa desses ácidos nucleicos dispostos ao longo da molécula de ADN.

Os rápidos progressos na genética molecular acabaram por desembocar na criação do Projeto do Genoma Humano, um autêntico marco na história da medicina. Programa intensivo e maciço destinado a sequenciar todos os genes do corpo humano, o projeto custou cerca de 3 mil milhões de dólares e implicou a colaboração de centenas de cientistas em todo o mundo. Quando terminou, em 2003, anunciou uma nova Era na ciência. Todos nós poderemos vir a dispor de um CD-ROM com o nosso genoma personalizado, que listará todos os nossos genes (cerca de 25 000). Será o nosso «manual de utilizador».

O prémio Nobel David Baltimore sintetizou tudo numa única frase: «A Biologia é hoje uma ciência da informação.»¹

2. Futuro Próximo (Até 2030)

2.1 Medicina Genómica

O que está a impulsionar esta notável explosão em medicina é, em parte, a teoria quântica e a revolução informática. A teoria quântica forneceu-nos modelos espantosamente pormenorizados do modo como os átomos se dispõem em cada proteína e molécula

de ADN. Átomo a átomo, sabemos como construir as moléculas da vida a partir do zero, e a sequenciação dos genes, que era um processo demorado, enfadonho e dispendioso, está totalmente automatizada agora. A sequenciação de todos os genes de um corpo humano custa vários milhões de dólares. É tão dispendiosa e demorada que só um punhado de indivíduos (incluindo os cientistas que aperfeiçoaram esta tecnologia) dispõem do seu genoma pessoal. Contudo, talvez esta tecnologia exótica venha a estar à disposição de qualquer pessoa dentro de poucos anos.

(Lembro-me vividamente de ter feito o discurso de apresentação de uma conferência em finais da década de 1990, em Frankfurt, sobre o futuro da medicina. Previ que, em 2020, os genomas pessoais seriam uma possibilidade real e que todas as pessoas podiam dispor de um CD ou *chip* com a descrição dos seus genes. Um dos participantes ficou muito indignado. Levantou-se e afirmou que esse sonho era impossível: o número de genes era muito elevado e seria muito dispendioso fornecer genomas pessoais ao indivíduo comum. O Projeto do Genoma Humano custara 3 mil milhões de dólares, e o custo da sequenciação dos genes de uma pessoa não poderia descer assim tanto. Quando discuti o assunto com ele mais tarde, tornou-se-me claro qual era o problema. Estava a pensar linearmente, mas a lei de Moore estava a baixar os custos, possibilitando a sequenciação do ADN por meio de robôs, computadores e máquinas automáticas. Ele não compreendia as repercussões profundas da lei de Moore na Biologia. Quando penso nesse incidente, percebo que, se havia um erro na previsão, era a sobreavaliação do tempo necessário à disponibilização da genómica pessoal.)

Stephen R. Quake, engenheiro da Stanford, por exemplo, aperfeiçoou as técnicas mais recentes de sequenciação dos genes, reduzindo os custos para 50 000 dólares e prevendo que venham a descer em flecha até aos 1000 dólares dentro de poucos anos. Há muito que os cientistas especulam sobre a possibilidade de uma descida desse tipo abrir as comportas à sequenciação em massa, permitindo a uma grande porção da humanidade beneficiar desta tecnologia. Dentro de poucas décadas, o preço da sequenciação de todos os nossos genes poderá custar menos de 100 dólares, aproximadamente o mesmo que uma vulgar análise ao sangue.

(A chave para este último progresso é utilizar um atalho. Quake compara o ADN de uma pessoa com sequências de ADN já realizadas de outras pessoas. Decompõe o genoma humano em unidades de ADN contendo 32 *bits* de informação. A seguir, utiliza um programa informático que compara esses fragmentos de 32 *bits* com os genomas das outras pessoas. Como o ADN de dois seres humanos, quaisquer que sejam, é quase idêntico, diferindo em média menos de 0,1%, um computador pode rapidamente detetar as correspondências entre esses fragmentos de 32 *bits*.)

Quake foi a oitava pessoa do mundo a obter a sequenciação do seu genoma. Também estava pessoalmente interessado nesse projeto pois procurava provas de doença cardíaca. Infelizmente, o genoma indicou que herdara uma versão de um gene associado a essa patologia. «Temos de ter muita coragem quando analisamos o nosso genoma», declarou.²

Conheço essa sensação estranha. O meu genoma foi parcialmente sequenciado e gravado num CD-ROM para um programa especial da BBC-TV/Discovery que apresentei. Um médico retirou-me uma amostra de sangue do braço e enviou-a para o laboratório da universidade Vanderbilt; duas semanas mais tarde, chegou um CD-ROM pelo correio, com uma lista de milhares de genes. Ter esse disco nas mãos causou-me uma sensação esquisita pois continha um plano parcial do meu corpo. Em princípio, podia ser usado para criar uma cópia razoável da minha pessoa.

No entanto, também espicacou a minha curiosidade por conter os segredos do meu corpo. Podia verificar, por exemplo, se tinha um gene particular que aumentava a probabilidade de sofrer de doença de Alzheimer. Estava preocupado porque a minha mãe morrera dessa doença (felizmente, não possuo esse gene).

Além disso, quatro dos meus genes correspondiam ao genoma de milhares de pessoas de todo o mundo cujos genes também tinham sido analisados. A seguir, foram localizadas num mapa essas pessoas. Ao analisar as localizações nesse mapa, pude ver um longo trilho de pontos, que começava perto do Tibete e atravessava a China em direção ao Japão, assinalando os padrões migratórios seguidos pelos meus antepassados maternos milhares de anos antes. Apesar de não terem deixado registos escritos dessa antiga migração, o mapa das suas viagens estava gravado no meu sangue e no meu ADN. (Também é possível traçar a linhagem paterna. Enquanto os genes mitocondriais são transmitidos de mãe para filha sem sofrer alterações, o cromossoma Y é transmitido de

pai para filho. Por conseguinte, ao analisar esses genes, é possível traçar tanto a linhagem materna como a paterna.)

Imagino que muitas pessoas terão, dentro de pouco tempo, a mesma sensação estranha de segurar nas mãos o plano do próprio corpo e de poder ler os seus segredos íntimos escondidos no genoma, incluindo doenças perigosas, e os padrões migratórios dos seus ascendentes.

Para os cientistas, no entanto, trata-se de um ramo inteiramente novo da ciência, a chamada bioinformática, ou utilização dos computadores para explorar e analisar rapidamente o genoma de milhares de organismos. Por exemplo, a inserção num computador dos genomas de várias centenas de indivíduos que sofrem de determinada doença poderá permitir que se calcule a localização precisa do ADN afetado. Com efeito, alguns dos computadores mais poderosos do mundo estão a ser utilizados em bioinformática, na procura de determinados genes cruciais entre milhões de genes descobertos em plantas e animais.

Isto até poderá revolucionar séries televisivas de detetives do tipo do CSI. A posse de fragmentos minúsculos de ADN (obtidos em folículos capilares, saliva ou manchas de sangue) poderá determinar não apenas a cor do cabelo, dos olhos, a raça, a altura e a história médica de uma pessoa, mas também o seu rosto. Presentemente, os artistas que trabalham com a polícia conseguem moldar o rosto aproximado de uma vítima, recorrendo apenas ao crânio. No futuro, um computador poderá reconstruir as características faciais de uma vítima apenas a partir de películas de

caspa ou de algum sangue dessa pessoa (o facto de os gémeos idênticos possuírem rostos notoriamente semelhantes significa que a genética, só por si, define grande parte do rosto de uma pessoa, mesmo na presença de fatores ambientais).

2.2 Consulta Médica

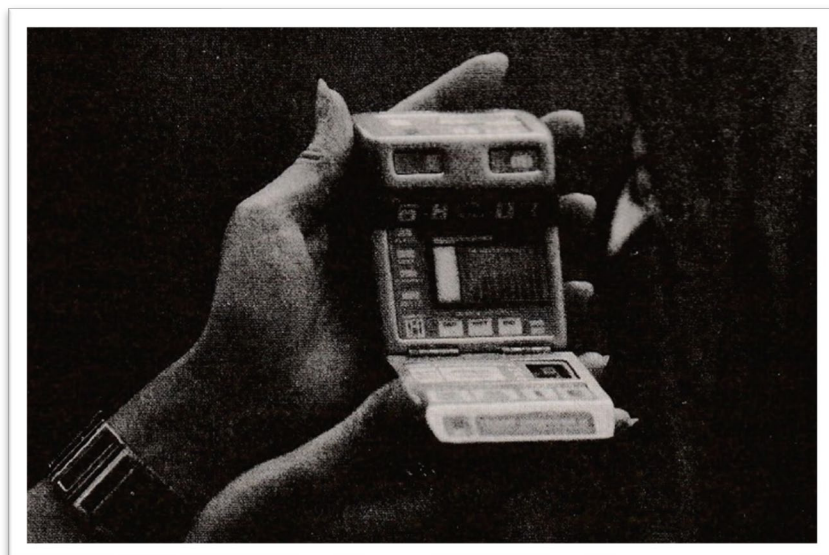
Como referimos nos capítulos anteriores, as consultas médicas mudarão radicalmente. Quando falarmos com o médico no ecrã de parede, é muito provável que estejamos a falar com um programa de *software*. A nossa casa de banho terá mais sensores do que um hospital moderno, que detetarão silenciosamente células cancerosas anos antes da formação de um tumor. Cerca de 50% dos cancros mais vulgares, por exemplo, envolvem uma mutação no gene p53, que poderá ser facilmente detetada por meio desses sensores.

Se houver sinais de cancro, injetar-se-ão diretamente na corrente sanguínea nanopartículas que, à semelhança de bombas inteligentes, farão chegar às células afetadas fármacos anticancerosos. A quimioterapia que se pratica hoje será encarada como as sanguessugas de outrora. (Discutiremos a nanotecnologia, os *chips* de ADN, as nanopartículas e os «nanobôs» mais pormenorizadamente no próximo capítulo.)

Além disso, se o «médico» do nosso ecrã de parede não for capaz de curar uma doença ou uma lesão num órgão, fabrica-se outro. Só nos Estados Unidos, há 91 000 pessoas a aguardar um transplante

de órgão. Todos os dias morrem dezoito, à espera de um órgão que nunca chega.

Se o nosso médico virtual descobrir algum problema, como um órgão afetado, poderá mandar fabricar um novo diretamente a partir das nossas células. A «engenharia de tecidos» é um dos domínios mais quentes da medicina, possibilitando uma «loja do corpo humano». Até ao momento, os cientistas conseguem fabricar em laboratório pele, sangue, vasos sanguíneos, válvulas cardíacas, cartilagem, ossos, narizes e orelhas, a partir das nossas próprias células. O primeiro grande órgão, a bexiga, foi fabricado em 2007, e a primeira traqueia em 2009. Até ao momento, só se têm fabricado órgãos relativamente simples, com poucos tipos de tecidos e poucas estruturas. Dentro de cinco anos, é possível que se fabriquem o primeiro fígado e o primeiro pâncreas, com enormes implicações para a saúde pública. O prémio Nobel Walter Gilbert disse-me que prevê uma época, dentro de poucas décadas, em que quase todos os órgãos do corpo poderão ser fabricados a partir das nossas próprias células.



No futuro, disporemos de tricorders, como os do *Star Trek*, capazes de diagnosticar quase todas as doenças; os detetores portáteis de IRM e os *chips* de ADN torná-los-ão possíveis.

A engenharia de tecidos fabrica novos órgãos começando por extrair algumas células do nosso corpo e injetando-as a seguir num molde plástico, parecido com uma esponja e com a forma do órgão em questão. O molde é feito de ácido poliglicólico (PGA) biodegradável. As células são tratadas com certos fatores de crescimento a fim de estimular o crescimento celular, o que as faz crescer dentro do molde, adquirindo a sua forma. O molde acaba por se desintegrar, deixando atrás de si um órgão perfeito.

Tive oportunidade de visitar o laboratório de Anthony Atala, na Universidade Wake Forest (Carolina do Norte), e testemunhar em primeira mão essa tecnologia milagrosa. Quando percorria o laboratório, vi recipientes contendo órgãos humanos vivos. Pude ver vasos sanguíneos e bexigas, válvulas cardíacas que abriam e fechavam constantemente por efeito dos líquidos que eram bombeados no seu interior. Ao ver todos esses órgãos humanos vivos dentro de recipientes, senti-me como se estivesse a deambular pelo laboratório do Dr. Frankenstein, embora com várias diferenças muito importantes. No século XIX, os médicos ignoravam o mecanismo de rejeição do organismo, que impossibilita o enxerto de novos órgãos. Além disso, não sabiam debelar as infeções que contaminariam inevitavelmente qualquer órgão após a cirurgia. Por conseguinte, Atala, em vez de fabricar um monstro, está a criar uma tecnologia médica inteiramente nova para salvar vidas, que poderá, um dia, mudar a face da medicina.

Um dos objetivos futuros deste laboratório é o fabrico de um fígado humano, talvez dentro de cinco anos. O fígado não é um órgão muito complicado e possui poucos tipos de tecidos. Fígados criados em laboratório poderão salvar milhares de vidas, sobretudo de pessoas que necessitem desesperadamente de transplantes hepáticos. Também poderá salvar a vida de alcoólicos que sofram de cirrose. (Infelizmente, também poderá encorajar as pessoas a manterem maus hábitos, sabendo que conseguirão substitutos para os órgãos afetados.)

Se já é possível fabricar traqueias e bexigas, o que impede os cientistas de fabricarem todos os órgãos do corpo? Um problema básico é o modo como crescem os minúsculos capilares que abastecem de sangue as células. Cada célula do nosso corpo tem de estar em contato com um abastecimento sanguíneo. Além disso, existe o problema do fabrico de estruturas complexas. O rim, que purifica o sangue de toxinas, é composto por milhões de filtros minúsculos, pelo que é bastante difícil fabricar um molde para esses filtros.

Contudo, o órgão mais difícil de fabricar é o cérebro humano. Embora a recriação ou fabrico de um cérebro humano pareça improvável nas próximas décadas, talvez seja possível injetar diretamente no cérebro células jovens, que se incorporarão na rede neuronal do cérebro. No entanto, como esta injeção de novas células se fará ao acaso, o doente terá de reaprender muitas funções básicas. Mas, como o cérebro é «plástico» (isto é, está sempre a criar novas ligações depois de aprender uma nova tarefa),

talvez seja capaz de integrar esses novos neurónios para que disparem corretamente.

2.3 Células Estaminais

A aplicação da tecnologia das células estaminais representará um avanço. Até ao momento, os órgãos humanos eram fabricados a partir, não de células estaminais, mas de células especialmente tratadas para proliferar no interior de moldes. No futuro próximo, deverá ser possível utilizar diretamente células estaminais.

As células estaminais são a «mãe de todas as células» e possuem a capacidade de se transformarem em qualquer tipo de célula do corpo. Cada célula do corpo contém o código genético completo necessário para criar todo o nosso corpo. Contudo, à medida que amadurecem, as células especializam-se, pelo que muitos genes ficam inativados. Por exemplo, embora uma célula da pele possa conter os genes necessários para se tornar uma célula sanguínea, esses genes desligam-se quando uma célula embrionária se transforma numa célula de pele adulta.

As células estaminais embrionárias, no entanto, conservam essa capacidade de se transformarem em qualquer tipo de célula ao longo da vida. Embora sejam muito mais apreciadas pelos cientistas, as células estaminais embrionárias também são mais controversas, porque é necessário sacrificar um embrião para as extrair, o que suscita questões éticas. (No entanto, Lanza e os seus colegas descobriram maneiras de extrair células estaminais adultas,

que já se transformaram num determinado tipo de célula, e transformá-las novamente em células estaminais embrionárias.)

As células estaminais podem curar uma quantidade de doenças, como a diabetes, a doença cardíaca, a doença de Alzheimer, de Parkinson e até o cancro. Com efeito, é difícil pensar numa doença na qual as células estaminais não tenham um grande impacto. Uma área de investigação particular é a das lesões medulares, outrora consideradas totalmente incuráveis. Em 1995, quando o belo ator Christopher Reeve sofreu uma grave lesão medular que o deixou totalmente paralisado, não havia cura para a doença. Contudo, em estudos animais, deram-se grandes avanços na reparação da medula com recurso a células estaminais.

Stephen Davies, da Universidade do Colorado, por exemplo, tem sido extremamente bem-sucedido no tratamento de lesões medulares em ratos. «Realizei algumas experiências de transplante direto de neurónios adultos para sistemas nervosos centrais adultos. Autênticas experiências à Frankenstein. Para nossa grande surpresa, os neurónios adultos conseguiram enviar novas fibras nervosas de um lado do cérebro para o outro no espaço de apenas uma semana.» No tratamento das lesões medulares, pensava-se que qualquer tentativa de reparar os nervos criaria grande dor e sofrimento. Davies descobriu que um tipo fundamental de célula nervosa, o astrócito, existe em duas variedades, com desfechos diferentes.

Segundo Davies, «Se utilizarmos o tipo adequado de astrócitos para reparar lesões da medula, há proveitos sem custos, mas com

o outro acontece o contrário — só há custos e não há proveitos.» Além disso, acredita que as mesmas técnicas que está a lançar também resultarão em vítimas de acidentes vasculares e em doentes de Alzheimer e de Parkinson.

Como quase todas as células do corpo podem ser criadas através da alteração de células estaminais embrionárias, as possibilidades são infindáveis. No entanto, Doris Taylor, diretora do Center for Cardiovascular Repair da Universidade do Minnesota, adverte que ainda é necessário trabalhar muito. «As células estaminais embrionárias representam os bons, os maus e os feios. Quando são boas, podemos criá-las em laboratório em grande número e utilizá-las para dar origem a tecidos, órgãos ou partes do corpo. Quando são más, não sabem quando devem parar de crescer e dão origem a tumores. Quando são feias — bom, como não compreendemos tudo, não conseguimos controlar o desfecho, e não estamos preparados para as usar sem antes realizar mais investigações laboratoriais», refere Doris Taylor.³

É um dos problemas importantes que a investigação das células estaminais terá de enfrentar: a possibilidade de essas células, na ausência de sinais do ambiente, continuarem a proliferar furiosamente até se tornarem cancerosas. Neste momento, os cientistas compreendem que as mensagens químicas subtis que viajam entre células, informando-as de quando e onde devem crescer e parar de crescer, são tão importantes como a própria célula.

Todavia, está a registar-se um progresso lento mas real, sobretudo em estudos animais. Doris Taylor foi manchete em 2008 quando a sua equipa, pela primeira vez na história, criou quase a partir do nada um coração de rato capaz de bater. A equipa começou com um coração de rato cujas células dissolveu, deixando apenas a estrutura, uma matriz de proteínas com a forma de coração. A seguir, introduziram uma mistura de células estaminais de coração dentro da matriz e viram-na começar a proliferar no interior da estrutura. Antes disso, alguns cientistas tinham conseguido criar células individuais de coração numa placa de Petri, mas a primeira vez que se criou em laboratório um coração real capaz de pulsar foi com a experiência de Doris Taylor.

Fabricar um coração também foi um acontecimento pessoal excitante para a investigadora, que disse: «É maravilhoso. Conseguimos ver toda a árvore vascular, desde as artérias até às minúsculas veias que abastecem de sangue todas as células do coração.»⁴

Também há uma parte do governo americano extremamente interessada nos progressos na área da engenharia dos tecidos: as forças armadas dos Estados Unidos. Em guerras anteriores, a taxa de mortalidade em campo de batalha era terrível, com regimentos e batalhões inteiros dizimados e muitos soldados a morrer dos ferimentos. Neste momento, as equipas de evacuação de resposta rápida transportam em aviões os feridos no Iraque e no Afeganistão para a Europa e os Estados Unidos, onde recebem cuidados médicos excelentes. A taxa de sobrevivência subiu em flecha, tal como o número de soldados que perdeu braços e pernas. Em consequência,

as forças armadas americanas estabeleceram como prioridade a questão da reconstrução dos membros.

O Armed Forces Institute of Regenerative Medicine tem utilizado um método radicalmente diferente de fabrico de órgãos. Há muito que os cientistas sabem que as salamandras possuem notáveis capacidades de regeneração, reconstruindo membros inteiros depois de os perderem. Esses membros voltam a crescer porque as células estaminais das salamandras são estimuladas nesse sentido. Uma teoria que deu frutos tem vindo a ser explorada por Stephen Badylak, da Universidade de Pittsburgh, que conseguiu fazer crescer novas pontas dos dedos. A sua equipa criou uns «pós de perlimpimpim» com o poder milagroso de fazer crescer tecido de novo. Esses pós são criados, não a partir de células, mas da matriz extracelular existente entre elas. Essa matriz é importante porque contém os sinais que informam as células de que devem crescer de determinada maneira. Quando esses «pós de perlimpimpim» são aplicados na ponta de um dedo que foi cortada, estimulam, não apenas a ponta, mas também a unha, deixando uma cópia quase perfeita do dedo original. O próximo objetivo é ampliar este processo para verificar se é possível fazer crescer de novo um membro humano, tal como acontece com a salamandra.

2.4 Clonagem

Se conseguimos fabricar vários órgãos do corpo humano, será que conseguiremos fabricar um ser humano inteiro, criando uma cópia genética exata, um clone? A resposta é sim, em princípio, mas

ainda não se concretizou, não obstante as muitas notícias de que tal teria acontecido.

Os clones são um dos temas preferidos dos filmes de Hollywood, mas costumam fazer recuar a ciência. No filme *O 6º Dia*, a personagem desempenhada por Arnold Schwarzenegger combate os maus que dominam a arte da clonagem de seres humanos. Além disso, são capazes de copiar toda a memória de uma pessoa e de a inserir no clone. Quando Schwarzenegger consegue eliminar um dos maus, surge outro, com a mesma personalidade e memória. As coisas agravam-se quando descobre que fabricaram um clone de si próprio, sem ele saber (na realidade, quando um animal é clonado, o mesmo não acontece com as memórias).

O conceito de clonagem foi manchete no mundo em 1997, quando Ian Wilmut, do Roslin Institute da Universidade de Edimburgo, conseguiu clonar a ovelha Dolly. Retirando uma célula de uma ovelha adulta, extraíndo o ADN do interior do seu núcleo e inserindo-o depois num óvulo, Wilmut conseguiu realizar a façanha de criar uma cópia genética do original. Perguntei-lhe uma vez se tinha alguma ideia da tempestade mediática que a sua descoberta histórica desencadearia. Respondeu-me que não. Entendia com clareza a importância do seu trabalho para a medicina, mas subestimara o fascínio do público pela descoberta.

Não tardou que grupos espalhados por todo o mundo comesçassem a repetir o seu feito, clonando uma grande variedade de animais, incluindo ratos, cabras, gatos, porcos, cães, cavalos e vacas. Desloquei-me uma vez, com uma equipa de filmagem da

BBC, aos arredores de Dallas, no Texas, e visitei Ron Marquess, que possui uma das maiores herdades de gado clonado do país. No rancho, fiquei espantado ao ver gado clonado de primeira, segunda e terceira geração — clones de clones de clones. Marquess disse-me que teriam de inventar um novo vocabulário para manterem informações precisas e atualizadas de todas as gerações.

Um grupo de animais chamou a minha atenção. Eram cerca de oito gémeos idênticos, todos em fila. Andavam, corriam, comiam e dormiam em fila. Embora não fizessem ideia de que eram clones uns dos outros, juntavam-se instintivamente e imitavam os movimentos uns dos outros.

Marquess disse-me que o gado clonado era um negócio potencialmente lucrativo. Quando se possui um touro com características físicas superiores, o animal pode adquirir um preço jeitoso se for usado para cobrição. Mas, se morre, a sua linha genética pode perder-se, a não ser que se tenha recolhido e congelado o seu esperma. Com a clonagem, é possível mantê-la viva para sempre.

Apesar de a clonagem ter aplicações comerciais nos animais e na criação de animais, as implicações para os seres humanos não são tão claras. Existem muitas afirmações sensacionalistas relativas à concretização da clonagem humana, mas quase todas elas devem ser falsas. Até ao momento, ainda ninguém conseguiu clonar um primata, muito menos um ser humano. Até a clonagem de animais se tem revelado difícil, como se vê pelas centenas de embriões defeituosos por cada nascimento de termo.

Além disso, ainda que a clonagem humana se torne possível, existem obstáculos sociais. Em primeiro lugar, muitas religiões opõem-se à clonagem humana, tal como a Igreja Católica se opôs aos bebés-proveta em 1978, quando Louise Brown se tornou a primeira criança concebida por essa via. Isto significa que deverão ser aprovadas leis a proibir a tecnologia ou, pelo menos, a regulamentá-la rigidamente. Em segundo lugar, a procura comercial será pequena. *É provável que só uma parte da humanidade seja composta por clones*, mesmo que a clonagem seja legalizada. Afinal, já existem clones, sob a forma de gémeos (e trigémeos) idênticos, pelo que a novidade da clonagem humana se dissipará gradualmente.

A procura de bebés-proveta começou por ser enorme, dada a grande quantidade de casais inférteis. Mas quem clonará um ser humano? Talvez pais que tenham perdido um filho. Ou, mais provavelmente, um homem idoso e abastado, prestes a morrer, sem herdeiros (ou sem herdeiros de quem goste especialmente) e que queira deixar a sua fortuna a uma criança igual a si próprio, para começar de novo.

Por conseguinte, ainda que possa haver leis a proibi-la, deverão existir clones humanos. Contudo, representarão apenas uma minúscula fração da humanidade, e as consequências sociais não serão significativas.

2.5 Terapia Génica

Francis Collins, atual director dos National Institutes of Health que dirigiu o histórico Projeto do Genoma Humano governamental, disse-me que «todos nós possuímos meia dúzia de genes bastante estragados». No passado remoto, limitávamo-nos a sofrer dessas deficiências genéticas muitas vezes mortais. No futuro, curaremos muitas delas por meio da terapia génica.

As doenças genéticas têm perseguido a humanidade desde sempre e, em momentos cruciais, poderão ter influenciado o curso da história. Por exemplo, devido à consanguinidade entre as famílias reais europeias, as doenças genéticas afetaram gerações de nobres. Jorge III da Inglaterra sofria muito provavelmente de porfíria aguda intermitente, que causa surtos temporários de insanidade. Alguns historiadores especularam que a doença terá agravado as suas relações com as colónias, incitando-as a declarar a independência em 1776.

A rainha Vitória era portadora do gene da hemofilia, que provoca hemorragias incontrolláveis. Como teve nove filhos, muitos dos quais contraíram matrimónio com membros de outras casas reais europeias, a «doença real» espalhou-se pelo continente. Na Rússia, Alexis, bisneto da rainha Vitória e filho de Nicolau II, sofria de hemofilia, que o místico Rasputine parecia capaz de controlar temporariamente. Esse «monge louco» conquistou tanto poder que conseguiu paralisar a nobreza russa, adiar reformas extremamente necessárias e, como especularam alguns historiadores, ajudar a desencadear a Revolução Bolchevique.

No futuro, porém, a terapia génica poderá curar muitas das 5000 doenças genéticas conhecidas, como a fibrose quística ou mucoviscidose (que afeta europeus do Norte), a doença de Tay-Sachs (que afeta judeus da Europa Oriental) e a anemia falciforme ou drepanocitose (que afeta os negros americanos). No futuro próximo, deverá ser possível curar muitas doenças genéticas causadas pela mutação de um único gene.

Há dois tipos de terapia génica: a das células somáticas e a das células da linha germinal.

A terapia génica das células somáticas implica a reparação de genes de um único indivíduo. O valor terapêutico desaparece quando o sujeito morre. Mais controversa é a terapia génica das células da linha germinal, que repara os genes das células sexuais, permitindo a transmissão do gene reparado à geração seguinte, e assim sucessivamente.

A cura de uma doença genética segue uma via demorada, mas bem estabelecida. Em primeiro lugar, há que descobrir vítimas de uma determinada doença genética e traçar laboriosamente as suas árvores genealógicas, recuando muitas gerações. Pela análise dos genes desses indivíduos, tenta-se determinar a localização exata do gene que pode estar afetado.

A seguir, insere-se uma versão saudável desse gene num «vetor» (geralmente um vírus inofensivo) e injeta-se no doente. O vírus injeta depressa o «gene bom» nas células do doente, podendo

curá-lo da doença. Em 2001, estavam em curso ou em fase de avaliação mais de 500 ensaios de terapia génica em todo o mundo.⁵

Contudo, os progressos têm sido lentos e os resultados contraditórios. Um dos problemas reside no facto de o corpo confundir muitas vezes o vírus inofensivo, que contém o «gene bom», com um vírus perigoso, e começar a atacá-lo. Isto causa efeitos secundários que podem anular o efeito do «gene bom». Outro problema é a inserção do «gene bom» nas células-alvo não se fazer na quantidade adequada, impossibilitando o corpo de produzir a quantidade necessária da proteína certa.

Não obstante estas complicações, cientistas franceses anunciaram em 2000 que tinham sido capazes de curar crianças com imunodeficiência humana combinada severa (SCID), que nascem com um sistema imunitário que não funciona. Alguns doentes, como «David, o menino da bolha», têm de viver toda a vida dentro de tendas de plástico esterilizadas. Sem sistema imunitário, qualquer doença pode revelar-se fatal. As análises genéticas destes doentes mostram que as suas células imunitárias incorporaram realmente o novo gene, como tinha sido planeado, ativando desse modo os seus sistemas imunitários.

No entanto, também tem havido contratempos.⁶ Em 1999, na Universidade da Pensilvânia, morreu um doente num ensaio de terapia génica, o que desencadeou uma reflexão profunda na comunidade médica. Foi a primeira morte em 1100 doentes sujeitos a este tipo de terapia génica. E, em 2007, quatro dos dez doentes que se tinham curado de uma forma particular de SCID

desenvolveram uma reação adversa grave, uma leucemia. Neste momento, a investigação em terapia génica para esta doença centra-se na cura da patologia sem desencadear acidentalmente um gene que possa provocar cancro. Até ao momento, dezassete doentes que sofriam de uma diferente variedade de SCID estão livres tanto da doença como do cancro, constituindo um dos poucos êxitos registados neste domínio.

Um dos alvos da terapia génica é, de facto, o cancro. Quase 50% de todos os cancros comuns estão relacionados com um gene, o p53. Trata-se de um gene comprido e complexo, o que aumenta a probabilidade de lesões causadas por fatores ambientais e químicos. Portanto, estão a realizar-se muitas experiências de terapia génica destinadas a inserir um p53 saudável em doentes. O tabagismo, por exemplo, causa frequentemente mutações características em três locais bem conhecidos do gene p53. Por conseguinte, a terapia génica, ao substituir o gene lesado, poderá vir a curar certas formas de cancro do pulmão.

Os progressos têm sido lentos, mas sólidos. Em 2006, cientistas dos National Institutes of Health em Maryland, conseguiram tratar com êxito o melanoma metastático, uma forma de cancro da pele, alterando as células T citotóxicas a fim de atacarem especificamente células cancerosas. É o primeiro estudo a mostrar que a terapia génica pode ser bem-sucedida contra determinada forma de cancro. E em 2007, médicos do University College e do Moorfields Eye Hospital de Londres conseguiram utilizar a terapia génica no tratamento de uma forma de doença retiniana hereditária (causada por mutações no gene RPE65).

Entretanto, alguns casais, em vez de aguardarem pela terapia génica, responsabilizam-se pela sua herança genética. Um casal pode criar vários embriões fertilizados recorrendo à fertilização in vitro. Cada embrião pode ser testado para despistar uma doença genética específica, e o casal pode seleccionar o embrião livre dessa doença para o implantar na mãe. Deste modo, é possível eliminar gradualmente doenças genéticas sem recurso a técnicas dispendiosas de terapia génica. Este processo está a ser utilizado por alguns judeus ortodoxos de Brooklyn com elevado risco de doença de Tay-Sachs.

Contudo, há uma doença que continuará provavelmente a ser mortífera ao longo deste século — o cancro.

2.6 Coexistir com o Cancro

Em 1971, o presidente Richard Nixon, no meio de grande alarido e publicidade, declarou solenemente guerra ao cancro. Investia na luta contra o cancro na expectativa de que a cura não tardaria. Mas quarenta anos (e 200 mil milhões de dólares) depois, o cancro é a segunda causa de mortalidade nos Estados Unidos, responsável por 25% da totalidade dos óbitos. A taxa de mortalidade decorrente do cancro diminuiu apenas 5% entre 1950 e 2005 (corrigida pela idade e outros fatores). Estima-se que o cancro venha a ser responsável pela morte de 562 000 americanos só no ano em curso, ou seja de mais de 1000 pessoas por dia. As taxas de mortalidade devida ao cancro baixaram para certos tipos da doença, mas mantiveram-se obstinadamente constantes noutros. E o tratamento do cancro, que implica envenenar, cortar e bombardear tecido humano, deixa um

rasto de lágrimas nos doentes, que se interrogam muitas vezes o que será pior, se a doença se o tratamento.

Em retrospectiva, é possível perceber o que correu mal. Em 1971, antes da revolução em engenharia genética, as causas do cancro eram um mistério total.

Neste momento, os cientistas percebem que o cancro é basicamente uma doença dos nossos genes. Quer seja causado por um vírus, por exposição química, por radiação ou pelo acaso, o cancro envolve fundamentalmente mutações em quatro ou mais genes, nas quais uma célula normal «se esquece de como se morre». A célula perde o controlo sobre a sua reprodução e reproduz-se sem limites, acabando por matar o doente. O facto de ser necessária uma sequência de quatro ou mais genes defeituosos para causar cancro explica provavelmente por que motivo a doença mata muitas vezes décadas depois de um primeiro incidente. Uma pessoa pode, por exemplo, sofrer uma grave queimadura solar em criança e, muitas décadas depois, desenvolver cancro da pele no mesmo local. Isto significa que, provavelmente, foi necessário esse tempo para que ocorressem outras mutações que acabaram por empurrar a célula para o modo canceroso.

Existem pelo menos dois tipos principais de genes do cancro, os oncogenes e os antioncogenes, que funcionam como o acelerador e os travões de um automóvel. O oncogene atua como um acelerador que fica preso, permitindo à célula reproduzir-se sem limites. O antioncogene atua habitualmente como um travão, pelo que, quando apresenta defeitos, a célula se assemelha a um automóvel

incapaz de parar. O Projeto do Genoma do Cancro visa sequenciar os genes da maior parte dos cancros. Como cada cancro requer a sequenciação do genoma humano, este projeto é centenas de vezes mais ambicioso do que o Projeto do Genoma Humano original.

Alguns dos primeiros resultados deste há muito esperado Projeto do Genoma do Cancro foram anunciados em 2009 no que diz respeito ao cancro da pele e do pulmão. Foram resultados espantosos. Mike Stratton, do Wellcome Trust Sanger Institute, disse: «O que estamos a assistir hoje irá transformar o modo como encaramos o cancro. Nunca o cancro se nos revelou como agora.»⁷

A quantidade de mutações individuais nas células cancerosas era espantosa: 23 000 no caso do cancro do pulmão e 33 000 no caso do melanoma. Isto significa que um fumador típico desenvolve uma mutação por cada quinze cigarros que fuma (o cancro do pulmão mata 1 milhão de pessoas por ano em todo o mundo, em grande parte devido ao tabagismo).

O objetivo é analisar geneticamente todos os tipos de cancro, que são mais de 100. Há muitos tecidos no corpo e todos se podem tornar cancerosos, há muitos tipos de cancro para cada tecido, e há dezenas de milhares de mutações em cada tipo de cancro. Como cada cancro envolve dezenas de milhares de mutações, muitas décadas serão necessárias para isolar com precisão quais dessas mutações transtornam o mecanismo da célula. Os cientistas desenvolverão curas para uma grande variedade de cancros, mas nenhuma cura para todos eles, porque o próprio cancro se assemelha a uma coleção de doenças.

Também entrarão continuamente no mercado novos tratamentos e terapias, todos concebidos para atingir o cancro nas suas raízes moleculares e genéticas. Entre os promissores, incluem-se:

- antiangiogénese, ou corte do abastecimento sanguíneo a um tumor para que não volte a crescer;
- nanopartículas, que se assemelham a «bombas inteligentes» dirigidas para as células cancerosas;
- terapia génica, sobretudo para o gene p53;
- novos fármacos que visem apenas as células cancerosas;
- novas vacinas contra vírus que podem causar cancro, como o vírus do papiloma humano (HPV), que pode causar cancro do colo do útero.

Infelizmente, é improvável que se encontre o fármaco perfeito para o cancro, sem efeitos secundários. Ao invés, curá-lo-emos passo a passo. O mais provável é que a grande redução das taxas de mortalidade ocorra quando tivermos *chips* de ADN espalhados pelo ambiente, a detetarem constantemente células cancerosas anos antes de se formar um tumor.

Como refere o prémio Nobel David Baltimore, «O cancro é um exército de células que combate as nossas terapias de uma maneira que decerto nos manterá constantemente em guerra.»⁸

3. Meados do Século (De 2030 A 2070)

3.1 Terapia Génica

Não obstante os contratempos na terapia génica, os investigadores acreditam em ganhos sólidos nas próximas décadas. Muitos pensam que, em meados do século, a terapia génica será um procedimento padronizado para tratar diversas doenças genéticas. Grande parte do êxito em estudos animais acabará por se traduzir em estudos com seres humanos.

Até agora, a terapia génica tem visado doenças causadas por mutações num único gene. Serão essas as primeiras a ser curadas. Mas muitas doenças são causadas por mutações em muitos genes, bem como por fatores desencadeadores provenientes do ambiente. Nessas doenças, muito mais difíceis de tratar, incluem-se a diabetes, a esquizofrenia, a doença de Alzheimer, a doença de Parkinson e a doença cardíaca. Todas exibem padrões genéticos precisos, sem que seja possível responsabilizar um gene único. Por exemplo, um esquizofrénico pode ter um gémeo idêntico normal.

Têm-se sucedido ao longo dos anos notícias de que cientistas, através da história genética de certas famílias, conseguiram isolar alguns dos genes envolvidos na esquizofrenia, mas a frequente

impossibilidade de confirmar esses resultados por outros estudos independentes causa embaraço. Ou os resultados são incorretos ou há muitos genes envolvidos na esquizofrenia. Além disso, há certos fatores ambientais que também parecem implicados na doença.

Em meados do século, a terapia génica deverá tornar-se uma terapia bem estabelecida, pelo menos para doenças causadas por um único gene. Mas é possível que os doentes não se satisfaçam com a mera reparação dos genes e que queiram também melhorá-los.

3.2 Filhos Por Medida

Em meados do século, os cientistas, além de reparar genes, melhorá-los-ão e aperfeiçoá-los-ão.

O desejo de ter capacidades sobre-humanas é antigo e está profundamente enraizado na mitologia grega e romana e nos nossos sonhos. Os poderes do grande herói Hércules, um dos semideuses mais populares da mitologia grega e romana, não lhe advieram do exercício e da dieta, mas de uma injeção de genes divinos. A mãe era uma bela mortal, Alemene, que atraiu a atenção de Zeus, que se fez passar por seu marido para fazer amor com ela. Quando engravidou, Zeus anunciou-lhe que o bebé iria ser um grande guerreiro, mas a mulher de Zeus, Hera, sentiu ciúmes e congeminou um plano para matar o bebé, atrasando o seu nascimento. Alemene quase morreu durante o parto prolongado, mas o plano de Hera foi exposto no último momento e Alemene deu à luz uma criança invulgarmente grande. Metade homem e metade

deus, Hércules herdou do pai a força divina para realizar feitos heroicos e lendários.

No futuro, talvez não sejamos capazes de criar genes divinos, mas decerto que conseguiremos criar genes que nos proporcionarão capacidades sobre-humanas. E, à semelhança do parto difícil de Hércules, esta tecnologia também levará muito tempo a tornar-se disponível.

Em meados do século, os «filhos por medida» poderão tornar-se uma realidade. Como disse o biólogo de Harvard E. O. Wilson, «*O Homo sapiens*, a primeira espécie verdadeiramente livre, está prestes a dispensar a seleção natural, a força que nos fez [...] Dentro de pouco tempo teremos de olhar para dentro de nós e decidir o que queremos vir a ser.»⁹

Alguns cientistas já estão a identificar os genes que controlam funções básicas. Por exemplo, o gene do «rato inteligente», que fortalece a memória e o rendimento dos ratos, foi isolado em 1999. Os ratos que possuem esse gene percorrem labirintos e recordam coisas melhor do que os outros.

Na Universidade de Princeton, cientistas como Joseph Tsien criaram uma estirpe de ratos geneticamente alterados com um gene extra chamado NR2B, que ajuda a desencadear a produção do neurotransmissor N-metil-D-aspartato (NMDA) no cérebro anterior dos ratos. Os criadores dos ratos inteligentes chamaram-lhes rato Doogie (da personagem da série televisiva *Doogie Howser, MD*).

Esses ratos inteligentes tiveram resultados muito superiores aos dos ratos normais em diversos testes. Se um rato é colocado numa tina de água turva, tem de encontrar uma plataforma escondida por baixo da superfície para poder descansar. Os ratos normais não se lembram do lugar onde está a plataforma e nadam pela tina ao acaso, ao passo que os ratos inteligentes vão diretos a ela à primeira tentativa. Se se lhes mostram dois objetos, um velho e um novo, os ratos normais não prestam atenção ao novo objeto, mas os ratos inteligentes reconhecem imediatamente a sua presença.

Mais importante ainda é o facto de os cientistas compreenderem como funcionam estes genes de ratos inteligentes: regulam as sinapses do cérebro. Se pensarmos no cérebro como uma vasta rede de autoestradas, a sinapse equivale à barreira de uma portagem. Se a barreira estiver colocada, os carros não conseguem passar: a mensagem fica parada dentro do cérebro. Mas se a barreira for levantada, os carros conseguem passar e a mensagem é transmitida pelo cérebro. Os neurotransmissores como o NMDA levantam a barreira na sinapse, permitindo a circulação das mensagens. Os ratos inteligentes possuem duas cópias do gene NR2B, que ajuda a produzir o neurotransmissor NMDA.

Estes ratos inteligentes corroboram a regra de Hebb: a aprendizagem ocorre quando certos circuitos neuronais são reforçados. Estes circuitos podem ser reforçados se se regularem as sinapses que ligam duas fibras nervosas, facilitando a passagem dos sinais pela sinapse.

Este resultado pode ajudar a explicar certas peculiaridades da aprendizagem. Sabe-se que os animais velhos possuem uma capacidade de aprendizagem reduzida, o que se evidencia em todo o reino animal, talvez porque o gene NR2B se torna menos ativo com a idade.

Do mesmo modo, como já vimos a propósito da regra de Hebb, é possível criar memórias quando os neurónios estabelecem uma ligação forte. Talvez isto seja verdade porque a ativação do recetor de NMDA cria uma conexão forte.

3.3 Gene do Super-Rato

Além disso, isolou-se o «gene do super-rato» que aumenta a massa muscular, proporcionando ao animal músculos hipertrofiados. O gene foi descoberto em ratos com músculos invulgarmente desenvolvidos. Presentemente, os cientistas sabem que a causa está na miostatina, um gene que ajuda a controlar o crescimento muscular. Mas, em 1977, descobriram que, quando esse gene não está ativo nos ratos, o crescimento muscular se expande imenso.

Pouco depois, registou-se outro avanço crucial na Alemanha, quando cientistas examinaram um recém-nascido com músculos invulgarmente desenvolvidos nas pernas e braços. As ecografias revelaram que os músculos do bebé eram duas vezes maiores do que o normal. Quando sequenciaram os genes da criança e da mãe (corredora profissional), descobriram um padrão genético

semelhante. Com efeito, uma análise ao sangue do bebé revelava uma ausência total de miostatina.

Os cientistas da Johns Hopkins Medical School estavam interessadíssimos em contactar com indivíduos afetados por perturbações musculares degenerativas que pudessem beneficiar deste resultado, mas ficaram muito desapontados quando descobriram que metade dos telefonemas que recebiam provinha de praticantes de musculação, que pretendiam tirar partido do gene, independentemente das consequências. Talvez se lembrassem do êxito fenomenal de Arnold Schwarzenegger, que confessou ter usado esteroides para lançar a sua carreira meteórica. Devido a este grande interesse pela miostatina e pelas maneiras de a suprimir, até o Comité Olímpico se viu na necessidade de criar uma comissão especial para a estudar. Ao contrário dos esteroides, relativamente fáceis de detetar por meio de análises químicas, este novo método é muito mais difícil de detetar pois envolve genes e as proteínas por eles criadas.

Estudos realizados em gémeos idênticos que foram separados à nascença revelam a existência de uma grande variedade de características comportamentais influenciadas pela genética. Com efeito, mostram que cerca de 50% do comportamento de um gémeo é influenciado pelos genes e os outros 50% pelo ambiente. Entre estas características, incluem-se a memória, o raciocínio verbal, o raciocínio espacial, a velocidade de processamento, a extroversão e a procura de emoções.

Até comportamentos anteriormente considerados complexos revelam agora as suas origens genéticas. Há umas ratazanas da pradaria (*Microtus ochrogaster*), por exemplo, que são monógamas, ao passo que os ratos de laboratório são promíscuos. Larry Young, da Universidade Emory, chocou o mundo da Biotecnologia ao mostrar que a transferência de um gene dessa ratazana da pradaria podia criar ratos de laboratório com características monógamas. Cada uma das espécies possui uma versão diferente de um determinado recetor de um péptido cerebral associado ao comportamento social e ao acasalamento. Young inseriu um gene de ratazana da pradaria para esse recetor nos ratos de laboratório e descobriu que estes passavam a exibir comportamentos mais semelhantes aos das referidas ratazanas monógamas.

Segundo Young: «Embora a evolução de comportamentos sociais complexos como a monogamia envolva provavelmente muitos genes [...] alterações na expressão de um único gene podem ter repercussões na expressão de componentes desses comportamentos.»¹⁰

A depressão e a felicidade também possuem origens genéticas. Há muito que se sabe que há pessoas que são felizes mesmo tendo sofrido acidentes trágicos. Veem sempre o lado melhor das coisas, até perante reveses capazes de devastar outros indivíduos. Essas pessoas também tendem a ser mais saudáveis do que o normal. Daniel Gilbert, psicólogo de Harvard, falou-me de uma teoria que pode explicar este facto. Talvez tenhamos nascido com um «ponto fixo da felicidade». Podemos oscilar diariamente em torno desse

ponto, mas esse nível é fixado à nascença. No futuro, por meio de fármacos ou da terapia génica, será possível deslocar esse ponto fixo, sobretudo no caso das pessoas que sofrem de depressão crónica.

3.4 Efeitos Secundários da Revolução Biotecnológica

Em meados do século, os cientistas serão capazes de isolar e de alterar muitos dos genes únicos que controlam diversas características humanas, mas isso não quer dizer que a humanidade beneficie imediatamente deles. Serão necessárias décadas de trabalho árduo e persistente até se conseguir eliminar os efeitos secundários e as consequências indesejadas.

Aquiles, por exemplo, era invencível em combate, chefiando os gregos vitoriosos na sua batalha épica contra os troianos. Contudo, o seu poder tinha um defeito fatal. Em bebé, a mãe mergulhara-o no rio mágico Estige para o tornar invencível. Infelizmente, para o mergulhar no rio tivera de o segurar pelo calcanhar, deixando-o com um ponto vulnerável. Aquiles veio a morrer durante a Guerra de Troia depois de ser atingido por uma seta no calcanhar.

Presentemente, alguns cientistas interrogam-se se as novas estirpes de seres que surgem dos seus laboratórios não terão também um calcanhar de Aquiles. Existem, por exemplo, cerca de trinta e três estirpes diferentes de «ratos inteligentes», cuja memória e rendimento foram aperfeiçoados. Contudo, a memória melhorada tem um efeito secundário inesperado: por vezes, os ratos inteligentes ficam paralisados de medo. Se forem expostos a

um choque elétrico muito ligeiro, tremem de terror. «É como se recordassem demasiado»¹¹, afirma Alcino Silva, da UCLA, que desenvolveu a sua própria estirpe de ratos inteligentes. Os cientistas compreendem agora que, em matéria de atribuição de sentido ao mundo e de organização do conhecimento, esquecer pode ser tão importante como recordar. Talvez tenhamos de deitar fora muitos ficheiros para podermos organizar o nosso conhecimento.

Esta situação faz lembrar um caso da década de 1920, documentado pelo neurologista russo A. R. Luria, de um homem que tinha uma memória fotográfica. Decorara integralmente a Divina Comédia de Dante depois de a ler uma única vez. Esta capacidade era-lhe útil na sua profissão de repórter, mas o homem era incapaz de compreender figuras de estilo. Segundo Luria: «Os obstáculos à compreensão eram esmagadores: cada expressão suscitava uma imagem, que, por sua vez, entrava em conflito com outra imagem já evocada.»¹²

Na verdade, os cientistas creem na existência de um equilíbrio entre esquecer e recordar.¹³ Se esquecemos demais, podemos esquecer a dor de erros passados, mas esquecemos também factos e competências cruciais. Se recordamos demais, recordamos pormenores importantes, mas podemos ficar paralisados pelas lembranças de cada ferida ou contratempo. A compreensão ótima decorre de um compromisso entre estas duas capacidades.

Os praticantes de musculação já estão a recorrer em massa às diferentes drogas e terapias que lhes prometem fama e glória. A

hormona eritropoietina (EPO) fabrica mais glóbulos vermelhos que contêm oxigénio, o que se traduz numa maior resistência, mas, como engrossa o sangue, também tem sido relacionada com acidentes vasculares e enfartes. Os fatores de crescimento insulínicos (IGF) são úteis porque ajudam as proteínas a desenvolver músculos, mas têm sido relacionados com o crescimento de tumores.

Mesmo que venham a ser aprovadas leis que proíbam os melhoramentos genéticos, será difícil travá-los. A evolução predispôs geneticamente os progenitores a quererem proporcionar todas as vantagens aos filhos. Por um lado, isto significa facultar-lhes aulas de violino, ballet e desporto, mas, por outro, também pode querer dizer proporcionar-lhes melhoramentos genéticos destinados a aperfeiçoar a memória, o campo da atenção, as capacidades atléticas e até o aspeto físico. Se os pais descobrirem que o filho está a competir com o filho dos vizinhos que, segundo os boatos, foi sujeito a melhoramentos genéticos, sentir-se-ão extremamente pressionados a proporcionar ao filho as mesmas vantagens.

Segundo Gregory Benford, «Todos sabemos que as pessoas com bom aspeto se saem bem. Que pais poderão resistir ao argumento de dar uma mãozinha ao filho neste admirável mundo novo?»¹⁴

Em meados do século, os melhoramentos genéticos poderão tornar-se comuns. Com efeito, até poderão tornar-se indispensáveis se quisermos explorar o sistema solar e viver em planetas inóspitos.

Há quem diga que devemos usar «genes por medida»¹⁵ que nos tornem mais saudáveis e felizes. Outros afirmam que os melhoramentos cosméticos deviam ser permitidos. A grande questão está em saber até onde deveremos ir. Seja como for, poderá tornar-se cada vez mais difícil controlar a disseminação dos «genes por medida» que melhoram o aspeto e o rendimento. Não queremos que a humanidade se divida em fações genéticas diferentes, a dos melhorados e a dos não melhorados, mas a sociedade terá de decidir, democraticamente, até onde pretende levar esta poderosa tecnologia.

Creio que serão aprovadas leis que a regulamentem, possivelmente para permitir a terapia génica quando cura doenças e nos permite viver uma vida produtiva, mas outras que a restrinjam por razões puramente cosméticas. Isto significa que se poderá desenvolver um mercado negro para contornar essas leis, pelo que teremos de nos adaptar a uma sociedade onde uma pequena fração da população é geneticamente melhorada.

Em geral, isto pode não ser um desastre. Se já se recorre à cirurgia plástica para melhorar o aspeto, talvez não seja necessário utilizar a engenharia genética para esse efeito. Mas o perigo pode surgir em caso de tentativa de alterar geneticamente a personalidade de uma pessoa. Como é provável que existam muitos genes que influenciam o comportamento, interagindo de maneiras complexas, interferir neles pode criar efeitos secundários indesejados, cuja análise levará décadas.

E que dizer do maior melhoramento genético, do aumento da duração da vida?

4. Futuro Longínquo (2070 A 2100)

4.1 Inverter o Envelhecimento

Ao longo da história, reis e chefes militares dominaram impérios, mas houve algo que sempre escapou ao seu controlo: o envelhecimento. Por conseguinte, a busca da imortalidade tem sido um dos objetivos mais antigos da história da Humanidade.

Na Bíblia, Deus expulsa Adão e Eva do Paraíso por desobedecerem às suas ordens sobre a árvore do conhecimento. Deus temia que Adão e Eva pudessem usar esse conhecimento para desvendar o segredo da imortalidade, tornando-se assim deuses: «O homem tornou-se semelhante a um deus, conhecendo o bem e o mal. Agora só falta que vá também colher do fruto da árvore da vida, para dele comer e ter vida para sempre!» (Génese, 3:22)¹⁶

Além da Bíblia, uma das lendas mais antigas e notáveis da civilização humana, que remonta ao século XXVII a.C., é a Epopeia de Gilgamesh, sobre o grande guerreiro da Mesopotâmia. Quando o seu leal amigo de sempre morreu repentinamente, Gilgamesh decidiu encetar uma viagem para descobrir o segredo da imortalidade. Ouvira falar de um homem sábio e da sua mulher a quem os deuses tinham concedido o dom da imortalidade e que tinham sido os únicos da sua terra a sobreviver ao Dilúvio. Depois

de uma busca épica, Gilgamesh acabou por descobrir o segredo da imortalidade, que lhe foi arrebatado no último minuto por uma serpente.

Como a Epopeia de Gilgamesh é umas das mais antigas obras literárias, alguns historiadores creem que essa busca da imortalidade serviu de inspiração ao escritor grego Homero para a sua Odisseia e também à história de Noé mencionada na Bíblia.

Muitos reis — como o imperador Qin, que unificou a China cerca de 200 a.C. — enviaram enormes frotas à procura da Fonte da Juventude, mas todos fracassaram. (Segundo a mitologia, o imperador Qin ordenou à sua frota que não regressasse se não encontrasse a Fonte da Juventude; incapazes de encontrar a fonte, mas com medo de regressar, acabaram por descobrir o Japão.)

Durante décadas, a maioria dos cientistas acreditou que a duração da vida era fixa e imutável, fora do alcance da ciência. Contudo, nos últimos anos, esta ideia ruiu sob a investida de uma espantosa série de resultados experimentais que revolucionaram a gerontologia. Esse domínio da ciência, outrora adormecido e estagnado, tornou-se um dos mais apaixonantes, atraindo financiamentos à investigação no valor de centenas de milhões de dólares e suscitando até a possibilidade de desenvolvimento comercial.

Os segredos do envelhecimento estão a ser desvendados, e a genética desempenhará um papel vital nesse processo. A

longevidade varia imenso no reino animal. Por exemplo, embora o nosso ADN difira do nosso parente genético mais próximo, o chimpanzé, em apenas 1,5%, a nossa vida é 50% mais longa. Se analisarmos o punhado de genes que nos separa dos chimpanzés, talvez sejamos capazes de determinar por que motivo vivemos muito mais do que os nossos parentes genéticos.

Por sua vez, isto proporcionou-nos uma «teoria unificada do envelhecimento» que entretece os diversos fios de investigação numa tapeçaria única e coerente. Neste momento, os cientistas sabem o que é o envelhecimento. É a acumulação de erros a nível genético e molecular. Esses erros podem amontoar-se de várias maneiras. Por exemplo, o metabolismo cria radicais livres e oxidação, que danificam o delicado mecanismo molecular das nossas células, fazendo-as envelhecer; os erros podem acumular-se sob a forma de resíduos moleculares que se amontoam dentro e fora das células.

A acumulação de erros genéticos é um subproduto da segunda lei da termodinâmica: a entropia total (isto é, o caos) está sempre a aumentar. É por isso que o enferrujamento, a putrefação, a decadência, etc. são características universais da vida. A segunda lei é inelutável. Tudo, desde as flores no campo aos nossos corpos e ao próprio Universo, está condenado a murchar e a morrer.

Contudo, a segunda lei, que afirma que a entropia total está sempre a aumentar, tem uma falha, pequena, mas importante. É possível reduzir a entropia num sítio e inverter o envelhecimento, se aumentarmos a entropia algures. Por isso, podemos ficar mais

novos se causarmos destruição noutra sítio. (Fala-se disto no famoso romance de Oscar Wilde, *O Retrato de Dorian Gray*: Gray mantinha-se misteriosamente jovem, mas o segredo estava num seu retrato que envelhecia atrozmente, pelo que a quantidade total de envelhecimento não parava de crescer.) O princípio da entropia também se evidencia se olharmos para a parte de trás de um frigorífico. No interior do eletrodoméstico, a entropia diminui quando a temperatura baixa. Mas, para reduzir a entropia, é necessário um motor, que aumenta o calor gerado nas traseiras do frigorífico, aumentando a entropia no exterior da máquina. É por isso que os frigoríficos estão sempre quentes na parte de trás.

Como disse uma vez o prémio Nobel Richard Feynman: «Ainda não se descobriu nada na Biologia que aponte para a inevitabilidade da morte. Isto sugere-me que ela não é de todo inevitável e que se trata apenas de uma questão de tempo até os biólogos descobrirem o que nos está a causar esse incómodo; então, curar-se-á essa terrível doença universal ou temporariedade do corpo humano.»¹⁷

A segunda lei também se evidencia na ação do estrogénio, a hormona sexual feminina que mantém as mulheres jovens e vibrantes até atingirem a menopausa, quando se acelera o envelhecimento e aumenta a taxa de mortalidade. O estrogénio assemelha-se a encher de gasolina super um carro desportivo. O carro comporta-se maravilhosamente, mas à custa de um desgaste cada vez maior do motor. Para as mulheres, esse desgaste celular pode manifestar-se no cancro da mama. Com efeito, sabe-se que as injeções de estrogénio aceleram o crescimento do cancro da mama. Por isso, é possível que o preço que as mulheres pagam pela

juventude e vigor antes da menopausa seja o aumento da entropia total, neste caso do cancro da mama. (Têm-se proposto muitas teorias, ainda bastante controversas, para explicar o recente aumento das taxas de cancro da mama. Segundo uma delas, este aumento relacionar-se-ia, em parte, com o número total de ciclos menstruais de uma mulher. Antigamente, as mulheres estavam quase sempre grávidas desde a puberdade até à menopausa, morrendo pouco depois. Isto significava que tinham poucos ciclos menstruais, baixos níveis de estrogénio e, portanto, um nível relativamente baixo de cancro da mama. Presentemente, as jovens atingem a puberdade mais cedo, têm mais ciclos menstruais, dão à luz em média 1,5 filhos apenas, vivem depois da menopausa e estão, portanto, consideravelmente mais expostas ao estrogénio, o que poderá desembocar num aumento de ocorrência de cancro da mama.)

Foram descobertas recentemente muitas pistas excitantes sobre genes e envelhecimento. Em primeiro lugar, alguns investigadores demonstraram que é possível criar gerações de animais que vivem mais do que o normal. Em particular, é possível criar em laboratório leveduras, nematodes e moscas-da-fruta com uma longevidade superior à normal. O mundo científico ficou atónito quando Michael Rose, da Universidade da Califórnia em Irvine, anunciou que tinha sido capaz, através da criação seletiva, de aumentar a longevidade das moscas-da-fruta em 70%. Descobriu-se que as suas «supermoscas», ou moscas Matusalém, tinham maiores quantidades do antioxidante superóxido dismutase (SOD), que pode abrandar a destruição causada pelos radicais livres. Em 1991, Thomas Johnson, da Universidade do Colorado em Boulder, isolou

um gene, a que chamou age-1, que parece ser responsável pelo envelhecimento nos nematodes e que aumenta a sua longevidade em 110%. «Se existe nos seres humanos um gene como o age-1, poderemos realmente fazer qualquer coisa espetacular», comentou.¹⁸

Os cientistas isolaram alguns genes (age-1, age-2, daf-2) que controlam e regulam o envelhecimento em organismos inferiores, mas que também têm equivalentes no homem. Com efeito, um cientista comentou que alterar a longevidade das leveduras era quase como ligar um interruptor. Quando se ativava um certo gene, as células viviam mais tempo. Quando se desativava, viviam menos.

Criar leveduras com uma longevidade maior é simples em comparação com a dispendiosa tarefa de criar seres humanos, que vivem tanto tempo que é quase impossível testá-los. Mas o isolamento dos genes responsáveis pelo envelhecimento poderá acelerar-se no futuro, sobretudo quando todos tivermos os nossos genomas em CD-ROM. Nessa altura, os cientistas disporão de uma enorme base de dados de milhares de milhões de genes passíveis de análise por computador. Serão capazes de analisar milhões de genomas de dois grupos de pessoas, os jovens e os velhos. A comparação desses dois grupos permite identificar onde se processa o envelhecimento a nível genético. Uma análise preliminar desses genes já isolou cerca de sessenta genes onde o envelhecimento parece concentrar-se.

Por exemplo, os cientistas sabem neste momento que a longevidade tende a ter algo de hereditário. As pessoas que vivem mais tempo tendem a ter pais com vidas igualmente longas. Apesar de não ser espetacular, o efeito é mensurável. Os cientistas que analisam gémeos idênticos separados à nascença também conseguem observar esta tendência a nível genético. Mas a nossa esperança de vida não é 100% determinada pelos nossos genes, mas apenas 35%, segundo os cientistas que estudaram esta questão. Portanto, no futuro, quando todos possuírmos o nosso próprio genoma que nos custará 100 dólares, será possível analisar por computador os genomas de milhões de pessoas a fim de isolar os genes que controlam parcialmente a nossa longevidade.

Além disso, esses estudos por computador permitirão localizar com precisão os principais pontos onde ocorre o envelhecimento. Sabemos que, num automóvel, o envelhecimento ocorre sobretudo no motor, onde a gasolina é oxidada e queimada. Do mesmo modo, a análise genética mostra que o envelhecimento se concentra no «motor» da célula, a mitocôndria, ou central energética da célula. Foi isso que permitiu aos cientistas restringirem a procura de «genes da idade» e estudarem maneiras de acelerar a reparação de genes no interior da mitocôndria para inverter os efeitos do envelhecimento.

Cerca de 2050, talvez seja possível abrandar o processo de envelhecimento por meio de várias terapias, como, por exemplo, as células estaminais, a «loja do corpo humano» e a terapia génica para reparar genes a envelhecer. Poderemos viver até aos 150 anos ou mais. Cerca de 2100, talvez seja possível reverter os efeitos do

envelhecimento, acelerando os mecanismos de reparação celular, para que se possa viver mais anos.

4.2 Restrição Calórica

Esta teoria pode explicar o estranho facto de a restrição calórica (isto é, a redução de 30% ou mais das calorias que ingerimos) se traduzir num aumento da longevidade na ordem dos 30%. Todos os organismos estudados até agora (das leveduras e aranhas aos insetos, coelhos, cães e, agora, macacos) exibem este estranho fenómeno. Os animais com uma dieta restringida têm menos tumores, menos doença cardíaca, uma menor incidência de diabetes e menos doenças relacionadas com o envelhecimento. Com efeito, a restrição calórica é o único mecanismo conhecido para o aumento da longevidade que tem sido testado repetidas vezes, em quase todo o reino animal, e que funciona sempre. Até há pouco tempo, a única espécie importante que ainda intrigava os investigadores da restrição calórica era a dos primatas, na qual nos incluímos, dada a sua grande longevidade.

Os cientistas estavam especialmente ansiosos pelos resultados da restrição calórica nos macacos *rhesus*. Finalmente, em 2009, chegaram os resultados esperados havia tanto tempo. Segundo o estudo da Universidade de Wisconsin, ao cabo de vinte anos de restrição calórica, os macacos sujeitos a ela eram menos afetados por qualquer tipo de doença (diabetes, cancro, doença cardíaca). Em geral, gozavam de melhor saúde do que os seus congéneres que tinham feito uma dieta normal.¹⁹

Há uma teoria que pode explicar estes factos: a Natureza faculta aos animais duas «escolhas» no que respeita ao modo como usam a sua energia. Em tempos de abundância, a energia é utilizada para a reprodução. Em tempos de escassez, o corpo trava o mecanismo da reprodução, conserva a energia e tenta sobreviver à fome. Como o estado de quase inanição é comum no reino animal, é frequente os animais «escolherem» travar o mecanismo da reprodução, abrandar o metabolismo, viver mais tempo e esperar por melhores dias.

O sagrado graal da investigação sobre o envelhecimento é, de certo modo, a preservação dos benefícios da restrição calórica sem o seu lado negativo (morrer de fome). Aparentemente, a tendência natural dos seres humanos é ganhar peso e não perdê-lo. Com efeito, não tem piada seguir uma dieta de restrição calórica que nem um eremita suportaria. Além disso, os animais com uma dieta particularmente drástica e restritiva ficam letárgicos, indolentes e perdem todo o interesse pelo sexo. O que estimula os cientistas é a procura de um gene que controle esse mecanismo, permitindo-nos tirar partido da restrição calórica sem o seu lado negativo.

O investigador do MIT Leonard P. Guarente e outros, que procuravam um gene passível de aumentar a longevidade das leveduras, descobriram uma pista importante em 1991. Guarente, David Sinclair (de Harvard) e colegas descobriram o gene SIR2, envolvido na restrição calórica. Este gene é responsável pela deteção das reservas energéticas de uma célula. Quando as reservas são poucas, tal como acontece em tempos de escassez, o gene é ativado. É precisamente o que se poderia esperar de um

gene que controla os efeitos da restrição calórica. Também descobriram que o gene SIR2 possui um equivalente nos ratos e nas pessoas, os SIRT, que produzem proteínas chamadas sirtuínas. A seguir, investigaram as substâncias químicas que ativam as sirtuínas, e descobriram o resveratrol.

Foi intrigante porque os cientistas também acreditavam que o resveratrol era responsável pelos benefícios do vinho tinto e podia explicar o «paradoxo francês». Apesar de a cozinha francesa ser famosa pelos seus molhos ricos, com muita gordura e óleos, os franceses parecem gozar de uma longevidade normal. Talvez este mistério se explique por consumirem tanto vinho tinto, que contém resveratrol.

Os cientistas descobriram que os ativadores da sirtuína podem proteger os ratos de uma diversidade impressionante de doenças, incluindo o cancro do pulmão e do cólon, o melanoma, o linfoma, a diabetes de tipo 2, a doença cardiovascular e a doença de Alzheimer, segundo Sinclair. Se fosse possível tratar uma parte destas doenças nos seres humanos por intermédio das sirtuínas, revolucionar-se-ia toda a medicina.²⁰

Recentemente, surgiu uma teoria para explicar todas as propriedades notáveis do resveratrol. Segundo Sinclair, o principal objetivo da sirtuína é impedir a ativação de determinados genes. Os cromossomas de uma célula, por exemplo, se forem esticados ao máximo, atingem um comprimento de cerca de 1,80m, ou seja, uma molécula astronomicamente comprida. Só uma porção destes genes é necessária, podendo a restante ficar inativa. A célula

amordaça a maior parte dos genes quando não são necessários, envolvendo o cromossoma em cromatina, mantida pela sirtuína.

Contudo, esses cromossomas delicados são por vezes atingidos por catástrofes, como uma rutura total de um dos filamentos. É então que surge a sirtuína para ajudar a reparar o cromossoma afetado. Mas quando as sirtuínas deixam temporariamente o seu posto para o socorrer, também abandonam a sua tarefa principal de silenciamento dos genes. Por conseguinte, estes são ativados, o que provoca um caos genético. Segundo Sinclair, esta rutura será um dos principais mecanismos do envelhecimento.

Se for verdade, talvez as sirtuínas possam não apenas travar o envelhecimento, mas também invertê-lo. Mas Sinclair acredita que grande parte do envelhecimento é causado por sirtuínas que foram afastadas da sua principal tarefa, possibilitando a degeneração das células. Esse afastamento das sirtuínas pode ser revertido com facilidade, afirma.

4.3 Fonte da Juventude?

Um subproduto indesejado desta descoberta, no entanto, tem sido o circo mediático que desencadeou. De repente, os programas televisivos *60 Minutes* e *The Oprah Winfrey Show* publicitaram o resveratrol, desencadeando uma corrida à Internet, com empresas que surgiam de um dia para o outro a prometer o elixir da vida, como se todos os vendedores de banha-da-cobra e charlatães quisessem apanhar o comboio do resveratrol.

(Tive oportunidade de entrevistar Guarente, o homem que lançou esta corrida mediática, no seu laboratório. Foi cuidadoso nas declarações que fez, ciente das repercussões mediáticas que os seus resultados podiam ter e dos mal-entendidos que se podiam criar. Sobretudo, estava revoltado com o facto de tantos sítios de Internet estarem a publicitar o resveratrol como uma espécie de fonte da juventude. Era terrível que as pessoas estivessem a tentar tirar proveito da fama súbita do resveratrol, embora a maior parte dos resultados ainda fosse provisório. Contudo, não excluiu a possibilidade de, se a fonte da juventude vier a ser descoberta (partindo-se do princípio de que existe), o SIR2 desempenhar um papel nela. O seu colega Sinclair confessa que toma diariamente uma grande quantidade de resveratrol.)²¹

No seio da comunidade científica, o interesse nas investigações sobre o envelhecimento é tal que a Harvard Medical School promoveu uma conferência em 2009 que atraiu alguns dos maiores investigadores nesse domínio. Na audiência, estavam muitos cientistas que tinham aderido pessoalmente à restrição calórica. Com um aspeto descarnado e frágil, estavam a testar a sua filosofia científica restringindo a sua dieta. Também eram membros do 120 Club, o grupo que pretende viver até aos 120 anos. O principal foco de interesse foi a Sirtris Pharmaceuticals, cofundada por David Sinclair e Christoph Westphal, que está presentemente a realizar ensaios clínicos de alguns substitutos do resveratrol. Westphal afirma categoricamente que «Dentro de cinco, seis ou sete anos, disporemos de fármacos que prolongarão a longevidade.»²²

Substâncias químicas que nem sequer existiam há uns anos são alvo de grande interesse agora que estão a ser testadas. O SRT501 está a ser testado no mieloma múltiplo e no cancro do cólon, e o SRT2104 na diabetes de tipo 2. Há diversos grupos a estudarem atentamente não apenas as sirtuínas, mas também muitos outros genes, proteínas e substâncias químicas (incluindo o IGF-1, o TOR e a rapamicina).

Só o tempo dirá se esses ensaios clínicos serão bem-sucedidos. No que respeita ao envelhecimento, a história da medicina está cheia de ilusões, de trapagens e de fraudes. Mas, ao contrário da superstição, a ciência baseia-se em dados reprodutíveis, testáveis e refutáveis. À medida que o National Institute of Aging for lançando programas para testar os efeitos de diversas substâncias sobre o envelhecimento, será possível apurar se esses intrigantes estudos em animais se podem transpor para os seres humanos.

4.4 Será Que Temos de Morrer?

O pioneiro da biotecnologia, William Haseltine, disse-me uma vez: «A natureza da vida não é a mortalidade. É a imortalidade. O ADN é uma molécula imortal. Apareceu pela primeira vez há 3,5 mil milhões de anos aproximadamente. Essa mesma molécula, através de duplicações, anda por aí neste momento [...] É verdade que nos esgotamos, mas já falámos sobre a possibilidade de alterarmos isso no futuro. Primeiro, para duplicar ou triplicar o nosso tempo de vida. E, talvez, se compreendermos o cérebro suficientemente bem, para alargar indefinidamente a duração do nosso corpo e também a do nosso cérebro. E não penso que seja um processo contranatura.»

Os biólogos evolucionários sublinham que a pressão evolucionária se exerce sobre os animais durante a sua idade reprodutiva. Passados esses anos, o animal pode tornar-se, de facto, um fardo para o grupo, e talvez por isso a evolução o tenha programado para morrer de velhice. Talvez tenhamos sido programados para morrer, mas talvez nos possamos reprogramar para viver mais tempo.

Na verdade, se olharmos para os mamíferos, por exemplo, descobrimos que quanto maiores são, mais lenta é a sua taxa de metabolismo e maior a sua longevidade. Os ratos, por exemplo, consomem uma enorme quantidade de alimentos para o seu peso corporal, e vivem apenas cerca de quatro anos. Os elefantes têm uma taxa de metabolismo muito mais lenta e vivem até aos setenta anos. Se o metabolismo corresponde ao acumular de erros, então isto aparentemente bate certo com a ideia de que vivemos mais tempo se a nossa taxa de metabolismo é lenta. (Talvez explique a expressão inglesa «queimar a vela dos dois lados». Li uma vez um conto sobre um génio que disse a um homem que lhe concretizaria qualquer desejo e o homem pediu-lhe imediatamente para viver 1000 anos; o génio satisfê-lo, transformando-o numa árvore.)

Os biólogos evolucionários tentam explicar a duração da vida relacionando-a com a sobrevivência das espécies na natureza. Para eles, a longevidade de uma espécie é determinada geneticamente porque a ajuda a sobreviver e a reproduzir-se. Segundo a sua perspetiva, os ratos têm uma vida breve porque são constantemente perseguidos por diversos predadores e muitas vezes morrem de frio no Inverno. Os ratos que transmitem os seus

genes à geração seguinte são os que têm uma prole maior, e não os que vivem mais tempo. (Se esta teoria for correta, é de esperar que os ratos que conseguem fugir dos predadores vivam mais tempo; na verdade, os morcegos, do mesmo tamanho que os ratos, vivem 3,5 vezes mais tempo.)

No entanto, os répteis constituem uma anomalia. Desconhece-se a duração da vida de alguns répteis. Aparentemente, até podem viver para sempre. Os aligátores e os crocodilos limitam-se a aumentar de tamanho, mantendo o mesmo vigor e energia. (Há manuais que afirmam que os aligátores só vivem até aos setenta anos, talvez porque o guarda do jardim zoológico morreu com essa idade; outros livros são mais honestos, limitando-se a afirmar que vivem mais de setenta anos, mas que essa duração nunca foi confirmada em condições laboratoriais.) Na realidade, esses animais não são imortais, porque morrem de acidentes, de fome, de doença, etc., mas, num jardim zoológico, têm vidas muito longas, como se vivessem para sempre.

4.5 Relógio Biológico

Outra pista importante provém dos telómeros de uma célula, que atuam como um «relógio biológico». Os telómeros localizam-se nas extremidades de um cromossoma, assemelhando-se às pontas em plástico nas extremidades dos atacadores. Encurtam a cada ciclo reprodutivo. Ao cabo de cerca de sessenta reproduções (no caso de células da pele), os telómeros desfiam-se. A célula inicia o processo de senescência e deixa de funcionar adequadamente. Os telómeros assemelham-se, pois, ao rastilho num bastão de dinamite. Se o

rastilho vai encurtando a cada ciclo reprodutivo, acaba por desaparecer e a célula deixa de se reproduzir.

É o chamado limite de Hayflick, que parece estabelecer o limite máximo do ciclo de vida de certas células. As células cancerosas, por exemplo, não estão sujeitas a ele e produzem uma enzima chamada telomerase que impede os telómeros de encurtarem.

A telomerase pode ser sintetizada. Quando é aplicada às células cutâneas, estas reproduzem-se aparentemente sem limites. Tornam-se imortais.

Contudo, há um perigo. As células cancerosas também são imortais, dividindo-se sem limite no interior de um tumor. De facto, é por isso que são tão letais, porque se reproduzem sem limites até que o corpo deixa de poder funcionar. É por isso que a enzima telomerase terá de ser analisada com todo o cuidado. Qualquer terapia que a utilize para reverter o relógio biológico terá de ser controlada para garantir que não causa cancro.

4.6 Imortalidade Mais Juventude

A perspetiva de aumentar a longevidade humana é uma fonte de alegria para alguns e de horror para outros, quando se tem em conta a explosão demográfica e uma sociedade de idosos decrépitos que provocarão a falência do país.

Com efeito, uma combinação de terapias biológicas, mecânicas e nanotecnológicas poderá, não só aumentar a duração da nossa vida, como também preservar simultaneamente a juventude. Robert A. Freitas Jr., que aplica a nanotecnologia à medicina, afirma: «Essas intervenções tornar-se-ão comuns dentro de umas décadas. Recorrendo a controlos anuais e a purificações, bem como a algumas reparações ocasionais, poderemos uma vez por ano recuar a nossa idade biológica para a idade fisiológica mais ou menos constante que escolhermos. Ainda poderemos morrer de causas acidentais, mas viveremos no mínimo dez vezes mais do que agora.»²³

No futuro, aumentar a duração da vida não implicará beber da mitológica Fonte da Juventude. É mais provável que dependa de uma combinação de diversos métodos:

1. Criar novos órgãos à medida que os velhos se gastam ou adoecem, por meio da engenharia de tecidos e das células estaminais;
2. Ingerir um cocktail de proteínas e enzimas concebido para reforçar os mecanismos de reparação das células, para regular o metabolismo, para acertar o relógio biológico e para reduzir a oxidação;
3. Utilizar a terapia génica para alterar genes que possam abrandar o processo de envelhecimento;

4. Manter um estilo de vida saudável (exercício físico e uma boa alimentação);
5. Utilizar nanossensores para detetar doenças como o cancro anos antes de se tornarem um problema.

4.7 População, Alimentos e Poluição

No entanto, persiste uma questão incómoda: se for possível aumentar a esperança de vida, iremos ser afetados pela sobrepopulação? Ninguém sabe.

Atrasar o envelhecimento tem uma série de implicações sociais. Se vivermos mais tempo, não sobrepovoaremos a Terra? No entanto, há quem refira que o grosso do prolongamento do tempo de vida já ocorreu, quando a esperança de vida subiu em flecha dos quarenta e cinco anos para os setenta e oitenta no espaço de um século apenas. Em vez de criar uma explosão demográfica, aconteceu o inverso. Como as pessoas vivem mais tempo, dedicam-se à carreira e adiam a parentalidade. Com efeito, a população de origem europeia está a decrescer espetacularmente. Portanto, se as pessoas vivem vidas mais longas e mais ricas, podem espaçar o nascimento dos filhos e ter menos filhos. Com muitas mais décadas de vida, as pessoas reajustarão os seus horizontes temporais, espaçando ou adiando os filhos.

Outros argumentam que as pessoas rejeitarão esta tecnologia porque não é natural e poderá violar as suas crenças religiosas. Na

verdade, sondagens informais feitas à população em geral mostram que a maioria das pessoas considera que a morte é natural e ajuda a dar sentido à vida (Contudo, as pessoas entrevistadas são maioritariamente jovens e de meia-idade. Num lar de idosos, onde as pessoas estiolam e vivem num sofrimento constante, à espera da morte, a mesma pergunta poderia ter uma resposta completamente diferente.)

Como afirma Greg Stock, da UCLA: «A nossa angústia por estarmos a fazer as vezes de Deus e as nossas preocupações com uma maior longevidade dariam lugar a um novo coro: “Quando me arranjam um comprimido?”»²⁴

Em 2002, baseados em dados demográficos da melhor qualidade, houve cientistas que estimaram que 6% de todos os seres humanos que povoaram a Terra ainda estão vivos hoje. Isto porque a população humana se manteve em torno do milhão durante a maior parte da história da Humanidade. Ter de procurar alimentos que escasseavam controlou a população humana. Estima-se que, mesmo durante o apogeu do Império Romano, a sua população não ultrapassava os 55 milhões.²⁵

Nos últimos 300 anos, no entanto, registou-se um pico espetacular na população mundial, coincidindo com a ascensão da medicina moderna e a Revolução Industrial, que produziram uma abundância de alimentos e de reservas. E, no século XX, a população mundial voltou a aumentar para mais do dobro entre 1950 e 1992 — de 2,5 mil milhões para 5,5 mil milhões —, situando-

se agora nos 6,7 mil milhões. Todos os anos nascem mais 79 milhões de pessoas, mais do que toda a população de França.²⁶

Em consequência, têm-se feito muitas previsões do Dia do Juízo Final, mas até ao momento, a humanidade tem sido capaz de se esquivar. Em 1798, Thomas Malthus advertiu-nos do que aconteceria se a população excedesse as reservas alimentares. Escassez alimentar, motins, quedas de governos e inanição maciça suceder-se-iam até se atingir um novo equilíbrio entre a população e os recursos. Como as reservas alimentares só se expandem linearmente enquanto a população cresce exponencialmente, o mundo iria inevitavelmente atingir o ponto de rutura. Malthus previu fomes maciças em meados da década de 1800.

Porém, nessa década, a população mundial estava nas primeiras fases de expansão e, com a descoberta de novas terras, o estabelecimento de colónias, os aumentos nas reservas alimentares, etc., os desastres previstos por Malthus nunca se verificaram.

Na década de 1960, surgiu outra previsão malthusiana: uma bomba populacional não tardaria a atingir o planeta, que entraria em colapso em 2000. A previsão estava errada. A Revolução Verde fez aumentar as reservas alimentares. Os dados mostram que este aumento excedeu o crescimento da população mundial, derrotando temporariamente a lógica de Malthus. Entre 1950 e 1984, a produção cerealífera aumentou mais de 250%, sobretudo devido a novos fertilizantes e a novas tecnologias agrícolas.

Fomos capazes de nos esquivar mais uma vez. Porém, neste momento, a expansão da população atingiu o máximo, e há quem diga que estamos a atingir os limites da capacidade do planeta de criar reservas alimentares.

A produção alimentar está preocupantemente estacionária, tanto no que toca à produção cerealífera mundial como aos alimentos retirados dos oceanos. O assessor para a ciência e tecnologia do Reino Unido advertiu da tempestade de uma população em explosão e de reservas alimentares e energéticas em queda em 2030. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), até 2050 o mundo terá de aumentar a produção alimentar em 70% para dar de comer a mais 2,3 mil milhões de pessoas.

Estas projeções podem subestimar a verdadeira dimensão do problema. As centenas de milhões de habitantes da China e da Índia que estão a ascender à classe média quererão usufruir dos luxos que têm visto nos filmes de Hollywood (dois automóveis, habitações espaçosas nos subúrbios, hambúrgueres e batatas fritas, etc.) e poderão esgotar os recursos mundiais. Com efeito, Lester Brown, um dos ambientalistas mais famosos do mundo e fundador do World Watch Institute, em Washington, confidenciou-me que o mundo poderá não ser capaz de aguentar a pressão de ter de proporcionar um estilo de vida da classe média a tantas centenas de milhões de pessoas.

4.8 Alguma Esperança para a População Mundial

Contudo, há uns vislumbres de esperança. O controlo da natalidade, que era um tabu, tomou conta do mundo desenvolvido e abre caminho pelo mundo em desenvolvimento.

Na Europa e no Japão, assistimos à implosão, e não à explosão, da população. A taxa de natalidade é de apenas 1,2 a 1,4 filhos por família em alguns países europeus, muito inferior ao nível de substituição de 2,1. O Japão está a ser atingido por um triplo azar. Em primeiro lugar, possui a população com o envelhecimento mais rápido do mundo. As mulheres japonesas, por exemplo, há mais de vinte anos que detêm o recorde do grupo com maior esperança de vida. Em segundo lugar, o Japão tem uma taxa de natalidade em queda acentuada. E, em terceiro lugar, o governo controla de forma muito rigorosa a imigração. Estas três forças demográficas estão a dar origem a um acidente ferroviário em câmara lenta. E a Europa não lhe fica muito atrás.

Uma das lições a retirar destes factos é que o maior contraceptivo do mundo é a prosperidade. Antigamente, os camponeses sem direito a reforma ou a segurança social tentavam ter todos os filhos que podiam para trabalharem nos campos e cuidarem dos pais quando estes envelhecessem, baseados num cálculo simples: cada novo filho significa mais mãos para trabalhar, mais rendimento e mais pessoas para cuidarem dos pais na velhice. Mas, quando um camponês ascende à classe média, com as vantagens da reforma e de um estilo de vida confortável, a equação muda: cada novo filho reduz o rendimento e a qualidade de vida.

No Terceiro Mundo, temos o problema oposto — uma população em rápida expansão, maioritariamente abaixo dos vinte anos. Mesmo onde se espera uma explosão demográfica máxima, como na Ásia e na África Subsariana, a taxa de natalidade tem vindo a diminuir, por diversas razões.

Em primeiro lugar, temos a rápida urbanização da população camponesa, à medida que os agricultores abandonam as suas terras ancestrais para tentar a sorte nas megacidades. Em 1800, só 3% da população vivia em cidades. Em finais do século XX, esse número ascendeu a 47% e espera-se que suba muito mais nas próximas décadas. As despesas da educação de crianças em meio urbano reduzem espetacularmente o número de filhos por família. Com rendas, alimentação e despesas tão elevadas, os trabalhadores nos bairros de lata das megacidades fazem os mesmos cálculos e concluem que cada filho reduz a sua riqueza.

Em segundo lugar, à medida que os países se industrializam, como a China e a Índia, cria-se uma classe média que quer ter menos filhos, à semelhança do Ocidente industrializado. E em terceiro lugar, a educação das mulheres, até em países pobres como o Bangladesh, tem criado uma classe de mulheres que quer menos filhos. Devido a um plano educacional amplo, a taxa de natalidade no Bangladesh desceu de 7 para 2,7, mesmo sem uma urbanização ou industrialização em grande escala.

Devido a todos estes fatores, as Nações Unidas têm estado a rever continuamente as suas previsões em matéria de crescimento demográfico. As estimativas ainda variam, mas a população

mundial poderá atingir 9 mil milhões em 2040. Embora continue a aumentar, a taxa de crescimento acabará por abrandar e estabilizar. Otimisticamente, poderá fixar-se em torno dos 11 mil milhões em 2100.

Normalmente, considerar-se-ia que uma taxa desta ordem excede a capacidade de sustentação do planeta, mas depende de como a definimos, pois poderá estar a desenhar-se outra revolução verde.

A biotecnologia é outra solução possível para alguns destes problemas. Na Europa, os alimentos geneticamente modificados conquistaram uma má fama que se pode manter durante toda uma geração. A indústria de biotecnologia vendeu aos agricultores, simultaneamente, herbicidas e culturas resistentes aos herbicidas. Para a indústria, significava mais vendas, mas para os consumidores, significava mais veneno nos alimentos, e o mercado não tardou a implodir.

No futuro, no entanto, poderão surgir no mercado cereais como o «superarroz», isto é, culturas especificamente produzidas para se desenvolverem em ambientes secos, hostis e áridos. Em termos éticos, seria difícil oparmo-nos à introdução de culturas que são seguras e que podem alimentar centenas de milhões de pessoas.

4.9 Ressuscitar Formas de Vida Extintas

Outros cientistas, no entanto, não estão só interessados em aumentar a longevidade humana e em enganar a morte. Também estão interessados em ressuscitar criaturas do mundo dos mortos.

No filme *Parque Jurássico*, os cientistas extraem ADN de dinossauros, inserem-no em ovos de répteis e ressuscitam dinossauros. Embora ainda não se tenha encontrado ADN de dinossauro utilizável, há indícios excitantes de que este sonho não é assim tão fantástico. Em finais deste século, os jardins zoológicos poderão estar povoados de seres que deixaram de andar pela superfície da Terra há milhares de anos.

Como referimos mais atrás, Robert Lanza deu o primeiro passo ao clonar o bantengue, uma espécie em vias de extinção. Em seu entender, como seria uma pena se esse boi raro se extinguisse, está a considerar outra possibilidade: criar um novo animal clonado, mas do sexo oposto. Nos mamíferos, o sexo de um organismo é determinado pelos cromossomas X e Y. Fazendo pequenos ajustes nesses cromossomas, poderá clonar outro animal a partir da mesma carcaça, mas do sexo oposto. Desse modo, nos jardins zoológicos de todo o mundo, teríamos o prazer de ver nascer crias de espécies há muito desaparecidas.

Jantei uma vez com Richard Dawkins, da Universidade de Oxford e autor de *O Gene Egoísta*, que vai um pouco mais longe, falando da possibilidade de ressuscitarmos várias formas de vida há muito extintas e não apenas em perigo de extinção. Começa por referir

que o número de genes sequenciados está sempre a duplicar no espaço de vinte e sete meses. A seguir, calcula que, nas próximas décadas, a sequenciação total de qualquer genoma custará apenas 160 dólares. Prevê o momento em que os biólogos transportarão um pequeno estojo e, em minutos, sequenciarão todo o genoma de qualquer forma de vida que encontrem.

Porém, vai ainda mais longe e põe a hipótese de, em 2050, sermos capazes de construir um organismo inteiro a partir do seu genoma. Escreve: «Creio que, em 2050, seremos capazes de ler a linguagem [da vida]. Introduziremos o genoma de um animal desconhecido num computador, que reconstruirá, não só a forma do animal como o mundo pormenorizado em que os seus antepassados [...] viveram, incluindo os seus predadores e presas, parasitas ou hospedeiros, locais de nidificação, e até esperanças e medos».²⁷ Citando a obra de Sydney Brenner, Dawkins acredita que conseguiremos reconstruir o genoma do «elo perdido» entre seres humanos e símios.

Seria um avanço verdadeiramente notável. A julgar pelas provas fósseis e de ADN, separámo-nos dos símios há 6 milhões de anos.

Como o nosso ADN difere do dos chimpanzés em apenas 1,5%, um programa informático deverá ser capaz de analisar o nosso ADN e o do chimpanzé e calcular matematicamente o ADN do antepassado comum «que deu origem a ambas as espécies. Logo que tenha sido matematicamente reconstruído o genoma hipotético do nosso antepassado comum, um programa informático fornecer-nos-á uma reconstrução visual do seu aspeto e das suas

características. Chama-lhe Lucy Genome Project, do nome que foi dado ao célebre fóssil de uma Australopiteca.

Chega a formular a hipótese de que, depois da recriação matemática por um programa informático do genoma do elo perdido, seria possível criar de facto o ADN desse organismo, implantá-lo num óvulo humano e inserir esse óvulo numa mulher, que daria à luz o nosso antepassado.

Embora este cenário tenha sido considerado absurdo ainda há poucos anos, vários avanços indicam que não é assim tão estranho.

Em primeiro lugar, o punhado de genes importantes que nos separam dos chimpanzés está a ser analisado pormenorizadamente neste momento. Um candidato interessante é o gene ASPM, responsável pelo controlo das dimensões do cérebro. O cérebro humano aumentou há vários milhões de anos, por motivos que ainda não foram compreendidos. Quando esse gene sofre uma mutação, causa microcefalia — o crânio é pequeno e o cérebro sofre uma redução de 70%, ficando com as dimensões do cérebro dos nossos antepassados de há milhões de anos. É possível utilizar computadores para analisar a história deste gene. As análises mostram que sofreu mutações quinze vezes nos últimos 5 a 6 milhões de anos, desde que nos separámos do chimpanzé, o que coincide com o aumento das dimensões do nosso cérebro. É fascinante que tenha sido nos seres humanos que o ritmo de mudança desse importante gene foi mais rápido, em comparação com os nossos parentes primatas.

Mais interessante ainda é a região HAR1 do genoma, que contém apenas 118 letras. Em 2004, descobriu-se que a diferença crucial entre os chimpanzés e os seres humanos nesta região era de apenas 18 letras ou ácidos nucleicos. Apesar de os chimpanzés e as galinhas terem divergido há 300 milhões de anos, os seus pares de base na região HAR1 diferem em apenas duas letras. Isto significa que esta região se manteve notavelmente estável ao longo da história evolucionária, até ao aparecimento do homem. Portanto, é possível que ela contenha os genes que nos tornam humanos.²⁸

No entanto, há um avanço ainda mais espetacular que parece tornar exequível a proposta de Dawkins. Já está totalmente sequenciado o genoma do nosso vizinho genético mais próximo, o Neanderthal há muito extinto. Por intermédio da análise informática do genoma do ser humano, do chimpanzé e do Neanderthal, talvez se possa usar a matemática pura para reconstruir o genoma do elo perdido.

4.10 Ressuscitar o Neanderthal?

É provável que os seres humanos e os Neanderthais tenham divergido há cerca de 300 000 anos, mas, como estes últimos se extinguiram na Europa há 30 000 anos, considerou-se impossível, durante muito tempo, extrair ADN utilizável de seres há muito desaparecidos.

Contudo, em 2009, uma equipa liderada por Svante Pääbo, do Instituto de Antropologia Evolucionária Max Planck de Leipzig, produziu um primeiro esboço do genoma inteiro do Neanderthal,

analisando o ADN de seis Neanderthais. Foi uma façanha monumental. Como se esperava, o genoma do Neanderthal era muito semelhante ao do homem, contendo ambos 3 mil milhões de pares de base, mas também diferente em aspetos importantes.

O antropólogo Richard Klein, de Stanford, ao comentar este trabalho de Pääbo e colegas, disse que essa reconstrução poderia responder a questões de longa data sobre o comportamento dos Neanderthais, como, por exemplo, se eram capazes de falar. Os seres humanos possuem duas alterações particulares no gene FOXP2, que nos permitem, em parte, proferir milhares de palavras. Uma análise atenta mostra que os Neanderthais têm as mesmas duas alterações genéticas no seu gene FOXP2. Por isso, é concebível que fossem capazes de vocalizar tal como nós.

Como são os nossos parentes genéticos mais próximos, os Neanderthais têm sido alvo de grande interesse por parte dos cientistas. Alguns têm falado na possibilidade de reconstruir o ADN do Neanderthal e de o inserir num óvulo, que poderá um dia vir a tornar-se um Neanderthal vivo. Então, ao cabo de milhares de anos, o Neanderthal pode voltar a caminhar à superfície da Terra.

George Church, da Harvard Medical School, chegou a calcular que a ressurreição do Neanderthal custaria apenas 30 milhões de dólares e até concebeu um plano para o efeito. O genoma humano começaria por ser dividido em partes, com 100 000 pares de ADN cada. Cada parte seria inserida numa bactéria e alterada geneticamente, para que o seu genoma emparelhasse com o do Neanderthal. A seguir, juntar-se-iam todas essas partes de ADN

alterado a fim de constituir o ADN completo do Neanderthal. Essa célula seria reprogramada para regressar ao seu estado embrionário, sendo depois inserida no útero de um chimpanzé fêmea.²⁹

Contudo, Klein, de Stanford, suscitou algumas preocupações compreensíveis quando perguntou: «E depois onde o põem? Em Harvard ou num jardim zoológico?»³⁰

Todas estas conversas sobre ressurreição de espécies há muito extintas, como o Neanderthal, «suscitarão indubitavelmente preocupações de carácter ético», adverte Dawkins.³¹ Os Neanderthais terão direitos? O que acontecerá se ele ou ela quiserem acasalar? Quem será responsável se ele ou ela se ferirem ou ferirem alguém?

Portanto, se for possível ressuscitar o Neanderthal, será que os cientistas acabarão por criar um jardim zoológico para animais há muito extintos, como o mamute?

4.11 Ressuscitar o Mamute?

A ideia não é tão louca como parece. Os cientistas já foram capazes de sequenciar grande parte do genoma do mamute siberiano extinto. Anteriormente, só tinha sido possível extrair fragmentos minúsculos de ADN de mamutes lanosos congelados na Sibéria havia dezenas de milhares de anos. Webb Miller e Stephan C. Schuster, da Universidade do Estado da Pensilvânia, fizeram o

impossível: extraíram 3 mil milhões de pares de base de ADN de carcaças de mamute congeladas. O recorde para a sequenciação de ADN de espécies extintas era de apenas 13 milhões de pares de base, menos de 1% do genoma do animal. (Este avanço foi possível devido a uma nova máquina de sequenciação, de alto rendimento, que permite analisar milhares de genes ao mesmo tempo, em vez de individualmente.) A outra habilidade foi saber onde procurar ADN antigo. Miller e Schuster descobriram que eram os folículos pilosos do mamute lanoso, e não o corpo, que continham o melhor ADN.

Neste momento, a ideia de ressuscitar um animal extinto talvez seja biologicamente possível. «Há um ano, teria dito que se tratava de ficção científica», declarou Schuster.³² Mas neste momento, com grande parte do genoma do mamute sequenciado, já não está fora de questão. Schuster até esboçou o modo de o fazer. Estimou que deveriam bastar 400 000 alterações no ADN de um elefante asiático para criar um animal com todas as características essenciais de um mamute lanoso. Talvez seja possível alterar geneticamente o ADN do elefante de modo a acomodar estas mudanças, inseri-lo no núcleo de um óvulo de elefante e implantá-lo numa fêmea do animal.

A equipa já está a sequenciar o ADN de outro animal extinto, o tilacino (tigre-da-tasmânia ou lobo-da-tasmânia), um marsupial australiano aparentado ao diabo-da-tasmânia, que se extinguiu em 1936. Também se fala em sequenciar o dodó. A vulgar expressão inglesa «morto como um dodó» poderá tornar-se obsoleta se os cientistas conseguirem extrair ADN utilizável dos tecidos moles e

ossos das carcaças de dodó que existem em Oxford e noutros lugares.

4.12 Parque Jurássico?

Isto conduz-nos naturalmente à questão original: será possível ressuscitar os dinossauros? Numa palavra, talvez não. Um Parque Jurássico depende da capacidade de retirar o ADN intacto de uma forma de vida que morreu há mais de 65 milhões de anos, o que parece impossível. Embora tenham sido encontrados tecidos moles nos ossos das coxas de fósseis de dinossauros, ainda não se extraiu ADN dessa maneira, só proteínas. Se bem que essas proteínas tenham provado quimicamente as relações próximas entre o *Tyrannosaurus rex*, por um lado, e a rã e a galinha, por outro, estamos longe de poder recuperar o genoma de um dinossauro.

Dawkins, no entanto, defende a possibilidade de se comparar geneticamente o genoma de diversas espécies de aves com o de répteis e reconstruir matematicamente a sequência de ADN de um «dinossauro generalizado». Refere a possibilidade de induzir os bicos das galinhas a criarem gérmes dentários (e de induzir as cobras a desenvolverem patas). Por conseguinte, características antigas, que desapareceram há muito, podem subsistir no interior dos genomas.

É que os biólogos sabem agora que, se os genes podem ser ligados, também podem ser desligados. Isto significa que os genes para características antigas ainda podem existir, embora

adormecidos. Talvez seja possível ressuscitar essas características antigas, ligando esses genes há muito adormecidos.

Antigamente, por exemplo, as galinhas tinham os dedos unidos por uma membrana. O gene para essa característica não desapareceu, foi simplesmente desligado. Se voltar a ser ligado, poderemos em princípio criar galinhas palmípedes. Do mesmo modo, o corpo dos seres humanos também estava coberto de pêlo. Contudo, perdemo-lo quando começámos a transpirar, uma maneira muito eficiente de regular a temperatura do corpo. (Como não têm glândulas sudoríparas, os cães arrefecem arquejando.). O gene para o pêlo nos seres humanos ainda deve existir, mas desligado. Por conseguinte, se o ligarmos, talvez tenhamos pessoas cobertas de pêlo. (Houve quem especulasse sobre a responsabilidade deste gene na lenda dos lobisomens.)

Se partirmos do princípio de que alguns dos genes dos dinossauros foram desligados há milhões de anos, mas ainda sobrevivem no genoma das aves, talvez seja possível reativá-los e induzir nas aves características de dinossauros. Portanto, a proposta de Dawkins é especulativa, mas não está fora de questão.

4.13 Criar Novas Formas de Vida

Isto suscita a última questão: poderemos criar vida segundo os nossos desejos? Será possível criar não só animais há muito extintos, mas também animais que nunca existiram? Por exemplo, um porco com asas ou um animal descrito na mitologia? Mesmo em finais deste século, a ciência não conseguirá criar animais por

encomenda. Contudo, a sua capacidade de modificar o reino animal progredirá muito.

Até agora, o fator limitador tem sido a nossa capacidade de mover os genes de um lado para o outro. Só conseguimos modificar, de uma forma fiável, genes únicos. Por exemplo, é possível descobrir um gene que faz com que certos animais brilhem no escuro. Podemos isolá-lo e colocá-lo noutros animais, para que brilhem no escuro. De facto, estão em curso investigações para modificar animais de estimação por meio da adição de genes únicos.

Porém, criar um animal completamente novo, como uma quimera da mitologia grega (uma combinação de três animais diferentes), exige a transposição de milhares de genes. Para criar um porco alado, seria necessário mover as centenas de genes que representam a asa e garantir um ajuste adequado de todos os músculos e vasos sanguíneos. Tudo isto excede largamente o que conseguimos fazer neste momento.

Contudo, têm-se feito incursões que poderão facilitar esta possibilidade futurística. Os biólogos ficaram espantados quando descobriram que os genes que descrevem o esquema do corpo (da cabeça aos dedos dos pés) se refletiam na ordem em que aparecem nos cromossomas. São os chamados genes HOX, que descrevem como o corpo é construído. Segundo parece, a Natureza terá enveredado por um atalho, refletindo a ordem dos órgãos do corpo na sequência encontrada nos próprios cromossomas. Por sua vez, isto acelerou imenso o processo de decifração da história evolucionária destes genes.

Além disso, há «genes-mestre»³³ que governam aparentemente as propriedades de muitos outros genes. Se manipularmos um punhado destes «genes-mestre», podemos manipular as propriedades de dezenas de outros genes.

Em retrospectiva, vemos que a Mãe Natureza decidiu criar o esquema do corpo de uma maneira muito semelhante aos projetos dos arquitetos. A disposição geométrica do plano segue a mesma ordem da disposição física de um edifício. Além disso, os planos são modulares, para que o plano principal contenha os blocos dos subplanos.

Além de criar animais híbridos completamente novos explorando a modularidade do genoma, também existe a possibilidade de aplicar a genética aos seres humanos, utilizando a biotecnologia para ressuscitar figuras históricas. Lanza acredita que, desde que se consiga extrair uma célula intacta de uma pessoa falecida há muito, será possível ressuscitá-la. Na Abadia de Westminster, existem cadáveres cuidadosamente preservados de reis e rainhas, poetas, figuras religiosas, políticos e até cientistas como Isaac Newton. Lanza confessou-me um dia que talvez seja possível encontrar ADN intacto nesses cadáveres e ressuscitá-los.

No filme *Os Comandos da Morte* (*The Boys from Brazil*), o enredo tem a ver com a ressurreição de Hitler. Contudo, não devemos acreditar na possibilidade de ressuscitar o génio ou a notoriedade de qualquer dessas personalidades históricas. Como referiu um biólogo, se ressuscitarmos Hitler, é possível que só tenhamos um

artista de segunda categoria (que era o que ele era antes de liderar o movimento nazi).

4.14 Acabar Com Todas as Doenças?

O profético filme *Things to Come*, baseado num romance de H. G. Wells, previa o futuro da civilização na sequência de um ciclo de sofrimento e miséria intermináveis desencadeado pela Segunda Guerra Mundial. Todas as conquistas da humanidade acabavam por ser destruídas, e bandos de chefes militares dominavam pessoas esmagadas e empobrecidas. Porém, no fim do filme, um grupo de cientistas de ideias largas, equipados com armas poderosíssimas, começa a restabelecer a ordem. A civilização surge finalmente das cinzas. Numa das cenas, uma criança está a aprender a história brutal do século XX e fica a saber da existência de constipações. O que é uma constipação, pergunta, e respondem-lhes que as constipações eram doenças que tinham sido curadas havia muito tempo.

Ou talvez não.

A cura de todas as doenças é um dos nossos objetivos mais antigos. Mas nem em 2100 os cientistas serão capazes de curar todas as doenças, porque elas sofrem mutações a uma velocidade superior à da cura, e existem em grande quantidade. Esquecemo-nos por vezes de que vivemos num oceano de bactérias e de vírus, que existiam milhares de milhões de anos antes de os primeiros homens surgirem à superfície da Terra, e que continuarão a existir

milhares de milhões de anos depois de o *Homo sapiens* desaparecer.

Muitas doenças provêm originalmente dos animais. É um dos preços que pagámos pela sua domesticação, que começou há cerca de 10 000 anos. Portanto, existe um enorme reservatório de doenças emboscadas em animais que sobreviverão provavelmente à humanidade. Costumam infetar apenas um punhado de indivíduos mas, com o aparecimento de grandes cidades, essas doenças transmissíveis poderão alastrar rapidamente entre as populações humanas, atingindo massa crítica e gerando pandemias.

Por exemplo, quando os cientistas analisaram a sequência genética do vírus da gripe, ficaram surpreendidos com a sua origem: as aves. Muitas aves podem ser portadoras de variações do vírus da gripe sem evidenciarem quaisquer efeitos. Mas os porcos atuam por vezes como «tigelas de bater bolos» genéticas, depois de ingerirem fezes de aves. E os agricultores vivem perto de ambos. Há quem pense que é por isso que o vírus da gripe provém muitas vezes da Ásia, onde os agricultores praticam policulturas, vivendo frequentemente perto tanto de patos como de porcos.

A epidemia de H1N1 é apenas a vaga mais recente de mutações da gripe aviária e suína.

Um dos problemas reside no facto de os seres humanos se expandirem continuamente para novos ambientes, derrubando florestas, construindo subúrbios e fábricas, e contatando,

entretanto, com doenças antigas emboscadas entre os animais. Como a população humana está em permanente expansão, isso significa que devemos esperar encontrar mais surpresas provenientes da floresta.

Por exemplo, há consideráveis provas genéticas de que o VIH começou como vírus da imunodeficiência do símio, infectando originalmente macacos e passando depois para os homens. Do mesmo modo, o hantavírus afetou pessoas no Sudoeste americano quando penetraram em território dos roedores de pradaria. A doença de Lyme, transmitida pela carraça, invadiu os subúrbios do Nordeste americano, porque as pessoas passaram a construir casas perto das florestas onde vivem as carraças. É provável que o vírus Ébola tenha afetado tribos humanas outrora, mas só alastrou a uma população mais vasta e só apareceu nos jornais depois da generalização das viagens aéreas. A própria doença do legionário deve ser uma doença antiga que se desenvolvia em águas estagnadas, mas terá sido a proliferação de aparelhos de ar condicionado que fez que a doença alastrasse aos idosos em viagem em barcos de cruzeiro.

Isto significa que haverá muitas surpresas, com novas vagas de doenças exóticas em destaque nos média.

Infelizmente, é provável que essas doenças não sejam curadas tão cedo.

Até a constipação vulgar, por exemplo, não tem cura. A pletora de produtos que se encontram em qualquer farmácia só trata os sintomas, em vez de matar o próprio vírus. O problema é a existência de mais de 300 variantes do rinovírus que causa a constipação, e o custo excessivo de criação de uma vacina para todas elas.

O VIH é muito pior pois é possível que existam milhares de estirpes diferentes. Com efeito, o VIH sofre mutações tão rápidas que, mesmo que se desenvolvesse uma vacina para uma variedade, o vírus não tardaria a sofrer outra mutação. Conceber uma vacina para o VIH é como tentar acertar num alvo em movimento.

Portanto, embora curemos muitas doenças no futuro, é provável que haja sempre doenças que escapam à nossa ciência mais avançada.

4.15 Admirável Mundo Novo

Cerca de 2100, quando controlarmos o nosso destino genético, teremos de o comparar com a antiutopia apresentada por Aldous Huxley, no seu romance profético *Admirável Mundo Novo*, que se passa em 2540. O livro causou choque e consternação quando foi publicado pela primeira vez em 1932.

Contudo, mais de setenta e cinco anos depois, muitas das suas previsões já se concretizaram. Huxley scandalizou a sociedade britânica quando escreveu sobre bebés-proveta, a separação do

prazer sexual e da procriação e a vulgarização das drogas, mas hoje vivemos num mundo onde a fertilização *in vitro* e os contraceptivos são considerados como fazendo parte do cenário (a única previsão importante que fez que não se concretizou foi a clonagem humana). Concebeu um mundo hierarquizado onde os médicos clonavam deliberadamente embriões humanos com lesões cerebrais para fazer deles servos da elite dominante. Consoante o grau de lesão, a gama dos seres humanos ia dos Alfas, perfeitos e destinados a governar, aos Epsilões, pouco mais do que escravos com atraso mental. A tecnologia, em vez de libertar a humanidade da pobreza, ignorância e doença, tornara-se um pesadelo, impondo uma estabilidade artificial e corrupta à custa da escravização de toda a população.

Embora as previsões do romance sejam corretas em muitos aspetos, Huxley não anteviu a engenharia genética. Se tivesse sabido dessa tecnologia, talvez se tivesse preocupado com outro problema: será que a espécie humana se fragmentará, com pais inconstantes e governos tortuosos a intrometerem-se nos genes dos nossos filhos? Se e noctívaga, que passara por mim a correr, era também herdeira de todas as épocas.»³⁴

Para apurar que variações da humanidade são possíveis, basta olhar para o cão doméstico. Embora existam milhares de raças de cães, todas descendem originalmente do *Canis lupus*, o lobo cinzento, domesticado há cerca de 10 000 anos, em finais da última Era Glaciar. Devido à criação seletiva realizada pelos seus donos humanos, os cães atuais são de diversos tamanhos e dimensões. A

forma do corpo, o temperamento, a cor e as capacidades têm sido radicalmente alteradas pela criação seletiva.

Como os cães envelhecem cerca de sete vezes mais depressa que os homens, podemos estimar que existiram 1000 gerações de cães desde que se separaram dos lobos. Se aplicarmos isto aos seres humanos, a criação sistemática de seres humanos poderá fragmentar a humanidade em milhares de raças no espaço de 70 000 anos apenas, embora a espécie seja a mesma. Com a engenharia genética, este processo poderia acelerar-se imenso, numa única geração.

Felizmente, há razões para acreditar que a especiação da humanidade não se fará, pelo menos no próximo século. Na evolução, uma espécie divide-se quando se separa geograficamente em duas populações reprodutivas isoladas. Isto aconteceu, por exemplo, na Austrália, quando a separação física de muitas espécies animais levou à evolução de animais que não se encontram em mais parte alguma da Terra, como os marsupiais do tipo do canguru. As populações humanas, em contrapartida, são altamente móveis, sem engarrafamentos evolucionários, e estão muito misturadas.

Segundo Gregory Stock, da UCLA, «Neste momento, a evolução darwiniana tradicional quase não produz alterações nos seres humanos e há poucas perspetivas de que o venha a fazer num futuro previsível. A população humana é grande demais e está demasiado misturada, e as pressões seletivas são demasiado localizadas e transitórias.»³⁵

Existem ainda as restrições decorrentes do Princípio do Homem das Cavernas.

Como mencionámos mais atrás, as pessoas rejeitam muitas vezes os progressos tecnológicos (por exemplo, o escritório sem papel) quando contradizem a natureza humana, que se tem mantido relativamente constante nos últimos 100 000 anos. As pessoas podem não querer criar filhos por medida que se desviem da norma e sejam considerados estranhos pelos seus pares, o que lhes reduz as probabilidades de serem bem-sucedidos na sociedade. Vestir um filho com roupas esquisitas é uma coisa, mas alterar-lhe permanentemente a hereditariedade é completamente diferente. (Num mercado livre, é plausível que haja lugar para genes estranhos, mas esse lugar será pequeno pois o mercado será orientado pela procura dos consumidores.) No final do século, é mais provável que se apresente a um casal uma biblioteca de genes para ele poder escolher, sobretudo os genes que eliminam doenças genéticas mas também os que proporcionam algum melhoramento genético. Contudo, não haverá muita pressão de mercado para financiar o estudo de genes estranhos porque a procura será pequeníssima.

O perigo real não virá tanto da procura dos consumidores, mas de governos ditatoriais que possam querer utilizar a engenharia genética para os seus próprios fins, como a reprodução de soldados mais fortes, mas mais obedientes.

Surgirá outro problema num futuro distante, quando tivermos colónias espaciais noutros planetas cuja gravidade e condições

climáticas difiram muito das da Terra. Nesse momento, talvez no próximo século, torna-se realista pensar em criar uma nova raça de seres humanos capazes de se adaptar a diferentes campos de gravidade e condições atmosféricas. Uma nova raça de humanos, por exemplo, poderá consumir diferentes quantidades de oxigénio, ajustar-se a dias com durações diferentes e ter um peso corporal e metabolismo também diferentes. Mas as viagens espaciais serão dispendiosas durante muito tempo. Em finais do século, talvez tenhamos um pequeno posto avançado em Marte, mas uma proporção esmagadora da humanidade ainda viverá na Terra. No espaço de décadas a séculos, as viagens espaciais serão exclusivo de astronautas, indivíduos abastados e, talvez, um punhado de audaciosos colonos espaciais.

Por conseguinte, a divisão da humanidade em diferentes espécies capazes de viver no espaço e de viajar pelo sistema solar e para lá dele não ocorrerá neste século, nem talvez no próximo. No futuro previsível, a não ser que se registem avanços espetaculares na tecnologia espacial, manter-nos-emos em geral presos à Terra.

Finalmente, existe outra ameaça que teremos de enfrentar antes de 2100: a possibilidade de esta tecnologia se virar deliberadamente contra nós, sob a forma de guerra biológica por medida.

4.16 Guerra Biológica

A guerra biológica é tão velha como a Bíblia. Os guerreiros costumavam catapultar cadáveres para dentro das muralhas das cidades inimigas e envenenar-lhes os poços com corpos de animais doentes. Oferecer deliberadamente aos adversários mantas infetadas com varíola é outra maneira de os destruir. Porém, com a tecnologia moderna, é possível criar germes capazes de eliminar milhões de pessoas.

Em 1972, os Estados Unidos e a ex-União Soviética assinaram um tratado histórico proibindo a utilização da guerra biológica para fins ofensivos. Contudo, a tecnologia da bioengenharia está tão avançada neste momento que o tratado não tem qualquer significado.

Em primeiro lugar, é impossível distinguir tecnologias ofensivas ou defensivas quando se fala em investigação de ADN. A manipulação dos genes pode ser usada para qualquer dos objetivos.

Em segundo lugar, com a engenharia genética, é possível transformar germes em armas, modificando-os deliberadamente a fim de lhes aumentar a letalidade e a capacidade de se espalharem no ambiente. Pensava-se que só os Estados Unidos e a Rússia possuíam as últimas ampolas contendo varíola, o maior assassino na história da humanidade. Em 1992, um dissidente soviético afirmou que os Russos possuíam varíola já transformada em arma, tendo produzido vinte toneladas. Com a derrocada da União

Soviética, existe o temor permanente de um grupo terrorista poder pagar para ter acesso a essa varíola modificada.

Em 2005, alguns biólogos ressuscitaram o vírus da gripe espanhola de 1918, que matou mais pessoas do que a Primeira Guerra Mundial. É notável que tenham sido capazes de o fazer analisando o cadáver de uma mulher enterrada no gelo permanente do Alasca, bem como amostras retiradas de soldados americanos durante a epidemia.

Os cientistas divulgaram o genoma completo do vírus na Web, tornando-o acessível a todo o mundo. Muitos cientistas sentiram-se incomodados com o facto, pois até um estudante universitário, com acesso a um laboratório, poderia ressuscitar um dos maiores assassinos da história da humanidade.

A curto prazo, a publicação do genoma do vírus da gripe espanhola foi uma mina para os cientistas, que tiveram a possibilidade de examinar os genes para resolver um enigma de longa data: como pôde uma mutação tão pequena causar estragos tão generalizados na população humana? A resposta não tardou a surgir. O vírus da gripe espanhola, ao contrário de outras variedades, causa uma reação desproporcionada do sistema imunitário, que liberta enormes quantidades de fluido acabando por matar o doente. A pessoa afoga-se literalmente em líquido gerado pelo seu corpo. Logo que isto se esclareceu, foi possível comparar os genes que causam este efeito mortífero com os genes da gripe H1N1 e de outros vírus. Felizmente, nenhum possuía este gene letal. Além disso, era possível calcular a distância a que os vírus

estavam de atingir esta capacidade alarmante, e a gripe H1N1 estava muito longe.

A longo prazo, no entanto, há um preço a pagar. Todos os anos se torna mais simples manipular os genes dos organismos vivos. Os custos não param de descer a pique, e as informações estão à disposição na Internet.

Alguns cientistas creem que será possível, dentro de poucas décadas, fabricar uma máquina que nos permitirá criar qualquer gene limitando-nos a dactilografar os componentes desejados. Se utilizarmos o teclado para introduzir os símbolos A-T-C-G que constituem um gene, a máquina efetuará as operações necessárias com ADN para criar o referido gene. Se assim for, é possível que até estudantes do secundário venham a efetuar manipulações avançadas de formas de vida.

Um cenário de pesadelo é a SIDA transmitida pelo ar. Os vírus da constipação, por exemplo, possuem alguns genes que lhes permitem sobreviver em gotículas de aerossóis, pelo que os espirros podem infectar outras pessoas. Neste momento, o vírus da SIDA é bastante vulnerável quando é exposto ao ambiente. No entanto, se os genes dos vírus da constipação forem implantados no vírus da SIDA, é concebível que o tornem capaz de sobreviver fora do corpo humano. Isto poderá permitir que o vírus da SIDA alastre como uma constipação, infectando desse modo uma grande parte da humanidade. Também se sabe que os vírus e as bactérias trocam genes entre si, pelo que também existe a possibilidade de o

vírus da SIDA e os das constipações vulgares trocarem genes naturalmente, ainda que isto seja menos provável.

No futuro, um grupo terrorista ou um Estado-nação poderão ser capazes de transformar a SIDA numa arma. A única coisa que os impedirá de a desencadear será o facto de também eles poderem morrer se o vírus se dispersar no ambiente.

Esta ameaça tornou-se real depois da tragédia do 11 de Setembro. Um desconhecido enviou pacotes de um pó branco contendo esporos de carbúnculo a famosos políticos de todo o país. Uma análise microscópica exaustiva do pó branco evidenciou que os esporos de carbúnculo tinham sido manipulados no sentido da maximização das suas capacidades letais e destrutivas. De repente, todo o país foi dominado pelo medo de que um grupo terrorista tivesse acesso a armas biológicas avançadas. Embora o carbúnculo exista no solo e no ambiente, só um indivíduo com formação avançada e intenções maníacas teria podido purificar o carbúnculo, transformando-o em arma, e realizado este feito.

Mesmo depois de uma das maiores perseguições ao homem na história dos Estados Unidos, o culpado nunca foi encontrado até hoje (embora um dos principais suspeitos se tenha suicidado recentemente). O que importa sublinhar aqui é a possibilidade de um indivíduo isolado, com alguma formação avançada em Biologia, aterrorizar uma nação inteira.

Um fator que tem permitido controlar a guerra biológica é o interesse próprio. No decurso da Primeira Guerra Mundial, a eficácia do gás venenoso em campo de batalha foi contraditória. Como o regime dos ventos era muitas vezes imprevisível, o gás podia atingir os próprios soldados do lado que o lançasse. O seu valor militar residia mais no terror que provocava no inimigo, do que na capacidade de o derrotar. Não se ganhou nenhuma batalha decisiva devido à utilização do gás venenoso. E, mesmo no apogeu da Guerra Fria, ambos os lados sabiam que o gás venenoso e as armas biológicas podiam ter efeitos imprevisíveis no campo de batalha e desencadear facilmente num confronto nuclear.

Uma vez que todos os argumentos mencionados neste capítulo, como vimos, envolveram a manipulação de genes, proteínas e moléculas, é natural que surja a próxima pergunta: até que ponto podemos manipular os átomos individuais?

¹ David Baltimore, «How Biology Became an Information Science», in Denning, p. 43.

² Nicholas Wade, «Cost of Decoding a Genome Is Lowered», *New York Times*, 10 de Agosto de 2009, p. D3, www.nytimes.com/2009/08/11/science/1lgene.html

³ Jeanne Lenzer, «Have We Entered the Stem Cell Era?», *Discover*, Novembro de 2009, p. 33, <http://discovermagazine.com/2009/nov/14-have-we-enteredthe-stem-cell-era/article-view?bstart:int=1&-C=>

⁴ *Ibid.*

⁵ Stock, p. 5.

⁶ *Ibid.*, p. 36.

⁷ Kate Kelland, «Gene Maps to Transform Scientists' Work on Cancer», *Reuters*, 18 de Dezembro de 2009.

⁸ David Baltimore, «How Biology Became an Information Science:», in Denning, p. 54.

⁹ Kurzweil, p. 195.

¹⁰ Stock, p. 108.

¹¹ Jonah Lehrer, «Small, Furry... and Smart?», *Nature* 461 (Outubro de 2009): 864.

¹² *Ibid.*

¹³ Jonah Lehrer, «Smart Mice», *The Frontal Cortex*, 15 de Outubro de 2009, http://scienceblogs.com/cortex/2009/10/smart_mice.php

-
- 14 Sheffield *et al.*, p. 107.
- 15 No original, *designer genes*.
- 16 Bíblia Sagrada, tradução em português corrente, Lisboa: Sociedade Bíblica de Portugal, 1993.
- 17 Kurzweil, p. 320.
- 18 Kaku, p. 211. *Visões: Como a Ciência Irá Revolucionar o Século XXI*, trad. de Maria Carvalho, Lisboa: Bizâncio, 1998, p. 315.
- 19 Nicholas Wade, «Tests Begin on Drugs That May Slow Aging», *New York Times*, 17 de Agosto de 2009, p. D4, [www.nytimes.com/2009/08/18/science/18aging.html?ref=caloric restriction](http://www.nytimes.com/2009/08/18/science/18aging.html?ref=caloric%20restriction)
- 20 Nicholas Wade, «Quest for a Long Life Gains Scientific Respect», *New York Times*, 29 de Setembro de 2009, p. D4, [www.nytimes.com/2009/09/29/science/29aging.html?ref=caloric restriction](http://www.nytimes.com/2009/09/29/science/29aging.html?ref=caloric%20restriction)
- 21 Nicholas Wade, «Scientists Find Clues to Aging in a Red Wine Ingredient's Role in Activating a Protein», *New York Times*, 26 de Novembro de 2008, p. A30, www.nytimes.com/2008/11/27/health/27aging.html?scp=6&sq=sinclair/20resveratrol&st=cse
- 22 Wade, «Quest for a Long Life», *New York Times*, 28 de Setembro de 2009, p. D4, [www.nytimes.com/2009/09/29/science/29aging.html?ref=caloric restriction](http://www.nytimes.com/2009/09/29/science/29aging.html?ref=caloric%20restriction)
- 23 Kurzweil, p. 253.
- 24 Stock, p. 88.
- 25 Ciara Curtin, «Fact or Fiction?: Living People Outnumber the Dead», *Scientific American*, Março de 2007.
- 26 Brown, p. 5.
- 27 Richard Dawkins, *A Devil's Chaplain: Reflections on Hope, Lies, Science, and Love* (Nova Iorque: Houghton Mifflin Mariner, 2004), p. 113.
- 28 Katherine S. Pollard, «What Makes Us Human?», *Scientific American*, Maio de 2009, p. 44.
- 29 Nicholas Wade, «Scientists in Germany Draft Neanderthal Genome», *New York Times*, 12 de Fevereiro de 2009, p. A12, www.nytimes.com/2009/02/13/science/13neanderthal.html?scp=3&sq=neanderthal&st=cse
- 30 *Ibid.*
- 31 Dawkins, p. 114.
- 32 Kate Wong, «Scientists Sequence Half the Woolly Mammoth's Genome», *Scientific American*, Janeiro de 2009, p. 26, www.scientificamerican.com/article.cfm?id=woolly-mammoth-genome-sequenced
- 33 No original, *master genes*.
- 34 Trad. de Maria Georgina Segurado, Mem-Martins: Publicações Europa-América, 2002 (Contemporânea, 60), p. 56.
- 35 Stock, p. 183.

CAPÍTULO 4

Nanotecnologia — Tudo a Partir de Nada?

Os princípios da física, tanto quanto consigo ver, não falam contra a possibilidade de manipular as coisas átomo a átomo.

— RICHARD FEYNMAN, PRÉMIO NOBEL

A nanotecnologia deu-nos as ferramentas... para brincar com a derradeira caixa de brinquedos da natureza — átomos e moléculas.

Tudo é feito a partir deles, e as possibilidades de criar novas coisas aparentam ser ilimitadas.

— HORST STORMER, PRÉMIO NOBEL

O papel do infinitamente pequeno é infinitamente grande.

— LOUIS PASTEUR

O DOMÍNIO DAS FERRAMENTAS é uma mais-valia que distingue a humanidade dos animais. Segundo as mitologias grega e romana, este processo começou quando Prometeu, apiedando-se da situação difícil dos humanos, roubou o precioso dom do fogo da fornalha de Vulcano. O domínio do fogo cedo se tornou um dos mais essenciais acontecimentos da

história humana. Este ato de ladroagem enraiveceu os deuses. Para punir a humanidade, Júpiter inventou uma artimanha inteligente. Pediu a Vulcano que forjasse uma caixa e uma bela mulher, ambas em metal. Vulcano criou a estátua, chamada Pandora; depois trouxe-a magicamente à vida e disse-lhe para nunca abrir a caixa. Cheia de curiosidade, ela um dia abriu-a e libertou todos os ventos do caos, da miséria e do sofrimento no mundo, deixando apenas a esperança dentro da caixa.

Portanto, da fornalha divina de Vulcano emergiram tanto os sonhos como o sofrimento da humanidade. Hoje, estamos a criar nos nossos laboratórios, novas máquinas revolucionárias que são as melhores de todas as ferramentas, forjadas a partir de átomos individuais. Será que libertarão o fogo do esclarecimento e do conhecimento, ou os ventos do caos?

Ao longo de toda a história humana, o domínio das ferramentas determinou o nosso destino. Quando o arco e a flecha foram aperfeiçoados há milhares de anos, isso significou que podíamos disparar projéteis muito mais longe do que as nossas mãos podiam atirá-los, aumentando grandemente a eficiência da caça e a quantidade disponível de alimentos. Quando a metalurgia foi inventada, há cerca de 7000 anos, isso significou que podíamos substituir casas de lama e palha e criar finalmente grandes edifícios que se elevavam acima do solo. Muito cedo, os impérios começaram a erguer-se da floresta e do deserto, construídos pelas ferramentas criadas a partir de metais.

E agora, estamos à beira de dominar ainda outro tipo de ferramenta, mais potente do que tudo o que conhecemos anteriormente. Desta vez, seremos capazes de dominar os próprios átomos a partir dos quais todas as coisas são criadas. No decorrer deste século, poderemos possuir a ferramenta mais importante alguma vez imaginada — a Nanotecnologia, que nos permitirá manipular átomos individuais. Isso pode iniciar uma segunda revolução industrial, à medida que a «manufatura molecular» cria novos materiais com que hoje apenas podemos sonhar e que são superfortes, superleves, com propriedades elétricas e magnéticas espantosas.

O prémio Nobel Richard Smalley disse, «o mais grandioso sonho da Nanotecnologia é ser capaz de utilizar o átomo como se fosse um tijolo»¹. Philip Kuekes da Hewlett-Packard disse: «No futuro, a meta não é apenas fabricar computadores do tamanho de partículas de pó. A ideia seria fabricar computadores do tamanho de bactérias. Então, poderíamos enfiar uma coisa tão potente como a que agora temos em cima da secretária numa partícula de pó»².

Isto não é somente a esperança de visionários ingénuos. O governo federal dos EUA leva-a a sério. Em 2009, por causa do seu imenso potencial para aplicações médicas, industriais, aeronáuticas e comerciais, a Iniciativa Nacional para a Nanotecnologia reservou 1500 milhões de dólares para investigação. O Relatório de Nanotecnologia da National Science Foundation afirma que «A Nanotecnologia tem potencial para melhorar o desempenho humano, criar um desenvolvimento sustentável para matérias-

primas, água, energia e alimentos, proteger de bactérias e vírus desconhecidos...»³

Em última análise, a economia mundial e o destino das nações podem depender disto. Perto de 2020 ou pouco depois, a lei de Moore começará a fraquejar e talvez acabe por desaparecer. A economia mundial pode ser lançada na desordem a menos que os físicos sejam capazes de encontrar um substituto apropriado para os transístores de silício para fazer funcionar os nossos computadores. A solução do problema pode vir da Nanotecnologia.

Esta pode também, talvez no fim deste século, criar uma máquina que só os deuses conseguem manejar, uma máquina capaz de criar tudo a partir de quase nada.

1. O Mundo Quântico

O primeiro a chamar a atenção para este novo reino da Física foi Richard Feynman, distinguido com o prémio Nobel, que pôs uma questão enganosamente simples: podemos fazer uma máquina quão pequena? Não se tratava de uma questão académica. Os computadores estavam gradualmente a ficar mais pequenos, mudando a face da indústria, de modo que estava a tornar-se patente que a resposta a esta questão poderia ter um enorme impacto na sociedade e na economia.

Na sua conferência profética de 1959 perante a Sociedade Americana de Física intitulada «Há espaço abundante no fundo»,

disse: «É interessante que, em princípio, seja possível (penso eu) que um físico sintetize qualquer substância química de que o químico escreve a fórmula. Dão-se as ordens e o físico sintetiza-a. Como? Põem-se os átomos onde o químico diz e, assim, faz-se a substância». Feynman concluiu que as máquinas feitas de átomos individuais eram possíveis, mas que as novas leis da física tornariam difícil, mas não impossível, criá-las.

Por isso, em última análise, a economia mundial e o destino das nações poderiam depender de princípios bizarros e contraintuitivos da teoria quântica. Normalmente, pensamos que as leis da física são as mesmas se descermos a escalas mais pequenas, mas não é verdade. Em filmes como *Querida, Encolhi os Miúdos*, da Disney, e *Sentenciado* (*The Incredible Shrinking Man*) obtemos a impressão errada de que pessoas em miniatura estariam sujeitas às leis da física da mesma maneira que nós. Por exemplo, numa cena do filme da Disney, os nossos heróis encolhidos cavalgam uma formiga durante uma chuvada. As gotas de chuva caem no chão e formam poças minúsculas, tal como no nosso mundo. Na realidade, contudo, as gotas de chuva são maiores do que as formigas. Portanto, quando uma formiga encontra uma gota de chuva vê um enorme hemisfério de água. O hemisfério de água não desaba porque a tensão superficial atua como uma rede que mantém a gota íntegra. No nosso mundo, a tensão superficial da água é muito pequena, de modo que não damos por ela. Todavia, à escala de uma formiga, a tensão superficial é proporcionalmente enorme, de modo que a chuva forma gotas.

(Além disso, se tentássemos aumentar a escala da formiga de modo a ficar do tamanho de uma casa, teríamos outro problema: as suas pernas partir-se-iam. Quando aumentássemos o tamanho da formiga, o seu peso cresceria muito mais rapidamente do que a força das suas pernas. Se aumentássemos o tamanho de uma formiga 10 vezes, o seu volume e, conseqüentemente, o seu peso seriam $10 \times 10 \times 10 = 1000$ vezes maiores. No entanto, a força está relacionada com a espessura dos músculos, que seriam apenas $10 \times 10 = 100$ vezes mais fortes. Por isso, a formiga gigante é 10 vezes mais fraca, relativamente, do que uma formiga vulgar. Isto também significa que King Kong, em vez de aterrorizar a cidade de Nova Iorque, se esmagaria no chão se tentasse trepar ao Empire State Building.)

Feynman notou que outras forças também dominam à escala atômica, como é o caso das ligações de hidrogénio e da força de van der Waals, causada por fraquíssimas forças elétricas que existem entre os átomos e as moléculas. Muitas das propriedades físicas das substâncias são determinadas por estas forças.

(Para visualizar isto, considere-se o problema simples da razão por que o Nordeste tem tantos buracos nas suas autoestradas. Todos os invernos, a água infiltra-se em minúsculas fendas no asfalto e depois expande-se quando gela, fazendo que o asfalto se desagregue e abra um buraco. Ora, viola o senso comum pensar que a água se expande quando gela. A água expande-se por causa das ligações de hidrogénio. A molécula da água tem a forma de um V, com o átomo de oxigénio na base. A molécula de água tem uma carga elétrica ligeiramente negativa na base e uma carga positiva

no topo. Por isso, quando se congela água e se empilham moléculas de água umas em cima das outras, elas expandem-se, formando uma grade regular de gelo, com abundância de espaço entre as moléculas. As moléculas de água estão dispostas em hexágonos. Portanto, a água expande-se quando gela porque há mais espaço entre os átomos num hexágono. Esta é também a razão por que os flocos de neve têm seis pontas, e explica por que o gelo flutua na água, quando seria lógico que se afundasse.)

2. Atravessando Paredes

Além da tensão superficial, ligações de hidrogénio e forças de van der Waals, existem também efeitos quânticos bizarros à escala atómica. Normalmente, não vemos forças quânticas em ação na vida de todos os dias. Todavia, as forças quânticas estão por todo o lado. Por exemplo, dado que o átomo é em grande medida vazio, deveríamos ser capazes de atravessar paredes. Entre o núcleo no centro do átomo e as camadas de eletrões, há apenas vácuo. Se o átomo fosse do tamanho de um estádio de futebol, o estádio estaria vazio dado que o tamanho do núcleo seria aproximadamente o de um grão de areia.

(Surpreendemos por vezes os nossos alunos com uma demonstração simples. Pegamos num contador Geiger, pomo-lo em frente de um aluno e pomos uma pastilha radioativa inofensiva por trás. O aluno fica espantado por algumas partículas passarem diretamente através do seu corpo e acionarem o contador Geiger, como se fosse em grande parte vazio, como de facto é.)

Então, se somos em grande parte vazios, por que não podemos atravessar paredes? No filme *O Espírito do Amor*, Patrick Swayze é morto por um rival e transforma-se num fantasma, mas fica frustrado sempre que tenta tocar a sua antiga noiva, papel desempenhado por Demi Moore. As suas mãos passam através da matéria comum; descobre que não tem substrato material e flutua simplesmente através dos objetos sólidos. Numa cena, enfia a cabeça numa carruagem de metropolitano em movimento. O metropolitano acelera com a sua cabeça enfiada lá dentro e, todavia, ele não sente nada. (O filme não explica, contudo, como a gravidade não o puxa através do chão de modo a cair para o centro da Terra. Os fantasmas, aparentemente, podem atravessar qualquer coisa menos o chão.)

Então, por que não podemos passar através de objetos sólidos como os fantasmas? A resposta reside num curioso fenómeno quântico. O princípio de exclusão de Pauli afirma que não pode haver dois eletrões que existam no mesmo estado quântico. Por isso, quando dois eletrões quase idênticos se aproximam demais, repelem-se mutuamente. É por esta razão que os objetos aparentam ser sólidos, coisa que é uma ilusão. A realidade é que a matéria é basicamente vazia.

Quando nos sentamos numa cadeira pensamos que estamos a tocá-la. De facto, estamos a pairar acima da cadeira, flutuando a menos de um nanómetro acima dela, repelidos pelas forças elétricas e quânticas da cadeira. Isto significa que sempre que «tocamos» alguma coisa, não estamos de modo nenhum a fazer um contato direto, mas estamos separados por essas minúsculas forças

atômicas. (Isto também quer dizer que se pudéssemos, de alguma maneira, neutralizar o princípio de exclusão, então também seríamos capazes de atravessar paredes. Todavia, ninguém sabe como fazê-lo.)

A teoria quântica não impede somente os átomos de colidirem uns contra os outros, mas também os liga uns aos outros em moléculas. Imagine-se por um momento que um átomo é como um minúsculo sistema solar, com planetas girando em torno de um sol. Agora, se dois desses sistemas solares colidissem, então os planetas ou estariam a colidir uns com os outros ou a voar em todas as direções, causando o colapso do sistema solar. Os sistemas solares nunca são estáveis quando colidem com outro sistema solar, de modo que justamente, os átomos deveriam desfazer-se quando chocam uns com os outros.

Na realidade, quando dois átomos se aproximam muito um do outro, ou ricocheteiam afastando-se, ou combinam-se para formar uma molécula estável. A razão pela qual os átomos podem formar moléculas estáveis é que os elétrons podem ser partilhados por dois átomos. Normalmente, a ideia de um elétron ser partilhado por dois átomos é absurda. Seria impossível se o elétron obedecesse às leis de senso comum de Newton. Todavia, por causa do princípio de incerteza de Heisenberg, nunca sabemos exatamente onde está o elétron. Em vez disso está repartido entre dois átomos, e isso mantém-nos juntos.

Por outras palavras, se pusermos de parte a teoria quântica, as moléculas desmantelam-se quando colidem umas com as outras e

nós dissolver-nos-íamos num gás de partículas. De modo que a teoria quântica explica por que os átomos se podem ligar para formar matéria sólida, de preferência a desintegrarem-se.

(Esta é também a razão por que não podemos ter mundos dentro de mundos. Algumas pessoas imaginam que o nosso sistema solar ou a nossa galáxia poderiam ser um átomo de um qualquer universo gigantesco. Isto era, de facto, a cena final de *Homens de Negro*, em que o universo inteiro era apenas um átomo no jogo de bola de um qualquer alienígena. Ora, de acordo com a Física, isso é impossível, dado que as leis da física mudam quando passamos de uma escala para outra. As regras que governam os átomos são muito diferentes das regras que governam as galáxias.)

Alguns dos princípios alucinantes da teoria quântica são:

- Não podemos saber a velocidade e a localização exata de uma partícula qualquer — há sempre incerteza;
- As partículas podem, num certo sentido, estar em dois lugares ao mesmo tempo;
- Todas as partículas existem como misturas de diferentes estados simultaneamente; por exemplo, partículas que giram podem ser misturas de partículas com spins de sinais contrários simultaneamente;

- Podemos desaparecer e reaparecer noutra qualquer.

Todas estas afirmações parecem ridículas. De facto, Einstein, uma vez, disse: «Quanto mais bem-sucedida é a teoria quântica, mais disparatada parece.» Ninguém sabe de onde vieram estas leis bizarras. São simplesmente postulados, sem explicação. A teoria quântica tem apenas uma coisa a seu favor: é correta. A sua precisão foi medida como uma parte em mil milhões, tornando-a a teoria física de maior sucesso em todos os tempos.

A razão por que não vemos esses incríveis fenómenos na vida quotidiana é por que somos compostos por biliões de biliões de átomos e esses efeitos, em certo sentido, compensam-se.

3. Movendo Átomo Individuais

Richard Feynman sonhava com o dia em que um físico pudesse fabricar qualquer molécula, átomo por átomo. Parecia impossível em 1959, mas parte desse sonho é hoje uma realidade.

Tive uma oportunidade de o ver de perto quando visitei o Laboratório de Investigação da IBM, de Almadena, em São José, Califórnia. Observei um instrumento notável, o microscópio de varrimento por efeito de túnel, que permite que os cientistas vejam e manipulem átomos individuais. Este aparelho foi inventado por Gerd Binnig e Heinrich Rohrer da IBM, e valeu-lhes o prémio Nobel em 1986. (Lembro-me de, em criança, o meu professor nos ter dito

que nunca seríamos capazes de ver átomos. Eram demasiado pequenos, disse ele. Nessa altura, eu já tinha decidido vir a ser um cientista atómico. Percebi que passaria o resto da minha vida a estudar uma coisa que nunca seria capaz de observar diretamente. Hoje, não só podemos ver átomos, mas podemos brincar com eles, com pinças atómicas.)

O microscópio de varrimento por efeito de túnel não é, na realidade, microscópio nenhum. Assemelha-se a um antigo gramofone. Uma agulha fina (com uma ponta que tem apenas um único átomo) passa lentamente sobre o material que está a ser analisado. Uma pequena corrente elétrica passa pela agulha, através do material, para a base do instrumento. Quando a agulha passa sobre o objeto, a corrente elétrica altera-se ligeiramente de cada vez que passa sobre um átomo. Depois de múltiplas passagens, a máquina imprime o assombroso perfil do próprio átomo. Usando uma agulha idêntica, o microscópio é então capaz não só de gravar esses átomos, mas também de os mover de um lado para outro. Desta maneira, podem escrever-se letras, tais como as iniciais «IBM», e, de facto, podem mesmo criar-se «máquinas» primitivas construídas com átomos.

(Outra invenção recente é o microscópio de força atómica, que pode dar-nos espantosas imagens 3D de coleções de átomos. O microscópio de força atómica também usa uma agulha com uma ponta muito pequena, mas faz passar um *laser* por ela. Quando passa sobre o material a estudar, a agulha agita-se levemente e esse movimento é então registado pela imagem do feixe *laser*.)

Descobri que mover átomos individuais de um lado para outro era muito simples. Sentei-me em frente de um ecrã de computador, olhando para uma série de esferas brancas, assemelhando-se, cada uma delas, a uma bola de pingue-pongue com dois centímetros e meio de diâmetro. Na realidade, cada bola era um átomo individual. Coloquei o cursor sobre um átomo e movi-o para outra posição. Carreguei num botão que, por sua vez, ativou a agulha para deslocar o átomo. O microscópio voltou então a esquadrihar a substância. O ecrã de computador alterou-se, mostrando que a bola se tinha movido precisamente para onde eu queria que fosse.

Todo o processo demorou apenas um minuto para deslocar cada átomo para qualquer posição que eu quisesse. De facto, em cerca de 30 minutos, descobri que podia efetivamente desenhar algumas letras no ecrã, compostas por átomos individuais. Numa hora, pude criar padrões bastante complexos envolvendo cerca de uma dezena de átomos.

Tive de recuperar do choque de que tinha efetivamente deslocado átomos individuais, uma coisa que em tempos foi pensada como impossível.

4. SMEM e Nanopartículas

A Nanotecnologia, embora ainda esteja na infância, já gerou uma indústria comercial em expansão no que respeita a revestimentos químicos. Pulverizando finas camadas de produtos químicos, com uma espessura de apenas algumas moléculas, sobre um produto

comercial, podem mudar-se as suas propriedades, para o tornar mais resistente à ferrugem ou alterar as suas propriedades óticas. Outras aplicações comerciais atuais são roupas resistentes às nódoas, ecrãs de computador melhorados, ferramentas de corte de metal mais fortes, e revestimentos resistentes a riscos. Nos anos vindouros, serão postos no mercado cada vez mais produtos comerciais novos que terão microrevestimentos para melhorar e aumentar o seu desempenho.

Na sua maior parte, a Nanotecnologia é ainda uma ciência muito jovem. No entanto, há um aspeto que está a começar a afetar a vida de toda a gente e já floresceu numa lucrativa indústria mundial de 40 mil milhões de dólares — os SMEM (sistemas microeletromecânicos) que incluem tudo desde cartuchos de jato de tinta, sensores de *airbags* e ecrãs a giroscópios para automóveis e aeroplanos. Os SMEM são máquinas minúsculas, tão pequenas que podem facilmente adaptar-se à ponta de uma agulha. São criadas usando as mesmas tecnologias de gravação que se usam na indústria de computadores. Em vez de gravarem transístores, os engenheiros gravam minúsculos componentes mecânicos, criando peças de máquinas tão pequenas que para vê-las é preciso um microscópio.

Os cientistas fizeram uma versão atómica do ábaco, o venerável calculador asiático, que consiste em várias colunas verticais de arame contendo contas de madeira. Em 2000, os cientistas do Laboratório de Investigação da IBM em Zurique fizeram uma versão atómica do ábaco manipulando átomos individuais com um microscópio de varrimento por efeito de túnel. Em vez de contas de

madeira que se movem para cima e para baixo nos arames verticais, o ábaco atômico usava futebolenos, que são átomos de carbono dispostos como uma bola de futebol, 5000 vezes menores do que a espessura de um cabelo humano.

Em Cornell, os cientistas criaram até uma guitarra atômica. Tem seis cordas, cada uma com apenas 100 átomos de espessura. Enfileiradas, 20 dessas guitarras cabem dentro de um cabelo humano. A guitarra é real, com cordas de verdade que podem ser tocadas (embora a frequência desta guitarra atômica seja demasiado alta para ser captada pelo ouvido humano).

A aplicação prática mais disseminada desta tecnologia é em *airbags*, que contêm minúsculos acelerômetros MEM que detetam a súbita travagem do automóvel. O acelerômetro MEM consiste numa bola microscópica presa a uma mola ou alavanca. Quando pisamos violentamente o travão, a súbita desaceleração faz saltar a bola cujo movimento cria uma pequeníssima carga elétrica. Esta carga provoca então uma explosão química que liberta grandes quantidades de nitrogénio gasoso no espaço de 1/25 de segundo. Esta tecnologia salvou já milhares de vidas.

5. Futuro Próximo (Até 2030)

5.1 Nanomáquinas no Nosso Corpo

No futuro próximo, devemos esperar uma nova variedade de nanodispositivos que podem revolucionar a medicina. Um dia

poderemos ter nanomáquinas percorrendo a nossa corrente sanguínea. No filme *Viagem Fantástica*, uma tripulação de cientistas e o seu navio são miniaturizados até ao tamanho de um glóbulo vermelho. Embarcam então numa viagem através da corrente sanguínea e cérebro de um paciente, encontrando uma série de perigos lancinantes no interior do corpo. Uma das metas da nanotecnologia é criar caçadores moleculares que se focam nas células cancerosas e as destroem de uma maneira limpa, deixando intactas as células normais. Os escritores de ficção científica sonham há muito com naves moleculares «procura-e-destrói» flutuando no nosso sangue, constantemente à procura de células cancerosas. Os críticos consideraram em tempos que tal era impossível, um sonho ocioso dos escritores de ficção.

Parte deste sonho está a ser realizado hoje. Em 1992, Jerome Schentag da Universidade de Buffalo inventou a pílula inteligente, que Já mencionámos, um minúsculo instrumento do tamanho de uma pílula, que se engole e cujo percurso pode ser seguido eletronicamente. Pode receber instruções para libertar fármacos no local apropriado. Têm sido construídas pílulas inteligentes que contêm câmaras de TV que fotografam o interior do corpo quando passam pelo estômago e intestinos. Podem usar-se ímanes para guiá-las. Deste modo, o dispositivo pode procurar tumores e pólipos. No futuro talvez seja possível fazer pequenas cirurgias usando estas pílulas inteligentes e remover quaisquer anomalias ou fazer biopsias a partir do interior, sem cortar a pele.

Um dispositivo muito menor é a nanopartícula, uma molécula que pode levar drogas de combate ao cancro até um alvo específico,

coisa que poderia revolucionar o tratamento do cancro. Essas nanopartículas podem ser comparadas com uma bomba molecular inteligente, concebida para atingir um alvo específico com uma carga química, reduzindo imenso os danos colaterais do processo. Enquanto uma bomba cega atinge tudo, incluindo células saudáveis, estas bombas inteligentes são seletivas e visam apenas as células cancerosas.

Qualquer pessoa que tenha experimentado os terríveis efeitos secundários da quimioterapia compreenderá o vasto potencial dessas nanopartículas para reduzir o sofrimento humano. A quimioterapia funciona banhando todo o corpo em toxinas mortais, matando as células cancerosas um pouco mais eficientemente do que as células normais. Os danos colaterais da quimioterapia são muito disseminados. Os efeitos secundários — incluindo náuseas, perda de cabelo, perda de força, etc. — são tão graves que alguns pacientes preferem morrer de cancro a submeterem-se a essa tortura.

As nanopartículas podem mudar tudo isto. Os medicamentos, por exemplo, fármacos de quimioterapia, são colocados no interior de uma molécula com a forma de uma cápsula. A nanopartícula é então deixada circular pela corrente sanguínea até encontrar um destino particular, onde liberta o fármaco.

A chave para estas nanopartículas é o tamanho: entre 10 e 100 nanómetros, demasiado grandes para penetrarem numa célula do sangue⁴. Por isso as nanopartículas ricocheteiam inofensivamente nas células sanguíneas normais. As células cancerosas são

diferentes; as suas paredes são crivadas de poros grandes e irregulares. As nanopartículas podem entrar livremente nas células cancerosas e depositar fármaco, mas deixando o tecido saudável intocado. De modo que os médicos não precisam de sistemas de orientação complicados para dirigir essas nanopartículas para o seu alvo. Elas acumulam-se naturalmente em certos tipos de tumores cancerosos.

A beleza disto é que não exige métodos complicados e perigosos que poderiam ter efeitos secundários perigosos. Essas nanopartículas são simplesmente do tamanho certo: demasiado grandes para atacar as células normais, mas do tamanho certo para penetrar numa célula cancerosa.

Outro exemplo é a nanopartícula criada pelos cientistas da BIND Biosciences em Cambridge, Massachusetts. Usam nanopartículas feitas de ácido poliláctico e ácido copoliláctico/ácido glicólico, que podem guardar fármacos dentro de uma rede molecular. Isto cria a carga da nanopartícula. Os peptídeos que as revestem constituem o sistema de orientação das nanopartículas e que especificamente se ligam à célula alvo.

O que é especialmente atraente em relação a este trabalho é que essas nanopartículas se formam sozinhas, sem complicadas fábricas e instalações químicas. Os vários produtos químicos são misturados lentamente, na sequência apropriada, em condições muito controladas, e as nanopartículas montam-se a si mesmas.

«Porque a automontagem não pede múltiplos passos químicos complicados, as partículas são muito fáceis de manufaturar. E podemos fazê-las à escala do quilo, o que mais ninguém fez ainda», diz Omid Farokhzad da BIND, um médico da Escola Médica de Harvard⁵. Neste momento, essas nanopartículas provaram o seu valor contra os tumores cancerosos da próstata, mama e pulmão em ratos. Usando corantes, pode mostrar-se que essas nanopartículas se estão a acumular no órgão em questão, libertando a sua carga do modo desejado. Os ensaios clínicos com pacientes humanos começarão dentro de poucos anos.

5.2 Células Cancerosas, o Alvo

Essas nanopartículas não só podem procurar células cancerosas e aplicar-lhes químicos para matá-las, como podem de facto ser capazes de as matar imediatamente. O princípio por detrás disto é simples. Essas nanopartículas podem absorver luz de uma certa frequência. Fazendo incidir nelas um raio laser, aquecem ou vibram, destruindo quaisquer células cancerosas na vizinhança por romperem as paredes celulares destas. A chave, portanto, é pôr essas nanopartículas suficientemente perto de uma célula cancerosa.

Vários grupos desenvolveram já protótipos. Os cientistas do Laboratório Nacional de Argonne e da Universidade de Chicago criaram nanopartículas de dióxido de titânio (o dióxido de titânio é um componente químico comum encontrado nos protetores solares). Este grupo descobriu que podia ligar essas nanopartículas a um certo anticorpo que procura naturalmente certas células

cancerosas chamadas glioblastoma multiforme (GBM). De modo que essas nanopartículas, apanhando boleia desse anticorpo, são levadas às células cancerosas. Então faz-se incidir uma luz branca por cinco minutos, aquecendo e acabando por matar as células cancerosas. Há estudos que mostraram que 80% das células cancerosas podem ser destruídas desta maneira.

Esses cientistas também imaginaram uma segunda maneira de matar células cancerosas. Criaram minúsculos discos magnéticos que podem vibrar violentamente. Uma vez que esses discos sejam levados até às células cancerosas, um pequeno campo magnético externo pode ser passado por cima deles, obrigando-os a tremer tão violentamente que rasgam a parede celular do cancro. Em testes, 90% das células cancerosas foram mortas depois de apenas 10 minutos de tremor.

Este resultado não é um feliz acaso. Cientistas da Universidade da Califórnia em Santa Cruz imaginaram um sistema semelhante usando nanopartículas de ouro. Estas partículas têm apenas 20 a 70 nanómetros de largura e apenas alguns átomos de espessura, organizadas com a forma de uma esfera. Os cientistas usaram um certo peptídeo que é conhecido por ser atraído por células do cancro da pele. Este peptídeo foi levado a conetar-se com as nanopartículas de ouro, que foram então transportadas até células de cancro de pele em ratos. Fazendo incidir um laser infravermelho, as partículas de ouro puderam destruir as células tumorais por aquecimento. «É basicamente como pôr uma célula cancerosa em água quente e fervê-la até morrer. Quanto maior o calor gerado

pelas nanoesferas metálicas, melhor»,⁶ diz Jin Zhang, um dos investigadores.

Portanto, no futuro, a nanotecnologia detetará colónias de cancro anos ou décadas antes de poderem formar um tumor, e poderão ser usadas nanopartículas, circulando no nosso sangue, para destruir essas células. A ciência de base está a ser feita hoje.

5.3 Nanoveículos no Nosso Sangue

Um degrau acima da nanopartícula está o nanoveículo, um dispositivo que pode efetivamente ser guiado nas suas viagens dentro do corpo. Enquanto a nanopartícula pode circular livremente na corrente sanguínea, esses nanoveículos são parecidos com aparelhos controlados remotamente, que podem ser guiados e pilotados.

James Tour e os seus colegas na Universidade Rice fizeram um destes nanoveículos. Em vez de rodas, tem quatro futebolenos. Uma das metas futuras desta investigação é conceber um veículo molecular que possa empurrar um minúsculo robô pela corrente sanguínea, matando células cancerosas ao longo do caminho ou depositando fármacos salvadores de vidas em localizações precisas no corpo.

Todavia, um problema com o veículo molecular é que não tem motor. Os cientistas criaram máquinas moleculares cada vez mais sofisticadas, mas criar uma fonte de energia molecular tem sido um

dos principais entraves. A Mãe Natureza resolveu este problema usando a molécula de trifosfato de adenosina (ATP) como fonte de energia. A energia do ATP torna possível a vida; fornece energia em cada segundo de movimentação dos nossos músculos. Esta energia é armazenada através de uma ligação atômica entre os átomos, mas tem-se mostrado difícil criar uma alternativa sintética.

Thomas Mallouk e Ayusman Sen, da Universidade do Estado da Pensilvânia, encontraram uma potencial solução para este problema. Criaram um nanoveículo que pode efetivamente mover-se dezenas de micrones por segundo, que é a velocidade da maior parte das bactérias. (Começaram por criar uma nanovareta, feita de ouro e platina, do tamanho de uma bactéria. A nanovareta foi colocada numa mistura de água e peróxido de hidrogénio. Isto cria uma reação química em ambas as extremidades da nanovareta que faz com que os protões se movam de uma extremidade da vareta para a outra. Dado que os protões fazem força contra as cargas elétricas da molécula de água, isso impele a nanovareta para diante. A vareta continua a mover-se para diante enquanto houver peróxido de hidrogénio na água.)

Guiar essas nanovaretas é também possível usando o magnetismo. Os cientistas embutiram discos de níquel dentro das nanovaretas de modo a que atuassem como agulhas de uma bússola. Movimentando um vulgar íman de frigorífico perto das nanovaretas consegue-se guiá-las em qualquer direção.

Ainda outra maneira de guiar uma máquina molecular é usar uma lanterna.⁷ A luz pode separar as moléculas em iões positivos e

negativos. Estes dois tipos de iões difundem-se através do meio a velocidades diferentes e isso cria um campo elétrico. As máquinas moleculares são então atraídas por esses campos elétricos. De modo que apontando a lanterna numa dada direção podem guiar-se as máquinas moleculares nessa direção.

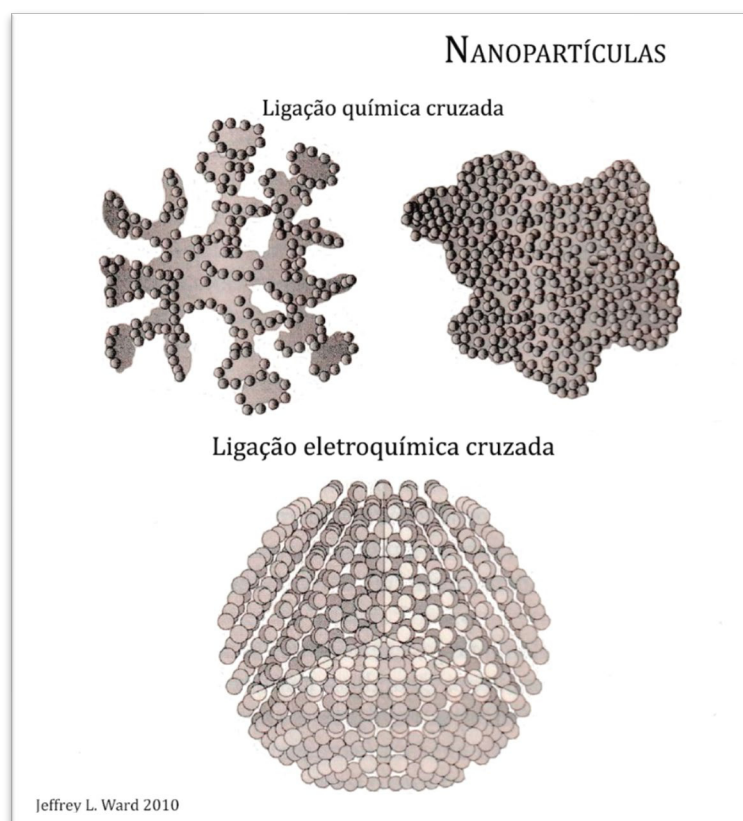
Assisti a uma demonstração quando visitei o laboratório de Sylvain Martel da Politécnica de Montréal, no Canadá. A sua ideia era usar as caudas de bactérias vulgares para impulsionar para diante na corrente sanguínea um minúsculo *chip*. Até agora, os cientistas têm sido incapazes de fabricar um motor atômico como o que se encontra nas caudas das bactérias. Martel perguntou-se: «Se a nanotecnologia não conseguia fazer essas minúsculas caudas, por que não usar as caudas de bactérias vivas?».

Começou por criar um *chip* de computador mais pequeno do que o ponto no fim desta frase. Depois cultivou um lote de bactérias. Conseguiu pôr cerca de oitenta dessas bactérias atrás do *chip* de modo que elas atuavam como um propulsor que empurrava o *chip* para diante. Dado que as bactérias tinham leves propriedades magnéticas, Martel pôde usar ímanes externos para as guiar para onde quisesse.

Tive a oportunidade de guiar, eu mesmo, esses *chips* acionados por bactérias. Olhei por um microscópio e pude ver um minúsculo *chip* de computador que estava a ser empurrado por várias bactérias. Quando premi um botão, foi acionado um íman e então o *chip* moveu-se para a direita. Quando libertei o botão, o *chip* parou e depois moveu-se aleatoriamente. Desta maneira, pude

realmente guiar o *chip* premindo simplesmente um botão. Enquanto o fazia percebi que, um dia, um médico poderia estar a premir um botão semelhante, desta vez guiando um nanorobô pelas veias de um paciente.

Podemos imaginar um futuro em que a cirurgia será completamente substituída por máquinas moleculares movendo-se na nossa corrente sanguínea, guiadas por ímanes, apontando a um órgão doente e depois libertando fármacos ou executando uma cirurgia. Isto poderia tornar inteiramente obsoleto o corte da pele. Ou então, os ímanes podem guiar essas nanomáquinas até ao coração para remover um bloqueio das artérias.



Robôs moleculares patrulharão a nossa corrente sanguínea, identificando e matando células cancerosas e agentes infecciosos. Poderão revolucionar a medicina.

5.4 *CHIPS* de ADN

Tal como mencionei no Capítulo 3, no futuro teremos minúsculos sensores na nossa roupa, corpo e casa de banho, monitorizando constantemente a nossa saúde e detetando doenças como o cancro anos antes de se tornarem um perigo. A chave para isto é o *chip* de ADN, que promete «um laboratório num *chip*». Tal como o *tricorder* de *Star Trek*, esses minúsculos sensores dar-nos-ão uma análise médica no espaço de minutos.

Hoje, a deteção do cancro é um processo longo, dispendioso e laborioso, que frequentemente leva semanas. Tal limita muitíssimo o número de análises ao cancro que pode ser executado. Todavia, a tecnologia computacional está a mudar tudo. Neste momento, os cientistas já estão a criar dispositivos que podem detetar o cancro rapidamente e com baixos custos, procurando certos biomarcadores produzidos pelas células cancerosas.

Usando a mesmíssima tecnologia de gravação que se usa em Silicon Valley, é possível gravar um *chip* em que há sítios microscópicos que podem detetar sequências de ADN específicas ou células cancerosas.

Usando a tecnologia de gravação de transístores, fragmentos de ADN são embutidos no *chip*. Quando se passam fluídos sobre o *chip*, esses fragmentos de ADN podem ligar-se a sequências de genes específicas. Depois, usando um raio *laser* pode varrer-se rapidamente todo o local e identificar os genes. Deste modo, os

genes não têm de ser lidos um por um como antigamente, mas são examinados aos milhares de uma vez.

Em 1997, a empresa Affymetrix lançou o primeiro *chip* comercial de ADN que podia analisar rapidamente 50 000 sequências de ADN. Em 2000, 400 000 sondas de ADN estavam disponíveis por alguns milhares de dólares. Em 2002, os preços tinham descido para 200 dólares por *chips* ainda mais poderosos. Os preços continuam a cair, devido à lei de Moore, até meia dúzia de dólares.

Shana Kelley, professora da Faculdade de Medicina da Universidade de Toronto disse: «Hoje é preciso uma sala cheia de computadores para analisar uma amostra clinicamente relevante de biomarcadores do cancro e os resultados não ficam disponíveis rapidamente. A nossa equipa foi capaz de medir biomoléculas num *chip* eletrónico do tamanho da ponta do dedo»⁸. Também antecipa o dia em que todo o equipamento para analisar esse *chip* será miniaturizado até ao tamanho de um telemóvel. Esse laboratório num *chip* significará que podemos diminuir o tamanho de um laboratório de química que encontramos num hospital ou numa universidade até um único *chip* que podemos usar nas nossas casas de banho.

Os médicos no Massachusetts General Hospital criaram o seu próprio *biochip* feito por medida e que é 100 vezes mais potente do que tudo o que existe no mercado hoje. Normalmente, as células tumorais circulantes (ou CTCs) são menos de uma por milhão de células do nosso sangue, mas essas CTCs podem acabar por matar-nos se proliferarem. O novo *biochip* é suficientemente sensível para

encontrar uma CTC em mil milhões de células circulando no nosso sangue. Consequentemente, ficou demonstrado que este *chip* deteta cancros do pulmão, da próstata, do pâncreas, da mama e colo-rectais analisando apenas uma colher de chá de sangue.

A tecnologia de gravação normal usada em Silicon Valley é aplicada para gravar *chips* contendo 78 000 cavilhas microscópicas (cada uma com 100 micrones de altura). Vistas num microscópio eletrónico, assemelham-se a uma floresta de cavilhas redondas. Cada cavilha é coberta com um anticorpo para a molécula de adesão celular epitelial (EpCAM), que se encontra em muitos tipos de cancro mas está ausente das células vulgares. A EpCAM é vital para as células cancerosas comunicarem umas com as outras quando formam um tumor. Se o sangue for passado pelo *chip*, as células CTC agarram-se às cavilhas redondas. Em ensaios clínicos, o *chip* detetou com sucesso cancros em 115 de 116 pacientes. A proliferação destes laboratórios num *chip* também afetará radicalmente o custo do diagnóstico de uma doença. Presentemente, pode custar várias centenas de dólares fazer uma biopsia ou uma análise química, que pode demorar algumas semanas. No futuro, pode custar alguns cêntimos e demorar poucos minutos, o que poderá revolucionar a velocidade e acessibilidade dos diagnósticos de cancro. Sempre que lavarmos os dentes, teremos um exame completo em busca de uma variedade de doenças, incluindo o cancro.

Leroy Hood e os seus colegas da Universidade de Washington criaram um *chip*, com cerca de quatro centímetros de largura, que pode testar proteínas específicas numa simples gota de sangue. As

proteínas são os blocos de construção da vida. Os nossos músculos, pele, cabelo, hormonas e enzimas, são todos feitos de proteínas. Detetar proteínas de doenças como o cancro pode levar a um sistema de alerta precoce para o corpo. Presentemente, o *chip* custa apenas 10 cêntimos e pode identificar uma proteína específica no espaço de 10 minutos, de modo que é vários milhões de vezes mais eficiente do que o sistema anterior. Hood sonha com o dia em que um chip será capaz de analisar rapidamente centenas de milhares de proteínas, alertando-nos para uma ampla variedade de doenças anos antes de se tornarem graves.

5.5 Nanotubos de Carbono

Os nanotubos de carbono permitem-nos uma pré-visualização do poder da Nanotecnologia. Em princípio, os nanotubos de carbono são mais fortes do que o aço e podem também conduzir eletricidade, de modo que os computadores com base em carbono são uma possibilidade. Embora sejam enormemente fortes, um problema é que devem estar em forma pura, e a mais comprida fibra de carbono puro tem apenas alguns centímetros de comprimento. Um dia, porém, computadores inteiros podem ser feitos de nanotubos de carbono e outras estruturas moleculares.

Os nanotubos de carbono são feitos de átomos de carbono individuais ligados para formar um tubo. Imagine uma rede de galinheiro em que cada junção é um átomo de carbono. Agora enrole a rede de galinheiro em tubo e terá a geometria de um nanotubo de carbono. Os nanotubos de carbono formam-se sempre

que se forma fuligem vulgar, mas os cientistas nunca perceberam que os átomos se podiam ligar de uma maneira tão singular.

As quase milagrosas propriedades dos nanotubos de carbono devem o seu poder à sua estrutura atômica. Normalmente, quando analisamos um pedaço de matéria sólida como uma rocha ou pedaço de madeira, estamos realmente a analisar um imenso compósito de muitas estruturas sobrepostas. É fácil criar minúsculas fraturas dentro desse compósito que fazem que ele se parta, ficando em pedaços. De modo que a dureza do material pode ser reportada a imperfeições na sua estrutura molecular. Por exemplo, a grafite é feita de carbono puro, mas é extremamente flexível porque é feita de camadas de carbono que podem deslizar umas sobre as outras. Cada camada consiste em átomos de carbono e cada um deles está ligado a outros três átomos de carbono.

Os diamantes são também feitos de carbono puro, e são o mineral mais duro que existe na natureza por causa da sua estrutura atômica. Os átomos de carbono dos diamantes estão também dispostos numa apertada estrutura de cristais interligados, dando-lhe a sua fenomenal dureza. Similarmente, os nanotubos de carbono devem as suas espantosas propriedades à sua estrutura atômica regular.

Os nanotubos de carbono estão já a abrir caminho na indústria. Por causa da sua condutividade, podem ser usados para criar cabos para transportar grandes quantidades de energia elétrica. Por causa

da sua resistência, podem ser usados para criar substâncias mais resistentes do que o Kevlar.

Porém, a mais importante aplicação do carbono será na indústria de computadores. O carbono é um dos vários candidatos que poderá vir a suceder ao silício como base da tecnologia dos computadores. O futuro da economia mundial talvez acabe por depender desta pergunta: o que substituirá o silício?

5.6 A Era Pós-Silício

Como mencionei já, a lei de Moore, um dos alicerces da revolução da informação, não pode durar para sempre. O futuro da economia mundial e o destino de nações podem, em última análise, depender de que nação desenvolve um substituto adequado para o silício.

A pergunta — quando entrará em colapso a Lei de Moore? — arrepia toda a economia mundial⁹. Em 2007, perguntou-se ao próprio Gordon Moore se pensava que a famosa lei que recebeu o seu nome podia durar para sempre. É claro que não, disse, e previu que terminaria dentro de 10 ou 15 anos.

Esta avaliação por alto concordou com uma previsão feita por Paolo Gargini, um investigador da Intel que é responsável por toda a pesquisa externa dessa empresa. Dado que a Intel Corporation estabelece o ritmo para toda a indústria de semicondutores, as suas palavras foram cuidadosamente analisadas. Na conferência anual da Semicon West, em 2004, afirmou: «Vemos que pelo menos nos

próximos 15 a 20 anos podemos continuar a permanecer na lei de Moore.»¹⁰

A revolução corrente dos computadores com base em silício foi impulsionada por um facto primordial: a capacidade da luz UV para gravar transístores cada vez mais pequenos numa placa de silício. Hoje, um *chip* Pentium pode ter várias centenas de milhões de transístores numa placa do tamanho da unha do polegar. Dado que o comprimento de onda da luz UV pode ser muito pequeno, de 10 nanómetros, é possível usar técnicas para gravar componentes que têm apenas 30 átomos de largura. Ora este processo não pode continuar indefinidamente. Mais cedo ou mais tarde, falha, por várias razões.

Primeiro, o calor gerado por *chips* potentes acabará por derretê-los. Uma solução ingénua é empilhar as placas umas em cima das outras, criando assim um *chip* cúbico. Isto aumentaria a capacidade de processamento do *chip*, mas à custa de criar mais calor. O calor desses *chips* cúbicos é tão intenso que se pode fritar um ovo em cima deles. O problema é simples: num *chip* cúbico não há área superficial suficiente para arrefecê-lo. Em geral, se passarmos água fria ou ar frio sobre um *chip* aquecido, o efeito de arrefecimento é maior se existir maior contacto superficial com o *chip*. Se tivermos um *chip* cúbico a área superficial simplesmente não é suficiente. Por exemplo, se pudéssemos duplicar o tamanho de um *chip* cúbico, o calor gerado aumentaria oito vezes (dado que o cubo contém oito vezes mais componentes eléctricos) mas a área da sua superfície apenas aumentaria quatro vezes. Isto significa que o calor gerado num *chip* cúbico cresce mais depressa do que a capacidade de

arrefecê-lo. Quanto maior o *chip* cúbico, mais difícil é arrefecê-lo. De modo que os *chips* cúbicos são apenas uma solução parcial e temporária do problema.

Houve quem sugerisse que usássemos simplesmente raios X em vez de luz UV para gravar os circuitos. Em princípio, poderia funcionar dado que os raios X têm um comprimento de onda 100 vezes mais pequeno do que a luz UV, mas estaríamos a trocar um problema por outro. Quando passamos de luz UV para raios X, também aumentamos aproximadamente 100 vezes a energia do feixe. Isto significa que usar raios X pode destruir a placa que estamos a tentar gravar. A litografia de raios X pode ser comparada com um artista a tentar usar um maçarico para criar uma delicada escultura. A litografia de raios X tem de ser muito cuidadosamente controlada, de modo que é apenas uma solução de curto prazo.

Segundo, há um problema fundamental posto pela teoria quântica: o princípio de incerteza segundo o qual não podemos saber exatamente a localização e velocidade de um dado átomo ou de uma dada partícula. O *chip* Pentium de hoje pode ter uma camada de cerca de 30 átomos de espessura. Em 2020, essa camada poderia ter cinco átomos de largura, de modo que a posição dos eletrões é incerta, e estes começam a escoar-se através da camada, causando um curto-circuito. Portanto, há um limite quântico para quão pequeno pode ser um transístor de silício.

Tal como mencionei anteriormente, fiz a abertura de uma importante conferência de 3000 engenheiros de topo da Microsoft na sede da empresa, em Seattle, e aí destaquei o problema da

desaceleração da lei de Moore. Esses engenheiros confiaram-me que estão agora a levar muito a sério este problema, e o processamento paralelo é uma das suas respostas mais importantes para aumentar a capacidade de processamento dos computadores. A maneira mais fácil de resolver este problema é enfiar uma série de *chips* em paralelo, de modo que um problema de computador é partido em bocados e voltado a montar no fim.

O processamento paralelo é uma das chaves para o modo como funciona o nosso próprio cérebro. Se fizermos uma ressonância magnética do cérebro enquanto pensa, vemos que várias regiões se iluminam simultaneamente, querendo dizer que o cérebro parte uma tarefa em pequenos pedaços e processa cada pedaço simultaneamente. Isto explica por que podem os neurónios (que transportam mensagens elétricas a uma velocidade atrozmente lenta de 320 quilómetros por hora) superar um supercomputador, em que as mensagens viajam perto da velocidade da luz. O que falta ao nosso cérebro em velocidade é mais do que compensado por fazer milhares de milhões de pequenos cálculos simultaneamente e depois juntá-los todos.

A dificuldade com o processamento paralelo, todavia, é que todos os problemas têm de ser partidos em vários pedaços. Cada pedaço é então processado por diferentes *chips*, e depois o problema é voltado a montar no fim. A coordenação desta divisão em pedaços pode ser extremamente complicada, todavia, e depende especificamente de cada problema, tornando muito difícil encontrar um procedimento geral. O cérebro humano fá-lo sem esforço, mas a Mãe Natureza teve milhões de anos para resolver

este problema. Os engenheiros de *software* tiveram apenas uma década ou pouco mais.

5.7 Transístores Atômico

Um possível substituto para os *chips* de silício é o transistor feito de átomos individuais. Se os transístores de silício falham por causa dos fios e as camadas de um *chip* descem de tamanho até à escala atômica, então por que não começar tudo de novo e computar com átomos?

Uma maneira de o fazer é com transístores moleculares. Um transistor é um interruptor que permite controlar o fluxo de eletricidade ao longo de um fio. É possível substituir um transistor de silício por uma única molécula, feita de produtos químicos como o rotaxano e benzenotiol. Quando vemos uma molécula de benzenotiol, parece-se com um longo tubo, com uma «maçaneta», ou válvula, feita de átomos no meio. Normalmente, a eletricidade flui livremente pelo tubo, tornando-o condutor. Ora também é possível torcer a «maçaneta», cortando o fluxo de eletricidade. Deste modo, a molécula inteira atua como um interruptor que pode controlar o fluxo de eletricidade. Numa posição, a maçaneta permite que a eletricidade flua, o que pode representar o número «1». Se a maçaneta for voltada, o fluxo de eletricidade pára, o que representa o número «0». Portanto, podem enviar-se mensagens digitais usando moléculas.

Os transístores moleculares já existem. Várias empresas anunciaram que criaram transístores feitos de moléculas

individuais. Antes de serem comercialmente viáveis, temos de ser capazes de ligá-los por fios e produzi-los em massa.

Um candidato prometedora a transistor molecular vem de uma substância chamada grafeno, que foi pela primeira vez isolada a partir de grafite em 2004 por André Geim e Kostya Novoselov da Universidade de Manchester, que ganharam o prêmio Nobel pelo seu trabalho. Assemelha-se a uma simples camada de grafite. Diferentemente dos nanotubos de carbono, que são folhas de átomos de carbono enroladas em tubos longos e estreitos, o grafeno é uma simples folha de carbono com não mais de um átomo de espessura. Tal como os nanotubos de carbono, o grafeno representa um novo estado da matéria, de modo que os cientistas estão a desbravar as suas notáveis propriedades, incluindo a condutividade elétrica. «Do ponto de vista da Física, o grafeno é uma mina de ouro. Pode estudar-se tempos sem fim» observa Novoselov¹¹. (O grafeno é também o mais forte material alguma vez testado pela ciência. Se puséssemos um elefante sobre um lápis e equilibrássemos o lápis sobre uma folha de grafeno, o grafeno não rasgaria.)

O grupo de Novoselov empregou técnicas padrão usadas na indústria de computadores para gravar alguns dos mais pequenos transístores que já foram feitos. Estreitos feixes de eletrões podem escavar canais no grafeno, fabricando o mais pequeno transistor do mundo: um átomo de espessura e dez átomos de largura. (Presentemente, os mais pequenos transístores moleculares têm um tamanho de cerca de 30 nanómetros. Os mais pequenos transístores de Novoselov são trinta vezes menores do que isso.)

Os transístores de grafeno são tão pequenos, de facto, que podem representar o derradeiro limite para os transístores moleculares. Mais pequeno do que isso é o princípio de incerteza assume o controlo e os eletrões escoam-se do transístor, destruindo as suas propriedades. «Está perto do mais pequeno que se pode obter»¹², diz Novoselov.

Embora existam vários candidatos promissores a transístores moleculares, o problema real é mais terra a terra: como ligá-los por fios e montá-los num produto comercialmente viável. Não basta criar um transístor molecular individual. Os transístores moleculares são notoriamente difíceis de manipular, dado que podem ser milhares de vezes mais finos do que um cabelo humano. Pensar em maneiras de produzi-los em massa é um pesadelo. Presentemente, a tecnologia ainda não existe.

Por exemplo, o grafeno é um material tão novo que os cientistas não sabem como produzi-lo em grandes quantidades. Os cientistas só conseguem produzir cerca de 0,1 milímetros de grafeno puro, um tamanho demasiado pequeno para utilização comercial. Uma esperança é que possa ser encontrado um processo em que o transístor molecular se monta a si mesmo. Na natureza, encontramos por vezes grelhas de moléculas que se condensam, como por magia, num padrão preciso. Até agora, ninguém foi capaz de recriar com segurança esta magia.

5.8 Computadores Quânticos

A proposta mais ambiciosa é usar computadores quânticos, que funcionam efetivamente sobre os próprios átomos individuais. Há quem diga que os computadores quânticos são o fim da linha dos computadores, dado que o átomo é a mais pequena unidade com que se pode efetuar computação.

Um átomo assemelha-se a um pião. Normalmente, pode armazenar-se informação digital em piões atribuindo o número «0», se roda num sentido, ou «1» se roda no sentido oposto. Se invertermos o sentido em que o pião roda, convertamos um 0 em 1 e fizemos um cálculo.

Todavia, no mundo bizarro dos *quanta*, um átomo está, num certo sentido, a rodar num sentido e no outro simultaneamente. (No mundo dos *quanta*, estar em vários lugares ao mesmo tempo é vulgar.) Um átomo pode, portanto, conter muito mais informação do que um 0 ou um 1. Pode descrever uma mistura de 0 e 1. De modo que os computadores quânticos usam *bits* quânticos ou «qubits» em vez de *bits*. Por exemplo, um átomo pode estar 25% a rodar num sentido e 75% a rodar no sentido oposto. Deste modo, um átomo em rotação pode armazenar muitíssimo mais informação do que um simples *bit*.

Os computadores quânticos são tão potentes que a CIA olhou para o seu potencial de decifrar códigos. Quando a CIA tenta decifrar o código de outra nação, procura a chave. As nações inventaram maneiras engenhosas de construir os códigos que

encriptam as suas mensagens. Por exemplo, a chave pode ser baseada na decomposição em fatores de um número muito grande. É fácil decompor o número 21 como produto de 3 e 7. Agora, digamos que temos um inteiro de 100 dígitos e pedimos a um computador que o reescreva como produto de dois outros inteiros. Pode levar um século para que um computador digital seja capaz de decompor em fatores esse número. Um computador quântico, todavia, é tão potente que, em princípio, pode sem esforço quebrar esse código. Um computador quântico supera rapidamente um computador normal nessas ciclópicas tarefas.

Os computadores quânticos não são ficção científica, mas existem realmente hoje. De facto, tive a oportunidade de ver com os meus olhos um computador quântico quando visitei o laboratório do MIT de Seth Lloyd, um dos pioneiros neste campo. O seu laboratório está cheio de computadores, bombas de vácuo e sensores, mas o centro das suas experiências é uma máquina que se assemelha a uma máquina normal de ressonância magnética, com a diferença que é muito mais pequena. Tal como a máquina de ressonância magnética, este dispositivo tem duas grandes bobinas de fio que criam um campo magnético uniforme no espaço entre elas. Neste campo magnético uniforme, coloca-se o material de amostra. Os átomos dentro da amostra alinham-se, como piões. Se o átomo aponta para cima, corresponde a um 0. Se aponta para baixo, corresponde a um 1. Então ele envia uma pulsação eletromagnética para a amostra que muda o alinhamento dos átomos. Alguns átomos viram-se, de modo que um 1 se converte num 0. Desta maneira, a máquina fez um cálculo.

Então por que não temos computadores quânticos em cima das nossas secretárias, resolvendo os mistérios do universo? Lloyd admitiu que perturbações do mundo exterior que destroem as delicadas propriedades desses átomos são o verdadeiro problema que constituiu obstáculo à investigação de computadores quânticos.

Quando os átomos estão «coerentes» e vibrando em sintonia uns com os outros, as mais pequenas perturbações do mundo exterior podem arruinar esse equilíbrio delicado e fazer com que os átomos fiquem «incoerentes», de modo que já não vibrem em uníssono. Até a passagem de um raio cósmico ou o ronco de um camião fora do laboratório podem destruir o delicado alinhamento de rotação desses átomos e destruir a computação.

O problema da incoerência é a mais difícil barreira individual à criação de computadores quânticos. Qualquer pessoa que possa resolver o problema da incoerência não só ganhará um prémio Nobel como se tornará o homem mais rico da Terra.

Como podem imaginar, criar computadores quânticos a partir de átomos individuais coerentes é um processo árduo, porque os átomos rapidamente se tornam incoerentes e saem de fase. Até agora, o mais complexo cálculo do mundo feito num computador quântico é $3 \times 5 = 15$. Apesar de isto poder parecer pouco, lembre-se de que o cálculo foi feito sobre átomos individuais.

Adicionalmente, há outra bizarra complicação vinda da teoria quântica, mais uma vez baseada no princípio de incerteza. Todos

os cálculos feitos num computador quântico são incertos, de modo que é preciso repetir a experiência muitas vezes. Portanto, $2 + 2 = 4$, pelo menos algumas vezes. Se repetirmos o cálculo de $2 + 2$ um certo número de vezes, a resposta final é em média 4. De modo que até o cálculo aritmético se torna vago num computador quântico.

Ninguém sabe quando se poderá resolver este problema de incoerência. Vint Cerf, um dos criadores originais da Internet prognostica: «Lá para 2050, teremos certamente encontrado maneiras de conseguir computação quântica à temperatura ambiente.»¹³

Devemos também salientar que o que está em jogo é tão complicado que uma variedade de concepções de computador foi explorada pelos cientistas. Algumas dessas concepções em computação incluem:

- **Computadores ópticos:** Estes computadores calculam sobre feixes de luz em vez de elétrões. Dado que os feixes de luz podem passar uns através dos outros, os computadores ópticos têm a vantagem de poderem ser cúbicos, sem fios. De igual modo, podem ser fabricados *lasers* usando as mesmas técnicas litográficas dos transístores vulgares, de modo que se pode, em teoria, empacotar milhões de *lasers* num *chip*.

- **Computadores de pontos quânticos:** Os semicondutores usados nos *chips* podem ser gravados em pequenos pontos, tão pequenos que consistem numa coleção de, talvez, 100 átomos. Nesse caso, os átomos podem começar a vibrar em uníssono. Em 2009, o mais pequeno ponto quântico do mundo foi construído a partir de um eletrão individual. Esses pontos quânticos já mostraram o que valem em díodos emissores de luz (LED) e ecrãs de computador. No futuro, se esses pontos quânticos forem dispostos adequadamente, podem mesmo criar um computador quântico.
- **Computadores de ADN:** Em 1994, o primeiro computador feito de moléculas de ADN foi criado na Universidade da Califórnia do Sul. Dado que um filamento de ADN codifica informações sobre aminoácidos representados pelas letras A, T, C, G, em vez de 0s e 1s, o ADN pode ser visto como uma vulgar banda magnética de computador, com a diferença de que pode armazenar muito mais informação. Da mesma maneira que um grande número digital pode ser manipulado e re combinado por um computador, podem também efetuar-se manipulações análogas misturando tubos de fluídos contendo ADN, que pode ser cortado e entrançado de várias maneiras. Embora o processo seja lento, há tantos biliões de moléculas de ADN agindo simultaneamente que um computador de ADN pode resolver certos cálculos mais convenientemente do que um computador digital. Embora um computador digital

seja muito conveniente e possa ser colocado dentro do seu telemóvel, os computadores de ADN são mais desajeitados, envolvendo misturar tubos de líquido contendo ADN.

6. Meados do Século (2030 A 2070)

6.1 Alteração de Forma

No filme *O Exterminador Implacável 2: O Dia do Julgamento*, Arnold Schwarzenegger é atacado por um robô avançado vindo do futuro, um T-1000, que é feito de metal líquido. Assemelhando-se a uma massa trémula de mercúrio, pode mudar de forma e deslizar abrindo caminho através de qualquer obstáculo. Pode infiltrar-se pelas mais minúsculas fendas e moldar armas mortíferas dando nova forma às mãos e aos pés. E depois pode subitamente voltar à sua forma original para continuar a sua violência assassina.

Tudo isto, claro, era ficção científica. A tecnologia de hoje não permite que alteremos à nossa vontade um objeto sólido. Todavia, lá para meados do século uma forma desta tecnologia de alteração de configuração pode tornar-se banal. De facto, uma das principais companhias impulsionando esta tecnologia é a Intel.

Ironicamente, lá para 2050, a maior parte dos frutos da nanotecnologia estará por todo o lado, mas longe de vista. Quase todos os produtos serão melhorados via técnicas de fabricação molecular, de modo que se tornarão superfortes, resistentes,

condutores e flexíveis. A nanotecnologia também nos dará sensores que constantemente nos protegem e ajudam, distribuídos pelo ambiente, escondidos, por baixo da superfície da nossa consciência. Caminharemos pela rua e tudo nos parecerá igual, de modo que nunca saberemos como a nanotecnologia alterou o mundo à nossa volta.

No entanto, há uma consequência da nanotecnologia que será óbvia.

O robô assassino T-1000 de *O Exterminador* é talvez o exemplo mais dramático de um objeto do campo chamado matéria programável, que um dia nos pode permitir alterar a configuração, cor e forma física de um objeto carregando num botão. A um nível primitivo, até um anúncio de néon é uma forma de matéria programável, dado que se pode acionar um interruptor e enviar eletricidade por um tubo de gás. A eletricidade excita os átomos de gás, que depois decaem de volta ao seu estado normal, libertando luz nesse processo. Uma versão mais sofisticada disto é o visor LCD encontrado nos ecrãs de computador por todo o lado. O LCD contém um cristal líquido que se torna opaco quando lhe é aplicada uma pequena corrente elétrica. Assim, regulando a corrente elétrica que flui dentro de um cristal líquido, podem criar-se cores e formas no ecrã premindo um botão.

Os cientistas na Intel são muito mais ambiciosos. Visualizam usar matéria programável para mudar efetivamente a configuração de um objeto sólido, tal como na ficção científica. A ideia é simples: criar um *chip* de computador com a forma de um minúsculo grão

de areia. Esses grãos de areia inteligentes permitem que se altere a carga de eletricidade estática sobre a superfície, de modo que os grãos podem atrair-se e repelir-se uns aos outros. Com um tipo de cargas, os grãos podem alinhar-se para formar uma certa matriz, mas podem reprogramar-se de modo que as suas cargas elétricas se alterem. Instantaneamente, os grãos voltam a arrumar-se, formando um arranjo inteiramente diferente. Esses grãos são chamados «cátomos» (abreviatura de átomos claytrónicos) dado que podem formar um amplo leque de objetos mudando simplesmente a sua forma, muito à maneira dos átomos. (A matéria programável tem muita coisa em comum com os robôs modulares que vimos no Capítulo 2. Enquanto os robôs modulares contêm blocos inteligentes, com cerca de cinco centímetros, que podem recombinar-se autonomamente, a matéria programável reduz esses tijolos básicos a um tamanho submilimétrico ou menos ainda.)

Um dos promotores desta tecnologia é Jason Campbell, investigador sénior da Intel. Diz ele: «Pense num dispositivo móvel. O meu telemóvel é demasiado grande para caber confortavelmente no meu bolso e demasiado pequeno para os meus dedos. É pior se tento ver filmes ou tratar do meu correio eletrónico. Contudo, se eu tivesse 200 a 300 milímetros de 'cátomos' podia fazê-lo tomar a forma do dispositivo de que preciso num dado momento.»¹⁴ De modo que num momento tenho um telemóvel na mão. No momento seguinte, ele muda de forma para outra coisa diferente. Desta maneira não tenho de carregar tantas engenhocas eletrónicas.

Nos seus laboratórios, a Intel já criou uma estrutura de «cátomos» que têm cerca de dois centímetros e meio de tamanho.

O «cátomo» assemelha-se a um cubo com um grande número de minúsculos elétrodoes espalhados pelas suas superfícies. O que torna o «cátomo» único é que se pode alterar a carga em cada um dos seus elétrodoes, de modo a que os «cátomos» se liguem uns aos outros com diferentes orientações. Com um conjunto de cargas, esses cubos podem combinar-se para criar um cubo maior. Mudem-se as cargas em cada cubo e os «cátomos» desmontam-se e rapidamente se recombinaem numa forma inteiramente diferente, como, por exemplo, um barco.

O desígnio é reduzir cada «cátomo» até ao tamanho de um grão de areia, ou ainda menos. Se, um dia, as técnicas de gravação de silício nos permitirem criar «cátomos» que sejam tão pequenos como uma célula, podemos ser capazes de mudar realisticamente uma configuração numa outra, premindo simplesmente um botão. Justin Rattner, investigador sénior da Intel, diz: «Algures durante os próximos quarenta anos, isto tornar-se-á tecnologia quotidiana.»¹⁵ Uma aplicação imediata seria para os que projetam automóveis, engenheiros aeronáuticos, arquitetos, e qualquer pessoa que tenha de conceber modelos tridimensionais dos seus projetos e depois modificá-los continuamente. Se alguém tiver um molde de um carro de quatro portas, por exemplo, pode pegar no molde, esticá-lo e o molde muda de forma subitamente para um *hatchback*. Comprima-se o molde um pouco mais e transforma-se num carro desportivo. Isto é muito superior à argila de moldagem, que não tem memória nem inteligência. A matéria programável tem inteligência, pode recordar configurações anteriores, adaptar-se a novas ideias e responder aos desejos do criador. Uma vez finalizado o molde, o desenho pode simplesmente ser enviado por correio

eletrónico para milhares de outros criadores que podem então criar cópias exatas.

Isto pode ter um efeito profundo nos produtos de consumo. Os brinquedos, por exemplo, podem ser programados para mudar de forma inserindo novas instruções de *software*. De modo que no Natal, só precisamos de descarregar o *software* para um novo brinquedo, reprogramar o brinquedo velho, e aparece um brinquedo inteiramente novo. As crianças podem celebrar o Natal, não abrindo presentes debaixo da árvore, mas descarregando para o seu brinquedo favorito o *software* que o Pai Natal lhes mandou por correio eletrónico, e os «cátomos» que constituíam o brinquedo do ano passado transformam-se no que está na berra no mercado. Isto quer dizer que um amplo leque de produtos de consumo pode eventualmente ser reduzido a programas de *software* mandados pela Internet. Em vez de alugar um camião para entregar a nova mobília e os novos eletrodomésticos, o leitor pode simplesmente descarregar o software na Net e reciclar os seus velhos produtos. Renovar casas e apartamentos não será uma maçada tão grande com a matéria programável. Na cozinha, substituir os azulejos, balcões, eletrodomésticos e armários pode simplesmente envolver carregar num botão. Adicionalmente, isto pode baixar o volume de lixo. Não será preciso deitar fora muitas das coisas que já não queremos se pudermos simplesmente reprogramá-las. Em caso de avaria de eletrodomésticos ou de danos no mobiliário, teremos apenas de reprogramá-los e voltam a ficar novos.

Apesar da sua enorme promessa, há também numerosos problemas que a equipa da Intel enfrenta. Um deles é como

orquestrar os movimentos de todos esses milhões de «cátomos». Haverá problemas de largura de banda quando tentarmos carregar toda essa informação na matéria programável. No entanto, existem também atalhos que podem ser seguidos.

Por exemplo, nos filmes de ficção científica é comum assistir à morfose, ou seja, uma pessoa muda subitamente para um monstro. Isto costumava ser um processo muito complexo e entediante de criar em filme, mas pode ser feito agora com facilidade num computador. Primeiro, identificam-se certos vetores que marcam diferentes pontos-chave no rosto, como o nariz e os olhos, tanto para o humano como para o monstro. De cada vez que um vetor é movido, o rosto muda gradualmente. Depois são programados computadores para mover esses vetores, de um rosto para o seguinte, transformando assim lentamente um rosto noutro. Da mesma maneira, pode ser possível usar atalhos quando se altera a configuração de um objeto 3-D.

Outro problema é que as forças de eletricidade estática entre os «cátomos» são fracas quando comparadas com as firmes forças interatómicas que mantêm coesos quase todos os sólidos. Tal como vimos, as forças quânticas podem ser muito poderosas, responsáveis pelas propriedades de resistência dos metais e as propriedades de elasticidade do plástico. Duplicar essas forças quânticas com forças de eletricidade estática para assegurar que os produtos se mantêm estáveis vai ser uma questão a resolver no futuro.

Tive uma oportunidade de ver em primeira-mão os notáveis e rápidos avanços em matéria programável quando levei uma equipa de filmagem do Canal Ciência para visitar Seth Goldstein na Universidade Carnegie Mellon. No seu laboratório podiam ver-se grandes pilhas de cubos espalhados por cima de uma mesa, de vários tamanhos, cada um com *chips* dentro. Vi dois desses cubos firmemente ligados, um ao outro, por forças elétricas e ele pediu-me que os separasse à mão. Surpreendentemente, não fui capaz. Descobri que as forças elétricas que ligavam os dois cubos eram muito fortes. Depois chamou a atenção para que essas forças elétricas seriam correspondentemente mais fortes se miniaturizássemos os cubos. Levou-me a outro laboratório e mostrou-me o pequeno tamanho que esses «cátomos» podem ter. Empregando as mesmas técnicas que se usam para gravar milhões de transístores em placas de silício, foi capaz de gravar «cátomos» microscópicos que tinham apenas milímetros de largura. De facto, eram tão pequenos que tive de olhá-los ao microscópio para os ver claramente. Goldstein espera que, controlando as suas forças elétricas, se possa acabar por chegar a arrumá-los em qualquer forma que se queira premindo um botão, quase como um feiticeiro invocando qualquer coisa que deseje.

Depois perguntei-lhe como podia dar instruções detalhadas a milhares de milhões de «cátomos», de modo que um frigorífico, digamos assim, se pudesse subitamente transformar num forno? Parece um pesadelo de programação, disse eu. Respondeu que não era necessário dar instruções detalhadas a cada «cátomo» individual. Cada «cátomo» só tem de conhecer a que vizinhos se deve ligar. Se cada «cátomo» tiver apenas de receber instruções

para se ligar com um minúsculo conjunto de «cátomos» adjacentes, então os «cátomos» recombinar-se-ão magicamente em estruturas complexas (muito à maneira dos neurónios no cérebro de um bebé que precisam apenas de saber como se ligam aos neurónios adjacentes à medida que o cérebro se desenvolve).

Assumindo que o problema da programação e estabilidade pode ser resolvido, então há a possibilidade, lá para o fim do século, de edifícios inteiros, e até cidades, se erguerem ao premirmos um botão. Só é preciso determinar a localização dos edifícios, cavar os alicerces, e deixar que biliões de «cátomos» criem cidades inteiras erguendo-se no deserto ou na floresta.

Todavia, esses engenheiros da Intel encaram o dia em que os «cátomos» possam até tomar a forma humana. «Por que não? É uma coisa interessante a considerar»¹⁶, diz Rattner. (Nessa altura talvez o robô T-1000 se possa tornar realidade.)

7. Futuro Longínquo (2070 A 2100)

7.1 O Sagrado Graal: O Replicador

Lá para 2100, os defensores da nanotecnologia imaginam uma máquina ainda mais poderosa: um montador molecular, ou «replicador», capaz de criar toda a espécie de coisas. Consistirá numa máquina talvez do tamanho de uma máquina de lavar. Põem-se as matérias-primas básicas na máquina e depois prime-se um botão. Biliões e biliões de nanobôs convergirão para as matérias-

primas, cada um deles programado para as desmontar molécula por molécula e depois voltar a montá-las num produto inteiramente diferente. Esta máquina será capaz de fabricar toda a espécie de coisas. O replicador será o coroar da engenharia e da ciência, o derradeiro culminar das nossas lutas desde que pegámos na primeira ferramenta lá atrás, na Pré-História.

Um problema com o replicador é o brutal número de átomos que têm de ser recombinaados para copiar um objeto. O corpo humano, por exemplo, tem mais de 50 biliões de células e para lá de 10^{26} átomos. É um número impressionante, exigindo uma quantidade colossal de espaço de memória só para armazenar as localizações de todos esses átomos.

Uma maneira de superar este problema é criar um nanobô, um robô molecular ainda hipotético. Os nanobôs têm várias propriedades chave. Primeiro, podem reproduzir-se. Se podem reproduzir-se uma vez podem criar, em princípio, um número ilimitado de cópias de si próprios. De modo que o truque é criar apenas o primeiro nanobô. Segundo, são capazes de identificar moléculas e cortá-las em pontos precisos. Terceiro, seguindo um código de controlo, os nanobôs conseguem voltar a montar esses átomos em combinações diferentes. De modo que a tarefa de recombinaar 10^{26} átomos é reduzida a fazer um número semelhante de nanobôs, cada um desenhado para manipular átomos individuais. Desta maneira, o atordoante número de átomos do corpo já não é um obstáculo tão assustador. O verdadeiro problema é criar apenas o primeiro destes míticos nanobôs e deixar que ele se reproduza por si mesmo.

Contudo, a comunidade científica divide-se em torno da questão de saber se o amadurecido sonho de um nanofabricador é fisicamente possível. Uns poucos, como Eric Drexler, pioneiro em nanotecnologia e autor de *The Engines of Creation*, imaginam um futuro em que todos os produtos serão manufaturados ao nível molecular, criando uma cornucópia de bens com que apenas podemos sonhar hoje. Todos os aspetos da sociedade serão revolucionados com a criação de uma nova máquina que pode produzir qualquer coisa que queiramos. Outros cientistas, todavia, estão céticos.

Por exemplo, Richard Smalley, já falecido, vencedor do Nobel, levantou o problema dos «dedos pegajosos» e «dedos grossos» num artigo da *Scientific American* em 2001. A pergunta chave é: pode construir-se um nanobô molecular que seja suficientemente ágil para recombina moléculas à nossa vontade? Segundo ele a resposta era não.

Este debate generalizou-se quando Smalley entrou em conflito com Drexler numa série de cartas, novamente publicadas nas páginas de *Chemical and Engineering News* de 2003 a 2004. As repercussões do debate ainda hoje são sentidas. A posição de Smalley era que os «dedos» de uma máquina molecular não seriam capazes de executar essa delicada tarefa, por duas razões.

Primeiro, os «dedos» estariam perante minúsculas forças de atração que os fariam colar-se a outras moléculas. Os átomos colam-se uns aos outros, em parte, por causa de minúsculas forças elétricas, como a força de van der Waals, que existem entre os

eletrões. Pense em tentar reparar um relógio com uma pinça coberta de mel. Montar uma coisa tão delicada como componentes de relógio seria impossível. Agora imagine algo ainda mais complicado do que um relógio, como uma molécula, que constantemente se cola aos seus dedos.

Segundo, esses dedos poderiam ser demasiado «grossos» para manipular átomos. Pense em reparar o relógio usando grossas luvas de algodão. Dado que os «dedos» são feitos de átomos individuais, tal como acontece com os objetos que estão a ser manipulados, os dedos podem ser simplesmente demasiado grossos para executar as delicadas operações necessárias.

Smalley concluiu: «Tal como não podemos fazer que um rapaz e uma rapariga se apaixonem simplesmente porque os empurramos um para o outro, não podemos fazer que uma química precisa ocorra entre dois objetos moleculares com um movimento mecânico simples... A química, como o amor, é mais subtil do que isso.»¹⁷

O debate vai ao próprio centro da questão de saber se um replicador revolucionará um dia a sociedade ou se será tratado como uma curiosidade e relegado para o caixote do lixo da tecnologia. Como vimos, as leis da física no nosso mundo não se traduzem facilmente para a física do nanomundo. Efeitos que podemos ignorar, como as forças de van der Waals, a tensão superficial, o princípio de incerteza, o princípio de exclusão de Pauli, etc., tornam-se dominantes no nanomundo.

Para apreciar este problema, imagine que o átomo é do tamanho de um berlinde e que tem uma piscina cheia desses átomos. Cair na piscina seria bastante diferente de cair numa piscina cheia de água. Esses «berlindes» estariam constantemente a vibrar e a atingi-lo vindos de todas as direções, por causa do movimento browniano. Tentar nadar nessa piscina seria quase impossível, dado que seria semelhante a tentar nadar em melaço. Sempre que tentasse agarrar um dos berlindes, ele afastar-se-ia ou ficaria colado aos seus dedos, devido a uma complexa combinação de forças.

No fim, ambos os cientistas aceitam discordar. Embora Smalley fosse incapaz de pôr *knockout* o replicador molecular, várias coisas ficaram claras depois de a poeira assentar. Primeiro, ambos concordaram que a ideia ingénua de um nanobô armado de pinças moleculares cortando e colando moléculas tinha de ser modificada. Novas forças quânticas tornam-se dominantes à escala atômica.

Segundo, embora esse replicador, ou fabricante universal, seja ficção científica hoje, já existe uma versão. A Mãe Natureza, por exemplo, pode pegar em hambúrgueres e legumes e transformá-los num bebé em apenas nove meses. Este processo é executado por moléculas de ADN (que codificam o plano para o bebé) que guiam a ação de ribossomas (que cortam e ligam as moléculas na ordem correta) usando as proteínas e aminoácidos presentes na nossa alimentação.

E terceiro, um montador molecular poderia funcionar, mas numa versão mais sofisticada. Por exemplo, como Smalley assinalou, pôr

juntos dois átomos não garante uma reação. A Mãe Natureza contorna, frequentemente, este problema empregando um terceiro parceiro, uma enzima numa solução aquosa, para facilitar uma reação química. Smalley assinalou que muitos compostos químicos encontrados na indústria de computadores e eletrónica não podem ser dissolvidos em água. Drexler ripostou dizendo que nem todas as reações químicas envolvem água ou enzimas.

Uma possibilidade, por exemplo, é a chamada automontagem, ou abordagem da base para o topo. Desde a Antiguidade que os humanos usaram a abordagem do topo para a base na construção. Com ferramentas como o martelo e a serra, começa-se por cortar madeira e depois juntam-se tábuas para criar estruturas maiores como uma casa, de acordo com um plano. É preciso guiar cuidadosamente este processo do topo para a base em cada passo do caminho.

Na abordagem da base para o topo, as coisas montam-se por si. Na natureza, por exemplo, lindos flocos de neve cristalizam por si mesmos numa tempestade. Biliões de biliões de átomos recombinaem-se para criar formas novas. Ninguém tem de conceber cada um dos flocos de neve. Isto também acontece frequentemente em sistemas biológicos. Os ribossomas moleculares, que são sistemas moleculares complexos contendo pelo menos cinquenta e cinco moléculas diferentes de proteínas e várias moléculas de ARN, podem autocombinar-se espontaneamente num tubo de ensaio.

A automontagem também é usada na indústria de semicondutores. Os componentes usados em transístores montam-

se por vezes a si mesmos. Aplicando várias técnicas e processos complexos numa sequência precisa (como têmpera, cristalização, polimerização, deposição de vapor, solidificação, etc.) pode produzir-se uma variedade de componentes de computador comercialmente valiosos. Como vimos atrás, um certo tipo de nanopartículas usadas contra as células cancerosas pode ser produzido usando este método.

Todavia, a maioria das coisas não se cria a si mesma. Em geral, só uma minúscula fração dos nanomateriais mostrou ser capaz de se automontar adequadamente. Não é possível encomendar uma nanomáquina usando automontagem como se encomenda uma coisa a partir de um menu. Portanto, o progresso na criação de nanomáquinas por esta via será firme, mas lento.

Em suma, os montadores moleculares não violam aparentemente nenhuma lei da física, mas serão extremamente difíceis de construir. Os nanobôs não existem neste momento, e não existirão no futuro próximo, mas o primeiro nanobô, assim que (e se) for produzido com sucesso, pode alterar a sociedade como hoje a conhecemos.

7.2 Construindo Um Replicador

Com que se pode parecer um replicador? Ninguém sabe ao certo, dado que estamos de dezenas de anos a um século de construir efetivamente um, mas pude ter um vislumbre daquilo com que se pode parecer um replicador quando me foi feito um exame à cabeça (literalmente). Para um programa especial do Canal Ciência,

criaram uma cópia realista do meu rosto a partir de plástico fazendo passar sobre a minha cara um raio laser. Enquanto o feixe se refletia na minha pele, o reflexo era gravado por um sensor que introduzia a imagem num computador. Depois o feixe fez a passagem seguinte através do meu rosto, mas ligeiramente mais baixo. Acabou por percorrer todo o meu rosto, dividindo-o em muitas fatias horizontais. Olhando para um ecrã de computador podia ver-se emergir uma imagem 3-D da superfície do meu rosto, com uma precisão de talvez um décimo de milímetro, e consistindo nessas fatias horizontais.

Depois esta informação era introduzida num grande dispositivo, mais ou menos do tamanho de um frigorífico, que pode criar uma imagem 3-D de quase tudo. O dispositivo tem um minúsculo pulverizador que se move horizontalmente, fazendo muitas passagens. Em cada passagem, pulveriza uma pequeníssima quantidade de plástico fundido, duplicando a imagem laser original do meu rosto. Depois de cerca de dez minutos e numerosas passagens, o molde emergiu dessa máquina, mostrando uma arrepiante parecença com o meu rosto.

As aplicações comerciais desta tecnologia são enormes, dado que se pode criar uma cópia realista de qualquer objeto 3-D, como uma peça complicada de uma máquina, no espaço de poucos minutos. No entanto, pode imaginar-se um dispositivo que, daqui a dezenas de anos ou séculos, seja capaz de criar uma cópia 3-D de um objeto real, descendo até ao nível celular ou atómico.

No nível seguinte, é possível usar este digitalizador 3-D para criar órgãos vivos do corpo humano. Na Universidade Wake Forest, os cientistas foram pioneiros de um novo meio de criar tecido cardíaco vivo com uma impressora de jato de tinta. Primeiro, têm de escrever cuidadosamente um programa de software que pulveriza sucessivamente células cardíacas à medida de cada passagem que o pulverizador faz. Para isso, usam uma impressora de jato de tinta vulgar em que um dos tinteiros é enchido com uma mistura de fluidos contendo células cardíacas vivas. Deste modo, têm controlo sobre a colocação 3-D precisa de cada célula. Depois de múltiplas passagens, podem efetivamente criar as camadas de tecido cardíaco.

Há outro instrumento que pode um dia gravar a localização de cada átomo do nosso corpo: o IRM (imagiologia por ressonância magnética). Como observei mais atrás, a precisão da sonda IRM é cerca de um décimo de milímetro. Isso significa que cada pixel de uma imagem IRM pode conter milhares de células. No entanto, se examinarmos a física em que se baseia a IRM, descobrimos que a precisão da imagem está relacionada com a uniformidade do campo magnético no interior da máquina. Portanto, tornando o campo magnético cada vez mais uniforme, pode mesmo descer-se abaixo de um décimo de milímetro.

Os cientistas já têm em vista uma máquina tipo IRM com uma resolução até à dimensão de uma célula, e mesmo mais pequena, uma máquina que pode sondar até às moléculas e aos átomos individuais.

Resumindo, um replicador não viola as leis da física, mas será difícil de criar usando automontagem. Lá para o fim deste século, quando as técnicas de automontagem estiverem finalmente dominadas, poderemos pensar em aplicações comerciais de replicadores.

7.3 Ranho Cinzento?

Algumas pessoas, incluindo Bill Joy, um fundador da Sun Microsystems, exprimiram reservas sobre a nanotecnologia, escrevendo que é apenas uma questão de tempo até que a tecnologia se descontrole, devore todos os minerais da Terra e cuspa em vez deles um inútil «ranho cinzento». Até o príncipe Carlos de Inglaterra falou contra a nanotecnologia e o cenário do ranho cinzento.

O perigo reside na propriedade chave desses nanobôs: podem reproduzir-se. Tal como um vírus, uma vez deixados à solta no ambiente, não podem ser chamados de volta. Poderão acabar por proliferar descontroladamente, tomando conta do ambiente e destruindo a Terra.

A minha convicção é que passarão muitas dezenas de anos, ou mesmo séculos, antes que esta tecnologia esteja suficientemente amadurecida para criar um replicador, de modo que são prematuras as preocupações com o ranho cinzento. À medida que passarem essas dezenas de anos, haverá muito tempo para conceber salvaguardas contra os nanobôs que enlouquecem. Por exemplo, pode conceber-se um sistema de segurança de modo que, premindo

um botão de pânico, todos os nanobôs ficam sem préstimo. Ou podem conceber-se «robôs matadores» especificamente desenhados para procurar e destruir nanobôs que ficaram fora de controlo.

Outra maneira de lidar com isto é estudar a Mãe Natureza, que teve milhares de milhões de anos de experiência com este problema. O nosso mundo está cheio de formas de vida moleculares autorreplicantes, chamadas vírus e bactérias, que podem também proliferar descontroladamente e sofrer mutações. Todavia, o nosso sangue também criou os seus próprios «nanobôs», anticorpos e glóbulos brancos do nosso sistema imunitário que procuram e destroem formas de vida alienígenas. O sistema não é certamente perfeito, mas proporciona um modelo para lidar com o problema dos nanobôs descontrolados.

7.4 Impacto Social dos Replicadores

Para um programa especial da BBC/Canal Discovery de que fui anfitrião, Joel Garreau, autor de *Radical Evolution*, disse: «Se um automontador alguma vez vier a ser possível, vai ser um dos grandes momentos “que surpresa!” da História. Nessa altura estaremos a falar sobre mudar o mundo em algo que nunca antes reconhecemos.»¹⁸

Há um velho ditado que diz: tem cuidado com o que desejas, porque pode tornar-se verdade. O sagrado graal da nanotecnologia é criar o montador molecular, ou replicador, mas este, uma vez inventado, pode alterar os próprios alicerces da sociedade. Todas

as filosofias e sistemas sociais são, em última análise, baseados na escassez e na pobreza. Ao longo da história da humanidade, este tem sido o tema dominante que atravessa a sociedade, dando forma à nossa cultura, filosofia e religião. Em algumas religiões, a prosperidade é vista como uma recompensa divina e a pobreza como justa punição. O budismo, contrastando com isto, é baseado na natureza universal do sofrimento e na maneira como o superamos. Na Cristandade, o Novo Testamento diz: «É mais fácil um camelo passar pelo fundo de uma agulha do que um rico entrar no reino de Deus.»

A distribuição da riqueza também define a própria sociedade. O feudalismo é baseado na preservação da riqueza de um punhado de aristocratas contra a pobreza dos camponeses. O capitalismo é baseado na ideia de que as pessoas enérgicas, produtivas, são recompensadas pelo seu trabalho criando empresas e ficando ricas. Ora se os indivíduos preguiçosos, não produtivos, puderem conseguir tudo o que quiserem quase de graça limitando-se a premir um botão, o capitalismo deixa de funcionar. Um replicador estraga todos os planos, revolucionando as relações humanas. As distinções entre os que têm e os que não têm podem desaparecer, e com elas a noção de estatuto e poder político.

Esta difícil questão foi explorada num episódio de *Star Trek: The Next Generation*, em que uma cápsula do século XX é encontrada a flutuar no espaço exterior. Dentro da cápsula estão corpos congelados de pessoas que sofriam de doenças incuráveis nessa época primitiva, esperando ser ressuscitados no futuro. Os médicos da nave espacial *Enterprise* curam rapidamente as doenças desses

indivíduos e ressuscitam-nos. Esses afortunados seres ficam surpreendidos por a sua jogada ter dado frutos, mas um deles é um sagaz capitalista. A primeira coisa que pergunta é: em que época estamos? Quando descobre que está vivo no século XXIV, percebe rapidamente que os seus investimentos devem valer hoje uma fortuna. Pede imediatamente para contatar o seu banqueiro na Terra. A tripulação do *Enterprise* fica desnorteada. Dinheiro? Investimentos? Não existem no futuro. No século XXIV, pede-se simplesmente uma coisa e ela é-nos dada.

Isto também traz à colação a busca da sociedade perfeita, ou utopia, uma palavra inventada na novela escrita por Sir Thomas More em 1516 e intitulada *Utopia*. Horrorizado com o sofrimento e a miséria que via à sua volta, imaginou um paraíso numa ilha ficcional do Oceano Atlântico. No século XIX, existiram muitos movimentos sociais na Europa que procuraram várias formas de utopia e muitos deles acabaram por encontrar um santuário fugindo para os Estados Unidos, onde vemos ainda hoje sinais da sua colonização.

Por um lado, um replicador pode dar-nos a utopia que em tempos foi antevista pelos visionários do século XIX. As experiências anteriores de utopia falharam por causa da escassez, que levou a desigualdades, depois a alterações e finalmente ao colapso. Todavia, se os replicadores resolverem o problema da escassez, talvez a utopia esteja ao nosso alcance. Arte, música, poesia florescerão, e as pessoas ficarão livres para explorar os seus mais acalentados sonhos e desejos.

Por outro lado, sem o fator motivador da escassez e do dinheiro, um replicador pode levar a uma sociedade autocomplacente, degenerada, que desce até um nível baixíssimo. Só um pequeníssimo punhado, os mais motivados artisticamente, se empenhará a escrever poesia. Os restantes, clamam os críticos, tornar-se-ão vadios e preguiçosos inúteis.

Até as definições usadas pelos utópicos são questionadas. O mantra do socialismo, por exemplo, é: «De cada um conforme as suas capacidades, a cada um conforme a sua contribuição.» O mantra do comunismo, o mais alto estágio do socialismo, é: «De cada um conforme as suas capacidades, a cada um conforme a sua necessidade.»

Se os replicadores forem possíveis, então o mantra fica simplesmente: «A cada um conforme o seu desejo.»

Há, no entanto, uma terceira maneira de olhar para esta questão. Segundo o princípio do Homem das Cavernas, as personalidades básicas das pessoas não mudaram muito nos últimos 100 000 anos. Nessa altura, não havia coisas como empregos. Os antropólogos dizem que as sociedades primitivas eram largamente comunitárias, partilhando igualmente bens e privações. Os ritmos quotidianos não eram governados por emprego e retribuição, dado que nenhum dos dois existia.

Todavia, as pessoas desse tempo não se tornavam vadias, por várias razões. Primeiro, morreriam de fome. As pessoas que não

faziam a sua parte do trabalho eram simplesmente expulsas da tribo e depressa morriam. Segundo, as pessoas tornaram-se orgulhosas do seu trabalho, e até encontraram sentido nas suas tarefas. Terceiro, havia uma enorme pressão social para continuar a ser-se um membro produtivo da sociedade. Os indivíduos produtivos podiam casar-se para passar os seus genes à geração seguinte, ao passo que os genes dos vadios habitualmente morriam com eles.

Portanto, por que viverão as pessoas vidas produtivas quando os replicadores tiverem sido inventados e toda a gente puder ter tudo o que quiser? Antes de mais, os replicadores garantirão que ninguém morre de fome. Em segundo lugar, a maioria das pessoas ainda continuará a trabalhar porque tem orgulho nas suas aptidões e encontra um sentido no seu labor. Contudo, a terceira razão, a pressão social, é mais difícil de manter sem infringir as liberdades pessoais. Em vez de pressão social haverá provavelmente uma alteração de monta na educação para mudar as atitudes das pessoas em relação ao trabalho e à retribuição, de modo que não se faça mau uso do replicador.

Felizmente, dado que o progresso será lento e o replicador está a um século ou mais de distância, a sociedade terá muito tempo para debater os méritos e implicações desta tecnologia e ajustar-se a esta nova realidade de modo a que não se desintegre.

É mais do que provável que os primeiros replicadores sejam dispendiosos. Como diz o perito em robótica do MIT, Rodney Brooks: «A nanotecnologia prosperará, muito como prospera a

fotolitografia — em situações muito dispendiosas e controladas em vez de ser uma tecnologia autónoma de mercado de massa.»¹⁹ O problema de bens grátis ilimitados não será um problema assim tão grande. Dada a sofisticação dessas máquinas, depois de terem começado a ser criadas pode levar muitas dezenas de anos, para que os custos baixem.

Tive uma vez uma interessante conversa com Jamais Cascio, um importante «futurólogo» com uma longa carreira de contemplação das perspetivas do futuro. Primeiro, disse-me que duvidava da teoria da singularidade mencionada no capítulo 2, observando que a natureza humana e a dinâmica social são demasiado confusas, complicadas e imprevisíveis para caberem numa teoria elegante e simples. Admitiu também, no entanto, que os notáveis avanços na nanotecnologia poderão acabar por criar uma sociedade em que exista uma superabundância de bens de consumo, em especial com replicadores e robôs. De modo que lhe perguntei: Como se comportará a sociedade quando os bens de consumo forem quase de graça, quando a sociedade for finalmente tão rica que não haverá necessidade de trabalhar?

Acontecerão duas coisas, disse. Primeiro, pensava que haveria riqueza suficiente para assegurar um rendimento mínimo decente para todas as pessoas, mesmo que não trabalhassem. De modo que haveria provavelmente uma fração importante da população que passaria a ser constituída por preguiçosos permanentes. Antevia uma rede de segurança permanente para a sociedade. Pode ser indesejável, mas é inevitável, em especial se os replicadores e robôs satisfizerem todas as nossas necessidades materiais.

Segundo, pensava que tal seria compensado pelo desencadear de uma revolução no espírito empresarial. Libertados do receio de mergulhar na pobreza e na ruína, os indivíduos mais industriais teriam mais iniciativa e aceitariam riscos adicionais para criar novas indústrias e oportunidades para os outros. Antevia um novo renascimento da sociedade, à medida que o espírito criativo fosse libertado do receio da bancarrota.

No meu próprio campo, a Física, vejo a maior parte de nós a empenhar-se não pelo dinheiro mas pela pura alegria da descoberta e inovação. É frequente que desdenhemos empregos lucrativos noutros campos porque queremos ir em busca de um sonho, e não do dólar. Os artistas e intelectuais que conheço sentem o mesmo — a sua meta não é amontoar uma conta bancária tão grande quanto possível, mas sim serem criativos e enobrecerem o espírito humano.

Pessoalmente, se lá para 2100 a sociedade se tornar tão rica que estejamos rodeados de bens materiais, penso que a sociedade pode reagir de maneira semelhante. Uma fração da população formará uma classe permanente de pessoas que simplesmente se recusam a trabalhar. Outros podem ser libertados dos constrangimentos da pobreza e ir em busca de uma realização criativa, científica e artística. Para esses, a pura alegria de serem criativos, inovadores e artísticos terá mais peso do que o chamariz de um mundo materialista. Porém, a maioria continuará a trabalhar e ser útil simplesmente porque é parte do nosso legado genético, o Princípio do Homem das Cavernas dentro de nós.

No entanto, há um problema que os replicadores não podem resolver, o problema da energia. Todas essas tecnologias maravilhosas precisam de enormes quantidades de energia para as impulsionar. De onde virá essa energia?

¹ Carl T. Hall, «Brave New Nano-World Lies Ahead», *San Francisco Chronicle*, 19 de Julho de 1999, http://articles.sfgate.com/1999-07-19/news/17694442_1_atom-molecules-nanotech

² *Ibid.*

³ Citado em Kurzweil, p. 226.

⁴ James R. Heath, Mark E. Davis, e Leroy Hood, «Nanomedicine — Revolutionizing the Fight Against Cancer» *Scientific American*, Fevereiro de 2009, p. 44

⁵ Emily Singer, «Stealthy Nanoparticles Attack Cancer Cells», *Technology Review*, 4 de Novembro de 2009, www.technologyreview.com/business/23855/.

⁶ «Special Gold Nanoparticles Show Promise for “Cooking” Cancer Cells», www.eurekalert.org/pub_releases/2009-03/acs-sgn030909.php.

⁷ Thomas E. Mallouk e Ayusman Sen, «How to Build Nanotech Motors», *Scientific American*, Maio de 2009, p. 72.

⁸ Katherine Harmon, «Could a Microchip Help to Diagnose Cancer in Minutes», *Scientific American* blog post, 28 de Setembro de 2009. <http://www.scientificamerican.com/blog/post.cfm?id=could-a-microchip-help-to-diagnose-2009-09-28>.

⁹ *Electronic News*, 18 de Setembro de 2007, [www.edn.com/article/C A 647968](http://www.edn.com/article/C_A_647968).

¹⁰ *Electronic News*, 13 de Julho de 2004. Ver também Kurzweil, p. 112, e www.nanotech-now.com/news.cgi1?ds=0t4o8r0y3.

¹¹ Alexis Madrigal, «Scientist Builds World's Smallest Transistor, Gordon Moore Sighs with Relief», *Wired*, www.wired.com/wiredscience/2008/04/scientists-buil/.

¹² *Ibid.*

¹³ Vint Cerf, «One Is Glad to Be of Service» em Denning, p. 229.

¹⁴ Sharon Gaudin, «Intel Sees Future with Shape-shifting Robots. Wireless Power», *Computerworld*, 22 de Agosto de 2008, [www.computerworld.com/s/article/9113301/Intel sees future with shape shifting robots wireless power?taxonomyId=12&pageNumber=2](http://www.computerworld.com/s/article/9113301/Intel_sees_future_with_shape_shifting_robots_wireless_power?taxonomyId=12&pageNumber=2).

¹⁵ *Ibid.*

¹⁶ *Ibid.*

¹⁷ Rudy Baum, «Nanotechnology: Drexler and Smalley Make the Case for and Against “Molecular Assemblers: «*Chemical & Engineering News* 81, 1 de Dezembro de 2003, pp. 37-42, <http://pubs.acs.org/cen/coverstory/8148/8148counterpoint.html>.

¹⁸ BBC/Discovery Channel, *Visions of the Future*, Part II, 2007.

¹⁹ Rodney A. Brooks, «Flesh and Machines», em Denning, p. 63.

CAPÍTULO 5

O Futuro da Energia — Energia das Estrelas

A Idade da Pedra não terminou por falta de pedra. E a Idade do Petróleo terminará muito antes de o mundo ficar sem petróleo.
— JAMES CANTON

Para mim, (a fusão) enfileira com a dádiva original do fogo, lá longe nas brumas da Pré-História.
— BEN BOVA

AS ESTRELAS ERAM A FONTE DE ENERGIA DOS DEUSES. Quando Apolo corria pelo céu num carro puxado por cavalos que expiravam fogo, iluminava os céus e a Terra com o poder infinito do sol. O seu poder só tinha rival no do próprio Zeus. Uma vez, quando Semele, uma das numerosas amantes mortais de Zeus, lhe pediu para ver a sua verdadeira forma, ele aquiesceu com relutância. A erupção resultante de energia ofuscante, cósmica, transformou-a num torresmo.

Neste século, controlaremos a energia das estrelas, a fonte de energia dos deuses. No curto prazo, isso significa inaugurar uma

Era de energia solar/de hidrogénio para substituir os combustíveis fósseis. No longo prazo, significa aproveitar o poder de fusão e talvez a energia solar do espaço. Avanços ulteriores da Física podem inaugurar a Era do magnetismo, Era em que automóveis, comboios e mesmo pranchas de skate flutuarão no ar sobre uma almofada de magnetismo. O nosso consumo de energia será drasticamente reduzido, dado que quase toda a energia usada em automóveis e comboios o é simplesmente para superar o atrito da estrada.

1. Fim do Petróleo?

Hoje, o nosso planeta está inteiramente consorciado com os combustíveis fósseis sob a forma de petróleo, gás natural e carvão. No seu conjunto, o mundo consome perto de 14 biliões de watts de eletricidade, dos quais 33% vêm do petróleo, 25% do carvão, 20% do gás, 7% do nuclear, 15% da biomassa e do hidroelétrico, e uns insignificantes 0,5% da energia solar e renováveis.¹

Sem combustíveis fósseis, a economia mundial pararia.

Um homem que viu claramente o fim da Era do petróleo foi M. King Hubbert, um engenheiro de petróleo da Shell. Em 1956, Hubbert apresentou uma exposição de longo alcance ao Instituto Americano do Petróleo, fazendo uma perturbadora previsão que foi universalmente escarnecida pelos seus colegas da época. Previu que as reservas de petróleo dos EUA estavam a ser gastas tão rapidamente que em breve 50% do petróleo teria sido extraído, provocando uma Era irreversível de declínio que se iniciaria entre

1965 e 1971². Viu que a totalidade de petróleo nos Estados Unidos podia ser representada por uma curva em forma de sino e que estávamos perto do cimo dessa curva. A partir de então, as coisas só poderiam decair, previu ele. Isto significava que o petróleo se tornaria cada vez mais difícil de extrair, portanto aconteceria o impensável: os Estados Unidos começariam a importar petróleo.

A sua previsão parecia precipitada, e até bizarra e irresponsável, dado que os Estados Unidos estavam ainda a extrair uma enorme quantidade de petróleo do Texas e outras partes do país. Agora os engenheiros de petróleo já não têm vontade de rir. A previsão de Hubbert estava inteiramente certa. Em 1970, a produção de petróleo dos EUA teve um máximo de 10,2 milhões de barris por dia e depois caiu. Nunca recuperou. Hoje, os Estados Unidos importam 59% do seu petróleo. De facto, se compararmos o gráfico das estimativas de Hubbert feito há décadas com um gráfico da produção atual de petróleo dos EUA durante 2005, as duas curvas são quase idênticas.

Agora, a questão fundamental que se põe aos engenheiros de petróleo é: estamos no topo do máximo de Hubbert em reservas de petróleo mundiais? Em 1956, Hubbert também previu que a produção global de petróleo teria um pico daí a cerca de cinquenta anos. É possível que estivesse certo, uma vez mais. Quando os nossos filhos olharem para trás, para esta época, verão os combustíveis fósseis da mesma maneira que nós vemos hoje o óleo de baleia, como uma infeliz relíquia de passado distante?

Dei muitas conferências na Arábia Saudita e por todo o Médio Oriente, falando de ciência, de energia e do futuro. Por um lado, a Arábia Saudita tem 267 mil milhões de barris de petróleo, de modo que o país parece estar a flutuar num enorme lago subterrâneo de petróleo bruto. Viajando pela Arábia Saudita e estados do Golfo Pérsico, pude ver um exorbitante desperdício de energia, com enormes repuxos no meio do deserto, criando grandes charcos e lagos artificiais. No Dubai existe até uma pista de esqui coberta com toneladas de neve artificial, em desafio absoluto ao calor sufocante no exterior.

Agora os ministros do petróleo estão preocupados. Por detrás de toda a retórica das «reservas de petróleo confirmadas», que supostamente nos tranquilizarão quanto a termos muito petróleo durante dezenas de anos vindouros, há a compreensão de que muitos desses dados oficiais sobre o petróleo são uma fantasia enganadora. «Reservas de petróleo confirmadas» soa tranquilizadamente pleno de autoridade e definitivo, até que percebemos que as reservas são muitas vezes criação dos desejos sem fundamento de um ministro do petróleo local e da pressão política.

Falando aos peritos em energia, pude ver que está a emergir um esboço de consenso preliminar: ou estamos no topo do pico de Hubbert para a produção mundial de petróleo, ou estamos, talvez, a uma dezena de anos desse ponto fatídico. Isto significa que no futuro próximo podemos estar a entrar num período de irreversível declínio.

É claro que nunca ficaremos totalmente sem petróleo. A todo o momento estão a ser encontradas novas jazidas. No entanto, o custo de extrair e refinar esse petróleo disparará gradualmente. Por exemplo, o Canadá tem enormes depósitos de areias betuminosas, o suficiente para abastecer o mundo de petróleo durante dezenas de anos futuros, mas extraí-las e refiná-las não é eficaz em termos de custos. Os Estados Unidos têm provavelmente reservas de carvão suficientes para durarem 300 anos, mas há restrições legais, e o custo de extrair todas as partículas e gases poluentes é oneroso.

Além disso, o petróleo continua a ser encontrado em regiões politicamente voláteis do mundo, contribuindo para a instabilidade internacional. Os preços do petróleo, quando representados graficamente durante décadas, são como uma viagem de montanha russa, com um pico de espantosos 140 dólares por barril em 2008 (e mais de 4 dólares por galão na bomba de gasolina) e depois caindo por causa da grande recessão. Embora existam oscilações brutais, devidas a agitação política, especulação, rumores, etc., uma coisa é clara: o preço médio do petróleo continuará a subir no longo prazo.

Isto terá implicações profundas para a economia mundial. A rápida ascensão da civilização moderna no século XX foi alimentada por duas coisas: o petróleo barato e a lei de Moore. Com os preços da energia a subirem, cria-se pressão no abastecimento mundial de alimentos bem como no controlo da poluição. Como disse o romancista Jerry Pournelle: «Alimentos e poluição não são problemas primários: são problemas de energia. Havendo energia suficiente podemos produzir tantos alimentos quanto quisermos,

usando, se necessário, meios de alta intensidade como hidroponia e estufas. A poluição é similar: havendo energia suficiente, os poluentes podem ser transformados em produtos; se necessário, desmontados nos seus produtos constituintes.»³

Estamos também perante outro problema: a ascensão da classe média na China e na Índia, uma das grandes alterações demográficas do pós-guerra, que criou enorme pressão sobre o petróleo e os preços dos bens de consumo. Vendo os hambúrgueres da McDonald's e as garagens para dois carros em Hollywood, também querem viver o sonho americano de consumo desperdiçador de energia.

2. Futuro Próximo (Até 2030)

2.1 Economia Solar/de Hidrogénio

Neste aspeto, a História parece estar a repetir-se. Lá para 1900, Henry Ford e Thomas Edison, dois amigos de longa data, fizeram uma aposta sobre que forma de energia poderia alimentar o futuro. Henry Ford apostou no petróleo a substituir o carvão, com o motor de combustão interna a substituir as máquinas a vapor. Thomas Edison apostou no automóvel elétrico. Foi uma aposta fatídica, cujo resultado teria um efeito profundo na história mundial. Por algum tempo, pareceu que Edison iria ganhar a aposta, dado que o óleo de baleia era muito difícil de conseguir. A rápida descoberta de depósitos de petróleo barato no Médio Oriente e noutros locais depressa fez que Ford emergisse vitorioso. O mundo nunca mais foi

o mesmo. As baterias não eram capazes de acompanhar o fenomenal sucesso da gasolina. (Hoje ainda, quilo por quilo, a gasolina contém aproximadamente quarenta vezes mais energia do que uma bateria.)

Agora a maré está a virar lentamente. Talvez Edison ainda vença, um século depois de a aposta ter sido feita.

A questão que é posta nos corredores do governo e da indústria é: o que substituirá o petróleo? Não há resposta clara. No curto prazo, não há substituto imediato para os combustíveis fósseis, e haverá muito provavelmente uma mistura de energias, sem que nenhuma forma de energia domine as outras.

Todavia, a sucessora mais promissora é a energia solar/de hidrogénio (baseada em tecnologias renováveis como a energia solar, a energia eólica, a energia hidroelétrica, e o hidrogénio).

Presentemente, o custo da eletricidade produzida a partir de células solares é várias vezes o preço da eletricidade produzida a partir do carvão. Contudo, o custo do solar/hidrogénio continua a descer devido aos firmes avanços tecnológicos, ao passo que o custo dos combustíveis fósseis prossegue a sua lenta subida. Estima-se que dentro de dez ou quinze anos, aproximadamente, as duas curvas se cruzarão. Nessa altura, as forças do mercado farão o resto.

2.2 Energia Eólica

No curto prazo, renováveis como a energia eólica são grandes vencedores. Em todo o mundo, a capacidade de geração a partir do vento cresceu de 17 mil milhões de *watts* em 2000 para 121 mil milhões em 2008. A energia eólica, em tempos considerada um ator menor, está a ficar cada vez mais proeminente. Avanços recentes na tecnologia das turbinas eólicas aumentaram a eficiência e produtividade dos parques eólicos, que são um dos sectores de crescimento mais rápido no mercado da energia.

Os parques eólicos de hoje estão muito longe dos velhos moinhos de vento usados para alimentar explorações agrícolas e dos moinhos no fim do século XVIII. Não poluente e seguro, um único gerador de energia eólica pode produzir 5 megawatts de energia, o suficiente para uma pequena aldeia. Uma turbina eólica tem pás grandes e polidas, com cerca de 30 metros, que rodam quase sem fricção. As turbinas eólicas criam eletricidade de maneira idêntica à das barragens hidroelétricas e dos geradores de bicicleta. O movimento de rotação faz girar um íman dentro de uma bobina. O campo magnético em rotação empurra eletrões para dentro da bobina, criando uma corrente líquida de eletricidade. Um grande parque eólico, consistindo em 100 moinhos de vento, pode produzir 500 megawatts, comparáveis aos 1000 megawatts produzidos por uma única central a carvão ou nuclear.

Nas décadas passadas, a Europa tem sido o líder mundial da tecnologia eólica. Porém, recentemente, os Estados Unidos ultrapassaram a Europa na geração de eletricidade a partir do

vento. Em 2009, os Estados Unidos produziram apenas 28 mil milhões de *watts* de energia eólica. Só o Texas produz 8 mil milhões de *watts* e tem mil milhões de *watts* em construção, e ainda mais em desenvolvimento. Se tudo correr como planeado, o Texas gerará 50 mil milhões de *watts* de energia elétrica a partir do vento, mais do que suficiente para satisfazer os 24 milhões de habitantes do estado.

A China em breve ultrapassará os Estados Unidos neste setor. O seu programa Wind Base criará seis parques eólicos com uma capacidade de geração de 127 mil milhões de *watts*⁴.

Embora a energia eólica pareça cada vez mais atraente, e não haja dúvidas de que crescerá no futuro, não pode fornecer o grosso da energia do mundo. No melhor dos casos, será uma parte integral de uma mistura de energias mais ampla. A energia eólica enfrenta vários problemas. Só é gerada intermitentemente quando o vento sopra, e apenas nalgumas regiões chave do mundo. E também, por causa das perdas na transmissão de eletricidade, os parques eólicos têm de estar perto das cidades, o que limita ainda mais a sua utilidade.

2.3 Vem Aí o Sol

Em última análise, toda a energia vem do sol. Mesmo o carvão e o petróleo são, em certo sentido, luz do sol concentrada, representando a energia que caiu sobre as plantas e os animais há milhões de anos. Como consequência, a quantidade de energia da luz do sol concentrada armazenada num galão de gasolina é muito

maior do que a energia que podemos armazenar numa bateria. Esse era o problema fundamental que Edison tinha pela frente no século passado, e é o mesmo problema hoje.

As células solares operam convertendo diretamente luz do sol em eletricidade. (Este processo foi explicado por Einstein em 1905. Quando uma partícula de luz, ou um fóton, choca contra um metal, expulsa um elétron, criando assim uma corrente elétrica.)

As células solares, no entanto, não são eficientes. Mesmo depois de décadas de trabalho duro de engenheiros e cientistas, a eficiência de uma célula solar ronda os 15%. De modo que a investigação prosseguiu em duas direções. A primeira é aumentar a eficiência das células solares, que é um problema técnico muito difícil. A outra é reduzir o custo de fabrico, instalação e construção de parques solares.

Por exemplo, podíamos ser capazes de suprir as necessidades elétricas dos Estados Unidos cobrindo todo o estado do Arizona com células solares, o que não é prático. Todavia, os direitos da terra relativos a grandes propriedades saarianas tornaram-se subitamente um tópico escaldante, e os investidores estão já a criar uma grande quantidade de parques solares nesse deserto para ir ao encontro das necessidades dos consumidores europeus.

Nas cidades, poderíamos reduzir o custo da energia solar cobrindo casas e prédios com células solares. Isto tem várias vantagens, incluindo eliminar as perdas na transmissão de

eletricidade vinda de uma central elétrica longínqua. O problema é reduzir custos. Um cálculo rápido mostra que teríamos de aproveitar todos os dólares possíveis para tornar rentáveis esses empreendimentos.

Embora a energia solar ainda não tenha cumprido a sua promessa, a instabilidade recente dos preços do petróleo estimulou esforços para trazer finalmente a energia solar para o mercado. A maré pode estar a virar. Têm sido batidos recordes em poucos meses. A produção solar voltaica está a crescer 45% ao ano, quase duplicando de dois em dois anos. Em todo o mundo, a instalação fotovoltaica é agora de 15 mil milhões de *watts*, tendo crescido 5,6 mil milhões só em 2008.

Em 2008, a Florida Power & Light anunciou o maior projeto de central solar nos Estados Unidos. O contrato foi concedido pela Sun-Power, que planeia gerar 25 megawatts de energia. (O atual detentor do recorde nos Estados Unidos é a Base da Força Aérea de Nellis no Nevada, com uma central que gera 15 megawatts de eletricidade solar.)

Em 2009, a BrightSource Energy, sediada em Oakland, Califórnia, anunciou planos para bater esse recorde construindo catorze centrais solares que gerarão 2,6 mil milhões de *watts*, através da Califórnia, do Nevada e do Arizona.

Um dos projetos da BrightSource é a central de Ivanpah, consistindo em três centrais térmicas solares a instalar na Califórnia

do Sul, que produzirão 440 megawatts de eletricidade. Num projeto conjunto com a Pacific Gas and Electric, a BrightSource planeia construir uma central de 1,3 mil milhões de *watts* no deserto de Mojave.

Em 2009, a First Solar, o maior fabricante de células solares do mundo, anunciou que criará a maior central solar do mundo mesmo a norte da Grande Muralha da China. O contrato de dez anos, cujos detalhes ainda estão a ser discutidos, projeta um enorme complexo solar contendo 27 milhões de painéis solares de membrana fina que gerarão 2 mil milhões de *watts* de eletricidade, ou o equivalente a duas centrais a carvão, produzindo energia suficiente para alimentar 3 milhões de casas. A central, que cobrirá mais de 64 quilómetros quadrados, será construída na Mongólia Interior e é de facto uma parte de um parque energético muito maior. Os funcionários chineses afirmam que a energia solar é apenas um componente dessa central que poderá fornecer 12 mil milhões de *watts* de eletricidade proveniente do vento, do sol, da biomassa e da energia hidroelétrica.

Fica por saber se esses projetos ambiciosos conseguirão vencer os entraves das inspeções ambientais e dos custos excessivos, mas o ponto importante é que a economia solar está gradualmente a sofrer uma transformação assinalável, com grandes empresas solares vendo a eletricidade solar como seriamente competitiva com as centrais a combustíveis fósseis.

2.4 Automóvel Elétrico

Dado que cerca de metade do petróleo do mundo é usado em automóveis, camiões, comboios e aviões, há um enorme interesse em reformar esse setor da economia. Há hoje uma corrida para ver quem dominará o futuro do automóvel, enquanto as nações fazem a histórica transição dos combustíveis fósseis para a eletricidade. Há vários estádios nesta transição. O primeiro é o automóvel híbrido, já no mercado, que usa uma combinação de eletricidade de uma bateria e gasolina. Esta conceção usa um pequeno motor de combustão interna para resolver o problema de longa data com as baterias: é difícil criar uma bateria que possa operar em longas distâncias e também providenciar aceleração instantânea.

O híbrido é apenas o primeiro passo. O automóvel híbrido de ligar à corrente, por exemplo, tem uma bateria suficientemente forte para mover o automóvel nos primeiros oitenta quilómetros, ou perto disso, antes que o automóvel mude para o motor a gasolina. Dado que a maior parte das pessoas faz as suas viagens de ida e volta do trabalho e as suas compras dentro do raio dos oitenta quilómetros, isto significa que esses automóveis são apenas impulsionados por energia elétrica durante esse tempo.

Uma importante entrada na corrida ao híbrido de ligar à corrente é o *Chevy Volt*, feito pela General Motors. Tem uma autonomia de 60 quilómetros (usando apenas uma bateria de iões de lítio) e uma autonomia de 480 quilómetros usando o pequeno motor a gasolina.

E depois há o *Tesla Roadster*, que não tem motor a gasolina. É fabricado pela Tesla Motors, uma empresa de Silicon Valley que é a única, na América do Norte, a vender carros inteiramente elétricos produzidos em série. O *Roadster* é um reluzente automóvel desportivo que pode competir com qualquer automóvel a gasolina, pondo fim à ideia de que as baterias elétricas de íões de lítio não podem competir com os motores a gasolina.

Tive a oportunidade de guiar um *Tesla Roadster* de dois lugares, propriedade de John Hendricks, fundador de Discovery Communications, a empresa mãe do Canal Discovery. Quando me sentei no lugar do condutor, o Sr. Hendricks instou-me a carregar com toda a força no acelerador para testar o automóvel. Aceitando o conselho, carreguei a fundo. Senti imediatamente o súbito aumento de potência. O meu corpo mergulhou no assento quando cheguei aos 100 quilómetros à hora em apenas 3,9 segundos. Uma coisa é ouvir um engenheiro a gabar-se do desempenho de automóveis inteiramente elétricos; outra coisa é carregar no acelerador e senti-lo por si.

As vendas bem-sucedidas do *Tesla* forçaram os principais fabricantes de automóveis a brincar à apanhada, depois de dezenas de anos a criticar o automóvel elétrico. Robert Lutz, quando era vice-presidente da General Motors, disse: «Todos os génios aqui na General Motors continuam a dizer que a tecnologia de íões de lítio está à distância de dez anos, e a Toyota concordou connosco — e, bum!, aparece o *Tesla*. De modo que eu disse: “Como pode fazer isto uma qualquer minúscula empresa em arranque da Califórnia,

gerida por tipos que nada sabem do negócio de automóveis, e nós não?”»⁵

A Nissan está a liderar o arranque para apresentar ao consumidor médio o automóvel totalmente elétrico. Chama-se *Leaf*; tem uma autonomia de 160 quilómetros, uma velocidade máxima de 145 quilómetros por hora, e é totalmente elétrico.

Depois do automóvel totalmente elétrico, outro automóvel que provavelmente chegará aos salões de exposição é o de pilha de combustível, por vezes chamado automóvel do futuro. Em Junho de 2008, a Honda Motor Company anunciou a estreia do primeiro automóvel de pilha de combustível comercialmente disponível no mundo, o *FCX Clarity*. Tem uma autonomia de 385 quilómetros, uma velocidade máxima de 160 quilómetros por hora, e tem todas as comodidades de um *sedan* de quatro portas. Usando apenas hidrogénio como combustível, não precisa de gasolina nem de carregamento elétrico. Todavia, porque a infraestrutura para o hidrogénio ainda não existe, só está disponível para aluguer no Sul da Califórnia, em todos os Estados Unidos. A Honda também está a publicitar uma versão desportiva do seu automóvel de pilha de combustível, chamada *FC Sport*.

Então, em 2009, a GM, saindo da bancarrota depois de a sua antiga administração ter sido sumariamente despedida, anunciou que o seu automóvel de pilha de combustível, o *Chevy Equinox*, tinha passado em testes a marca do milhão e seiscentos mil quilómetros. Nos passados vinte e cinco meses, 5000 pessoas estiveram a testar 100 desses automóveis de pilha de combustível.

Detroit, cronicamente atrasada em relação ao Japão na introdução da tecnologia de carros pequenos e de híbridos, está a tentar obter uma posição firme no futuro.

Aparentemente, o automóvel de pilha de combustível é o automóvel perfeito. Funciona combinando hidrogénio e oxigénio, que depois transforma em energia elétrica, deixando apenas água como produto de exaustão. Não cria nem um grama de poluição. É quase um mistério olhar para o tubo de escape de um automóvel de pilha de combustível. Em vez de sufocarmos com os fumos tóxicos que saem de trás, vemos gotas de água incolores e inodoras.

«Põe-se a mão no tubo de escape e a única coisa que sai é água. É uma sensação tão refrescante»⁶ observou Mike Schwabl, que testou o *Equinox* durante dez dias.

A tecnologia das pilhas de combustível não tem nada de novo. O princípio básico foi demonstrado já em 1839. A NASA usa-as para fornecer energia aos seus instrumentos no espaço já há dezenas de anos. O que é novo é a determinação dos fabricantes de automóveis para aumentar a produção e fazer baixar os custos.

Outro problema que o automóvel de pilha de combustível enfrenta é o mesmo que consumiu Henry Ford quando comercializou o modelo T. Os críticos afirmavam que a gasolina era perigosa, que as pessoas morreriam em horríveis acidentes, sendo queimadas vivas aquando de uma colisão. E também teria de haver

uma bomba de gasolina em quase todos os quarteirões. Em relação a todos estes pontos, os críticos tinham razão. As pessoas morrem realmente aos milhares em cada ano em pavorosos acidentes de viação, e vemos bombas de gasolina por toda a parte. No entanto, a conveniência e utilidade do automóvel são tão grandes que as pessoas ignoram tais factos.

Agora, as mesmas objeções estão a ser levantadas contra os automóveis de pilha de combustível. O hidrogénio é volátil e dispendioso, e terão de ser instaladas bombas de hidrogénio de poucos em poucos quarteirões. É muito provável que os críticos tenham razão de novo. Todavia, uma vez instalada a infraestrutura de hidrogénio, as pessoas descobrirão que os automóveis de células de combustível isentos de poluição podem ser tão convenientes que ignorarão estes factos. Hoje, há apenas setenta estações de reabastecimento para automóveis de pilha de combustível em todos os Estados Unidos. Dado que estes veículos têm uma autonomia de 270 quilómetros por abastecimento, isso quer dizer que quando se conduz é preciso vigiar cuidadosamente o indicador de combustível. Porém, as coisas mudarão gradualmente, em especial se o preço dos automóveis começar a cair com a produção em massa e os avanços da tecnologia.

O principal problema com o automóvel elétrico é que a bateria elétrica não cria energia a partir de nada. Tem de se começar por carregar a bateria, e essa eletricidade vem de uma central a carvão. De modo que, apesar de o automóvel elétrico não poluir, em última análise a sua fonte de energia são os combustíveis fósseis.

O hidrogénio não é um produtor líquido de energia. Em vez disso, é um transportador de energia. É preciso começar por criar o hidrogénio gasoso. Por exemplo, tem de se usar eletricidade para separar a água em hidrogénio e oxigénio. De modo que, embora os automóveis elétricos e de células de combustível nos deem a promessa de um futuro livre de poluição, ainda há o problema de que a energia que usam vem em grande medida da queima de carvão. Em derradeira análise, chocamos com a primeira lei da termodinâmica: a quantidade de matéria e energia total não pode ser destruída nem criada a partir de nada. Não se pode ter algo em troca de nada.

Isto significa que, ao fazermos a transição da gasolina para a eletricidade, precisamos de substituir as centrais a carvão por uma forma de energia inteiramente nova.

2.5 Fissão Nuclear

Uma possibilidade de criar energia, em vez de apenas transmitir energia, é cindindo o átomo de urânio. A vantagem é que a energia nuclear não produz copiosas quantidades de gases com efeito de estufa, como as centrais a carvão ou petróleo, mas problemas técnicos e políticos têm posto limites à energia nuclear durante décadas. A última central nuclear dos Estados Unidos começou a ser construída em 1977, antes do fatídico acidente de 1979 em Three Mile Island, que prejudicou o futuro da energia nuclear comercial. O devastador acidente de 1986 em Chernobyl selou o destino da energia nuclear por uma geração. Os projetos de energia nuclear pararam nos Estados Unidos e na Europa, e foram mantidos

em lume brando em França, no Japão e na Rússia, apenas apoiados por generosos subsídios do governo.

O problema com a energia nuclear é que quando se cinde o átomo de urânio, se produzem enormes quantidades de resíduos nucleares, que são radioativos durante milhares ou dezenas de milhões de anos. Um típico reator de 1000 megawatts produz cerca de trinta toneladas de resíduos nucleares de alta radioatividade ao fim de um ano. São tão radioativos que brilham no escuro, literalmente, e têm de ser armazenados em reservatórios de arrefecimento especiais. Com cerca de 100 reatores nucleares nos Estados Unidos, isto equivale a milhares de toneladas de resíduos de alta radioatividade produzidas por ano.

Os resíduos nucleares causam problemas por duas razões. Primeiro, permanecem quentes mesmo depois de o reator ter sido desligado. Se a água de arrefecimento for acidentalmente fechada, como aconteceu em Three Mile Island, então o núcleo começa a derreter. Se o metal derretido entrar em contato com a água pode causar uma explosão de vapor e fazer o reator em pedaços, vomitando para o ar toneladas de detritos radioativos. No pior de todos os casos, o de um acidente nuclear de classe 9, talvez se tivessem de evacuar imediatamente milhões de pessoas para fora de uma área de 16 a 80 quilómetros em torno do reator. O reator de Indian Point está apenas a 38 quilómetros a norte da cidade de Nova Iorque. Um estudo do governo estimou que um acidente em Indian Point poderia custar centenas de milhares de milhões de dólares em danos às propriedades. Em Three Mile Island o reator esteve a minutos de uma grande catástrofe que teria prejudicado

seriamente o Nordeste. O desastre foi evitado por um triz quando os trabalhadores reintroduziram com sucesso água de arrefecimento no núcleo, a escassos trinta minutos de este ter atingido o ponto de fusão do dióxido de urânio.

Em Chernobyl, nos arredores de Kiev, a situação foi muito pior. O mecanismo de segurança (as varetas de controlo) foi manualmente desativado pelos trabalhadores. Ocorreu um pequeno pico de energia que pôs o reator fora de controlo. Quando a água fria atingiu subitamente o metal derretido, originou uma explosão de vapor que fez saltar o topo do reator inteiro, libertando na atmosfera uma grande parte do núcleo. Muitos dos trabalhadores enviados para controlar o acidente acabaram por ter uma morte horrível causada pelas queimaduras da radiação. Com o incêndio do reator a lavrar descontroladamente, acabou por ter de ser chamada a Força Aérea. Foram enviados helicópteros com escudos especiais para pulverizar o reator em chamas com uma solução de água e bórax. Por fim, o núcleo teve de ser selado com betão. Ainda hoje, o núcleo permanece instável e continua a gerar calor e radiação.

A somar aos problemas de derretimento e explosões, há também o problema dos resíduos. Onde os pomos? É embaraçoso que tendo já passado cinquenta anos de Era atómica ainda não exista resposta. No passado, houve uma fieira de erros dispendiosos relativamente ao tratamento dos resíduos de maneira permanente. Originalmente, alguns resíduos foram simplesmente despejados nos oceanos pelos Estados Unidos e pela Rússia, ou enterrados em covas pouco fundas. Nos Urais, um depósito de resíduos de plutónio explodiu catastroficamente em 1957, exigindo uma evacuação em

massa e causando danos radiológicos a uma área de 1035 quilómetros quadrados entre Sverdlovsk e Chelyabinsk.

Originalmente, na década de 1970, os Estados Unidos tentaram enterrar os resíduos de alta radioatividade em Lyons, Kansas, em minas de sal. Mais tarde descobriu-se que as minas de sal não eram utilizáveis, dado que estavam crivadas de numerosos furos feitos por exploradores de petróleo e de gás. Os Estados Unidos foram forçados a fechar o local em Lyons, um revés embaraçoso.

Nos vinte e cinco anos seguintes, os Estados Unidos gastaram 9 mil milhões de dólares a estudar e construir o gigantesco centro de eliminação de resíduos de Yucca Mountain, no Nevada, com o único resultado de este ter sido cancelado pelo presidente Barack Obama em 2009. Os geólogos testemunharam que o centro da Yucca Mountain pode ser incapaz de conter resíduos nucleares por 10 000 anos. O centro da Yucca Mountain nunca abrirá, deixando os operadores comerciais de centrais de energia nuclear sem uma instalação permanente de armazenamento dos resíduos.

Presentemente, o futuro da energia nuclear não é claro. Wall Street continua nervosa relativamente a investir vários milhares de milhões de dólares em cada nova central de energia nuclear. Porém, a indústria clama que a última geração de centrais é mais segura do que a anterior. O Departamento de Energia, entretanto, está a manter abertas as suas opções respeitantes à energia nuclear.

2.6 Proliferação Nuclear

No entanto, com grande poder vem também grande perigo. Na mitologia nórdica, por exemplo, os Vikings adoravam Odin, que governava Asgard com sabedoria e justiça. Odin presidia a uma legião de deuses, incluindo o heroico Thor, cuja honra e valor eram as mais apreciadas qualidades de um guerreiro. Contudo, havia também Loki, o deus do embuste, que era consumido pela inveja e pelo ódio. Estava sempre a congeminar esquemas e era excelente na fraude e no engano. Loki acabou por conspirar com os gigantes para causar a batalha final entre as trevas e a luz, a épica batalha de Ragnarok, o crepúsculo dos deuses.

O problema hoje é que as invejas e os ódios entre as nações podem ocasionar um Ragnarok nuclear. A história mostrou que, quando uma nação domina a tecnologia comercial, pode, se tiver o desejo e a vontade política, fazer a transição para armas nucleares. O perigo é que a tecnologia das armas nucleares venha a proliferar em algumas das mais instáveis regiões do mundo.

Durante a Segunda Guerra Mundial, só as maiores nações da Terra tinham recursos, conhecimentos e capacidade para criar uma bomba atômica. Contudo, no futuro, à medida que o preço do enriquecimento do urânio baixe devido à introdução de novas tecnologias, o acesso a estas armas pode vir a ser muito facilitado. Este é o perigo que enfrentamos: tecnologias novas e mais baratas podem pôr a bomba atômica em mãos instáveis.

A chave para construir a bomba atômica é obter grandes quantidades de minério de urânio e depois purificá-lo. Isto significa separar o urânio 238 (que constitui 99,3% do urânio que surge na natureza) do urânio 235, que é apropriado para uma bomba atômica mas apenas constitui 0,7%. Estes dois isótopos são quimicamente idênticos, de modo que o único método fiável para separar os dois é explorar o facto de que o urânio 235 pesa cerca de 1% menos do que o seu primo.

Durante a Segunda Guerra Mundial, a única maneira de separar os dois isótopos do urânio era o laborioso processo da difusão gasosa: o urânio era transformado num gás (hexafluoreto de urânio) e depois obrigado a percorrer centenas de quilómetros de tubos e membranas. No fim dessa longa jornada, o urânio 235, mais rápido (ou seja, mais leve), vencida a corrida, deixando para trás o urânio 238, mais pesado. Depois de ser extraído o gás contendo urânio 235, o processo era repetido, até que o nível de enriquecimento do urânio subisse de 0,7% para 90%, que é o urânio com graduação de bomba. No entanto, empurrar o gás exigia enormes quantidades de eletricidade. Durante a guerra, uma fração significativa do total do abastecimento de energia elétrica foi desviada para o Laboratório Nacional de Oak Ridge, para este fim. A instalação de enriquecimento era gigantesca, ocupando perto de 186 mil metros quadrados e empregando 12 000 trabalhadores.

Depois da guerra, só as superpotências, os Estados Unidos e a União Soviética, podiam acumular enormes arsenais de armas nucleares, perto de 30 000 cada um, porque tinham dominado a

técnica da difusão gasosa. Hoje, só 33% do urânio enriquecido do mundo é obtido desse modo.

As fábricas de enriquecimento de segunda geração usam uma tecnologia mais sofisticada e mais barata: ultracentrifugadoras, que deram como resultado uma dramática alteração na política mundial. As ultracentrifugadoras podem fazer girar uma cápsula contendo urânio a velocidades até 100 000 rotações por minuto. Isso acentua a diferença de massa de 1% entre o urânio 235 e o urânio 238. Com a continuação, o urânio 238 acaba por se depositar no fundo. Depois de muitas rotações, pode remover-se o urânio 235 do cimo do tubo.

Em termos energéticos, as ultracentrifugadoras são cinquenta vezes mais eficientes do que a difusão gasosa. Cerca de 54% do urânio do mundo é purificado deste modo.

Com a tecnologia da ultracentrifugação, só são precisas 1000 ultracentrifugadoras a operar continuamente durante um ano para produzir o urânio enriquecido necessário para uma bomba atômica. A tecnologia da ultracentrifugação pode ser facilmente roubada. Numa das maiores fugas de informação de segurança nuclear da história, um obscuro engenheiro nuclear, A. Q. Khan, conseguiu roubar os planos da ultracentrifugadora e componentes da bomba atômica e vendê-los para obter lucro. Em 1975, altura em que trabalhava em Amesterdão para a URENCO, que fora criada pelo Reino Unido, Alemanha Ocidental e Holanda para abastecer de urânio os reatores europeus, deu esses planos secretos ao governo paquistanês, que o saudou como herói nacional, e também se

suspeita que vendeu informação classificada a Saddam Hussein e aos governos do Irão, Coreia do Norte e Líbia.

Usando essa tecnologia roubada, o Paquistão pôde criar um pequeno arsenal de armas nucleares que, em 1998, começou a testar. A rivalidade nuclear que se seguiu entre o Paquistão e a Índia, com cada um deles a detonar uma série de bombas atômicas, quase levou a uma confrontação nuclear entre essas duas nações rivais.

Talvez por causa da tecnologia que comprou a A. Q. Khan, o Irão acelerou declaradamente o seu programa nuclear, tendo construído 8000 ultracentrifugadoras até 2010, com a intenção de construir mais 30 000. Isto pressionou os outros estados do Médio Oriente para criarem as suas próprias bombas atômicas, aumentando a instabilidade.

A segunda razão por que a geopolítica do século XXI pode ser alterada é porque outra geração de tecnologia de enriquecimento — enriquecimento *laser* — está a surgir e é potencialmente ainda mais barata do que as ultracentrifugadoras.

Se examinarmos as camadas de eletrões desses dois isótopos do urânio, são aparentemente idênticas, dado que o núcleo tem a mesma carga. Todavia, se analisarmos muito cuidadosamente as equações das camadas de eletrões, verificamos que há uma minúscula diferença de energia entre as camadas de eletrões do urânio 235 e do urânio 238. Fazendo incidir um feixe de *laser*

afinado com extrema precisão, podem expulsar-se os eletrões das camadas de urânio 235, mas não das do urânio 238. Uma vez ionizados, os átomos de urânio 235 podem ser facilmente separados do urânio 238 usando um campo elétrico.

No entanto, a diferença de energia entre os dois isótopos é tão pequena que muitas nações tentaram explorar o facto e falharam. Nas décadas de 1980 e 1990, os Estados Unidos, França, Alemanha, África do Sul e Japão tentaram dominar esta tecnologia e foram mal sucedidos. Nos Estados Unidos, uma tentativa envolveu 500 cientistas e 2 mil milhões de dólares.

Em 2006, cientistas australianos anunciaram que não só tinham resolvido o problema, como tinham a intenção de comercializar a tecnologia. Dado que 30% do custo do urânio combustível vem do processo de enriquecimento, a empresa australiana Silex pensa que pode haver um mercado para esta tecnologia. A Silex assinou mesmo um contrato com a General Electric para iniciar a comercialização. Um dia, esperam produzir até um terço do urânio mundial usando este método. Em 2008, a GE Hitachi Nuclear Energy anunciou planos para construir, até 2012, a primeira fábrica comercial de enriquecimento *laser* em Wilmington, Carolina do Norte. A fábrica ocupará 80 hectares de um terreno de 1600⁷.

Para a indústria da energia nuclear, isto são boas notícias, dado que reduzirá o custo do urânio enriquecido dentro de poucos anos. Contudo, outros estão preocupados porque é apenas uma questão de tempo até que esta tecnologia prolifere em regiões instáveis do mundo. Por outras palavras, temos uma janela de oportunidade

para assinar tratados que restrinjam e regulamentem o fluxo de urânio enriquecido. A menos que controlemos essa energia, a bomba continuará a proliferar, talvez mesmo para grupos terroristas.

Conheci Theodore Taylor, já falecido, que teve a rara distinção de projetar algumas das maiores e mais pequenas ogivas nucleares para o Pentágono. Um dos seus projetos foi a Davy Crockett, pesando apenas 23 quilos, mas capaz de lançar uma pequena bomba atômica contra o inimigo. Taylor era um defensor tão entusiasta das bombas nucleares que trabalhou no projeto Orion, que consistia em usar bombas nucleares para propulsionar uma nave espacial até às estrelas próximas. Calculou que deixando sucessivamente cair bombas nucleares pela cauda de uma nave espacial, a onda de choque resultante propulsioná-la-ia até perto da velocidade da luz.

Perguntei-lhe uma vez por que se tinha desiludido com o projeto de bombas nucleares e tinha passado a trabalhar em energia solar. Confidenciou-me que tinha um pesadelo recorrente. O seu trabalho com as armas nucleares, achava ele, estava a levar a uma coisa: produzir ogivas atômicas de terceira geração. (As ogivas de primeira geração, da década de 1950, eram grandes e difíceis de transportar até aos alvos. As ogivas de segunda geração eram pequenas, compactas, e dez delas podiam caber no cone do nariz de um míssil. Porém, as bombas de terceira geração são «bombas por medida», especificamente adaptadas para trabalhar em vários ambientes, como a floresta, o deserto e mesmo o espaço). Uma dessas bombas de terceira geração é uma bomba atômica

miniatura, tão pequena que um terrorista pode transportá-la numa pasta e usá-la para destruir uma cidade inteira. A ideia de que o trabalho de uma vida podia eventualmente ser usado por um terrorista obcecou-o para o resto dos seus dias.

3. Meados do Século (2030 A 2070)

3.1 Aquecimento Global

Lá para meados do século, o grande impacto de uma economia de combustíveis fósseis deve estar no máximo: aquecimento global. Ninguém duvida hoje de que a Terra está a aquecer. No decorrer do último século, a temperatura da Terra aumentou $0,7^{\circ}\text{C}$, e o ritmo está a acelerar. Os sinais são inequívocos seja para onde for que olhemos:

- A espessura dos gelos árticos decresceu uns espantosos 50% apenas no espaço dos últimos cinquenta anos. Grande parte deste gelo ártico está pouco mais baixo do que o ponto de congelação, flutuando sobre a água. Por isso, é imensamente sensível a pequenas variações de temperatura dos oceanos, atuando como um canário num poço de mina, um sistema de alerta precoce. Hoje, partes da calote de gelo polar do Norte desaparecem durante os meses de Verão, e podem desaparecer completamente já no Verão de 2015. A calote de gelo polar pode desaparecer inteiramente lá para o fim do século, perturbando a meteorologia mundial por causa da

alteração do fluxo das correntes do oceano e do ar em torno do planeta.

- Os bancos de gelo da Gronelândia recuaram sessenta e dois quilómetros quadrados em 2007⁸. Este número saltou para cento e oitenta e quatro quilómetros quadrados em 2008. (Se todo o gelo da Gronelândia viesse a derreter, os níveis do mar subiriam cerca de seis metros em todo o mundo.)
- Grandes pedaços de gelo da Antártica, que têm estado estáveis durante dezenas de milhares de anos, estão a quebrar-se gradualmente⁹. Em 2000, um pedaço do tamanho do Connecticut soltou-se, contendo perto de 11 000 quilómetros quadrados de gelo. Em 2002, um pedaço do tamanho de Rhode Island soltou-se do Glaciar Thwaites. (Se todo o gelo da Antártica viesse a derreter, os níveis do mar subiriam cerca de cinquenta e cinco metros em todo o mundo.)
- Por cada trinta centímetros que o oceano sobe em altura, o espraiar horizontal do oceano é de cerca de trinta metros. Neste momento, os níveis do mar subiram vinte centímetros no passado século, principalmente por causa da expansão da água do mar à medida que aquece. Segundo as Nações Unidas, os níveis do mar podem subir 17 a 23 centímetros lá para 2100. Alguns cientistas disseram que o relatório da ONU era demasiado cauteloso na interpretação dos dados. Segundo os cientistas do

Instituto de Investigação Ártica e Alpina da Universidade do Colorado, lá para 2100 os níveis do mar poderiam subir 90 a 180 centímetros¹⁰. De modo que, gradualmente, o mapa das regiões costeiras da Terra mudará.

- As temperaturas começaram a ser registadas com confiança no fim da década de 1700; 1995, 2005 e 2010 estão entre os anos mais quentes alguma vez registados; 2000 a 2009 foi a década mais quente. De igual modo, os níveis de dióxido de carbono estão a subir alarmantemente. Estamos no nível mais alto em 100 000 anos.

À medida que a Terra aquece, as doenças tropicais estão gradualmente a migrar para Norte. O recente surto do vírus do Nilo ocidental transmitido por mosquitos pode ser um prenúncio do que está para vir. Os funcionários das Nações Unidas estão especialmente preocupados com a disseminação da malária em direção ao Norte. Normalmente, os ovos de muitos insetos nocivos morrem todos os anos quando o solo gela. Contudo, com o encurtamento da estação invernal, isso significa a disseminação inexorável dos insetos perigosos em direção ao Norte.

3.2 Dióxido de Carbono – Gases com Efeito Estufa

Segundo o Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas das Nações Unidas, os cientistas concluíram, com 90% de confiança, que o aquecimento global é provocado pela atividade

humana, em especial a produção de dióxido de carbono pela queima de petróleo e carvão. A luz do sol passa com facilidade através do dióxido de carbono. Em contrapartida, a luz do sol, quando aquece a Terra, cria radiação infravermelha, que não passa com tanta facilidade através do dióxido de carbono. A energia produzida pela luz do sol não pode escapar de volta ao espaço e fica retida.

Vemos também um efeito similar em estufas ou automóveis. A luz do sol aquece o ar, que é impedido de escapar pelo vidro.

Ameaçadoramente, a quantidade de dióxido de carbono gerada cresceu de forma explosiva, especialmente no passado século. Antes da Revolução Industrial, o conteúdo em dióxido de carbono do ar era 270 partes por milhão (ppm). Hoje, subiu para 387 ppm. (Em 1900, o mundo consumiu 150 milhões de barris de petróleo. Em 2000, saltou para 28 mil milhões de barris, um aumento de 185 vezes. Em 2008, 9,8 mil milhões de toneladas de dióxido de carbono foram lançadas no ar, provenientes da queima de combustíveis fósseis e também da desflorestação, mas só 5 mil milhões de toneladas foram recicladas para os oceanos, solo e vegetação. O resto ficará no ar durante as décadas vindouras, aquecendo a Terra.)¹¹

3.3 Visita à Islândia

A subida de temperatura não é uma casualidade, como podemos ver analisando núcleos de gelo. Perfurando em profundidade no gelo antigo do Ártico, os cientistas foram capazes de extrair bolhas de ar que têm milhares de anos de idade. Analisando quimicamente

o ar dessas bolhas, os cientistas são capazes de reconstruir a temperatura e o conteúdo de dióxido de carbono da atmosfera até mais de 600 000 anos atrás. Em breve serão capazes de determinar as condições meteorológicas há um milhão de anos.

Tive a oportunidade de ver isto em primeira-mão. Dei uma conferência uma vez em Reiquiavique, a capital da Islândia, e tive o privilégio de visitar a Universidade da Islândia, onde os núcleos de gelo estão a ser analisados. Quando o avião aterriza em Reiquiavique, tudo o que se vê a princípio é neve e rochas denteadas, assemelhando--se à erma paisagem da Lua. Apesar de árido e desagradável, o terreno faz do Ártico um lugar ideal para analisar o clima da Terra centenas de milhares de anos atrás.

Quando visitei o laboratório da Universidade, que é mantido a temperaturas de congelação, tive de passar por espessas portas de frigorífico. Uma vez lá dentro, pude ver grades e grades contendo longos tubos de metal, cada um com cerca de quatro centímetros de diâmetro e três metros de comprimento. Cada tubo oco tinha sido enterrado em profundidade no gelo de um glaciar. À medida que penetrava o gelo, o tubo ia captando amostras de neves que tinham caído milhares de anos antes. Quando os tubos foram retirados, pude examinar cuidadosamente o conteúdo de cada um. Ao princípio, tudo o que pude ver era uma longa coluna de gelo branco. Porém, depois de examinar mais de perto, vi que o gelo tinha riscas constituídas por estreitas bandas de diferentes cores.

Os cientistas usaram uma variedade de técnicas para os datar. Algumas das camadas de gelo contêm marcadores indicando

eventos importantes, tais como a fuligem emitida por uma erupção vulcânica. Dado que as datas destas erupções são conhecidas com grande precisão, podem usar-se para determinar a idade dessa camada.

Esses núcleos de gelo foram então cortados em várias fatias de modo a que pudessem ser examinados. Quando observei uma fatia ao microscópio vi bolhas pequeníssimas, microscópicas. Estremeci ao perceber que estava a ver bolhas de ar que foram depositadas há dezenas de milhares de anos, ainda antes da ascensão da civilização humana.

O conteúdo em dióxido de carbono dentro de cada bolha de ar mede-se facilmente. Contudo, calcular a temperatura do ar quando o gelo foi depositado é mais difícil. (Para fazê-lo, os cientistas analisam a água na bolha. As moléculas de água podem conter diferentes isótopos. À medida que a temperatura desce, os isótopos mais pesados da água condensam-se mais facilmente do que as moléculas de água vulgares. Daí que, medindo a quantidade dos isótopos mais pesados, se pode calcular a temperatura a que as moléculas de água condensaram.)

Finalmente, depois de analisarem o conteúdo de milhares de núcleos de gelo, esses cientistas chegaram a importantes conclusões. Descobriram que os níveis de temperatura e de dióxido de carbono oscilaram em paralelo, como duas montanhas russas movendo-se conjuntamente, em sincronização durante muitos milhares de anos. Quando uma curva sobe ou desce, a outra faz o mesmo.

Mais importante do que isso, encontraram um súbito pico de temperatura e de dióxido de carbono que ocorreu justamente durante o último século. Isto é muito invulgar, dado que a maior parte das flutuações ocorre lentamente ao longo de milénios. Este pico invulgar não é parte do processo de aquecimento natural, reclamam os cientistas, mas é um indicador direto de atividade humana.

Há outras maneiras de mostrar que este súbito pico é causado pela atividade humana, e não por ciclos naturais. As simulações em computador estão agora tão avançadas que podemos simular a temperatura da Terra com e sem a presença da atividade humana. Sem civilização produtora de dióxido de carbono, encontramos uma curva de temperatura relativamente plana. Com a adição da atividade humana podemos mostrar que deveria haver um pico súbito tanto da temperatura como do dióxido de carbono. O pico prognosticado ajusta-se perfeitamente ao pico real.

Por último, pode medir-se a quantidade de luz do sol que incide em cada metro quadrado da superfície da Terra. Os cientistas podem também calcular a quantidade de calor que é refletido da Terra para o espaço. Normalmente, esperamos que essas duas quantidades sejam iguais, com a que entra a equivaler à que sai. Na realidade, encontramos a quantidade líquida de energia que está presentemente a aquecer a Terra. Depois, se calcularmos a quantidade de energia que é produzida pela atividade humana, temos uma correspondência perfeita. Logo, a atividade humana está a causar o aquecimento atual da Terra.

Infelizmente, mesmo que parássemos de produzir dióxido de carbono, o gás que já foi libertado na atmosfera é suficiente para prolongar o aquecimento global durante dezenas de anos futuros.

Consequentemente, lá para meados do século, a situação pode ser terrível.

Os cientistas construíram imagens daquilo com que se parecerão as nossas cidades costeiras em meados do século e para lá disso, se os níveis do mar continuarem a subir. As cidades costeiras podem desaparecer. Grandes partes de Manhattan podem ter de ser evacuadas, com Wall Street submersa. Os governos terão de decidir, de entre as suas grandes cidades e capitais, as que merecem ser salvas e as que não terão esperança. Algumas cidades podem ser salvas por uma combinação de diques e comportas sofisticados. Outras podem ser consideradas sem esperança e pode deixar-se que desapareçam debaixo do oceano, criando migrações em massa. Dado que a maior parte dos centros de comércio e populacionais do mundo está perto do oceano, isso pode ter um efeito desastroso na economia mundial.

Mesmo que algumas cidades possam ser salvas, há ainda o perigo de grandes tempestades poderem lançar grandes ondas de água numa cidade, paralisando a sua infraestrutura. Por exemplo, em 1992, uma grande tempestade inundou Manhattan, paralisando o sistema de metropolitano e de comboios para Nova Jérсия. Com os transportes inundados, a economia estagna.

3.4 Inundando o Bangladeche e o Vietname

Um relatório do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas isolou três locais quentes de desastre potencial: Bangladeche, o Delta do Mekong no Vietname, e o Delta do Nilo no Egito.

A pior situação é a do Bangladeche, um país regularmente inundado por tempestades mesmo sem o aquecimento global. A maior parte do país é plana e ao nível do mar. Embora tenha tido ganhos significativos nas últimas décadas, é ainda uma das nações mais pobres da Terra, com uma das mais altas densidades populacionais. (Tem uma população de 160 milhões, comparável à da Rússia, mas com 1/120 da área terrestre). Cerca de 50% da área terrestre ficará permanentemente inundada se o nível do mar subir noventa centímetros. Ocorrem calamidades naturais quase todos os anos, mas, em Setembro de 1998, o mundo assistiu horrorizado a uma antevisão do que pode tornar-se comum. Uma enorme inundação submergiu dois terços do país, deixando 30 milhões de pessoas sem casa quase de uma noite para outra; 1000 morreram e foram destruídos 9600 quilómetros de estradas. Este foi um dos piores desastres naturais na história moderna.

Outro país que pode ser devastado por uma subida do nível do mar é o Vietname, onde o Delta do Mekong é particularmente vulnerável. Lá para meados do século, este país com uma população de 87 milhões pode estar perante um colapso da sua principal área de produção alimentar. Metade do arroz do Vietname é cultivado no Delta do Mekong, onde vivem 17 milhões de pessoas, e a maior

parte ficará inundado permanentemente com a subida do nível do mar. Segundo o Banco Mundial, 11% de toda a população será deslocada se o nível do mar subir 90 centímetros em meados do século. O Delta do Mekong será também inundado por água salgada, destruindo permanentemente o solo fértil da área. Se milhões de pessoas forem expulsas de suas casas pelas cheias no Vietname, muitas acorrerão em massa à Cidade de Ho Chi Minh, procurando refúgio. Todavia, um quarto da cidade estará também debaixo de água.

Em 2003, o Pentágono encomendou um estudo, feito pela Global Business Network, que mostrou que, num cenário pessimista, o caos se poderia espalhar pelo mundo devido ao aquecimento global. À medida que milhões de refugiados atravessarem as fronteiras nacionais, os governos podem perder toda a autoridade e entrar em colapso, de modo que os países podem mergulhar no pesadelo dos saques, motins e caos. Nessa desesperada situação, as nações, quando postas perante a perspectiva do influxo de milhões de pessoas desesperadas, podem recorrer às armas nucleares.

«Pense-se no Paquistão, na Índia e na China — todos armados com arsenal nuclear — em escaramuças de fronteira por causa de refugiados, acesso a rios partilhados e a terra arável»,¹² dizia o relatório. Peter Schwartz, fundador da Global Business Network e autor principal do estudo para o Pentágono, confidenciou-me os detalhes desse cenário. Disse-me que o ponto mais quente seria a fronteira entre a Índia e o Bangladesh. Numa crise relevante no Bangladesh, o número de pessoas expulsas das suas casas pode chegar a 160 milhões, desencadeando uma das maiores migrações

da história humana. As tensões podem subir rapidamente enquanto as fronteiras ruem, os governos locais ficam paralisados, e rebentam motins em massa. Schwartz pensa que as nações poderão usar armas nucleares como último recurso.

No pior cenário, podemos ter uma produção de gases com efeito de estufa que se alimenta a si mesma. Por exemplo, a fusão da tundra nas regiões árticas pode libertar milhões de toneladas de gás metano da vegetação que apodrece. A tundra cobre perto de 23 mil milhões de quilómetros quadrados de terras no hemisfério Norte, contendo vegetação congelada desde a última Era Glaciar, há dezenas de milhares de anos. A tundra contém mais dióxido de carbono e metano do que a atmosfera, o que constitui uma enorme ameaça à meteorologia mundial. O gás metano, além disso, é um gás com efeito de estufa muito mais mortal do que o dióxido de carbono. Não fica tanto tempo na atmosfera, mas causa muito mais danos do que o dióxido de carbono. A libertação de uma tal quantidade de gás metano da tundra em fusão pode causar uma subida rápida da temperatura, e isso fará que seja libertado ainda mais gás metano, causando um ciclo descontrolado de aquecimento global.

3.5 Remédios Técnicos

A situação é terrível, mas ainda não chegámos ao ponto de não retorno. O problema de controlar os gases com efeito de estufa é hoje grandemente económico e político, não técnico. A produção de dióxido de carbono coincide com a atividade económica, logo com a riqueza. Por exemplo, os Estados Unidos geram aproximadamente

25% do dióxido de carbono do mundo. Isto acontece porque os Estados Unidos têm aproximadamente 25% da atividade económica do mundo. E em 2009, a China ultrapassou os Estados Unidos na emissão de gases com efeito de estufa, principalmente por causa do crescimento explosivo da sua economia. Esta é a razão fundamental por que as nações estão tão relutantes em lidar com o aquecimento global: interfere com a atividade económica e com a prosperidade.

Foram imaginados vários esquemas para lidar com esta crise global, mas em última análise, um remédio rápido pode não ser suficiente. Só uma alteração importante da maneira como consumimos energia resolverá o problema. Algumas medidas técnicas foram advogadas por cientistas sérios, mas nenhuma recebeu uma aceitação ampla. As propostas incluem:

- **Enviar poluentes para a atmosfera.** Uma proposta é mandar foguetões para a alta atmosfera, onde libertarão poluentes, como o dióxido de enxofre, para refletir a luz do sol para o espaço, arrefecendo assim a Terra. De facto, o vencedor do Nobel Paul Crutzen advogou o disparo de poluição para o espaço como um «dispositivo do juízo final», proporcionando uma derradeira rota de escape para a humanidade deter o aquecimento global. Esta ideia tem as suas raízes em 1991, quando os cientistas monitorizaram cuidadosamente a enorme explosão do Monte Pinatubo nas Filipinas, que arremessou 10 mil milhões de toneladas métricas de sujidade e detritos para a alta atmosfera. Isso

obscureceu os céus e provocou um arrefecimento de cerca de $0,5^{\circ}\text{C}$ em toda a Terra. Foi assim possível calcular a quantidade de poluentes que seria necessária para reduzir a temperatura mundial. Embora esta seja uma proposta séria, alguns críticos duvidam que possa, por si só, resolver o problema. Pouco se sabe sobre a maneira como uma enorme quantidade de poluentes afetará a temperatura mundial. Pode ser que os benefícios tenham vida curta, ou que os efeitos secundários indesejados sejam piores do que o problema original. Por exemplo, houve uma súbita descida de precipitação global depois da erupção do Monte Pinatubo; se a experiência correr mal, pode, similarmente, causar enormes secas. As estimativas de custos mostram que seriam precisos 100 milhões de dólares para executar testes no terreno. Dado que o efeito dos aerossóis sulfatados é temporário, injetar grandes quantidades na atmosfera custaria um mínimo de 8 mil milhões de dólares por ano.

- **Criar florações de algas.** Outra sugestão é despejar nos oceanos produtos químicos ferrosos. Esses nutrientes minerais fariam desenvolver as algas no oceano, o que, por seu turno, aumentaria a quantidade de dióxido de carbono que é absorvida pelas algas. Contudo, depois de a Planktos, uma empresa com sede na Califórnia, ter anunciado que começaria unilateralmente um esforço privado para fertilizar parte do Atlântico Sul com ferro — esperando gerar deliberadamente o florescimento de

plâncton que absorveria o dióxido de carbono do ar — os países signatários da Convenção de Londres, que regulamenta os despejos no mar, emitiram uma «declaração de preocupação» acerca deste esforço¹³. Um grupo das Nações Unidas também apelou a uma moratória temporária dessas experiências. A experiência terminou quando a Plankton ficou sem dinheiro.

- **Sequestração do carbono.** Outra possibilidade ainda é usar a sequestração do carbono, um processo pelo qual o dióxido de carbono emitido por centrais a carvão é liquefeito e depois isolado do ambiente, talvez enterrando-o no subsolo. Apesar de isto poder funcionar, em princípio, é um processo muito dispendioso, e não pode remover o dióxido de carbono que já foi lançado para a atmosfera. Em 2009, os engenheiros estavam a monitorizar cuidadosamente o primeiro teste importante da sequestração do carbono. A imensa central elétrica de Mountaineer, construída na Virgínia Ocidental em 1980, foi readaptada para separar o dióxido de carbono do ambiente, tornando-se na primeira central a carvão de produção de eletricidade dos Estados Unidos a experimentar a sequestração. O gás liquefeito será injetado no subsolo a dois mil e quatrocentos metros de profundidade, possivelmente numa camada de dolomite¹⁴. O líquido acabará por formar uma massa com nove a doze metros de altura e centenas de metros de comprimento. O dono da central, a American Electric Power, planeia injetar anualmente 100 000 toneladas de

dióxido de carbono durante dois a cinco anos. Isto é apenas 1,5% da emissão anual da central, mas o sistema pode vir a capturar até 90%. Os custos iniciais são cerca de 73 milhões de dólares. Porém, se tiver sucesso, o modelo pode ser rapidamente disseminado por outros locais, como as vizinhas centrais gigantes a carvão que geram 6 mil milhões de *watts* de energia (tanto que o local é chamado Megawatt Valley). Há grandes incógnitas: não é claro se o dióxido de carbono acabará por migrar ou se o gás se combinará com água, talvez criando ácido carbónico que pode envenenar as águas subterrâneas. Contudo, se o projeto for um sucesso, pode bem tornar-se parte de uma combinação de tecnologias usadas para lidar com o aquecimento global.

- **Engenharia genética.** Outra proposta é usar a engenharia genética para criar especificamente formas de vida que possam absorver grandes quantidades de dióxido de carbono. Um promotor entusiasta desta abordagem é J. Craig Venter, que ganhou fama e fortuna como pioneiro de técnicas muito rápidas que levaram com sucesso à sequenciação do genoma humano anos antes do previsto. «Vemos o genoma como o *software*, ou mesmo o sistema operativo, da célula», diz. O seu objetivo é reescrever esse *software*, de modo que os micróbios possam ser modificados geneticamente, ou até construídos quase de raiz, para absorverem o dióxido de carbono de centrais a carvão e converterem-no em substâncias úteis, como o gás natural. Observa que «Já

existem milhares, talvez milhões, de organismos no nosso planeta que sabem como fazê-lo.» O truque é modificá-los de modo a que possam aumentar a sua produção e também florescer numa central a carvão. «Pensamos que este campo tem um potencial tremendo para substituir a indústria petroquímica, possivelmente no espaço de uma dezena de anos», disse otimisticamente¹⁵.

O físico de Princeton Freeman Dyson advogou outra variação, criando, com a ajuda da engenharia genética, uma variedade de árvores que seriam muito boas a absorver dióxido de carbono. Afirmou que talvez um bilião dessas árvores pudesse ser suficiente para controlar o dióxido de carbono no ar. No seu artigo «Podemos controlar o dióxido de carbono na atmosfera?» defendeu a criação de um «banco de carbono» de «árvores de crescimento rápido» para regular os níveis de dióxido de carbono¹⁶.

Todavia, tal como acontece com qualquer plano para usar engenharia genética em larga escala, temos de ser cuidadosos com os efeitos secundários. Não se pode enviar de volta uma forma de vida como se devolve um automóvel com defeito. Uma vez libertada no ambiente, a forma de vida criada pela engenharia genética pode ter consequências não desejadas para outras formas de vida, em especial se substituir espécies locais de plantas e perturbar o equilíbrio da cadeia alimentar.

Infelizmente, tem havido uma respeitável falta de interesse dos políticos pelo financiamento de qualquer desses planos. Contudo, um dia, o aquecimento global tornar-se-á tão angustiante e perturbador que os políticos serão forçados a pôr em prática alguns deles.

O período crítico será nas próximas dezenas de anos. Lá para meados do século, deveremos estar na Era do hidrogénio, época em que uma combinação de fusão, energia solar e energias renováveis nos dará uma economia que será muito menos dependente do consumo de combustíveis fósseis. Uma combinação de forças do mercado e avanços na tecnologia do hidrogénio deverá dar-nos uma solução de longo prazo para o aquecimento global. O período de perigo é agora, antes de estar instalada uma economia de hidrogénio. No curto prazo, os combustíveis fósseis são ainda o meio mais barato de gerar eletricidade, e daí que o aquecimento global constitua um perigo durante dezenas de anos futuros.

3.6 Energia de Fusão

Lá para meados do século, aparecerá uma nova opção que mudará o jogo: a fusão. Por essa altura, deve ser o mais viável de todos os remédios técnicos, dando-nos talvez uma solução permanente para o problema. Enquanto a energia de fissão assenta na cisão do átomo de urânio, criando assim eletricidade (e uma grande quantidade de resíduos nucleares), a energia de fusão funde átomos de hidrogénio com grande libertação de calor e de muitíssimo mais energia (com muito poucos resíduos).

Diferentemente da fissão, a fusão liberta a energia do sol. Profundamente embebido no átomo de hidrogénio está a fonte de energia do universo. A energia de fusão ilumina o sol e os céus. É o segredo das estrelas. Qualquer pessoa que possa dominar com sucesso a energia de fusão terá dado rédea solta à energia eterna ilimitada. E o combustível para essas centrais de fusão vem da vulgar água do mar. Quilo por quilo, a fusão liberta 10 milhões de vezes mais energia do que a gasolina. Um copo de 230 cc de água é igual ao conteúdo energético de 500 000 barris de petróleo¹⁷.

A fusão (e não a fissão) é a maneira preferida pela Natureza para dar energia ao universo. Na formação de estrelas, uma bola de gás rica em hidrogénio é gradualmente comprimida pela gravidade, até que começa a aquecer a altíssimas temperaturas. Quando o gás chega perto de 50 milhões de graus (varia dependendo de condições específicas), os núcleos de hidrogénio no interior do gás são atirados uns contra os outros, até que se fundem, formando hélio. No processo vastas quantidades de energia são libertadas, e isso causa a ignição do gás. (Mais precisamente, a compressão tem de satisfazer uma coisa chamada critério de Lawson, que afirma que temos de comprimir hidrogénio gasoso de uma determinada densidade a uma determinada temperatura durante uma certa quantidade de tempo. Se essas condições, envolvendo densidade, temperatura e tempo forem satisfeitas, temos uma reação de fusão, quer seja uma bomba de hidrogénio, uma estrela ou uma fusão num reator.)

Portanto, é esta a chave: aquecer e comprimir hidrogénio gasoso até que os núcleos se fundam libertando quantidades cósmicas de energia.

No entanto, as tentativas anteriores para dominar esta energia cósmica fracassaram. É uma tarefa diabolicamente difícil aquecer hidrogénio gasoso a dezenas de milhões de graus, até que os prótons se fundam para formar hélio gasoso e libertar vastas quantidades de energia.

Mais do que isso, o público está cético quanto a estas pretensões, dado que de vinte em vinte anos os cientistas afirmam que a energia de fusão está a vinte anos de distância. Não obstante, depois de décadas de pretensões otimistas, os físicos estão cada vez mais convencidos de que a energia de fusão está finalmente a chegar, talvez já em 2030. Algures por meados do século, poderemos ver centrais de fusão pontuando os campos.

O público tem direito a mostrar-se cético em relação à fusão, dado que tem havido tantos logros, fraudes e fracassos no passado. Em 1951, quando os Estados Unidos e a União Soviética estavam mergulhadas no frenesim da Guerra Fria e desenvolviam febrilmente a bomba de hidrogénio, o presidente Juan Perón da Argentina anunciou, com sonora fanfarra e grande cobertura mediática, que os cientistas do seu país tinham feito uma importante descoberta em relação ao controlo da energia do sol. A história desencadeou uma tempestade de fogo publicitária. Parecia inacreditável, e, todavia, foi primeira página do *New York Times*. A Argentina, gabava-se Perón, tinha feito uma importantíssima

descoberta numa área em que as superpotências tinham falhado. Um cientista alemão desconhecido, Ronald Richter, tinha convencido Perón a financiar o seu «termotrão», que prometia energia ilimitada e glória eterna para a Argentina.

A comunidade científica americana, que ainda estava a contas com a fusão na violenta corrida com a Rússia para produzir a bomba H, declarou que a pretensão era tolice. O cientista atómico Ralph Lapp disse: «Sei qual é o outro material que os argentinos estão a usar. São balelas.»¹⁸

A imprensa rapidamente lhe chamou Bomba Balelas. Ao cientista atómico Perguntaram a David Lilienthal se havia «a mais pequena possibilidade» de os argentinos estarem certos. «Menos do que isso», respondeu¹⁹.

Sob intensa pressão, Perón limitou-se a fazer finca-pé, insinuando que as superpotências estavam invejosas por a Argentina lhes ter puxado o tapete. Finalmente, o momento da verdade veio no ano seguinte, quando os representantes de Perón visitaram o laboratório de Richter. Debaixo de fogo, Richter estava a agir de maneira cada vez mais errática e bizarra. Quando os inspetores chegaram, rebentou com a porta do laboratório usando tanques de oxigénio e depois escreveu numa folha de papel as palavras «energia atómica». Ordenou que se injetasse pólvora no reator. O veredicto foi que estava provavelmente louco. Quando os inspetores colocaram um pedaço de rádio junto dos «contadores de radiação» de Richter, nada aconteceu, de modo que era claro que o seu equipamento era fraudulento. Mais tarde, Richter foi preso.

Porém, o caso mais famoso foi o de Stanley Pons e Martin Fleischmann, dois químicos muito respeitados da Universidade do Utah que em 1989 pretenderam ter conseguido a «fusão fria», ou seja, a fusão à temperatura ambiente. Afirmavam que tinham colocado paládio metálico em água que, de uma forma algo mágica, comprimiu os átomos de hidrogénio até que estes se fundiram dando hélio, libertando a energia do sol num tampo de mesa.

O choque foi imediato. Quase todos os jornais do mundo referiram a descoberta na primeira página. De um dia para o outro, os jornalistas falaram do fim da crise de energia e da abertura de uma nova Era de energia ilimitada. Um frenesim sustentado atingiu os média mundiais. O estado do Utah disponibilizou imediatamente 5 milhões de dólares para criação de um Instituto Nacional para a Fusão Fria. Até os fabricantes japoneses de automóveis começaram a doar milhões de dólares para promover a investigação neste excitante novo campo. Uma espécie de culto começou a surgir em torno da fusão fria.

Diferentemente de Richter, Pons e Fleischmann eram respeitados na comunidade científica e tinham gosto em partilhar os seus resultados com outros. Dispuseram cuidadosamente o seu equipamento e os seus dados para que o mundo os visse.

Nessa altura as coisas complicaram-se. Dado que o dispositivo era tão simples, grupos por todo o mundo tentaram replicar esses espantosos resultados. Infelizmente, a maior parte dos grupos não conseguiu encontrar qualquer libertação líquida de energia, declarando que a fusão fria era um beco sem saída. Todavia, a

história manteve-se porque havia alegações esporádicas que certos grupos tinham duplicado a experiência com sucesso.

Finalmente, a comunidade dos físicos fez uma declaração. Analisaram as equações de Pons e Fleischmann e acharam que tinham erros. Primeiro, se as alegações estivessem corretas, uma barragem de neutrões muito rápidos teria sido irradiada do copo de água, matando Pons e Fleischmann. (Numa reação de fusão típica, dois núcleos de hidrogénio são atirados um contra o outro e fundem-se, criando energia, um núcleo de hélio e também um neutrão.) De modo que o facto de Pons e Fleischmann ainda estarem vivos significava que a experiência não tinha funcionado. Se as suas experiências tivessem produzido fusão fria, estariam a morrer com as queimaduras da radiação. Segundo, era mais provável que Pons e Fleischmann tivessem descoberto uma reação química em vez de uma reação termonuclear. E por fim, concluíram os físicos, o paládio metálico não pode ligar átomos de hidrogénio de modo suficientemente compacto para causar a fusão do hidrogénio em hélio. Tal violaria as leis da teoria quântica.

A controvérsia não morreu, nem mesmo hoje. Ainda há alegações ocasionais de que alguém conseguiu a fusão fria. O problema é que ninguém foi capaz de, com fiabilidade, conseguir a fusão fria a pedido. Afinal, para que serve fazer um motor de automóvel se ele só funciona ocasionalmente? A ciência é baseada em resultados reprodutíveis, testáveis e refutáveis que funcionam sempre.

3.7 Fusão Quente

As vantagens da energia de fusão são tão grandes que muitos cientistas prestaram atenção ao seu canto de sereia.

Por exemplo, a fusão cria uma poluição mínima. É relativamente limpa, e é a maneira que a natureza usa para gerar energia no universo. Um subproduto da fusão é o hélio gasoso, que é de facto comercialmente valioso. Outro é o aço radioativo da câmara de combustão, que vai ter de ser enterrado. É ligeiramente perigoso apenas durante algumas dezenas de anos. Em compensação, uma central de fusão produz uma quantidade insignificante de lixo nuclear, comparada com uma central de fissão de urânio normal (que produz por ano trinta toneladas de resíduos nucleares altamente radioativos que duram milhares a dezenas de milhões de anos).

De igual modo, as centrais de fusão não podem sofrer um derretimento catastrófico. As centrais de fissão de urânio, precisamente porque contêm toneladas de lixo nuclear de alto nível no seu núcleo, produzem quantidades voláteis de calor mesmo depois de serem encerradas. É este calor residual que pode acabar por derreter o aço sólido e infiltrar as águas subterrâneas, criando uma explosão de vapor e o pesadelo de acidente do Síndroma da China.

As centrais de fusão são inerentemente mais seguras. Um «derretimento de fusão» é uma contradição nos termos. Por exemplo, se viéssemos a desligar o campo magnético de um reator

de fusão, o plasma quente chocaria com as paredes da câmara e o processo de fusão terminaria imediatamente. De modo que uma central de fusão, em vez de entrar numa acelerada reação em cadeia, desliga-se espontaneamente em caso de acidente.

«Mesmo que a central fosse arrasada, o nível de radiação a um quilómetro da vedação seria tão pequeno que não seria necessária uma evacuação»²⁰, diz Farrokh Najmabadi, que dirige o Centro de Investigação de Energia da Universidade da Califórnia em San Diego.

Embora a energia de fusão comercial tenha todas estas maravilhosas vantagens, ainda há um pequeno detalhe: não existe. Até agora ninguém produziu uma central de fusão operativa.

No entanto, os físicos estão cautelosamente otimistas. «Há dez anos, alguns cientistas questionaram se a fusão era possível, mesmo em laboratório. Hoje, sabemos que a fusão funcionará. A questão é saber se será economicamente prática»,²¹ diz David E. Baldwin da General Atomics, que supervisiona um dos maiores reatores de fusão dos Estados Unidos, o DIII-D.

3.8 NIF – Fusão a *Laser*

Nos próximos anos, tudo isto pode mudar muito.

Várias abordagens estão a ser tentadas simultaneamente, e depois de dezenas de anos de falsas partidas, os físicos estão

convencidos de que finalmente atingirão a fusão. Em França há o Reator Termonuclear Experimental Internacional (ITER), apoiado por muitas nações europeias, Estados Unidos, Japão e outras. E nos Estados Unidos há o National Ignition Facility (NIF).

Tive oportunidade de visitar a máquina de fusão a laser do NIF, e é uma coisa colossal de se ver. Por causa da ligação próxima com bombas de hidrogénio, o reator do NIF tem a sua base no Lawrence Livermore National Laboratory, onde os militares concebem ogivas de hidrogénio. Tive de passar por muitos níveis de segurança para finalmente ter acesso à máquina.

Porém, quando cheguei ao reator, tive uma experiência espantosa. Estou habituado a ver *lasers* em laboratórios universitários (de facto, um dos maiores laboratórios de *laser* no Estado de Nova Iorque é mesmo por baixo do meu gabinete na City University de Nova Iorque), mas ver a instalação do NIF foi esmagador. Está alojado num edifício de dez andares do tamanho de três campos de futebol, com 192 feixes de laser gigantes a serem disparados para um longo túnel. É o maior sistema de *laser* do mundo, transmitindo sessenta vezes mais energia do que qualquer sistema anterior.

Depois de os feixes serem disparados por esse longo túnel, acabam por atingir uma fiada de espelhos que focam cada feixe num pequeníssimo alvo do tamanho da cabeça de um alfinete, consistindo este em deutério e trítio (dois isótopos do hidrogénio). Incrivelmente, 500 biliões de *watts* de energia *laser* são focados numa minúscula pastilha que quase não é visível a olho nu,

aquecendo-a a 100 milhões de graus, uma temperatura muito mais alta do que a do centro do sol. (A energia desse pulsar colossal é equivalente à produção de saída de meio milhão de centrais nucleares num breve instante.) A superfície desta pastilha microscópica é rapidamente vaporizada, e isso liberta uma onda de choque que destrói a pastilha e liberta a energia de fusão.

Foi completada em 2009, e está presentemente a ser testada. Se tudo correr bem, pode ser a primeira máquina a criar tanta energia quanto aquela que consome. Embora esta máquina não seja projetada para produzir energia elétrica comercial, é projetada para mostrar que os feixes *laser* podem ser focados para aquecer materiais ricos em hidrogénio e produzir mais energia líquida do que a que consomem.

Falei com um dos diretores da instalação NIF, Edward Moses, acerca das suas expectativas e sonhos para o projeto. Com um capacete na cabeça, parecia-se mais com um trabalhador da construção civil do que com um físico nuclear de topo responsável pelo maior laboratório *laser* do mundo. Admitiu que houve numerosas falsas partidas no passado. Contudo, acreditava, isto é que era: ele e a sua equipa estavam prestes a conseguir um resultado importante, um resultado que entrará nos livros de História, serem os primeiros a capturar pacificamente a energia do sol na Terra. Falando com ele percebe-se como projetos como o NIF são mantidos em vida pela paixão e energia dos seus verdadeiros crentes. Saboreava o dia, disse-me, em que pudesse convidar o presidente dos Estados Unidos para o seu laboratório para anunciar que acabava de se escrever História.

Logo de início, o NIF teve um mau começo. (Até aconteceram coisas estranhas, como quando o antigo diretor associado do NIF, E. Michael Campbell, foi forçado a demitir-se em 1999 ao ser revelado que mentira sobre ter completado um doutoramento em Princeton.) Depois a data de acabamento, originalmente marcada para 2003, começou a deslizar. Os custos subiram em flecha, de mil milhões de dólares para quatro mil milhões. Ficou finalmente pronto em Março de 2009, com seis anos de atraso.

O diabo, dizem, está nos pormenores. Na fusão a *laser*, por exemplo, esses 192 feixes *laser* têm de atingir a superfície de uma minúscula pastilha com a máxima precisão, de modo a que ela impluda uniformemente. Os feixes têm de atingir este minúsculo alvo dentro de um intervalo de 30 bilionésimos de segundo uns dos outros. O mínimo desalinhamento dos feixes *laser* ou a irregularidade da pastilha significa que aquecerá assimetricamente, explodindo para um lado em vez de implodir esfericamente.

Se a pastilha for irregular em mais de 50 nanómetros (ou cerca de 150 átomos), então também não explodirá uniformemente. (Isto é como tentar lançar uma bola de basebol para dentro da zona de batida de uma distância de 560 quilómetros.) De modo que o alinhamento dos feixes *laser* e a uniformidade da pastilha são os principais problemas enfrentados pela fusão *laser*.

Além do NIF, a União Europeia está a apoiar a sua própria versão da fusão *laser*. O reator será construído na High Power Laser Energy Research Facility (HiPER), e é mais pequeno, mas talvez mais eficiente, do que o NIF. A construção do HiPER começa em 2011.

As esperanças de muitos centram-se no NIF. Contudo, se a fusão a *laser* não funcionar como se espera, há outra proposta, ainda mais avançada, para a fusão controlada: pôr o sol dentro de uma garrafa.

3.9 ITER – Fusão Num Campo Magnético

Há ainda outra conceção a ser explorada em França. O Reator Termonuclear Experimental Internacional (ITER) usa enormes campos magnéticos para conter hidrogénio gasoso quente. Em vez de usar *lasers* para desintegrar instantaneamente uma minúscula pastilha de material rico em hidrogénio, o ITER usa um campo magnético para comprimir lentamente hidrogénio gasoso. A máquina assemelha-se muito a um enorme *donut* oco feito de aço, com bobinas magnéticas rodeando o buraco do *donut*. O campo magnético impede que o hidrogénio gasoso no interior da câmara em forma de *donut* se escape. Depois uma corrente elétrica passa pelo gás e aquece-o. A combinação de comprimir o gás usando o campo magnético e fazer passar uma corrente elétrica por ele obriga o gás a aquecer a muitos milhões de graus.

A ideia de usar uma «garrafa magnética» para criar fusão não é nova. Na verdade, data da década de 1950. Por que levou tanto tempo, com tantos adiamentos, a comercializar a energia de fusão?

O problema é que o campo magnético tem de ser afinado com precisão de modo que o gás seja comprimido uniformemente sem protuberâncias e sem se tornar irregular. Pense em pegar num balão e tentar comprimi-lo com as mãos de modo que o balão fique uniformemente comprimido. Descobrirá que o balão forma

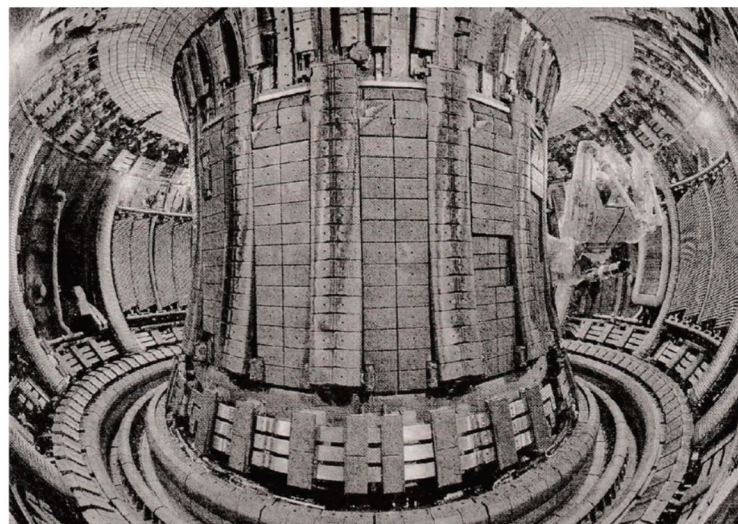
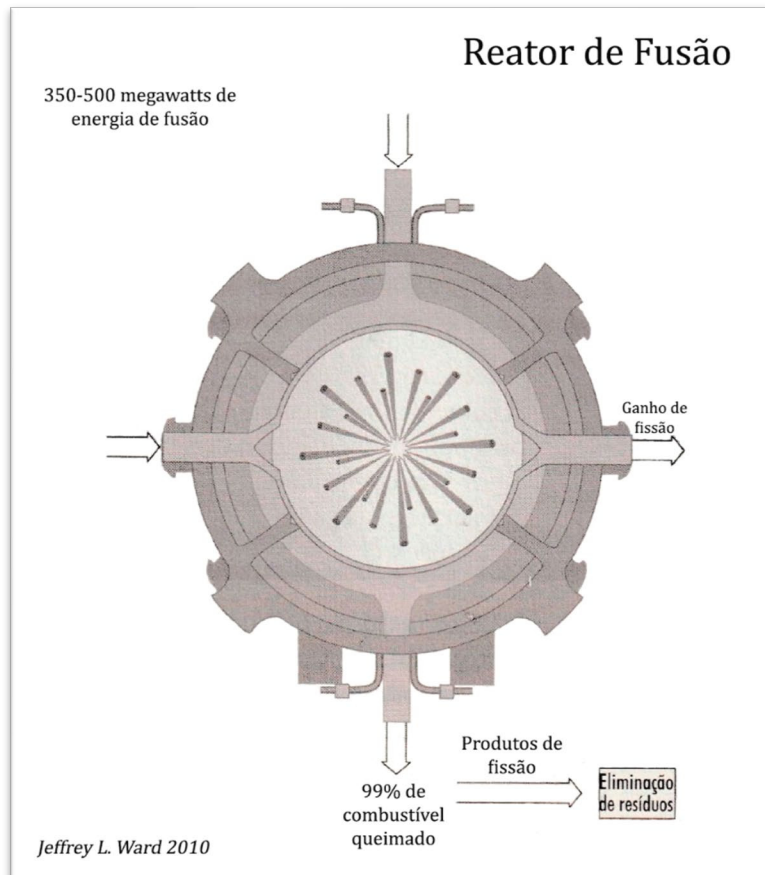
protuberâncias nos intervalos entre as mãos, tornando quase impossível uma compressão uniforme. De modo que o problema é de Engenharia e não de Física.

Isto parece estranho, porque as estrelas comprimem facilmente hidrogénio gasoso, criando os biliões de estrelas que vemos no nosso universo. A natureza, ao que parece, cria estrelas no céu, sem esforço, então por que não o podemos fazer na Terra? A resposta dá conta de uma diferença simples, mas profunda entre a gravidade e o eletromagnetismo.

A gravidade, como foi mostrado por Newton, é estritamente atrativa. De modo que numa estrela, a gravidade do hidrogénio gasoso comprime-o uniformemente numa esfera. (É por isso que estrelas e planetas são esféricos, e não cúbicos ou triangulares.) Ora as cargas elétricas são de dois tipos: positivas e negativas. Se juntarmos uma bola de cargas negativas, estas repelem-se e espalham-se em todas as direções. Contudo, se juntarmos uma carga positiva e uma negativa, obtemos o que se chama um «dipolo» com um complicado conjunto de linhas de campo elétrico assemelhando-se a uma teia de aranha. Similarmente, os campos magnéticos formam um dipolo; por isso comprimir uniformemente gás quente dentro de uma câmara com a forma de um *donut* é uma tarefa diabolicamente difícil. Na verdade, é preciso um supercomputador para traçar o mapa dos campos magnéticos e elétricos que emanam de uma simples configuração de eletrões.

E tudo se resume a isso. A gravidade é atrativa e pode comprimir gás uniformemente numa esfera. As estrelas podem formar-se sem

esforço. Todavia, o eletromagnetismo é simultaneamente atrativo e repulsivo, de modo que os gases formam protuberâncias de maneiras complexas quando são comprimidos, tornando a fusão controlada extremamente difícil. Este é o problema fundamental que tem atormentado os físicos ao longo de cinquenta anos.



Dois tipos de fusão. Em cima, os *lasers* comprimem uma pastilha de materiais ricos em hidrogénio. Em baixo, os campos magnéticos comprimem um gás contendo hidrogénio. Lá para meados do século, o mundo pode obter a sua energia da fusão.

Até agora, os físicos alegam que o ITER resolveu finalmente os óbices do problema de estabilidade com o confinamento magnético.

O ITER é um dos maiores projetos científicos internacionais alguma vez tentados. O coração da máquina consiste numa câmara de metal com forma de *donut*. Ao todo, pesará 23 000 toneladas, ultrapassando de longe o peso da Torre Eiffel, que pesa apenas 7300 toneladas²².

Os componentes são tão pesados que as estradas usadas para transportar o equipamento têm de ser especialmente modificadas. Um grande comboio de camiões transportará os componentes, tendo o mais pesado 900 toneladas e o mais alto quatro andares de altura. O edifício do ITER terá dezanove andares e assentará numa enorme plataforma do tamanho de sessenta campos de futebol. Está projetado que custe 10 mil milhões de euros, um custo partilhado pelos sete estados membros (União Europeia, Estados Unidos, China, Índia, Japão, Coreia e Rússia).

Quando for finalmente ligado, aquecerá hidrogénio gasoso a 150 milhões de graus Celsius, ultrapassando de longe os 15 milhões de graus Celsius encontrados no centro do sol. Se tudo correr bem, gerará 500 megawatts de energia, que é dez vezes a quantidade de energia que originalmente vai para o reator. (O recorde atual de eletricidade de fusão é 16 megawatts, criada pelo reator europeu JET (Joint European Torus) no Culham Science Center, em

Oxfordshire, Reino Unido). Depois de alguns adiamentos, a data para o momento em que a produção igualará a energia de entrada foi agora fixada em 2019.

O ITER ainda é apenas um projeto científico²³. Não está concebido para produzir eletricidade comercial, mas os físicos estão já a lançar os alicerces para o próximo passo, levar a eletricidade de fusão até ao mercado. Farrokh Najmabadi, que lidera um grupo de trabalho que estuda projetos para centrais de fusão, propôs o ARIESAT, uma máquina mais pequena do que o ITER, que poderia produzir mil milhões de *watts* a aproximadamente 5 cêntimos de dólar por quilowatt-hora, tornando-a competitiva com os combustíveis fósseis. No entanto, até Najmabadi, que está otimista quanto à fusão, admite que não estará disponível para uma comercialização alargada antes de meados do século.

Outro projeto comercial é o reator de fusão DEMO. Enquanto o ITER está projetado para produzir 500 megawatts durante um mínimo de 500 segundos, o DEMO será projetado para produzir energia continuamente. O DEMO acrescenta um degrau extra que falta no ITER. Quando ocorre a fusão, forma-se um neutrão extra, que rapidamente escapa da câmara. Todavia, é possível rodear a câmara de um revestimento especial, chamado o cobertor, especificamente concebido para absorver a energia desse neutrão. O cobertor aquece então. Tubos no interior do cobertor transportam água, que então ferve. O vapor é lançado contra as pás de uma turbina que gera eletricidade.

Se tudo correr bem, o DEMO entrará em funcionamento em 2033. Será 15% maior do que o reator ITER. O DEMO produzirá vinte e cinco vezes mais energia do que a que consome. No total, espera-se que o DEMO produza 2 mil milhões de *watts* de eletricidade, tornando-o comparável a uma central elétrica convencional. Se a central DEMO tiver sucesso, então pode levar a uma rápida comercialização desta tecnologia.

Porém, continua a haver muitas incertezas. O reator ITER já quase assegurou o financiamento necessário para a construção. Contudo, dado que o reator DEMO está ainda na fase de planeamento, devem ser esperadas demoras.

Os cientistas da fusão acreditam que finalmente dobraram a esquina. Depois de dezenas de anos de exageros e fracassos, acreditam que a fusão está ao seu alcance. Não um, mas dois projetos (NIF e ITER) podem acabar por trazer a eletricidade da fusão para a sala de estar. Todavia, dado que nem o NIF nem o ITER estão agora a disponibilizar eletricidade de fusão comercial, há ainda espaço para o inesperado, como a fusão no tampo da mesa e a fusão de bolhas.

3.10 Fusão no Tampo da Mesa

Porque o que está em jogo é tão grandioso, é também importante admitir a possibilidade de uma solução para o problema vinda de uma direção inteiramente diferente e inesperada. Porque a fusão é um processo tão bem definido, foram feitas várias propostas que estão fora da habitual corrente principal do

financiamento em larga escala, mas que, não obstante, têm algum mérito. Em particular, algumas delas podem um dia conseguir a fusão no tampo da mesa.

Na cena final do filme *Regresso ao Futuro*, Doc Brown, o cientista louco, é visto a vasculhar o lixo para obter combustível para a sua máquina do tempo DeLorean. Em vez de abastecer com gasolina, vasculha latas do lixo à procura de cascas de banana e lixo e depois deita tudo numa pequena caixa chamada Sr. Fusão.

Dentro de uma centena de anos, é possível que algum projeto inovador possa reduzir grandes máquinas do tamanho de um campo de futebol ao tamanho de uma máquina de café, como no filme?

Uma possibilidade séria para a fusão no tampo da mesa, é chamada sonoluminescência, que usa o súbito colapso de bolhas para atingir temperaturas muito altas. É por vezes chamada fusão sónica ou fusão de bolhas. Este curioso efeito é conhecido há dezenas de anos, desde 1934, quando cientistas da Universidade de Colónia estavam a fazer experiências com ultrassons e filme fotográfico, esperando acelerar o processo de revelação. Repararam em pequenos pontos no filme, causados por relâmpagos de luz criados pelos ultrassons, criando bolhas no fluído. Mais tarde, os nazis deram conta que as pás de propulsão emitiam bolhas que frequentemente brilhavam, indicando que estavam a ser produzidas, de algum modo, altas temperaturas no interior das bolhas.

Mais tarde, foi mostrado que as bolhas brilhavam com intensidade porque implodiam uniformemente, comprimindo assim o ar no seu interior e levando-as a temperaturas extremamente altas. A fusão a quente, como vimos mais atrás, é coartada pela compressão não uniforme do hidrogénio, quer porque os feixes *laser* que atingem a pastilha de combustível estão mal alinhados quer porque o gás não é comprimido uniformemente. À medida que uma bolha fica mais pequena, o movimento das moléculas é tão rápido que a pressão do ar dentro da bolha rapidamente se torna uniforme ao longo das paredes desta última. Em princípio, se pudermos implodir uma bolha em condições assim perfeitas, podemos alcançar a fusão.

As experiências de sonoluminescência produziram com sucesso temperaturas de dezenas de milhares de graus. Usando gases nobres, podemos aumentar a intensidade de luz emitida por essas bolhas. Há, no entanto, alguma controvérsia sobre se podemos conseguir temperaturas suficientemente altas para produzir a fusão nuclear. A controvérsia prende-se com o trabalho de Rusi Taleyarkhan, anteriormente do Oak Ridge National Laboratory, que alegou em 2002 que era capaz de conseguir a fusão com o seu aparelho de fusão sónica. Alegava ter detetado neutrões na sua experiência, um sinal certo de que estava a ocorrer uma fusão nuclear. Contudo, depois de anos de trabalho de outros investigadores que tinham falhado ao reproduzir o seu trabalho, esse resultado, de momento, ficou desacreditado.

Outra «carta poderosa» é a máquina de fusão de Philo Farnsworth, o não celebrado coinventor da TV. Em criança,

Farnsworth teve originalmente a ideia da TV ao pensar na maneira como um agricultor lava os campos, fileira após fileira. Chegou a esboçar os detalhes do seu protótipo quando tinha catorze anos. Foi o primeiro a transferir a sua ideia para um aparelho inteiramente eletrónico capaz de capturar imagens em movimento num ecrã. Infelizmente, foi incapaz de arranjar capital para a sua invenção excecional e atolou-se em demoradas e confusas lutas de patentes com a RCA. As suas batalhas legais chegaram a pô-lo louco, e internou-se voluntariamente num asilo de alienados. O seu trabalho pioneiro na TV passou largamente despercebido.

Mais tarde, virou a sua atenção para o fusor, um pequeno aparelho de pôr em cima da mesa que pode efetivamente gerar neutrões via fusão. Consiste em duas grandes esferas, uma dentro da outra, cada uma feita de malha de arame. A malha exterior está carregada positivamente, enquanto a interior está carregada negativamente, de modo que os protões injetados através da malha são repelidos pela malha exterior e atraídos pela interior. Os protões chocam então com uma pastilha rica em hidrogénio no centro, criando fusão e uma erupção de neutrões.

O desenho é tão simples que até estudantes do liceu fizeram o que Richter, Pons e Fleischmann não puderam fazer: gerar neutrões com sucesso. Todavia, é improvável que esse aparelho alguma vez produza energia utilizável. O número de protões que são acelerados é extremamente pequeno, daí que a energia resultante deste dispositivo seja pequeníssima.

De facto, é também possível produzir fusão no tampo da mesa usando um acelerador de partículas. Um acelerador de partículas é mais complicado do que um fusor, mas também pode ser usado para acelerar prótons de modo que possam chocar contra um alvo rico em hidrogénio e criar fusão. Uma vez mais, o número de prótons alvo de fusão é tão pequeno que o dispositivo não é prático. Portanto, tanto o fusor como o acelerador de partículas podem atingir a fusão, mas são simplesmente demasiado ineficientes e os seus feixes são demasiado pequenos para produzir eletricidade utilizável.

Dada a enormidade do que está em jogo, não há dúvida de que outros cientistas e engenheiros empreendedores terão a sua oportunidade de converter as suas geringonças na próxima megainvenção.

4. Futuro Longínquo (2070 A 2100)

4.1 A Era do Magnetismo

O século passado foi a Era da eletricidade. Porque os eletrões são tão facilmente manipuláveis, isso permitiu tecnologias inteiramente novas, tornando possível a rádio, a TV, os computadores, os *lasers*, os aparelhos de IRM, etc. No entanto, em certo momento deste século é natural que os físicos descubram o seu sagrado graal: supercondutores à temperatura ambiente. Isto abrirá a porta a uma Era inteiramente nova, a Era do magnetismo.

Imagine-se a guiar um carro magnético, pairando acima do chão e viajando a várias centenas de quilômetros por hora, quase não usando combustível. Imagine comboios, e até pessoas, viajando pelo ar, flutuando sobre o magnetismo.

Esquecemos que a maior parte da gasolina que usamos nos nossos automóveis é usada para vencer o atrito. Em princípio, não é precisa energia quase nenhuma para viajar de São Francisco a Nova Iorque. A principal razão por que esta viagem consome centenas de dólares de gasolina é porque precisamos de vencer o atrito das rodas na estrada e o atrito do ar. Todavia, se pudéssemos de alguma forma cobrir a estrada de São Francisco a Nova Iorque com uma camada de gelo, poderíamos simplesmente deslizar sem esforço e quase de graça. De igual modo, as nossas sondas espaciais poderiam ir para lá de Plutão com poucos litros de combustível porque deslizariam através do vácuo do espaço. Da mesma maneira, um automóvel magnético flutuaria acima do chão; bastaria simplesmente soprar para cima do automóvel e ele começaria a mover-se.

Os supercondutores são a chave para esta tecnologia. É sabido, desde 1911, que o mercúrio, quando arrefecido a quatro graus (Kelvin) acima do zero absoluto, perde toda a resistência elétrica. Isto quer dizer que fios supercondutores não têm nenhuma perda de energia, dado que lhes falta toda a resistência. (Isto acontece porque os eletrões que se movem ao longo de um fio perdem energia quando colidem com átomos. Porém, perto do zero absoluto, esses átomos estão quase em repouso, de modo que os

elétrões podem facilmente esgueirar-se entre eles sem perderem energia).

Esses supercondutores têm estranhas e maravilhosas propriedades, mas uma grave desvantagem: é preciso arrefecê-los até perto do zero absoluto com hidrogénio líquido, e isso é muito dispendioso.

Consequentemente, os físicos ficaram em choque em 1986 quando foi anunciado que tinha sido descoberta uma nova classe de supercondutores que não precisava de ser arrefecida a essas temperaturas fantasticamente baixas. Diferentemente de materiais anteriores como o mercúrio ou o chumbo, esses supercondutores eram cerâmicos, anteriormente pensados como candidatos improváveis a supercondutores, e tornavam-se supercondutores a 92 graus (Kelvin) acima do zero absoluto. Embaraçosamente, tornavam-se supercondutores a uma temperatura que se pensava ser teoricamente impossível.

Até agora, o recorde mundial para esses novos supercondutores cerâmicos é 138 graus (Kelvin) acima do zero absoluto (ou -135°C). Isto é significativo porque o azoto líquido (que custa quase o mesmo que o leite) forma-se a 77°K (-197°C) e por isso pode ser usado para arrefecer esses supercondutores cerâmicos. Este facto, só por si, diminuiu drasticamente os custos destes supercondutores. Portanto, a alta temperatura, estes têm aplicações práticas imediatas.

Os supercondutores cerâmicos limitaram-se a abrir o apetite dos físicos. São um passo de gigante na direção certa, mas ainda não são suficientes. Primeiro, embora o nitrogénio líquido seja relativamente barato, ainda é preciso ter algum equipamento de refrigeração para o arrefecer. Segundo, esses materiais cerâmicos são difíceis de transformar em fios. Terceiro, a natureza desses materiais cerâmicos ainda desorienta os físicos. Depois de várias décadas, os físicos não sabem bem como funcionam. A teoria quântica destes materiais cerâmicos é demasiado complicada para ser resolvida no momento presente, de modo que ninguém sabe por que se tornam supercondutores. Os físicos não têm pista nenhuma. Há um prémio Nobel à espera do indivíduo empreendedor que possa explicar esses supercondutores a alta temperatura.

Todos os físicos sabem o tremendo impacto que teria um supercondutor à temperatura ambiente. Podia desencadear outra revolução industrial. Os supercondutores à temperatura ambiente não exigiriam nenhum equipamento de refrigeração, de modo que poderiam criar campos magnéticos permanentes de enorme potência.

Por exemplo, se a eletricidade fluir numa laçada de cobre, a sua energia dissipa-se no espaço de uma fração de segundo, por causa da resistência do fio. Contudo, há experiências que mostraram que a eletricidade no interior de um fio supercondutor pode permanecer constante durante anos. Os dados experimentais apontam para um tempo de vida de 100.000 anos para correntes no interior de uma bobina de supercondutores. Algumas teorias sustentam que o limite

máximo para uma corrente elétrica num supercondutor é o tempo de vida do próprio universo conhecido.

No mínimo, esses supercondutores poderiam reduzir as perdas verificadas em cabos elétricos de alta voltagem, reduzindo assim o custo da eletricidade. Uma razão por que as centrais têm de ser tão perto das cidades está nas perdas nas linhas de transporte. É por isso que as centrais nucleares estão tão perto das cidades, constituindo um risco para a saúde, e as centrais elétricas eólicas não podem ser implantadas em áreas com o máximo de vento.

Até 30% da eletricidade gerada por uma central elétrica pode perder-se no transporte. Cabos supercondutores à temperatura ambiente poderiam alterar tudo isso, poupando assim significativamente os custos de eletricidade e poluição. Isto poderia também ter um profundo impacto no aquecimento global. Dado que a produção mundial de dióxido de carbono está profundamente ligada ao uso de energia, e dado que a maior parte dessa energia é usada para vencer o atrito, a Era do magnetismo poderia reduzir permanentemente o consumo de energia e a produção de dióxido de carbono.

4.2 O Automóvel e o Comboio Magnéticos

Sem qualquer entrada adicional de energia, os supercondutores à temperatura ambiente poderiam produzir superímanes capazes de levantar comboios e carros de tal modo que parem acima do chão.

Uma demonstração simples deste facto pode ser feita em qualquer laboratório. Fi-la eu próprio várias vezes para a BBC-TV e o Canal Ciência. É possível encomendar um pequeno pedaço de supercondutor cerâmico de alta temperatura a uma empresa de fornecimento de equipamentos científicos. É um bocado de cerâmica duro e cinzento com cerca de dois centímetros e meio. Depois pode comprar-se um pouco de nitrogénio líquido a uma empresa de lacticínios.

Põe-se o pedaço de cerâmica num prato de plástico e deita-se cuidadosamente o líquido sobre ele. O nitrogénio começa a ferver furiosamente quando atinge o pedaço de cerâmica. Espera-se até que o nitrogénio pare de ferver e põe-se depois um pequeno íman em cima do pedaço de cerâmica. Magicamente, o íman levita no ar. Se batermos no íman ele começa a rodar por si. Nesse pequeno prato, podemos estar a contemplar o futuro do transporte por todo o mundo.

A razão por que o íman levita é simples. As linhas magnéticas de força não podem penetrar um supercondutor. Este é o efeito Meissner. (Quando um campo magnético é aplicado a um supercondutor, forma-se na superfície uma pequena corrente elétrica que o anula, de modo que o campo magnético é expelido do supercondutor.) Quando se coloca o íman em cima da cerâmica, as suas linhas de campo agrupam-se, dado que não podem passar através da cerâmica. Isto cria uma «almofada» de linhas de campo magnético, que são todas comprimidas conjuntamente, empurrando o íman para longe da cerâmica e fazendo-o levitar.

Os supercondutores à temperatura ambiente podem também abrir a porta a uma Era de superímanes. As máquinas de IRM, como vimos, são extremamente úteis, mas exigem grandes campos magnéticos. Os supercondutores à temperatura ambiente permitirão aos cientistas a criação de enormes campos magnéticos por pouco dinheiro. Isto permitirá a futura miniaturização das máquinas de IRM. Já hoje, usando campos magnéticos não uniformes, podem ser criadas máquinas de ressonância magnética com cerca de trinta centímetros de altura. Com supercondutores à temperatura ambiente, pode ser possível reduzi-las ao tamanho de botões.

No filme *Regresso ao Futuro Parte III*, Michael J. Fox foi filmado a cavalgar um *hoverboard*, uma prancha de *skate* que pairava. Depois da estreia do filme, as lojas foram inundadas de chamadas de crianças a pedirem para comprar o *hoverboard*. Infelizmente, estes não existem, mas podem vir a ser possíveis com supercondutores à temperatura ambiente.

4.3 Comboios e Automóveis Maglev

Uma aplicação simples dos supercondutores à temperatura ambiente é revolucionar os transportes, introduzindo automóveis e comboios que flutuam acima do solo e, portanto, se movem sem qualquer atrito.

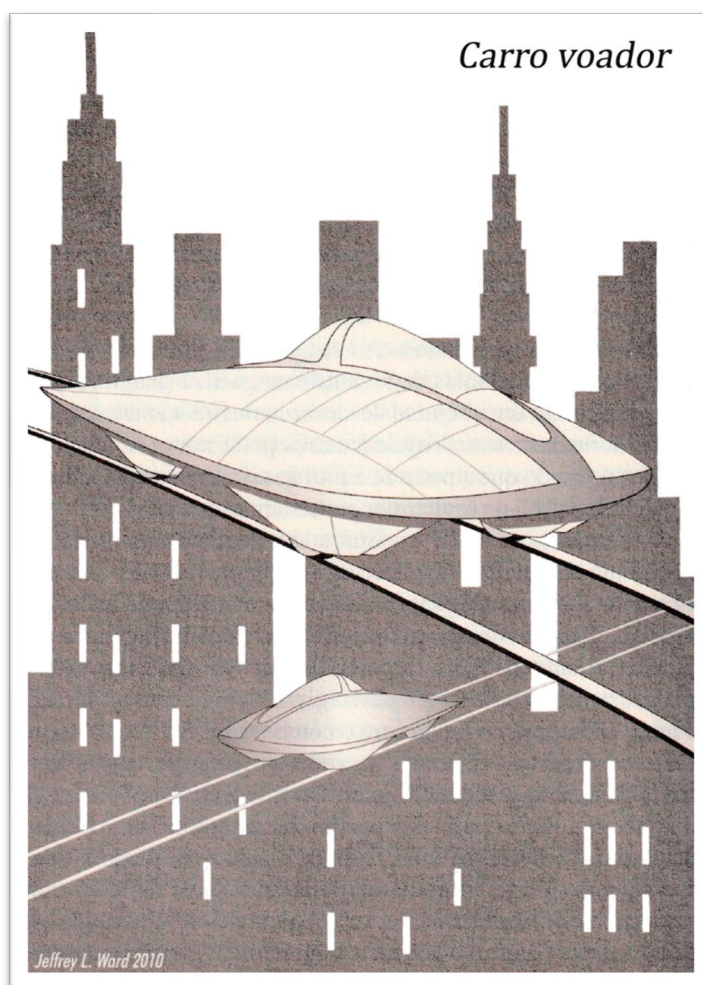
Imagine-se a viajar num automóvel que usa supercondutores à temperatura ambiente. As estradas seriam feitas de supercondutores em vez de asfalto. O automóvel ou conteria um

magneto permanente ou geraria um campo magnético por meio de um supercondutor próprio. O automóvel levitaria. Até um sopro de ar comprimido seria suficiente para pôr em movimento o automóvel. Uma vez em movimento, rodaria quase para sempre se a estrada fosse plana. Um motor elétrico ou um jato de ar comprimido só seriam necessários para vencer o atrito do ar, que seria a única resistência enfrentada pelo automóvel.

Mesmo sem supercondutores à temperatura ambiente, várias nações produziram comboios de levitação magnética (maglev) que levitam por cima de um conjunto de carris contendo ímanes. Dado que os polos norte dos ímanes repelem outros polos norte, os ímanes são dispostos de modo que a parte de baixo dos comboios contenha ímanes que lhes permitam levitar um pouco acima dos carris.

A Alemanha, o Japão e a China são líderes nesta tecnologia. Os comboios maglev estabeleceram até alguns recordes mundiais. O primeiro comboio maglev comercial foi o vaivém de baixa velocidade que ligou o Aeroporto Internacional de Birmingham e a Estação de Caminho de Ferro Internacional de Birmingham em 1984. A mais alta velocidade de maglev registada foi de 580 quilómetros por hora; aconteceu no Japão com o comboio MLX01 em 2003. (Os aviões a jato podem voar mais depressa, em parte porque há menos resistência do ar a grandes altitudes. Dado que um comboio maglev flutua no ar, a maior parte das perdas de energia é sob a forma de atrito do ar. Todavia, se um comboio maglev estivesse a operar numa câmara de vácuo, podia viajar à velocidade de 6400 quilómetros por hora.) Infelizmente, os custos

do comboio maglev impediram que proliferasse por todo o mundo. Os supercondutores à temperatura ambiente podem mudar tudo e os comboios maglev também poderiam revitalizar o sistema de caminho-de-ferro nos Estados Unidos, reduzindo a emissão de gases com efeito de estufa dos aviões. Estima-se que 2% dos gases com efeito de estufa vêm de motores a jato, de modo que os comboios maglev reduziriam essa emissão.



Os supercondutores à temperatura ambiente podem um dia dar-nos automóveis e comboios voadores. Estes podem flutuar sobre carris ou pavimento de supercondutores, sem atrito.

4.4 Energia Vinda do Céu

Para o fim do século, abre-se outra possibilidade para a produção de energia: energia vinda do espaço. Esta é chamada eletricidade solar espacial (SSP) e envolve colocar centenas de satélites espaciais numa órbita em volta da Terra absorvendo energia do sol, e depois enviando-a para a Terra sob a forma de radiação de micro-ondas. Os satélites teriam a sua base a cerca de 34 000 quilómetros acima da Terra, onde passariam a geoestacionários, girando em torno da Terra à mesma velocidade a que esta gira. Porque há oito vezes mais luz do sol no espaço do que na superfície da Terra, isto configura uma real possibilidade.

Presentemente, o mais importante obstáculo no caminho da SSP é o custo, principalmente o custo de lançar esses captadores espaciais. Nada há nas leis da Física que impeça de captar energia diretamente do sol, mas é um imenso problema económico e de engenharia. Para o fim do século, novas maneiras de reduzir o custo das viagens espaciais podem pôr esses satélites espaciais ao nosso alcance, como veremos no Capítulo 6.

A primeira proposta séria para eletricidade solar vinda do espaço foi feita em 1968, quando Peter Glaser, presidente da Internacional Solar Energy Society, propôs mandar satélites do tamanho de uma cidade moderna para emitir eletricidade para a Terra. Em 1979, os cientistas da NASA olharam com atenção para a sua proposta e estimaram que o custo seria de várias centenas de milhares de milhões de dólares, o que matou o projeto.

Todavia, por causa de constantes melhoramentos na tecnologia espacial, a NASA continuou a financiar estudos em pequena escala de SSP de 1995 a 2003. Os seus proponentes defendem que é apenas uma questão de tempo até que a tecnologia e os aspetos económicos da SSP a tornem realidade. «A SSP oferece uma fonte de eletricidade verdadeiramente sustentável, à escala global e isenta de emissões»²⁴ diz Martin Hoffert, um físico que pertenceu à Universidade de Nova Iorque.

Há problemas formidáveis, reais e imaginários, que se põem a um projeto tão ambicioso. Há quem receie este projeto porque a energia radiada do espaço poderia atingir acidentalmente uma área habitada, criando mortes em massa. Contudo, tal receio é exagerado. Se calcularmos a radiação efetiva que atinge a Terra vinda do espaço, é demasiado pequena para causar qualquer risco de saúde. Portanto, visões de um vilão do espaço a enviar raios da morte em direção à Terra para queimar cidades inteiras são materiais de pesadelo à maneira de Hollywood.

O escritor de ficção científica Ben Bova, escrevendo no *Washington Post* em 2009²⁵, explicou os assustadores aspetos económicos de um satélite de eletricidade solar. Estimou que cada satélite geraria 5 a 10 gigawatts de eletricidade, muito mais do que uma central a carvão convencional, e custaria oito a dez cêntimos de dólar por quilowatt-hora, tornando-a competitiva. Cada satélite seria enorme, com perto de quilómetro e meio de lado a lado, e custaria cerca de mil milhões de dólares, aproximadamente o custo de uma central nuclear.

Para desenvolver esta tecnologia, pediu ao Estado autorização para criar um projeto de demonstração, lançando um satélite que pudesse gerar 10 a 100 megawatts. Hipoteticamente, este pode ser lançado no fim do segundo mandato do presidente Obama se os planos começarem a ser feitos agora.

Na sequência destas notícias houve uma importante iniciativa anunciada pelo governo japonês. Em 2009, o Ministério do Comércio japonês anunciou um plano para investigar a exequibilidade de um sistema de satélites espaciais geradores de eletricidade. A Mitsubishi Electric e outras empresas japonesas juntar-se-ão num programa de 10 mil milhões de dólares talvez para lançar para o espaço uma estação de energia solar que geraria mil milhões de *watts* de eletricidade. Será muito grande, com uma área de cerca de 4 quilómetros quadrados, coberta de células solares.

«Parece um desenho animado de ficção científica, mas a geração de eletricidade solar no espaço pode ser uma considerável fonte alternativa de energia no próximo século, à medida que o combustível fóssil desaparecer»²⁶, disse Kensuke Kanekiyo, do Instituto de Economia da Energia, uma organização de investigação do governo.

Dada a magnitude deste ambicioso projeto, o governo japonês é cauteloso. Um grupo de investigadores começará por empregar os próximos quatro anos a estudar a exequibilidade científica e económica do projeto. Se este grupo der luz verde, o Ministério do Comércio japonês e a Agência de Exploração Aeroespacial do Japão

planeiam lançar um pequeno satélite em 2015 para testar a irradiação para a Terra de energia do espaço.

A barreira mais importante não será provavelmente científica, mas sim económica. Hiroshi Yoshida da Excalibur KK, uma empresa de consultores do espaço em Tóquio, avisou: «Estas despesas precisam de ser reduzidas para um centésimo das estimativas atuais.»²⁷ Um problema é que esses satélites têm de estar a 34.000 quilómetros no espaço, muito mais longe do que os 480 quilómetros dos satélites em órbitas próximas da Terra, de modo que as perdas em transmissão podem ser importantes.

Contudo, o problema principal é o custo dos foguetões. Este é o mesmo problema que constituiu um obstáculo aos planos para regressar à Lua e explorar Marte.

A menos que o custo dos lançamentos de foguetões desça significativamente, este plano morrerá de morte tranquila.

Pensando com otimismo, o plano japonês poderia ficar operacional lá para meados do século. Todavia, dados os problemas com os foguetões, é mais provável que o plano tenha de esperar até ao fim do século, quando novas gerações de foguetões fizerem baixar os custos. Se o principal problema com os satélites solares é o custo, a pergunta seguinte é: Podemos reduzir o custo das viagens espaciais de modo a que um dia possamos alcançar as estrelas?

- 1 Kurzweil, p. 242.
- 2 www.mkinghubbert.com/speech/prediction.
- 3 Sheffield, p. 179.
- 4 www.gwec.net/index.php?id=125.
- 5 STad Friend, «Plugged In», *The New Yorker*, 24 de Agosto de 2009, pp. 50-59.
- 6 «GM Convinced the Future Is in Fuel Cells», CBS News, 11 de Setembro de 2009, www.cbsnews.com/stories/2009/09/11/tech/main5302610.shtml?tag=mncol;lst;6.
- 7 Business Wire, www.businesswire.com/portal/ge/index. Ver também www.swampfox.ws/node/26502.
- 8 Brown, p. 63.
- 9 Brown, p. 64.
- 10 Brown, p. 65.
- 11 Brown, pp. 56-57.
- 12 Peter Schwartz e Doug Randall, «An Abrupt Climate Change Scenario and Its Implications for United States National Security», Global Business Network, Outubro de 2003, p. 18. PDF disponível em www.gbn.com/search.php?topnav-Search=envison+pakistan%2C+india&x=o&y=o.
- 13 Cornelia Dean, «Experts Ponder the Hazards of Using Technology to Save the Planet», *New York Times*, 12 de Agosto de 2008, p. F4, www.nytimes.com/2008/08/12/health/12iht-ethics.3.15212327.html?_r=1&scp=10&sq=planktos&st=cse.
- 14 Matthew L. Wald, «Refitted to Bury Emissions, Plant Draws Attention», *New York Times*, 29 de Setembro de 2009, p. A19, www.nytimes.com/2009/09/22/science/earth/22coal.html?ref=american_electric_power_company.
- 15 J. Craig Venter, citado em *Oil and the Future of Energy: Climate Repair, Hydrogen, Nuclear Fuel, Renewable and Green Sources, Energy Efficiency*, editores do Scientific American (Guilford, Conn.: Lyons Press, 2007), pp. 220-221. Da apresentação de Venter «Synthetic Genomics» at the Conference on Synthetic Biology (SB2.0), Berkeley, Califórnia, 20 de Maio de 2006. Audio disponível em http://webcast.berkeley.edu/event_details.php?webcastid=15766.
- 16 Freeman J. Dyson, «Can We Control the Carbon Dioxide in the Atmosphere?» *Energy* 2 (1977): pp. 287-91.
- 17 Sheffield, p. 158.
- 18 Ralph Lapp, citado em «Peron's Atom», *Time*, 2 de Abril de 1951, www.time.com/time/magazine/article/0,9171,814503,00.html.
- 19 Seife, p. 76.
- 20 W. Wayt Gibbs, «Plan B for Energy: 8 Revolutionary Energy Sources», *Scientific American*, Setembro de 2006; republicado em 2 de Abril de 2009, [www.scientificamerican.com/article.cfm?id=plan-b-for-cenergy-\\$-ideas](http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=plan-b-for-cenergy-$-ideas).
- 21 *Ibid.*
- 22 ITER, www.iter.org/factsfigures.
- 23 Gibbs, «Plan B», *Scientific American*, Setembro de 2006.
- 24 Editores do Scientific American, *Oil and the Future of Energy*, p. 217.
- 25 Ben Bova, «To the Next President» (originalmente intitulado «An Energy Fix Written in the Stars», editorial convidado, *Washington Post*, 12 de Outubro de 2008), www.nss.org/settlement/ssp/bova.htm.
- 26 *International Herald Tribune*, 2 de Setembro de 2009, p. 14. Ver também Shigeru Sato e Yuji Okada, «Mitsubishi, IHI to Join \$21 Bln Space Solar Project», 31 de Agosto de 2009; www.bloomberg.com/apps/news?pid=newsarchive&sid=aJ5291sdk9HI.
- 27 Shigeru Sato and Yuji Okada, «Mitsubishi, IHI to Join \$21 Bln Space Solar Project», *Bloomberg*, 31 de Agosto de 2009; www.bloomberg.com/apps/news?pid=newsarchive&sid=aJ5291sdk9HI.

CAPÍTULO 6

O Futuro das Viagens Espaciais — Em Direção às Estrelas

Demorámo-nos tempo suficiente nas margens do oceano cósmico.

Estamos prontos a zarpar para as estrelas.

— CARL SAGAN

EM POTENTES BIGAS, os deuses da mitologia cruzavam os campos celestes do Monte Olimpo. Em poderosos navios *vikings*, os noruegueses velejaram através dos mares cósmicos para Asgard.

Similarmente, em 2100, a humanidade estará à beira de uma nova Era da exploração do espaço: alcançar as estrelas. As estrelas à noite, que parecem tão tentadoramente perto e, todavia, tão longe, merecerão grande atenção dos cientistas de foguetões lá para o fim do século.

No entanto, o caminho para construir naves estelares será acidentado. A humanidade é como alguém cujos braços estendidos estão a tentar alcançar as estrelas, mas cujos pés estão atolados na lama. Por um lado, este século verá uma nova Era para a exploração robótica do espaço à medida que mandarmos satélites

para procurar no espaço gémeos parecidos com a Terra, explorar as luas de Júpiter, e até tirar fotografias da infância do próprio big bang. Todavia, a exploração tripulada do espaço, que enfeitou muitas gerações de sonhadores e visionários, será fonte de algum desapontamento.

1. Futuro Próximo (Até 2030)

1.1 Planetas Extrassolares

Uma das mais espantosas façanhas do programa espacial foi a exploração robótica do espaço, que alargou imensamente o horizonte da humanidade.

Na primeira linha dessas missões robóticas estará a procura de planetas semelhantes à Terra que possam acolher vida, o sagrado graal da ciência do espaço. Até agora, telescópios com base na Terra identificaram cerca de 500 planetas orbitando em sistemas estelares distantes, e estão a ser descobertos novos planetas ao ritmo de um planeta a cada uma ou duas semanas. O grande desapontamento, no entanto, é que os nossos instrumentos podem apenas identificar planetas gigantes, do tamanho de Júpiter, que não têm capacidade para sustentar a vida como a conhecemos.

Para encontrar planetas, os astrónomos procuram pequeníssimas oscilações na trajetória de uma estrela. Esses sistemas solares de natureza diferente podem ser comparados a um haltere em rotação, em que as duas bolas giram em torno uma da

outra; uma ponta representa a estrela, claramente visível no telescópio, ao passo que a outra representa um planeta do tamanho de Júpiter, que é menos luminoso um milhão de vezes. À medida que o Sol e o planeta semelhante a Júpiter giram em torno do centro do haltere, os telescópios conseguem ver claramente as oscilações da estrela. Este método identificou com sucesso centenas de gigantes gasosos no espaço, mas é demasiado grosseiro para detetar a presença de pequenos planetas semelhantes à Terra.

O planeta mais pequeno encontrado por esses telescópios terrestres foi identificado em 2010 e tem 3 a 4 vezes mais massa do que a Terra. Notavelmente, esta «superterra» é a primeira na zona habitável do seu sol — i.e., à distância certa para possuir água líquida.

Tudo isto se alterou com o lançamento do telescópio da Missão Kepler em 2009 e o satélite COROT em 2006. Estas sondas espaciais procuram minúsculas flutuações da luz das estrelas, causadas quando um pequeno planeta se move em frente da sua estrela, bloqueando a luz desta numa minúscula porção. Examinando cuidadosamente milhares de estrelas para procurar essas pequeníssimas flutuações, as sondas espaciais serão também capazes de detetar talvez centenas de planetas semelhantes à Terra. Uma vez identificados, esses planetas podem ser rapidamente analisados para ver se contêm água líquida, que é possivelmente o mais precioso bem no espaço. A água líquida é o solvente universal, o caldo em que o primeiro ADN provavelmente nasceu. Se forem encontrados oceanos de água líquida nesses

planetas, a nossa compreensão da vida no universo pode alterar-se.

Jornalistas em busca de escândalos dizem «Siga o dinheiro», mas os astrónomos à procura de vida no espaço dizem «Siga a água».

A seu tempo, o satélite Kepler será substituído por outros mais sensíveis, tais como o Terrestrial Planet Finder. Embora a data de lançamento para o Terrestrial Planet Finder tenha sido adiada várias vezes, continua a ser o melhor candidato para levar mais longe as metas do Kepler.

O Terrestrial Planet Finder usará óticas muito melhores para encontrar no espaço gémeos semelhantes à Terra. Primeiro, terá um espelho quatro vezes maior e cem vezes mais sensível do que o do Telescópio Espacial Hubble. Segundo, terá sensores infravermelhos que podem diminuir um milhão de vezes a intensa radiação de uma estrela, revelando assim a presença de um obscuro planeta que possa estar a orbitar à volta dela. (Faz isto tomando duas ondas de radiação da estrela e depois combinando-as cuidadosamente de modo a anularem-se uma à outra, removendo a presença indesejada da estrela.)

Portanto, no futuro próximo, deveremos ter uma enciclopédia de vários milhares de planetas, dos quais talvez algumas centenas serão muito semelhantes à Terra em tamanho e composição. Isto, por sua vez, gerará mais interesse em enviar um dia uma sonda

para esses planetas distantes. Haverá um intenso esforço para ver se esses gémeos da Terra têm oceanos de água líquida e se há alguma emissão de rádio proveniente de formas de vida inteligente.

1.2 Europa – Fora da Zona Habitável

Há também outro alvo tentador para as sondas dentro do nosso sistema solar: Europa. Durante dezenas de anos, acreditou-se que a vida no sistema solar só pode existir na «Zona habitável» em volta do Sol, em que os planetas não são demasiado quentes nem demasiado frios para suportar vida. A Terra é abençoada com água líquida porque orbita à distância certa do Sol. A água líquida ferveria num planeta como Mercúrio, que está demasiado perto do Sol, e gelaria num planeta como Júpiter, que está demasiado longe. Dado que a água líquida é provavelmente o fluído em que o ADN e as proteínas se formaram pela primeira vez, acreditou-se durante muito tempo que a vida no sistema solar só pode existir na Terra ou, talvez, em Marte.

Todavia, os astrónomos estavam enganados. Depois de a nave espacial *Voyager* ter singrado para lá das luas de Júpiter, ficou patente que havia outro lugar para a vida florescer: debaixo da calote de gelo das luas de Júpiter, Europa, uma das luas de Júpiter descoberta por Galileu em 1610, cedo chamou a atenção dos astrónomos. Embora a sua superfície esteja permanentemente coberta de gelo, há por baixo dela um oceano líquido. Porque o oceano em Europa é muito mais profundo do que na Terra, o volume total do oceano de Europa é estimado no dobro do volume dos oceanos da Terra.

Foi um pouco chocante perceber que há uma fonte abundante de energia no sistema solar diferente do Sol. Por baixo do gelo, a superfície de Europa é continuamente aquecida por forças de marés. Enquanto Europa percorre a sua órbita em torno de Júpiter, a enorme gravidade do planeta comprime a lua em diferentes direções, criando atrito bem dentro do seu núcleo. Este atrito gera calor, que, por seu turno, derrete o gelo e cria um oceano estável de água líquida.

Esta descoberta significa que talvez as luas de distantes gigantes gasosos sejam mais interessantes do que os próprios planetas. (Esta é provavelmente a razão por que James Cameron escolheu uma lua de um planeta do tamanho de Júpiter para local do seu filme de 2009, *Avatar*.) A vida, que em tempos se pensou ser muito rara, pode efetivamente florescer na negrura do espaço nas luas de distantes gigantes gasosos. Subitamente, o número de locais em que a vida pode florescer aumentou explosivamente muitas vezes.

Como consequência desta notável descoberta, a Europa Jupiter System Mission (EJSM) está provisoriamente agendada para lançamento em 2020. É projetada para orbitar o Europa e possivelmente aterrar no satélite. Além disso, os cientistas sonharam explorar o Europa mandando maquinaria ainda mais sofisticada. Os cientistas consideraram uma variedade de métodos para pesquisar debaixo do gelo. Uma possibilidade é a Europa Ice Clipper Mission, que deixaria cair esferas em cima da superfície gelada¹. A coluna de fumo e a nuvem de detritos emergentes do local do impacto seriam então cuidadosamente analisadas por uma nave espacial que as atravessasse. Um programa ainda mais

ambicioso é pôr por baixo do gelo um hidrobô submarino controlado remotamente.

O interesse no Europa foi também alimentado por novos desenvolvimentos no fundo dos oceanos aqui na Terra. Até à década de 1970, os cientistas acreditavam que o Sol era a única fonte de energia que podia tornar possível a vida. Porém, em 1977, o submarino *Alvin* encontrou provas de novas formas de vida florescendo onde ninguém antes suspeitara. Sondando a Fossa das Galápagos, encontrou um tubo gigante de enormes vermes tubulares, mexilhões, crustáceos, amêijoas e outras formas de vida usando para sobreviver a energia dos respiradouros vulcânicos. Onde há energia, pode haver vida, e esses respiradouros vulcânicos submarinos tinham providenciado uma nova fonte de energia na escuridão do fundo do mar. De facto, alguns cientistas sugeriram que o primeiro ADN foi formado, não nalguma poça da maré à superfície, mas nas profundezas do mar perto de um respiradouro vulcânico. Algumas das formas mais primitivas de ADN (talvez o mais antigo) foram encontradas no fundo do oceano. Se for assim, talvez os respiradouros vulcânicos no Europa possam fornecer energia para fazer nascer algo como o ADN.

Apenas podemos especular sobre as possíveis formas de vida que se poderiam formar debaixo do gelo do Europa. Se existirem, serão provavelmente criaturas nadadoras que usam sonar, de preferência à luz, para fins de navegação, de modo que a sua visão do universo estará limitada à vida debaixo do «céu» de gelo.

1.3 Lisa – Antes do *Big Bang*

Outro satélite que poderia criar uma revolução no conhecimento científico é a Antena Espacial de Interferómetro a Laser (LISA) e seus sucessores. Essas sondas podem ser capazes de fazer o impossível: revelar o que aconteceu antes do *big bang*.

Atualmente, temos sido capazes de medir o ritmo a que as galáxias distantes se estão a afastar de nós. (Isto deve-se ao efeito Doppler, em que a luz é distorcida consoante a estrela se move para nós ou se afasta de nós). Isso dá-nos a velocidade relativa de expansão do universo. Depois «rebobinamos o filme» e calculamos quando teve lugar a explosão original. Isto é muito semelhante à maneira como se podem analisar os detritos ígneos provenientes de uma explosão para determinar quando ocorreu. Foi assim que determinámos que o *big bang* se deu há 13,7 mil milhões de anos. O que é frustrante, todavia, é que o satélite espacial atual, o WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), só pode olhar para trás menos de 400 000 anos depois da explosão original. Por consequência, os nossos satélites apenas nos podem dizer que houve uma explosão, mas não podem dizer-nos porquê, o que explodiu e o que causou a explosão.

É por isso que a LISA está a criar uma tão grande excitação. A LISA medirá um tipo inteiramente novo de radiação: as ondas gravitacionais desde o instante do próprio *big bang*.

De cada vez que uma nova forma de radiação foi dominada, esse facto mudou a nossa visão do mundo. Quando os telescópios óticos

foram usados pela primeira vez por Galileu para traçar o mapa dos planetas e das estrelas, expandiram a Astronomia. Quando os radiotelescópios foram aperfeiçoados pouco depois da Segunda Guerra Mundial, revelaram um universo de estrelas a explodir e buracos negros. E agora a terceira geração de telescópios, capaz de detetar ondas gravitacionais, pode abrir ainda mais panoramas de cortar a respiração, o mundo de buracos negros em colisão, dimensões mais altas e até um multiverso.

Provisoriamente, a data está a ser marcada para entre 2018 e 2020. A LISA consiste em três satélites que formarão um gigantesco triângulo de 4 milhões e 800 mil quilómetros de lado, ligados por três feixes *laser*. Será o maior instrumento espacial alguma vez posto em órbita. Qualquer onda de gravidade do *big bang* que ainda reverbere agitará levemente os satélites. Esta perturbação alterará os feixes *laser* e então os sensores registarão a frequência e as características da perturbação. Desta maneira, os cientistas deveriam ser capazes de chegar a um bilionésimo de segundo depois do *big bang* original. (Segundo Einstein, o espaço-tempo é como um tecido que pode ser encurvado e esticado. Se existir uma perturbação grande, como buracos negros colidindo ou o *big bang*, podem formar-se rugas que viajam pelo tecido. Essas rugas, ou ondas de gravidade, são demasiado pequenas para serem detetadas usando instrumentos vulgares, mas a LISA é suficientemente grande e sensível para detetar vibrações causadas por essas ondas de gravidade.)

A LISA será capaz não só de detetar radiação de buracos negros em colisão, como também de espreitar para a Era antes do *big bang*, coisa que em tempos foi considerada impossível.

Presentemente, há várias teorias da Era pré-*big bang* provenientes da teoria das cordas, que é a minha especialidade. Num cenário, o nosso universo é uma espécie de enorme bolha que está a expandir-se continuamente. Vivemos na pele dessa bolha gigantesca (estamos grudados à bolha como moscas em papel mata-moscas). Contudo, o nosso universo bolha coexiste num oceano de outros universos bolha, constituindo o multiverso de universos, como um banho de espuma. Ocasionalmente, essas bolhas podem colidir (dando-nos o que é chamado teoria do *big splat*) ou podem cindir-se em bolhas mais pequenas e depois expandir-se (dando-nos o que é chamado a eterna expansão). Cada uma destas teorias do pré-*big bang* prediz como o universo deveria libertar radiação gravítica momentos depois da explosão inicial. A LISA pode então medir a radiação gravítica emitida depois do *big bang* e compará-la com as várias previsões da teoria das cordas. Desta maneira, a LISA pode ser capaz de invalidar ou não algumas dessas teorias.

No entanto, ainda que a LISA não seja suficientemente sensível para executar esta tarefa delicada, talvez a próxima geração de detetores depois da LISA (como o *Big Bang Observer*) possa estar à altura da tarefa.

Se tiverem sucesso, essas sondas espaciais podem responder à pergunta que, desde há séculos, tem desafiado a explicação: de

onde veio originalmente o universo? Portanto, no curto prazo, desvendar a origem do *big bang* pode ser uma possibilidade.

1.4 Missões Espaciais Tripuladas

Enquanto as missões robóticas continuarão a abrir novos panoramas para a exploração do espaço, as missões tripuladas enfrentarão barreiras muito maiores. Isto porque, quando comparadas com as missões tripuladas, as missões robóticas são baratas e versáteis; podem explorar ambientes perigosos, não exigem um dispendioso sistema de suporte de vida; e, acima de tudo, não precisam de regressar.

Em 1969, parecia que os nossos astronautas estavam prontos a explorar o sistema solar. Neil Armstrong e Buzz Aldrin tinham acabado de caminhar na Lua e as pessoas já sonhavam ir até Marte e mais longe. Parecia que estávamos na soleira da porta das estrelas. Nascia uma nova Era para a humanidade.

Depois o sonho ruiu.

Como disse o escritor de ficção científica Isaac Asimov, marcámos um golo, pegámos na bola e fomos para casa. Hoje, os velhos foguetões Saturno repousam em museus ou apodrecem em ferros-velhos. Foi permitido que toda uma geração de cientistas de foguetões se dispersasse. O ímpeto da corrida ao espaço dissipou-se lentamente. Hoje, só podemos encontrar referência ao famoso passeio na Lua nos livros de História.

Que aconteceu? Muita coisa, incluindo a guerra do Vietname, o escândalo Watergate, etc., mas, tudo resumido, reduz-se a apenas uma palavra: custo.

Esquecemos por vezes que as viagens espaciais são dispendiosas, muito dispendiosas. Custa 10 000 dólares pôr meio quilo de qualquer coisa a orbitar, ainda que próximo da Terra. Imagine John Glenn feito de ouro maciço, e pode compreender o custo das viagens espaciais. Alcançar a Lua exige perto de 100 000 dólares por cada meio quilo. E alcançar Marte pediria cerca de 1 000 000 dólares por cada meio quilo (aproximadamente o seu peso em diamantes).

Tudo isto, no entanto, foi encapotado pela excitação e drama de competir com os Russos. Espetaculares acrobacias espaciais executadas por valorosos astronautas ocultaram o verdadeiro custo das viagens espaciais, dado que as nações estavam prontas a pagar caro se estivesse em jogo a sua honra nacional. Porém, nem mesmo as superpotências podem sustentar tais custos durante muitas dezenas de anos.

Tristemente, passaram mais de 300 anos desde que Sir Isaac Newton escreveu pela primeira vez as leis do movimento e ainda estamos atrapalhados com um simples cálculo. Para arremessar um objeto para uma órbita próxima, temos de enviá-lo a 29 000 quilómetros por hora. E para o enviar para o espaço profundo, para lá do campo de gravidade da Terra, temos de impulsioná-lo a 40 000 quilómetros por hora. (E para chegar a este número mágico de 40 000 quilómetros por hora, temos de usar a terceira lei do

movimento de Newton: para cada ação, há uma reação igual e oposta. Isto significa que o foguetão pode mover-se rapidamente para a frente porque expelle gases quentes na direção oposta, da mesma maneira que um balão voa em volta de uma sala se o enchermos de ar e depois o largarmos.) Portanto, ir das leis de Newton ao cálculo do custo das viagens espaciais é um simples passo. Não existe lei da Engenharia ou da Física que nos impeça de explorar o sistema solar; é uma questão de custos.

Pior, o foguetão tem de carregar o seu próprio combustível, o que lhe aumenta o peso. Os aviões evitam parcialmente este problema porque podem captar oxigénio do ar exterior e depois queimá-lo nos seus motores. Contudo, dado que não há ar no espaço, o foguetão tem de carregar os seus próprios tanques de oxigénio e hidrogénio.

Isto explica por que motivo as viagens espaciais são tão dispendiosas, mas também por que não temos cinturões foguetes nem carros voadores. Os escritores de ficção científica (não verdadeiros cientistas) exaltaram o dia em que todos envergáramos cinturões foguetes e voaríamos para o trabalho, ou iríamos num passeio de domingo descolando no nosso carro familiar voador. Muitas pessoas ficaram desapontadas com os «futurólogos» porque estas previsões nunca vieram a acontecer. (É por isso que vemos uma onda de artigos e livros com títulos cínicos como «*Onde está o meu cinturão foguete?*») Um cálculo rápido mostra a razão. Os cinturões foguete já existem; de facto, os nazis usaram-nos por um curto período durante a Segunda Guerra Mundial. Ora o peróxido de hidrogénio, o combustível comum usado nos cinturões

foguetes, rapidamente se esgota, de modo que um voo típico com cinturão foguete dura apenas poucos minutos. E também os carros voadores que usam pás de helicóptero queimam uma enorme quantidade de combustível, tornando-se demasiado dispendiosos para as viagens do habitante suburbano que vai para o trabalho.

1.5 Cancelar o Programa Lunar

Por causa dos enormes custos das viagens espaciais, está em mudança atualmente o futuro das explorações do espaço tripuladas. O anterior presidente George W. Bush apresentou um plano claro, mas ambicioso para o programa espacial. Primeiro, o vaivém espacial seria retirado em 2010 e substituído em 2015 por um novo sistema de foguetões chamado Constelação. Segundo, os astronautas regressariam à Lua até 2020, podendo até montar uma base tripulada permanente. Terceiro, isto prepararia o caminho para uma eventual missão tripulada a Marte.

No entanto, os aspetos económicos das viagens espaciais mudaram significativamente desde então, em especial porque a grande recessão secou o financiamento de futuras missões espaciais. O relatório da Comissão Augustine, entregue ao presidente Barack Obama em 2009, concluiu que o plano anterior era insustentável dados os níveis atuais de financiamento. Em 2010, o presidente Obama aprovou as conclusões do relatório Augustine, cancelando o vaivém espacial e o seu substituto que iria preparar o terreno para regressar à Lua. No curto prazo, sem os foguetões para enviar os nossos astronautas para o espaço, a NASA seria forçada a contar com os Russos. Entretanto, este facto dá uma

oportunidade às companhias privadas para criar os foguetões necessários para continuar o programa espacial tripulado. Num nítido afastamento em relação ao passado, a NASA já não irá construir foguetões para o programa espacial tripulado. Os proponentes do plano dizem que abrirá a porta a uma nova Era das viagens espaciais, quando as empresas privadas assumirem o controlo. Os críticos dizem que o plano reduzirá a NASA a «uma agência para parte nenhuma».

1.6 Pousar num Asteroide

O relatório Augustine apresentou o que chamou o trajeto flexível, contendo vários objetivos modestos que não precisam de foguetões com tanto combustível; por exemplo, viajar até um asteroide próximo que ocasionalmente passe por perto ou viajar para as luas de Marte. Tal asteroide, foi assinalado, pode nem sequer estar ainda nas nossas cartas do céu; talvez um asteroide errante que pode ser descoberto no futuro próximo.

O problema, dizia o relatório Augustine, é que o combustível de foguetão para a missão de pousar e regressar da Lua, ou em Marte, seria proibitivamente dispendioso. Contudo, dado que os asteroides e as luas de Marte têm campos gravitacionais muito baixos, essas missões não exigiriam tanta quantidade de combustível de foguetão. O relatório Augustine também mencionou a possibilidade de visitar os pontos de Lagrange, que são lugares do espaço em que as atrações gravitacionais da Terra e da Lua se anulam uma à outra. (Esses pontos podem servir de lixeira cósmica, onde se depositaram pedaços antigos de detritos do sistema solar, de modo

que, visitando-os, os astronautas poderiam encontrar rochas interessantes datando da formação do sistema Terra-Lua.)

Pousar num asteroide seria certamente uma missão de baixo custo, dado que os asteroides têm campos gravíticos muito fracos. (Esta é também a razão por que os asteroides têm formas irregulares, em vez de redondas. No universo, os grandes objetos — como as estrelas, planetas e luas — são todos redondos porque a força da gravidade é uniforme. Qualquer irregularidade na forma de um planeta desaparece gradualmente à medida que a gravidade comprime a crosta. Todavia, o campo gravítico de um asteroide é tão fraco que não consegue comprimir o asteroide numa esfera).

Uma possibilidade é o asteroide Apófis, que fará uma passagem desconfortavelmente próxima em 2029. O Apófis tem cerca de 300 metros de largura, o tamanho de um grande estádio de futebol americano, e chegará tão perto da Terra que passará efetivamente por baixo de alguns dos nossos satélites. Dependendo da maneira como a órbita do asteroide seja distorcida por esta passagem de perto, pode descrever uma trajetória de regresso à Terra em 2036, altura em que existe uma fraquíssima probabilidade (1 em 100 000) de poder esmagar-se contra o nosso planeta. Se isso acontecer, a força do impacto será equivalente à de 100 000 bombas de Hiroxima, o suficiente para destruir uma área do tamanho da França provocando tempestades acompanhadas de grandes incêndios, ondas de choque e detritos incandescentes. (Por comparação, um objeto muito mais pequeno, provavelmente do tamanho de um prédio de apartamentos, esmagou-se em Tunguska, Sibéria, em 1908, com a força de cerca de 1 000 bombas de Hiroxima,

aniquilando 2 600 quilómetros quadrados de floresta e criando uma onda de choque sentida a milhares de quilómetros. Também criou um estranho brilho visto na Ásia e na Europa, de tal modo que as pessoas em Londres podiam ler os jornais de noite.)

Visitar Apófis não importaria grande esforço ao orçamento da NASA, dado que o asteroide vai aproximar-se da Terra, mas pousar no asteroide pode pôr um problema. Dado que tem um campo gravítico fraco, a sonda acostaria ao asteroide, em vez de pousar no sentido tradicional. É também provável que o asteroide esteja a girar irregularmente, de modo que teriam de ser feitas medições precisas antes de pousar. Seria interessante testar a solidez do asteroide. Há quem acredite que um asteroide pode ser uma coleção de rochas que se mantém folgadoamente unida por um campo gravítico fraco. Outros acreditam que pode ser sólido. Determinar a consistência de um asteroide pode ser importante um dia, se tivermos de usar armas nucleares para fazer explodir um. Um asteroide, em vez de ser pulverizado num pó fino, pode partir-se em vários grandes pedaços. Se assim for, o perigo resultante desses pedaços pode ser maior do que a ameaça original. Uma ideia melhor poderia ser empurrar o asteroide para fora do caminho antes de chegar perto da Terra.

1.7 Pousar numa Lua de Marte

Embora o relatório Augustine não apoiasse uma missão tripulada a Marte, uma possibilidade intrigante é enviar astronautas para visitar as luas de Marte, Fobos e Deimos. Estas luas são muito mais pequenas do que a lua da Terra e por isso têm um campo gravítico

muito fraco. Há várias vantagens em pousar nas luas de Marte, além da vantagem de poupar nos custos.

1. Primeiro essas luas poderiam ser usadas como estações espaciais. Proporcionariam um meio barato de analisar o planeta a partir do espaço sem o visitar.
2. Segundo, podiam vir a proporcionar uma maneira fácil de aceder a Marte. Fobos está a menos de 9600 quilómetros do centro de Marte, de modo que uma curta viagem ao Planeta Vermelho pode ser feita em questão de horas.
3. Essas luas têm provavelmente cavernas que poderiam ser usadas por uma base tripulada permanente para se proteger de meteoros e de radiação. Fobos, em particular, tem a enorme cratera Stickey no flanco, indicando que a lua foi provavelmente atingida por um enorme meteoro e quase feita em pedaços. Todavia, a gravidade trouxe lentamente de volta os pedaços e tornou a montar a lua. Há provavelmente grande quantidade de cavernas e fissuras deixadas por esta antiga colisão.

1.8 De Regresso à Lua

O relatório Augustine também mencionou um programa Lua Primeiro, em que voltaríamos à Lua, mas somente se estivesse disponível mais financiamento — pelo menos 30 mil milhões de

dólares em dez anos. Dado que tal financiamento é improvável, o programa lunar está efetivamente cancelado, pelo menos nos próximos anos.

A missão lunar que foi cancelada chamava-se Programa Constelação, e consistia em vários componentes importantes. Primeiro, o foguetão propulsor, o Ares, o primeiro foguetão propulsor importante dos Estados Unidos desde que o velho foguetão Saturno foi guardado em naftalina na década de 1970. No topo do Ares assentava o módulo Orion, que podia transportar seis astronautas até à estação espacial ou quatro astronautas até à Lua. Depois havia o módulo de aterragem Altair, que supostamente pousaria realmente na Lua.

O velho vaivém espacial, em que o foguetão do vaivém estava colocado no flanco do foguetão propulsor, tinha uma porção de erros de conceção, incluindo a tendência do foguetão para deixar cair pedaços de espuma. Isso teve consequências desastrosas para o vaivém espacial *Columbia*, que explodiu na reentrada em 2003, matando sete valorosos astronautas, porque um pedaço de espuma do foguetão embateu no vaivém e fez-lhe um buraco na asa durante a descolagem. Na reentrada, gases aquecidos penetraram no casco do *Columbia*, matando toda a gente lá dentro e fazendo a nave explodir. No Constelação, com o módulo da tripulação posto diretamente no topo do foguetão propulsor, isto já não seria um problema.

O programa Constelação foi chamado pelos jornais «um programa Apolo a tomar esteroides», dado que se parecia muito

com o programa lunar da década de 1970. O foguetão Ares I era para ter 99 metros de altura, comparável ao foguetão Saturno V, de 110 metros. Devia transportar o módulo Orion para o espaço, substituindo o velho vaivém espacial. Porém, para cargas muito pesadas, a NASA iria usar o foguetão Ares V, que teria 116 metros de altura e capacidade para levar 207 toneladas de carga para o espaço. O Ares V teria sido a espinha dorsal de qualquer missão à Lua ou a Marte. (Embora o Ares tenha sido cancelado, fala-se de salvar talvez alguns desses componentes para missões futuras).

1.9 Base Lunar Permanente

Embora o programa Constelação tenha sido cancelado pelo presidente Obama, deixou em aberto várias opções. O módulo Orion, que deveria ter levado os nossos astronautas de regresso à Lua, está agora a ser considerado como um casulo de escape para a Estação Espacial Internacional. Algures no futuro, quando a economia recuperar, outra administração pode querer pôr novamente os seus olhos na Lua, inclusive numa base lunar.

A tarefa de estabelecer uma presença permanente na Lua enfrenta muitos obstáculos. Os micrometeoritos são o primeiro. Dado que a Lua é desprovida de ar, as rochas vindas do espaço atingem-na com frequência. Podemos ver isto olhando para a sua superfície, esburacada por colisões de meteoritos, algumas datando de milhares de milhões de anos.

Tive pessoalmente uma imagem deste perigo quando estudante universitário na Universidade da Califórnia, em Berkeley. Rochas

lunares trazidas do espaço no princípio da década de 1970 estavam a fazer sensação na comunidade científica. Fui convidado por um laboratório que estava a analisar rochas lunares ao microscópio. A rocha que vi parecia vulgar, dado que as rochas lunares se assemelham muito de perto às rochas terrestres, mas ao microscópio tive um grande choque. Vi minúsculas crateras de meteoros na rocha e dentro delas vi crateras ainda mais minúsculas. Crateras dentro de crateras dentro de crateras, algo que nunca tinha visto antes. Percebi imediatamente que, sem atmosfera, até o mais minúsculo pedaço de poeira, atingindo uma pessoa a 65 000 quilómetros por hora, pode facilmente matá-la ou pelo menos penetrar o seu fato espacial. (Os cientistas compreendem os enormes danos causados por esses micrometeoritos porque podem simular esses impactos, e criaram nos seus laboratórios enormes canhões que podem disparar grãos de metal para estudar esses impactos de meteoros.)

Uma solução possível é construir uma base lunar subterrânea. Por causa da antiga atividade vulcânica da Lua, há uma possibilidade de os nossos astronautas encontrarem um tubo de lava que se estenda em profundidade para o interior da Lua. (Os tubos de lava são criados por antigos fluxos de lava que escavaram estruturas semelhantes a cavernas e túneis subterrâneos.) Em 2009, os astrónomos encontraram um tubo de lava com perto do tamanho de um arranha-céus que poderia servir como base permanente na Lua.

Esta caverna natural podia proporcionar aos nossos astronautas uma proteção barata contra a radiação dos raios cósmicos e as

erupções solares. Um simples voo transcontinental de Nova Iorque a Los Angeles expõe-nos a um milirem de radiação por hora (equivalente a fazer uma radiografia dentária). Para os nossos astronautas na Lua, a radiação poderia ser tão intensa que talvez precisassem de viver em bases subterrâneas. Sem atmosfera, uma chuva mortal de erupções solares e raios cósmicos constituiria um risco imediato para os astronautas, causando envelhecimento prematuro e até cancro.

A ausência de peso é também um problema, em especial para missões longas no espaço. Tive uma oportunidade de visitar o centro de treino da NASA em Cleveland, Ohio, onde são feitos extensos testes aos astronautas. Num teste que observei, o indivíduo foi suspenso num arnês de tal modo que o seu corpo estava paralelo ao chão. Depois começou a correr numa esteira cuja trajetória era vertical. Correndo nessa esteira, os cientistas da NASA podiam simular a ausência de peso ao mesmo tempo que estudavam a capacidade de resistência do indivíduo.

Quando falei com os médicos da NASA, fiquei a saber que a ausência de peso causava mais danos do que anteriormente pensara. Um médico explicou-me que depois de várias dezenas de anos a submeter astronautas americanos e russos a prolongada ausência de peso, os cientistas percebem agora que o corpo sofre alterações significativas: ocorre uma degradação nos músculos, ossos e no sistema cardiovascular. Os nossos corpos evoluíram durante milhões de anos enquanto viviam no campo gravítico da Terra. Quando postos num campo gravítico mais fraco por longos

períodos de tempo, todos os nossos processos biológicos se desorganizam.

Os astronautas russos que passam perto de um ano no espaço ficam tão fracos que quase não conseguem rastejar quando regressam à Terra. Mesmo que se exercitem diariamente no espaço, os seus músculos atrofiam-se, os ossos perdem cálcio, e os sistemas cardiovasculares começam a enfraquecer. Alguns astronautas levam meses a recuperar destes danos, alguns dos quais podem ser permanentes. Uma viagem a Marte, que pode levar dois anos, pode exaurir a força dos nossos astronautas de tal modo que não sejam capazes de executar a sua missão quando chegarem. (Uma solução para este problema é a rotação da nave espacial, que cria gravidade artificial no seu interior. É a mesma razão por que se pode rodar um balde de água acima da nossa cabeça sem entornar a água. Tudo isso é proibitivamente dispendioso por causa da maquinaria pesada necessária para a rotação da nave. Cada meio quilo de peso a mais aumenta 10 000 dólares ao custo da missão.)

1.10 Água na Lua

Algo que pode fazer mudar o jogo foi a descoberta de gelo antigo na Lua, provavelmente restos de antigos impactos de cometas. Em 2009, a sonda do Satélite de Detecção e Observação de Crateras Lunares (LCROSS) da NASA e o seu foguetão propulsor Centaur embateram na região polar sul da Lua². Atingiram a Lua a 9000 quilómetros por hora, criando uma coluna de fumo de quase quilómetro e meio de altura e uma cratera com cerca de 20 metros

de largura. Embora as audiências de TV ficassem desapontadas porque o impacto da LCROSS não criou a explosão espetacular que se previa, esta produziu uma pletora de dados científicos. Foram encontrados cerca de 90 litros de água nessa coluna. Depois, em 2010, os cientistas fizeram um anúncio chocante que 5% dos detritos continham água, de modo que a Lua era realmente mais húmida do que certas partes do deserto do Saara.

Isto poderia ser significativo, porque quereria dizer que futuros astronautas podem explorar depósitos subterrâneos de gelo para combustível de foguete (extraíndo o hidrogénio da água), para respirar (extraíndo o oxigénio da água), para escudo (dado que a água pode absorver a radiação), e para beber, uma vez purificada. Portanto, esta descoberta pode cortar centenas de milhões de dólares no custo de qualquer missão à Lua.

Pode ainda significar que será possível que os nossos astronautas vivam dos recursos da própria Lua, recolhendo gelo e minerais para criar e abastecer uma base permanente.

2. Meados do Século (2030 A 2070)

2.1 Missão a Marte

Quando, em 2010, o presidente Obama foi até à Florida para anunciar o cancelamento do programa lunar, ofereceu em troca a perspetiva de uma missão a Marte. Apoiou o financiamento de um foguetão propulsor, ainda por especificar, que pode um dia enviar

astronautas para o espaço, para lá da Lua. Dissertou que poderia vir o dia, talvez em meados da década de 2030, em que os nossos astronautas caminhariam em Marte. Alguns astronautas, como Buzz Aldrin, foram apoiantes entusiásticos do plano Obama, por ignorar a Lua. Aldrin disse-me uma vez que os Estados Unidos já estiveram na Lua, e por isso a verdadeira aventura é ir a Marte.

De todos os planetas do sistema solar, só Marte parece assemelhar-se suficientemente à Terra para albergar alguma forma de vida. (Mercúrio, que é causticado pelo sol, é provavelmente demasiado hostil para ter vida como a conhecemos. E os gigantes gasosos — Júpiter, Saturno, Urano e Neptuno — são demasiado frios para suportar vida. Vénus é gémeo da Terra, mas os descontrolados gases com efeito de estufa criaram um inferno: as temperaturas sobem aos 480° C, a sua atmosfera, composta na maior parte por dióxido de carbono, é 100 vezes mais densa do que a nossa, e chove ácido sulfúrico. Caminhando na superfície de Vénus, sufocaríamos, seríamos esmagados até à morte, e os nossos restos seriam incinerados pelo calor e dissolvidos pelo ácido sulfúrico.)

Marte, por outro lado, foi em tempos um planeta húmido, como a Terra, com oceanos e leitos fluviais que há muito desapareceram. Hoje, é um deserto gelado, desprovido de vida. Talvez a vida microbiana tenha florescido em Marte há milhares de milhões de anos ou possa ainda viver debaixo do solo em nascentes termais.

Se a nossa nação assumir um firme compromisso de ir a Marte, podem ser precisos outros vinte a trinta anos para completar

efetivamente a missão. No entanto, chegar a Marte será muito mais difícil do que alcançar a Lua. Em contraste com a Lua, Marte representa um grande salto de dificuldade. São precisos apenas dois ou três dias para chegar à Lua. São precisos seis meses a um ano para chegar a Marte.

Em Julho de 2009, os cientistas da NASA deram uma imagem invulgar daquilo com que uma missão realista a Marte se poderia parecer. Os astronautas levariam aproximadamente seis meses ou mais para alcançar Marte, em seguida ficariam dezoito meses no planeta, e depois gastariam outros seis meses na viagem de regresso.

Ao todo, seria preciso enviar para Marte cerca de 680 000 quilos de equipamento, mais do que a quantidade necessária para a estação espacial de 100 mil milhões de dólares. Para poupar comida e água, os astronautas teriam de purificar o seu próprio lixo e depois usá-lo para fertilizar plantas durante a viagem e enquanto permanecessem em Marte. Sem ar, solo ou água, tudo tem de ser trazido da Terra. Será impossível viver dos recursos de Marte, dado que não há oxigénio, água líquida, animais ou plantas. A atmosfera é dióxido de carbono quase puro, com uma pressão atmosférica que é apenas 1% da, da Terra. Qualquer rasgão num fato espacial ocasionaria rapidamente despressurização e morte.

A missão seria tão complexa que teria de ser dividida em várias fases. Dado que transportar combustível de foguetão para a missão de retorno à Terra seria dispendioso, um foguetão separado podia ser antecipadamente enviado a Marte transportando o combustível

a usar para reabastecer a nave espacial. (Ou, se fosse possível extrair oxigénio e hidrogénio suficiente do gelo de Marte, estes poderiam também ser usados como combustível do foguetão.)

Uma vez em Marte, podiam ser necessárias semanas para os astronautas se acostumarem a viver noutro planeta. O ciclo dia/noite é quase o mesmo da Terra (um dia em Marte são 24,6 horas), mas um ano é quase o dobro. A temperatura em Marte nunca sobe acima do ponto de fusão do gelo. A areia de Marte tem a consistência de pó-de-talco, e são comuns tempestades de poeira que engolfam o planeta inteiro.

2.2 “Terraformar” Marte?

Assumindo que os astronautas visitem Marte por meados do século e estabeleçam um primitivo posto avançado marciano, há a possibilidade de que considerem a “terraformação” de Marte, ou seja, transformar o planeta para o tornar mais hospitaleiro para a vida. Isso começaria por finais do século XXI, no mínimo, ou mais provavelmente no princípio do XXII.

Os cientistas analisaram várias maneiras possíveis de “terraformar” Marte. A maneira mais simples seria, talvez, injetar gás metano ou outros gases com efeito de estufa na atmosfera. Dado que o metano é um gás com efeito de estufa ainda mais potente do que o dióxido de carbono, o gás metano seria capaz de capturar a luz solar, aumentando a temperatura de Marte acima do ponto de fusão do gelo. Adicionalmente ao metano, outros gases com efeito de estufa têm sido analisados para possíveis

experiências de “terraformação”, como é o caso da amônia e dos clorofluorcarbonetos.

Assim que a temperatura começar a subir, o *permafrost* subterrâneo pode começar a degelar, pela primeira vez em milhares de milhões de anos. Quando derreter, os leitos fluviais começarão a encher-se de água. Por fim, lagos e até oceanos podem formar-se de novo em Marte à medida que a atmosfera se torna mais densa. Isto libertaria ainda mais dióxido de carbono, alimentando um ciclo positivo de retroação.

Em 2009 descobriu-se que o gás metano se escapa naturalmente da superfície de Marte. A fonte desse gás é ainda um mistério. Na Terra, a maior parte do gás metano é devida ao apodrecimento de materiais orgânicos. Em Marte, o gás metano pode ser um subproduto de processos geológicos. Se pudermos localizar a fonte deste gás metano então talvez seja possível aumentar a sua produção e, assim, alterar a atmosfera.

Outra possibilidade é defletir um cometa para a atmosfera marciana. Se for possível intercetar um cometa a uma distância suficientemente longínqua, então um pequeno empurrão de um foguetão, um impacto com uma sonda, ou mesmo o arrasto da gravidade de uma nave espacial podem ser suficientes para o defletir. Os cometas são feitos principalmente de água gelada e passam periodicamente através do nosso sistema solar. (O cometa Halley, por exemplo, consiste num núcleo — assemelhando-se a um amendoim — que tem aproximadamente trinta e dois quilómetros de largura, constituído principalmente por gelo e rochas.) À medida

que se aproximasse da superfície de Marte, o cometa encontraria atrito da atmosfera, fazendo com que lentamente se desintegrasse, libertando água sob a forma de vapor.

Se não estiverem disponíveis cometas, talvez também fosse possível defletir uma das luas de gelo de Júpiter ou um asteroide que contenha gelo, como Ceres, que se crê ter 20% de água. (Essas luas e asteroides seriam mais difíceis de defletir, dado que estão habitualmente em órbitas estáveis.) Em vez de ter o cometa, lua ou asteroide a decair lentamente na sua órbita em torno de Marte, libertando vapor de água, outra escolha seria manobrá-lo para um impacto controlado nas calotes de gelo marcianas. As regiões polares de Marte são constituídas por dióxido de carbono congelado, que desaparece durante os meses de Verão, e gelo, que constitui a parte permanente das calotes. Se o cometa, lua ou asteroide embater nas calotes de gelo, pode libertar uma tremenda quantidade de calor e vaporizar o gelo seco. Dado que o dióxido de carbono é um gás com efeito de estufa, isso adensaria a atmosfera e ajudaria a acelerar o aquecimento global de Marte. Podia também alimentar um ciclo positivo de retroação. Quanto mais dióxido de carbono for libertado das calotes de gelo, mais quente se torna o planeta, e, por seu turno, liberta ainda mais dióxido de carbono.

Outra sugestão é detonar bombas nucleares diretamente nas calotes de gelo. O inconveniente é que a água líquida resultante pode conter resíduos radioativos. Ou poderíamos tentar criar um reator de fusão capaz de derreter as calotes de gelo polares. As centrais de fusão usam água como combustível básico, e há grande quantidade de água gelada em Marte.

Assim que a temperatura de Marte suba até ao ponto de fusão do gelo, podem formar-se poças de água, e certas formas de algas que prosperam na Terra, na Antártida, podem ser introduzidas em Marte. É possível que acabem por prosperar na atmosfera de Marte, que tem 95% de dióxido de carbono. Podem também ser geneticamente modificadas para maximizar o seu crescimento em Marte. Esses tanques de algas podem acelerar a “terraformação” de várias maneiras. Primeiro, podem converter dióxido de carbono em oxigénio. Segundo, escureceriam a cor da superfície de Marte, de modo a que esta absorveria mais calor do Sol. Terceiro, dado que crescem por si mesmas sem qualquer ajuda do exterior, seria uma maneira relativamente barata de alterar o ambiente do planeta. Quarto, as algas podem colher-se e constituir base de alimentação. Esses lagos de algas acabariam por criar solo e nutrientes que poderiam ser adequados para plantas, o que, por seu turno, aceleraria a produção de oxigénio.

Os cientistas também olharam para a possibilidade de construir satélites solares à roda do planeta, refletindo luz do sol para Marte. Os satélites solares, por si só, poderiam ser capazes de aquecer a superfície marciana acima do ponto de congelação. Logo que acontecesse, e começando o *permafrost* a derreter, o planeta continuaria naturalmente a aquecer por si próprio.

2.3 Benefício Económico?

Não se deve ter ilusões de que beneficiaríamos imediatamente de uma bonança económica por colonizarmos a Lua e Marte. Quando Colombo zarpou para o Novo Mundo, em 1492, abriu a

porta a uma histórica prosperidade económica. Em breve os conquistadores estavam a enviar de volta enormes quantidades de ouro que roubaram aos índios, e os colonizadores enviavam valiosas matérias-primas e colheitas de volta ao Velho Mundo. O custo de mandar expedições ao Novo Mundo era mais do que compensado pelas fabulosas fortunas que podiam fazer-se.

As colónias na Lua ou em Marte são muito diferentes. Não há ar, água líquida, nem solo fértil, de modo que tudo terá de ser trazido por foguetões, o que é proibitivamente dispendioso.

Além disso, há pouco valor militar na colonização da Lua, pelo menos no curto prazo. Isto porque são precisos três dias, em média, para chegar à Lua vindo da Terra ou vice-versa, mas uma guerra nuclear pode ser travada em apenas noventa minutos por mísseis balísticos intercontinentais. Uma cavalaria do espaço com base na Lua não chegaria à batalha na Terra a tempo de fazer diferença. Por isso, o Pentágono não financiou qualquer programa ruinoso para armar a Lua.

Isto quer dizer que se iniciarmos efetivamente operações de mineração em larga escala em outros mundos, o benefício será para as colónias do espaço e não para a Terra. Os colonos extrairão os metais e minerais para seu próprio uso, dado que seria demasiado dispendioso transportá-los para a Terra. As operações de mineração na cintura de asteroides só se tornariam economicamente viáveis quando tivéssemos colónias que se autossustentassem usando elas próprias essas matérias-primas, o que não acontecerá senão tarde neste século ou, mais provavelmente, depois disso.

2.4 Turismo Espacial

Porém, quando poderá o cidadão comum ir ao espaço? Alguns visionários, como Gerard O'Neill da Universidade de Princeton, já falecido, sonharam com uma colônia espacial como uma roda gigantesca, incluindo unidades para viver, centrais de purificação de água, unidades de reciclagem do ar, etc., estabelecida para resolver o problema da superpopulação da Terra. Porém, no século XXI, a ideia de que as colônias do espaço aliviarão o problema da população é, no mínimo, fantasiosa. Para a maioria da humanidade, a Terra será o nosso único lar durante pelo menos um século ou mais.

Contudo, há uma maneira pela qual o cidadão comum pode realisticamente ir até ao espaço: como turista. Alguns empresários, que criticam o enorme desperdício e burocracia da NASA, pensam que podem baixar o custo das viagens espaciais usando forças de mercado. Presentemente, Burt Rutan e os seus investidores já ganharam o Ansari X Prize de 10 milhões de dólares em 4 de Outubro de 2004, por terem lançado o SpaceShipOne por duas vezes no espaço de duas semanas subindo um pouco mais de 100 quilómetros acima da Terra. O SpaceShipOne é a primeira nave espacial com motor de foguetão a ter concluído com sucesso um empreendimento financiado por privados tendo por objetivo o espaço. Os custos de desenvolvimento foram cerca de 25 milhões de dólares. O bilionário Paul Allen da Microsoft ajudou a subscrever o projeto.

Presentemente, com o SpaceShipTwo, Rutan espera começar testes para tornar realidade os voos comerciais no espaço. O bilionário Richard Branson da Virgin Atlantic criou a Virgin Galactic, com um porto espacial no Novo México e uma longa lista de pessoas que gastarão 200 000 dólares para realizar o seu sonho de voar para o espaço. A Virgin Galactic, que será a primeira companhia importante a oferecer voos comerciais para o espaço, já encomendou cinco foguetões SpaceShipTwo. Se tiver sucesso, poderá diminuir dez vezes o custo das viagens espaciais.

O SpaceShipTwo usa vários métodos para cortar nos custos. Em vez de grandes foguetões propulsores para carregar a carga para o espaço, Rutan põe a nave espacial no topo de um aeroplano, de modo a poder aproveitar a boleia de um avião atmosférico normal. Deste modo, consome-se simplesmente o oxigénio da atmosfera para alcançar grandes altitudes. Depois, a cerca de 16 quilómetros acima da Terra, a nave separa-se do aeroplano e liga os seus motores de foguete. Embora a nave espacial não possa orbitar à volta da Terra, tem combustível suficiente para atingir quase 112 quilómetros acima da Terra, mais alto do que a maior parte da atmosfera, de modo que os passageiros podem ver o céu a mudar para púrpura e depois para preto. Os motores são suficientemente potentes para chegar a Mach 3, ou três vezes a velocidade do som (aproximadamente 3500 quilómetros por hora). Certamente que não é suficiente para pôr um foguetão em órbita (para isso, é preciso alcançar 29 000 quilómetros por hora), mas é suficiente para levar uma pessoa à fronteira da atmosfera e ao limiar do espaço. Num futuro próximo, talvez uma viagem ao espaço não custe mais do que um safari em África.

(Contudo, para dar uma volta completa à Terra, precisaria de pagar consideravelmente mais para fazer uma viagem a bordo da estação espacial. Perguntei uma vez ao bilionário da Microsoft Charles Simonyi quanto lhe custou comprar um bilhete para a Estação Espacial. Os relatos da imprensa estimam que custa 20 milhões de dólares. Disse que estava relutante em indicar o custo exato, mas contou-me que os relatos da imprensa não estavam muito afastados da verdade. Divertiu-se tanto que, de facto, foi duas vezes ao espaço. De modo que, mesmo no futuro próximo, as viagens espaciais serão do domínio exclusivo dos abastados.)

O turismo espacial, no entanto, levou um tiro no braço em Setembro de 2010, quando a Boeing Corporation anunciou que também estava a entrar no negócio, com voos comerciais turísticos planeados já para 2015. Isto apoiaria a decisão do presidente Obama de entregar o programa dos voos espaciais tripulados à indústria privada. O plano da Boeing considera lançamentos a partir da Estação Espacial Internacional de Cabo Canaveral, Florida, cada um envolvendo quatro membros da tripulação, o que deixaria livres até três lugares para turistas do espaço. A Boeing, todavia, foi brusca acerca do financiamento de empreendimentos privados para o espaço: o contribuinte teria de pagar a maior parte da fatura. «Este é um mercado incerto», diz John Elbon, diretor do programa do esforço de tripulação comercial da Boeing. «Se tivéssemos de fazê-lo apenas com investimento da Boeing e os fatores de risco estivessem incluídos, não seria possível fechar negócio.»³

2.5 Cartas Fora do Baralho

O custo proibitivo das viagens espaciais tem sido obstáculo ao progresso, tanto comercial como científico, de modo que precisamos de um novo e revolucionário projeto. Por meados do século, cientistas e engenheiros estarão a aperfeiçoar novas tecnologias de foguetões propulsores para baixar o custo das viagens espaciais.

O físico Freeman Dyson concretizou algumas tecnologias experimentais que podem um dia abrir os céus às pessoas vulgares⁴. Estas propostas são todas de alto risco, mas podem reduzir drasticamente o custo. A primeira é o motor de propulsão por *laser*; dispara um feixe *laser* de alta potência da cauda de um foguetão, causando uma miniexplosão cujas ondas de choque empurram o foguetão para cima. Um fluxo regular de *lasers* de disparo rápido vaporiza água que propulsiona o foguetão para o espaço. A grande vantagem do sistema de propulsão a *laser* é que a energia vem de um sistema baseado no solo. O foguetão *laser* não contém combustível de nenhum tipo. (Os foguetões químicos, por contraste, desperdiçam muita da sua energia levantando o peso do seu combustível até ao espaço.)

A tecnologia do sistema de propulsão *laser* foi já demonstrada, e o primeiro teste com sucesso de um modelo foi levado a cabo em 1997. Leik Myrabo do Rensselaer Polytechnic Institute, de Nova Iorque, criou protótipos funcionais deste foguetão, a que chama o demonstrador de tecnologia de *lightcraft*. Um primeiro projeto tinha quinze centímetros de diâmetro e pesava cinquenta e seis gramas.

Um *laser* de 10 quilowatts gerava uma série de disparos na cauda do foguetão, criando um som de metralhadora à medida que o ar expelido impelia o foguetão com uma aceleração de 2g (duas vezes a aceleração gravítica da Terra, ou 19,50 metros por segundo quadrado). Pôde construir foguetões de *lightcraft* que subiram no ar mais de 30 metros (o equivalente aos primeiros foguetões de combustível líquido de Robert Goddard na década de 1930.)

Dyson sonha com o dia em que os sistemas de propulsão *laser* possam colocar pesadas cargas em órbita terrestre por apenas 10 dólares por quilo, o que revolucionaria verdadeiramente as viagens no espaço. Tem a visão de um *laser* gigante, de 1000 megawatts que possa pôr um foguetão de duas toneladas em órbita. (Esta é a potência de saída da eletricidade de uma central elétrica nuclear). O foguetão consiste na carga e num tanque de água na cauda, que lentamente deixa escorrer água através de finíssimos poros. A carga e o tanque de água pesam, cada um, uma tonelada. Quando o feixe *laser* atinge a cauda do foguetão, a água vaporiza-se instantaneamente, criando uma série de ondas de choque que impulsionam o foguetão para o espaço. O foguetão atinge uma aceleração de 3g e sai da atração gravitacional da Terra no espaço de seis minutos.

Dado que não transporta combustível, não há perigo de uma catastrófica explosão do foguetão propulsor. Os foguetões químicos, mesmo depois de cinquenta anos de Era do espaço, ainda têm uma taxa de falhas de cerca de 1%. E essas falhas são espetaculares, com os combustíveis voláteis, oxigénio e hidrogénio, a criar enormes bolas de fogo e com detritos a chover por todo o

local de lançamento. Este sistema, por contraste, é simples, seguro, e pode ser usado repetidamente com um tempo de inatividade muito pequeno, usando apenas água e um *laser*.

Além disso, o sistema poderia acabar por se pagar a si mesmo. Se for possível lançar meio milhão de naves espaciais por ano, as taxas desses lançamentos poderiam facilmente pagar os custos de operação, bem como os custos de desenvolvimento. Dyson, no entanto, percebe que o seu sonho está a muitas dezenas de anos no futuro. A investigação básica para esses enormes *lasers* exige financiamento muito para lá do de uma universidade. A menos que a investigação seja subscrita por uma grande empresa ou pelo governo, o sistema de propulsão a *laser* nunca será construído.

É aqui que o X Prize pode ajudar. Falei uma vez com Peter Diamandis, que criou o X Prize em 1996, e ele estava bem consciente das limitações dos foguetões químicos. Mesmo o SpaceShipTwo, admitiu na conversa comigo, enfrentava o problema de os foguetões químicos serem uma maneira dispendiosa de escapar à gravidade da Terra. Como consequência, um futuro X Prize será dado a alguém que possa criar um foguetão propulsionado por um feixe de energia. (No entanto, em vez de usar um feixe *laser*, usaria uma fonte similar de energia eletromagnética, um feixe de micro-ondas.) A publicidade do X Prize e a mira num prémio de muitos milhões de dólares podem ser suficientes para despertar o interesse dos empresários e inventores para criarem foguetões não químicos, como o foguetão de micro-ondas.

Há outros desenhos experimentais de foguetões, mas envolvem diferentes riscos. Uma possibilidade é o canhão de gás, que dispara projéteis de um enorme canhão, de certo modo semelhante ao foguetão do romance de Júlio Verne, *Da Terra à Lua*. O foguetão de Verne, no entanto, nunca voaria porque a pólvora não pode disparar um projétil a 40 000 quilómetros por hora, a velocidade necessária para escapar à gravidade da Terra. O canhão de gás, por contraste, usa gás a alta pressão num longo tubo para disparar projéteis a altas velocidades. Abraham Hertzberg, já falecido, da Universidade Washington em Seattle construiu um protótipo de canhão que tem dez centímetros de diâmetro e nove metros de comprimento. O gás dentro do canhão é uma mistura de metano e ar pressurizado a vinte e cinco vezes a pressão atmosférica. Quando se dá a ignição do gás, a carga é disparada pela explosão com uma aceleração notável de 30 000g, tão grande que pode achatar a maioria dos objetos metálicos.

Hertzberg provou que o canhão de gás pode funcionar. Todavia, para lançar uma carga para o espaço, o tubo tem de ser muito mais comprido, cerca de 228 metros, e tem de usar diferentes gases ao longo da trajetória. A fim de propulsionar a carga para escapar à gravidade, terão de ser usados até cinco andares com gases diferentes.

Os custos de lançamento do canhão de gás podem ser ainda mais baixos do que os do sistema de propulsão *laser*. Todavia, é demasiadamente perigoso lançar seres humanos por este processo; só as cargas sólidas, que podem suportar a intensa aceleração, serão lançadas.

Um terceiro desenho experimental é o *slingatron* que, tal como uma bola presa a um fio, faz rodopiar as cargas num círculo e depois liberta-as no ar.

Foi feito um protótipo por Derek Tidman, que construiu um modelo de tampo de mesa que pode arremessar um objeto a 91 metros por segundo em poucos segundos. O *slingatron* consiste num tubo com forma de *donut* de 90 centímetros de diâmetro. O próprio tubo tem 2,5 centímetros de diâmetro e contém uma pequena bola de aço. À medida que a bola se move rodando no tubo, pequenos motores empurram-na, de tal modo que se move cada vez mais depressa.

Um *slingatron* real que possa arremessar uma carga para o espaço terá de ser significativamente maior — centenas ou milhares de metros de diâmetro, capaz de injetar energia na bola até que esta atinja uma velocidade de 11 quilómetros por segundo. A bola abandonará o *slingatron* com uma aceleração de 1000g, ainda suficiente para espalmar a maioria dos objetos. Há muitas questões técnicas que precisam de ser resolvidas, sendo a mais importante o atrito entre a bola e o tubo, que tem de ser mínimo.

Estes três desenhos levarão dezenas de anos a aperfeiçoar, mas somente se forem concedidos fundos do governo ou da indústria privada. De outro modo, esses protótipos nunca passarão de desenhos.

3. Futuro Longínquo (2070 A 2100)

3.1 Elevador Espacial

Pelo fim deste século, a nanotecnologia pode até tornar possível o fabuloso elevador espacial. Como João e o Pé de Feijão, podemos ser capazes de subir até às nuvens e para lá disso. Entramos num elevador, carregamos no botão de subida, e depois ascendemos ao longo de uma fibra de nanotubo de carbono que tem milhares de quilómetros de comprimento. Isto poderia virar de pernas para o ar a economia das viagens espaciais.

Em 1895, o físico russo Konstantin Tsiolkovsky foi inspirado pela construção da Torre Eiffel, nessa altura a estrutura mais alta do seu tipo em todo o mundo. Fez a si mesmo uma pergunta simples: por que não podemos construir uma Torre Eiffel para o espaço? Se fosse suficientemente alta, calculou, então nunca cairia, sustentada de pé pelas leis da física. Chamou-lhe um «castelo celestial» no céu.

Pense numa bola presa a um cordel. Se a movermos em círculo, a força centrífuga é suficiente para impedir a bola de cair. De igual modo, se um cabo for suficientemente longo, então a força centrífuga impedirá a bola de cair de volta à Terra. A rotação da Terra seria suficiente para manter o cabo no céu. Uma vez que esse cabo estivesse esticado nos céus, qualquer cabina de elevador que corresse ao longo do cabo poderia dar um passeio no espaço.

No papel, este truque parece funcionar. Infelizmente, quando se usam as leis do movimento de Newton para calcular a tensão do cabo, descobre-se que é maior do que a força tênsil do aço: o cabo partir-se-ia, um elevador para o espaço seria impossível.

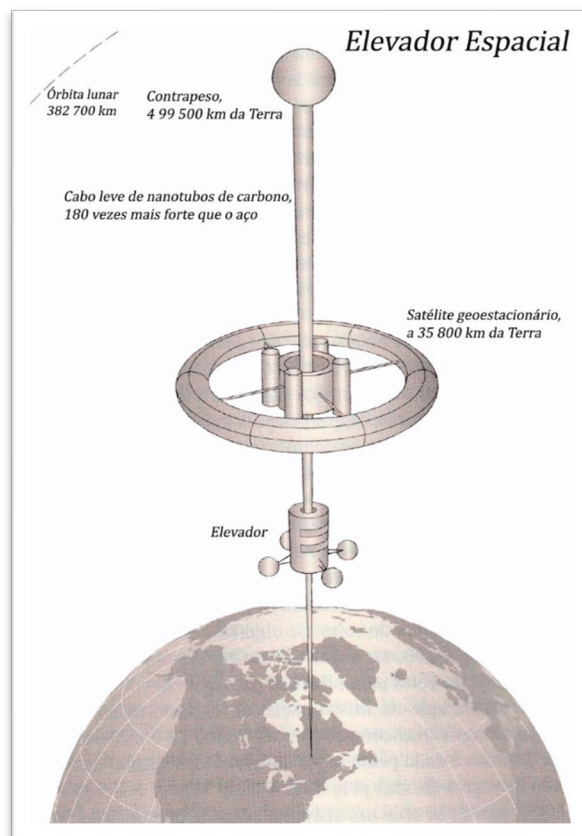
Por dezenas de anos, a ideia de um elevador espacial foi periodicamente ressuscitada, apenas para ser rejeitada por essa razão. Em 1957, o cientista russo Yuri Artsutanov propôs um aperfeiçoamento, sugerindo que o elevador espacial podia ser construído de cima para baixo, e não de baixo para cima, ou seja, primeiro punha-se uma nave espacial em órbita, e depois era descido um cabo para ser ancorado na Terra. E também os escritores de ficção científica popularizaram a ideia dos elevadores do espaço no romance de Arthur C. Clarke, *Fontes do Paraíso*, e no de Robert Heinlein de 1982, *Frida*.

Os nanotubos de carbono ajudaram a ressuscitar esta ideia. Esses nanotubos, como vimos, têm uma das maiores forças tênses de qualquer material. São mais fortes do que o aço, com força suficiente para aguentar a tensão encontrada num elevador espacial.

O problema, no entanto, é criar um cabo de nanotubo de carbono puro que tenha 80 000 quilómetros de comprimento. É uma enorme barreira, dado que até agora os cientistas só conseguiram criar poucos centímetros de nanotubos de carbono puro. É possível entrançar milhares de milhões de pontas de nanotubos de carbono umas com as outras para criar folhas e cabos, mas essas fibras de nanotubos de carbono não são puras; são fibras que foram

comprimidas e entrançadas umas nas outras. O desafio é criar um nanotubo de carbono em que cada átomo de carbono esteja corretamente no seu lugar.

Em 2009, cientistas da Universidade Rice anunciaram uma importante descoberta. As suas fibras não são puras mas sim compósitas (isto é, não são adequadas para o elevador do espaço), mas o seu método é suficientemente versátil para criar nanotubos de carbono de um comprimento qualquer. Descobriram, por tentativa e erro, que esses nanotubos de carbono podem ser dissolvidos numa solução de ácido clorosulfónico, disparados depois por uma cânula, semelhante a uma cabeça de chuveiro. Este método pode produzir fibras de nanotubos de carbono com 50 micrómetros de espessura e centenas de metros de comprimento.



Uma aplicação comercial seria em cabos de energia elétrica, dado que os nanotubos podem conduzir a eletricidade melhor do que o cobre, são mais leves e avariam com menos frequência. O professor de engenharia da Rice, Matteo Pasquali, diz: «Para linhas de transmissão é preciso fabricar toneladas, e não existe hoje nenhum método de o fazer. Estamos a um milagre de distância.»⁵

Embora esses cabos não sejam suficientemente puros para se habilitarem a serem empregues no elevador espacial, esta investigação aponta para o dia em que possamos produzir fios de nanotubos de carbono puros suficientemente fortes para nos levarem aos céus.

Assumindo que no futuro seremos capazes de criar longos fios de nanotubos de carbono puros, existem ainda problemas práticos. Por exemplo, o cabo estender-se-ia muito para lá das órbitas da maior parte dos satélites, querendo dizer que as órbitas dos satélites, depois de muitas passagens em torno da Terra, poderiam acabar por intersectar o elevador espacial e provocar um acidente. Dado que os satélites viajam rotineiramente a 29 000 quilómetros por hora, um impacto poderia ser catastrófico. Isto significa que o elevador tem de ser equipado com foguetões especiais para mover o cabo para fora da trajetória dos satélites de passagem.

Outro problema é a turbulência meteorológica, como os furacões, trovoadas, e ventos fortes. O elevador espacial tem de estar ancorado na Terra, talvez num porta-aviões ou numa plataforma de petróleo situada no Pacífico, mas tem de ser flexível para evitar ser danificado pelas forças poderosas da natureza.

Tem também de existir um botão de pânico e uma cápsula de escape em caso de quebra do cabo. Se alguma coisa romper o cabo, a cabina do elevador deve ser capaz de deslizar ou voltar de paraquedas à superfície da Terra para salvar os passageiros.

Para o arranque da investigação de elevadores espaciais, a NASA encorajou várias competições. Um total de 2 milhões de dólares de prémios é dado pelos Jogos do Elevador Espacial da NASA. Segundo as regras fixadas pela NASA, para vencer o Beam Power Challenge, tem de se criar um aparelho pesando não mais de 50 quilos que possa subir um cabo à velocidade de 2 metros por segundo numa distância de 1 quilómetro. O que torna este desafio tão difícil é que o aparelho não pode ter combustível, baterias ou cabo de alimentação elétrica. A energia deve ser emitida para o aparelho vinda de fora.

Tive a oportunidade de ver em primeira-mão o entusiasmo e a energia dos engenheiros que estavam a trabalhar no elevador espacial e a sonhar reclamar o prémio. Voei até Seattle para encontrar jovens e empreendedores engenheiros de um grupo chamado LaserMotive. Tinham ouvido o canto de sereia do concurso da NASA e depois começaram a criar protótipos capazes de, um dia, ativar o elevador espacial.

Entrei num grande armazém que tinham alugado para testar as suas ideias. Num dos lados do armazém vi um potente *laser* capaz de disparar um intenso feixe de energia. Do outro lado do armazém vi o elevador espacial deles. Era uma caixa com cerca de 90 centímetros de largura, com um grande espelho. O feixe *laser*

atingiria o espelho e seria defletido para uma série de células solares que converteriam a energia *laser* em eletricidade. Isto punha em ação um motor, e o carro do elevador subia gradualmente por um curto cabo. Desta maneira, não eram precisos cabos elétricos pendurados do elevador espacial para lhe fornecer energia. Bastava disparar um *laser* da Terra para o elevador, e este subiria o cabo pelos seus próprios meios.

O *laser* era tão potente que todos tivemos de usar óculos especiais para proteger os olhos. Foram precisos numerosos ensaios, mas finalmente foram capazes de disparar o *laser* e de projetar o aparelho pelo cabo acima. Pelo menos em teoria, um aspecto do elevador espacial tinha sido resolvido.

Inicialmente, a tarefa era tão difícil que ninguém ganhou o prémio⁶. Todavia, em 2009, a LaserMotive reclamou o prémio. O concurso teve lugar na Base da Força Aérea de Edwards no Deserto de Mojave, na Califórnia. Um helicóptero voou sobre o deserto, segurando um longo cabo. A equipa da LaserMotive foi capaz de fazer o elevador subir o cabo quatro vezes em dois dias, sendo o melhor tempo 3 minutos e 48 segundos. Portanto, todo o trabalho árduo destes jovens engenheiros tinha finalmente dado frutos.

3.2 Naves Estelares

Para o fim do século, mesmo contando com os recentes reveses no financiamento de missões espaciais tripuladas, os cientistas terão provavelmente instalado postos avançados em Marte e talvez na cintura de asteroides. A seguir, porão os seus olhos numa

verdadeira estrela. Embora uma sonda interestelar esteja hoje, desesperadamente, para lá do nosso alcance, dentro de 100 anos pode tornar-se realidade.

O primeiro desafio é encontrar um novo sistema de propulsão. Um foguetão químico tradicional levaria cerca de 70 000 anos para chegar à estrela mais próxima. Por exemplo, as duas naves espaciais *Voyager*, lançadas em 1977, estabeleceram um recorde mundial de um objeto enviado para o espaço profundo. Estão atualmente a cerca de 16 mil milhões de quilómetros no espaço mas apenas a uma minúscula fração do caminho até às estrelas.

Vários projetos e sistemas de propulsão têm sido propostos para um veículo interestelar:

- Vela solar
- Foguetão nuclear
- Estatorreatores de fusão
- Nanonaves

Tive oportunidade de conhecer um dos visionários da vela solar quando visitei a Plum Brook Station da NASA em Cleveland, Ohio. Aí, os engenheiros tinham construído a maior câmara de vácuo do mundo para testar satélites espaciais. A câmara é verdadeiramente cavernosa: tem 30 metros de largura e 37 metros de altura,

suficientemente vasta para conter vários edifícios de apartamentos com muitos andares e suficientemente grande para testar satélites e peças de foguetões no vácuo do espaço. Entrando na câmara, senti-me esmagado pela enormidade do projeto, mas senti-me também privilegiado por estar a caminhar na mesmíssima câmara em que muitos dos satélites, sondas e foguetões de referência dos Estados Unidos tinham sido testados.

Aí encontrei um dos principais proponentes da vela solar, o cientista da NASA Les Johnson. Disse-me que desde criança, lendo ficção científica, sonhava construir foguetões que pudessem chegar às estrelas. Johnson até escreveu o manual básico sobre velas solares. Embora pense que elas possam ser reais dentro de poucas dezenas de anos, está resignado com o facto de que uma nave estelar real só possa ser construída muito depois de ele ter morrido. Tal como os pedreiros que construíram as grandes catedrais da Idade Média, Johnson percebe que várias gerações poderão ser necessárias para construir uma nave capaz de alcançar as estrelas.

A vela solar aproveita-se do facto de que, embora a luz não tenha massa, tem quantidade de movimento, e por isso pode exercer pressão. Embora a pressão da luz do sol seja extremamente pequena, demasiado pequena para ser sentida pelas nossas mãos, chega para propulsionar uma nave estelar se o tamanho da vela e o tempo que esperarmos forem suficientes. (A luz do sol é oito vezes mais intensa no espaço do que na Terra.)

Johnson disse-me que o seu objetivo é criar uma vela solar gigantesca, feita de plástico muito fino, mas resistente. A vela teria

vários quilômetros de largura e seria construída no espaço. Uma vez montada, giraria lentamente em torno do Sol, ganhando cada vez mais impulso à medida que gira. Depois de vários anos a orbitar o Sol, a vela sairia do sistema solar em espiral, em direção às estrelas. Uma vela solar assim, disse-me, poderia enviar uma sonda a 0,1% da velocidade da luz e alcançar talvez a estrela mais próxima dentro de quatrocentos anos.

Para baixar o tempo necessário para alcançar as estrelas, Johnson procurou maneiras de acrescentar um impulso adicional à vela solar. Uma possibilidade é pôr uma enorme bateria de *lasers* na Lua. Os feixes *laser* atingiriam a vela e dar-lhe-iam a quantidade de movimento adicional quando zarpasse para as estrelas.

Um problema com uma nave espacial impulsionada por uma vela solar é que é difícil de parar e inverter a marcha, dado que a luz se move saindo do Sol. Uma possibilidade é inverter a direção da vela e usar a pressão da luz da estrela de destino para desacelerar a nave espacial. Outra possibilidade é velejar em torno da estrela distante, usando a gravidade da estrela para criar um efeito de tiro de funda para a viagem de regresso. E outra possibilidade ainda é pousar numa lua, construir baterias *laser*, e depois velejar de volta com a luz da estrela e os feixes *laser* dessa lua.

Embora tenha sonhos estelares, Johnson percebe que a realidade é muito mais modesta. Em 1993, os Russos colocaram no espaço um refletor de Mylar com 18 metros a partir da estação espacial Mir, mas foi apenas para demonstrar a abertura. Uma segunda tentativa falhou. Em 2004, os Japoneses lançaram com sucesso dois

protótipos de velas solares, mas foi mais uma vez para testar a abertura, não a propulsão. Em 2005, houve uma tentativa ambiciosa da Planetary Society, Cosmos Studios e Academia das Ciências da Rússia para lançar uma vela solar genuína chamada Cosmos 1. Foi lançada de um submarino russo; todavia, a ignição do foguetão Volna falhou e a vela não conseguiu entrar em órbita. E em 2008, uma equipa da NASA tentou lançar uma vela solar chamada NanoSail-D, mas esta perdeu--se quando falhou o foguetão Falcon 1.

Finalmente, em Maio de 2010, a Agência de Exploração Aeroespacial do Japão lançou com sucesso a IKAROS, a primeira nave espacial a usar a tecnologia das velas solares no espaço interplanetário.⁷

Tem uma vela quadrada, com 20 metros de diagonal, e usa propulsão de vela solar para viajar no seu caminho para Vénus. Os japoneses têm esperança de conseguir enviar outra nave para Júpiter usando o mesmo tipo de propulsão.

3.3 Foguetão Nuclear

Os cientistas também consideraram o uso de energia nuclear para propulsionar uma nave estelar. Desde 1953, a Comissão para a Energia Atómica começou a considerar seriamente os foguetões transportando reatores atômicos, começando com o Projeto Rover. Nas décadas de 1950 e 1960, as experiências com foguetões nucleares terminaram em fracasso na maior parte dos casos. Os foguetões tendiam a ser instáveis e demasiado complexos para

serem adequadamente manipulados. E também um reator de fissão vulgar, pode facilmente demonstrar-se, simplesmente não produz energia suficiente para propulsionar uma nave estelar. Uma central elétrica nuclear típica produz cerca de mil milhões de *watts* de eletricidade, insuficiente para chegar às estrelas.

Na década de 1950, os cientistas propuseram usar bombas atômicas e de hidrogénio, e não reatores, para propulsionar uma nave estelar. O Projeto Orion, por exemplo, propôs um foguetão propulsionado por uma série de ondas de explosões nucleares provenientes de uma sucessão de bombas atômicas. Uma nave estelar deixaria cair uma fiada de bombas atômicas pela cauda, criando uma série de potentes explosões de raios X. A onda de choque empurraria então a nave estelar para diante.

Em 1959, físicos da General Atomics estimaram que uma versão avançada do Orion pesaria 8 milhões de toneladas, com um diâmetro de 400 metros e seria alimentada por 1000 bombas de hidrogénio.

Um proponente entusiástico do projeto Orion foi o físico Freeman Dyson. «Para mim, o Orion significou abrir à vida todo o sistema solar. Podia ter mudado a história», diz. Também teria sido uma maneira conveniente de nos vermos livres de bombas atômicas. «Com uma viagem, ficaríamos livres de 2000 bombas»⁸, diz ele.

O que matou o Projeto Orion, no entanto, foi o Tratado de Interdição de Ensaio Nucleares de 1963, que proibiu testes não

subterrâneos de armas nucleares. Sem testes, os físicos não puderam melhorar o desenho do Orion, e a ideia morreu.

3.4 Estatorreatores de Fusão

Outra proposta de um foguetão nuclear foi feita por Robert W. Bussard em 1960; imaginou um motor de fusão semelhante a um motor a jato vulgar. Um motor de estatorreator suga o ar à sua frente e depois mistura-o internamente com combustível. Na ignição da mistura de ar e combustível, ocorre uma explosão química que cria impulsão. Imaginou aplicar o mesmo princípio básico a um motor de fusão. Em vez de sugar ar, o motor de fusão estatorreator sugaria hidrogénio gasoso, que se encontra por todo o lado no espaço interestelar. O hidrogénio gasoso seria comprimido e aquecido por campos elétricos e magnéticos até que o hidrogénio se fundisse em hélio, libertando enormes quantidades de energia no processo. Isso provocaria uma explosão, que depois criaria impulsão. Dado que há uma inesgotável provisão de hidrogénio no espaço profundo, o estatorreator de fusão pode, em princípio, funcionar para sempre.

Os desenhos do estatorreator de fusão parecem-se com um cone de gelado. O coletor capta o hidrogénio gasoso, que é mandado para o motor, onde é aquecido e fundido com outros átomos de hidrogénio. Bussard calculou que se um estatorreator puder manter uma aceleração de 9,80 metros por segundo quadrado (ou a gravidade sentida na Terra), então aproximar-se-á de 77% da velocidade da luz em apenas um ano. Dado que o estatorreator pode funcionar para sempre, poderia teoricamente deixar a nossa

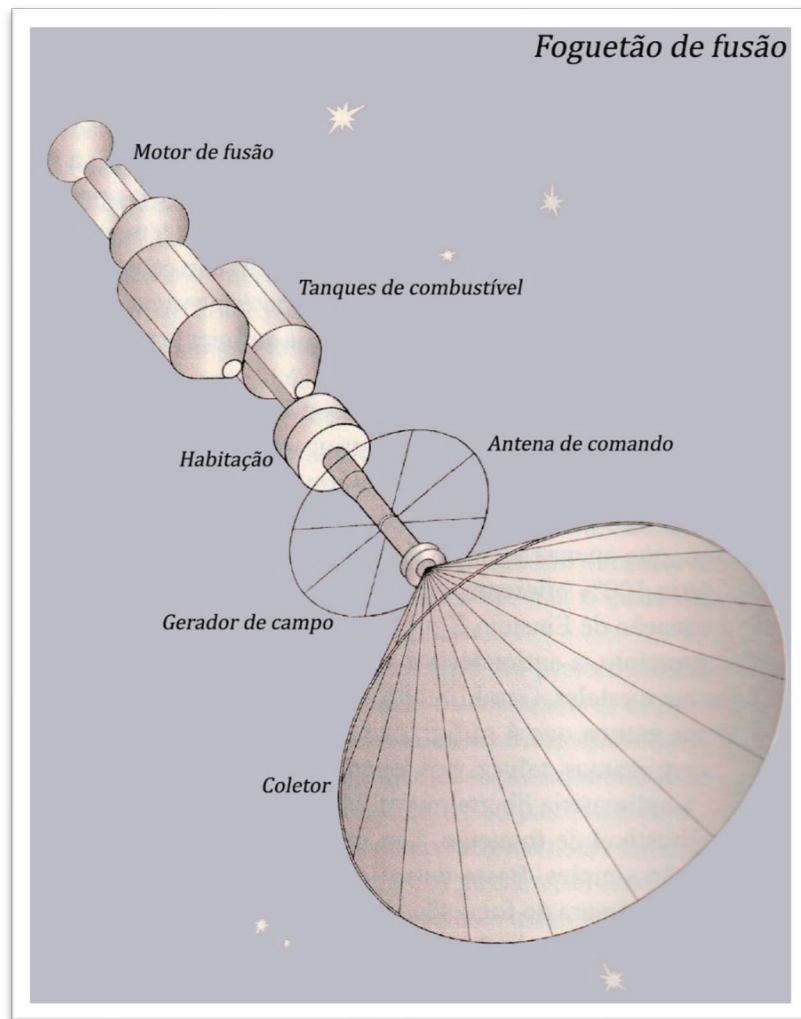
galáxia e atingir a galáxia de Andrómeda, a 2 000 000 anos-luz da Terra, em apenas 23 anos, medidos pelo que os astronautas sentiriam na nave. (Como é afirmado pela teoria da relatividade de Einstein, o tempo desacelera num foguetão a grande velocidade, de modo que podem ter passado milhões de anos na Terra, mas os astronautas terão envelhecido apenas 23 anos.)

Há vários problemas relacionados com o estatorreator. Primeiro, dado que no espaço interestelar existem principalmente protões, o estatorreator de fusão tem de queimar hidrogénio puro, que não produz assim tanta energia. (Há muitas maneiras de fundir hidrogénio. O método preferido na Terra é fundir deutério e trítio, produzindo uma grande quantidade de energia. Contudo, no espaço, o hidrogénio é encontrado como um simples protão, e por isso os estatorreatores só podem fundir protões com protões, não produzindo tanta energia como a fusão de deutério e trítio.) Todavia, Bussard mostrou que, se misturarmos o combustível com um pouco de carbono, o carbono atua como catalisador para criar enormes quantidades de energia, o suficiente para propulsionar uma nave estelar.

Segundo, o coletor teria de ser enorme — da ordem dos 160 quilómetros — para recolher hidrogénio suficiente, de modo que teria de ser montado no espaço.

Há outro problema que ainda não está resolvido. Em 1985, os engenheiros Robert Zubrin e Dana Andrews mostraram que o arrasto sentido pelo estatorreator seria suficientemente grande para o impedir de acelerar até perto da velocidade da luz. O arrasto

é causado pela resistência que a nave estelar encontra quando se desloca num campo de átomos de hidrogénio. Todavia, os seus cálculos assentam profundamente em certos pressupostos que podem não se aplicar ao desenho dos estatorreatores do futuro.



Um estatorreator de fusão, porque recolhe hidrogénio do espaço interestelar pode teoricamente funcionar para sempre.

Presentemente, até que tenhamos uma melhor compreensão do processo de fusão (e também dos efeitos de arrasto dos iões no espaço), o júri ainda não deliberou no caso dos estatorreatores de fusão. No entanto, se estes problemas de engenharia poderem ser

resolvidos, o estatorreator de fusão estará definitivamente na lista de possibilidades.

3.5 Foguetões de Antimatéria

Outra alternativa é usar a maior fonte de energia no universo, a antimatéria, para alimentar a nave espacial. A antimatéria é o oposto da matéria, com carga oposta; por exemplo, um elétron tem carga negativa, mas um elétron de antimatéria (o pósitron) tem carga positiva. Será também aniquilado no contato com a matéria vulgar. De facto, uma colher de chá de antimatéria tem energia suficiente para destruir toda a área metropolitana de Nova Iorque.

A antimatéria é tão poderosa que Dan Brown pôs os vilões do seu romance *Anjos e Demónios* a construir uma bomba para mandar o Vaticano pelos ares usando antimatéria roubada do CERN, nos arredores de Genebra, na Suíça. Diferentemente de uma bomba de hidrogénio, que apenas tem 1% de eficiência, uma bomba de antimatéria seria 100% eficiente, convertendo matéria em energia segundo a equação de Einstein $E = mc^2$.

Em princípio, a antimatéria é o combustível de foguetão ideal para uma nave estelar. Gerald Smith, da Universidade do Estado da Pensilvânia, estima que 4 miligramas de antimatéria nos levarão a Marte, e cem gramas, talvez, nos levem às estrelas próximas. Quilo por quilo, a antimatéria liberta mil milhões de vezes mais energia do que o combustível de foguetão. Um motor de antimatéria teria um aspeto muito simples. Basta deixar cair um fluxo regular de antimatéria para a câmara do foguetão, onde se combina com

matéria ordinária e causa uma explosão titânica. O gás explosivo é então disparado por uma das saídas da câmara, criando a impulsão.

Ainda estamos longe desse sonho. Até ao momento, os físicos foram capazes de criar antieletrões e antiprotões, bem como átomos de anti-hidrogénio, com antieletrões a circular em volta de antiprotões. Isto foi feito no CERN e também no Fermi National Accelerator Laboratory (Fermilab), nos arredores de Chicago, no Tevatron, o segundo maior acelerador de partículas do mundo (só fica atrás do LHC — Grande Acelerador de Hadrões — no CERN). Os físicos de ambos os laboratórios projetaram um feixe de partículas de alta-energia sobre um alvo, criando uma chuva de detritos que continha antiprotões. Ímanes poderosos foram usados para separar a antimatéria da matéria ordinária. Esses antiprotões eram então desacelerados e deixou-se que antieletrões se misturassem com eles, criando átomos de anti-hidrogénio.

Um homem que pensou longa e vigorosamente sobre os aspetos práticos da antimatéria foi Dave McGinnis, um físico do Fermilab. De pé junto ao Tevatron, explicou-me a assustadora economia da antimatéria. A única maneira conhecida de produzir quantidades regulares de antimatéria, enfatizou, é usar um acelerador de partículas como o Tevatron: essas máquinas são extremamente dispendiosas e produzem apenas minúsculas quantidades de antimatéria. Por exemplo, em 2004, o acelerador de partículas do CERN produziu vários bilionésimos de grama de antimatéria por um custo de 20 milhões de dólares. A esse ritmo, produzir antimatéria suficiente para fornecer energia a uma nave estelar levaria toda a economia à bancarrota. Os motores de antimatéria, sublinhou, não

são um conceito rebuscado. Estão certamente dentro das leis da física, mas o custo de construir um, no futuro próximo, seria proibitivo.

Uma razão por que a antimatéria é tão proibitivamente dispendiosa é que são notavelmente caros os aceleradores de partículas necessários para produzi-la. Todavia, esses trituradores de átomos são máquinas para todos os fins, projetadas principalmente para produzir exóticas partículas subatômicas, e não partículas de antimatéria, mais comuns. São ferramentas de investigação, não são máquinas comerciais. É concebível que os custos possam ser consideravelmente reduzidos se se projetar um novo tipo de triturador de átomos especificamente para produzir copiosas quantidades de antimatéria. Depois, produzindo em massa essas máquinas, talvez fosse possível criar quantidades de antimatéria que se vissem. Harold Gerrish da NASA acredita que o custo da antimatéria pode acabar por baixar para 5000 dólares por micrograma.

Outra possibilidade reside em encontrar um meteorito de antimatéria no espaço exterior. Se fosse encontrado, um objeto desses poderia fornecer energia suficiente para alimentar uma nave estelar. De facto, o satélite europeu PAMELA (Payload for Antimatter Matter Exploration and Light-Nuclei Astrophysics) foi lançado em 2006 especificamente para procurar antimatéria que ocorra naturalmente no espaço.

Se forem encontradas grandes quantidades de antimatéria no espaço, pode encarar-se o uso de grandes redes eletromagnéticas para recolhê-la.

Portanto, embora os foguetões interestelares movidos a antimatéria estejam certamente dentro das leis da física, pode demorar até ao fim do século para baixar os seus custos. Se isso puder ser feito, então os foguetões a antimatéria estarão na lista dos preferidos para as naves estelares.

3.6 Nanonaves

Quando nos deslumbramos com os efeitos especiais de *A Guerra das Estrelas* ou de *Star Trek*, imediatamente imaginamos uma nave estelar enorme e futurista erigida de todas as mais recentes engenhocas de alta tecnologia. Todavia, outra possibilidade reside em usar nanotecnologia para criar minúsculas naves estelares, talvez não maiores do que um dedal, uma agulha ou ainda mais pequenas. Temos este preconceito de que uma nave estelar tem de ser enorme, como a *Enterprise*, e capaz de sustentar uma tripulação de astronautas. Todavia, as funções essenciais de uma nave estelar podem ser miniaturizadas pela nanotecnologia de tal modo que milhões de minúsculas nanonaves, talvez, possam ser lançadas para as estrelas próximas, embora apenas uma fração chegue realmente até lá. Uma vez chegadas a uma lua vizinha, podem criar uma fábrica para fazer ilimitadas cópias de si próprias.

Vint Cerf, um dos criadores originais da Internet, imagina minúsculas nanonaves que possam explorar não somente o sistema

solar, mas também as próprias estrelas. Diz ele: «A exploração do sistema solar será tornada mais efetiva através da construção de aparelhos à escala nano, pequenos, mas potentes, que serão fáceis de transportar e colocar à superfície, por baixo da superfície e nas atmosferas dos planetas e satélites nossos vizinhos... Podemos mesmo extrapolar essas possibilidades para a exploração interestelar.»⁹

Na natureza, os mamíferos produzem apenas alguns descendentes e garantem que todos sobrevivam. Os insetos produzem grandes quantidades de descendentes, dos quais sobrevive apenas uma pequena fração. Ambas as estratégias podem manter a espécie viva durante milhões de anos. De igual modo, em vez de mandar uma única e dispendiosa nave estelar para as estrelas, podemos mandar milhões de minúsculas naves estelares, cada uma custando um cêntimo e exigindo muito pouco combustível de foguetão.

Este conceito imita uma estratégia de grande sucesso encontrada na natureza: o enxame. Aves, abelhas e outros animais voadores deslocam-se em bando ou enxame. Não somente há segurança na quantidade, mas o enxame também funciona como um sistema de alerta precoce. Se ocorre uma perturbação perigosa numa parte do enxame, como, por exemplo, um ataque de um predador, a mensagem é rapidamente transmitida para o resto do enxame. São também muito eficientes em termos de energia. Quando as aves voam num característico padrão em V, a esteira e a turbulência criada por essa formação reduz a energia de que cada ave precisa para voar.

Os cientistas caracterizam o enxame como um «superorganismo», que parece ter inteligência própria, independente das capacidades de qualquer indivíduo singular. As formigas, por exemplo, têm um sistema nervoso muito simples e um cérebro minúsculo, mas todas juntas podem criar complexos formigueiros. Os cientistas esperam incorporar algumas dessas lições da natureza desenhando «enxame-robôs» que um dia possam viajar para outros planetas e estrelas.

Isto é semelhante ao conceito hipotético de poeira inteligente que o Pentágono procura desenvolver: milhares de milhões de partículas arremessadas para o ar, cada uma com minúsculos sensores, para fazer reconhecimento. Cada sensor não é muito inteligente, mas coletivamente podem transmitir de volta imensa informação. A DARPA do Pentágono financiou esta investigação para possíveis aplicações militares, como a monitorização das posições inimigas no campo de batalha. Em 2007 e 2009, a Força Aérea tornou públicos documentos de posição detalhando planos para décadas vindouras, delineando tudo, desde versões avançadas do Predator (que hoje custam 4,5 milhões de dólares cada um) a enxames de minúsculos sensores mais pequenos do que uma traça e custando cêntimos.¹⁰

Os cientistas também estão interessados neste conceito. Podem querer aspergir poeira inteligente para monitorizar instantaneamente milhares de localizações durante furacões, trovoadas, erupções vulcânicas, terremotos, cheias, fogos florestais, e outros fenómenos naturais. No filme *Tornado*, por exemplo, vemos um bando de intrépidos caçadores de tempestades

a arriscar a vida e a integridade física para colocar sensores em volta de um tornado. Isso não é muito eficiente. Em vez de ter alguns cientistas a instalar um punhado de sensores durante uma erupção vulcânica ou um tornado para medir a temperatura, a humidade e a velocidade do vento, a poeira inteligente pode providenciar imediatamente dados de milhares de posições diferentes em centenas de quilómetros. Quando introduzidos esses dados num computador, podem dar instantaneamente informação em três dimensões e em tempo real acerca da evolução de um furacão ou vulcão. Já foram criadas empresas comerciais para vender esses minúsculos sensores, não maiores do que uma cabeça de alfinete.

Outra vantagem das nanonaves é que precisam de muito pouco combustível para serem enviadas para o espaço. Em vez de usar enormes foguetões propulsores que podem alcançar apenas 40 000 quilómetros por hora, é relativamente fácil enviar objetos minúsculos a velocidades incríveis. De facto, é fácil enviar partículas subatómicas quase à velocidade da luz usando campos eléctricos vulgares. Essas nanopartículas podem transportar uma pequena carga eléctrica e ser facilmente aceleradas por campos eléctricos.

Em vez de usar enormes recursos para enviar uma sonda a outra lua ou planeta, uma única sonda pode ter a capacidade de se autorreplicar, e criar assim toda uma fábrica ou mesmo uma base lunar. Essas sondas autorreplicantes podem depois partir para explorar outros mundos. (O problema é criar a primeira nanossonda autorreplicante, que ainda está no futuro distante.)

Em 1980, a NASA tomou suficientemente a sério a ideia de sondas robóticas autorreplicantes para encomendar um estudo especial, chamado Automação Avançada para Missões Espaciais, que foi feito na Universidade de Santa Clara e analisou várias possibilidades. Uma possibilidade explorada pelos cientistas da NASA era enviar pequenos robôs autorreplicantes para a Lua. Aí, o robô usaria o solo e criaria um número ilimitado de cópias de si mesmo.

A maior parte do relatório era devotada aos detalhes da construção de uma fábrica química para processar rochas lunares (chamadas rególitos). O robô, por exemplo, podia pousar na Lua, desmontar-se, e depois recombina as suas partes para criar uma nova fábrica, muito à maneira de um robô transformador de brincar. Por exemplo, o robô podia criar grandes espelhos parabólicos para focar a luz do sol e começar a derreter os rególitos. Então passaria a lixiviar com ácido fluorídrico para começar a processar os rególitos com o intuito de extrair minerais e metais utilizáveis. Os metais poderiam depois ser usados para fabricar a base lunar. Assim, o robô poderia acabar por construir uma pequena fábrica lunar para se reproduzir.

Com base neste relatório, em 2002, o Instituto para Conceitos Avançados da NASA começou a financiar uma série de projetos baseados nesses robôs autorreplicantes. Um cientista que levou a sério a proposta de uma nave estelar num *chip* foi Mason Peck da Universidade de Cornell.

Tive oportunidade de visitar Peck no seu laboratório, onde vi a sua bancada de trabalho cheia de componentes que podem acabar por ser postos em órbita. Perto dessa bancada estava uma sala pequena e limpa, com paredes envolvidas em plástico onde são montados os delicados componentes de satélites.

A sua visão da exploração do espaço é muito diferente da que nos é dada pelos filmes de Hollywood. Peck imagina um *microchip*, com um centímetro de tamanho e pesando um grama, que pode ser acelerado até 1 a 10% da velocidade da luz. Aproveita o efeito de tiro de funda que a NASA usa para acelerar naves espaciais a enormes velocidades. Esta manobra de ajudar a gravidade consiste em enviar uma nave espacial à roda de um planeta, como uma pedra numa funda, usando assim a gravidade do planeta para aumentar a velocidade da nave.

Em vez da gravidade, Peck quer usar forças magnéticas. A sua ideia é enviar uma nave espacial num *microchip* rodopiando em torno do campo magnético de Júpiter, que é 20 000 vezes maior do que o campo terrestre. Planeia acelerar a sua nanonave estelar com a força magnética que é usada para acelerar partículas subatômicas a biliões de eletrões-volt nos nossos aceleradores de partículas.

Mostrou-me uma amostra do *chip* que pensava que um dia podia rodopiar em torno de Júpiter. Era um pequeno quadrado, mais pequeno do que a cabeça de um dedo, pejado de circuitos científicos. A sua nave estelar seria simples. Num dos lados do *chip* há uma célula solar para fornecer energia para comunicações. No outro lado, há um transmissor de rádio, uma câmara fotográfica, e

outros sensores. O aparelho não tem motor, dado que é propulsionado usando apenas o campo magnético de Júpiter. (O Instituto para Conceitos Avançados da NASA, que financiou esta e outras propostas inovadoras para o programa espacial desde 1998, foi fechado em 2007, infelizmente, devido a cortes orçamentais.)

De modo que a visão de Peck de uma nave estelar afasta-se nitidamente da visão habitual da ficção científica, em que enormes naves se arrastam pesadamente no espaço pilotadas por uma tripulação de ousados astronautas. Por exemplo, se fosse instalada uma base numa lua de Júpiter, então grandes quantidades desses minúsculos *chips* podiam ser disparadas para órbitas em roda desse planeta gigante. Se nessa lua fosse também construída uma bateria de canhões *laser*, então os *chips* podiam ser acelerados, atingindo-os com luz *laser*, aumentando a sua velocidade até alcançarem uma fração da velocidade da luz.

Fiz-lhe uma pergunta simples: Pode reduzir os seus *chips* ao tamanho de moléculas usando nanotecnologia? Nesse caso, em vez de usar os campos magnéticos de Júpiter para acelerar os *chips*, podia usar aceleradores de partículas com base na nossa lua para disparar sondas, do tamanho de moléculas, quase à velocidade da luz. Concordou que essa seria uma possibilidade real, mas ainda não tinha pensado nos detalhes.

De modo que pegámos numa folha de papel e, juntos, começámos a escrever as equações para essa possibilidade. (É assim que nós, os cientistas investigadores, interagimos uns com os outros, indo para o quadro ou pegando numa folha de papel para

resolver um problema escrevendo equações.) Escrevemos as equações para a força de Lorenz, que Peck usa para acelerar os seus *chips* em torno de Júpiter, mas depois reduzimos os *chips* ao tamanho de moléculas e pusemo-los num acelerador hipotético semelhante ao Grande Acelerador de Hadrões do CERN. Pudemos ver rapidamente que as equações permitiam que uma nanonave estelar dessas acelerasse até perto da velocidade da luz, usando apenas um acelerador de partículas com base na Lua. Porque estávamos a reduzir a dimensão da nossa nave estelar de um *chip* para uma molécula, pudemos reduzir a dimensão do nosso acelerador do tamanho de Júpiter para o de um acelerador de partículas convencional. Parecia que essa ideia era uma possibilidade efetiva.

Depois de analisarmos as equações, concordámos ambos que o único problema era a estabilidade dessas delicadas nanonaves estelares. A aceleração acabaria por desfazer essas moléculas em pedaços? Como uma bola girando presa por um fio, as moléculas seriam submetidas a forças centrífugas quando fossem aceleradas para perto da velocidade da luz. Além disso, as moléculas estariam carregadas eletricamente, de modo que até se podiam rasgar em pedaços por ação de forças elétricas. Concluímos ambos que as nanonaves eram uma possibilidade efetiva, mas podiam ser precisas dezenas de anos, ou mais, de investigações para reduzir os *chips* de Peck à dimensão de uma molécula e reforçá-los de modo a não se desintegrarem quando acelerados até perto da velocidade da luz.

De modo que o sonho de Peck é mandar um enxame de *chips* à estrela mais próxima, esperando que alguns consigam realmente atravessar o espaço interestelar. E que farão quando chegarem?

É aqui que entra o trabalho de Pei Zhang da Universidade Carnegie Mellon em Silicon Valley. Zhang criou uma frota de mini-helicópteros que pode vir um dia a alcançar outro planeta. Mostrou-me com orgulho a sua frota de «enxame-robôs» que se assemelham a helicópteros de brincar. O aspeto é enganador. Pude ver que no centro de cada um estava um *chip* repleto de circuitos sofisticados. Carregando num botão, Zhang enviou para o ar quatro «enxame-robôs», e eles voaram em todas as direções e mandaram de volta informação. Em breve, estava rodeado de «enxame-robôs».

A finalidade destes «enxame-robôs», disse-me, é providenciar assistência crucial no decorrer de emergências, tais como fogos e explosões, fazendo reconhecimento e vigilância. Esses «enxame-robôs» podem mesmo ser equipados com câmaras de TV e sensores capazes de detetar temperatura, pressão, direção do vento, etc.. informação que se pode mostrar crítica durante uma emergência. Milhares de «enxame-robôs» podem ser libertados sobre um campo de batalha, um fogo, ou mesmo um terreno extraterrestre. Esses «enxame-robôs» também comunicam uns com os outros. Se um deles choca com um obstáculo, transmite por rádio a informação aos outros.

De modo que uma visão das viagens espaciais pode ser esta: milhares de *chips* baratos e descartáveis concebidos por pessoas

como Mason Peck disparados para a estrela mais próxima a uma velocidade perto da velocidade da luz. Assim que um punhado deles atingir o seu destino, estendem asas e pás de hélice e voam sobre o terreno estranho, tal como a frota de «exame-robôs» de Pei Zhang. Então transmitem por rádio a informação para a Terra. Assim que forem encontrados planetas promissores, uma segunda geração de «exame-robôs» pode ser enviada para criar fábricas nesses planetas que criam então mais cópias dos «exame-robôs», que depois voam para a estrela seguinte. Depois o processo continua indefinidamente.

3.7 Êxodo da Terra?

Em 2100, é provável que já tenhamos enviado astronautas a Marte e à cintura de asteroides, explorado as luas de Júpiter e dado os primeiros passos para enviar uma sonda para as estrelas.

E o que se passará com a humanidade? Teremos colónias espaciais para aliviar a população mundial encontrando um novo lar no espaço? A humanidade começará a deixar a Terra lá para 2100?

Não. Dado o custo, mesmo em 2100 e para lá disso, a maior parte da humanidade não embarcará numa nave espacial para visitar outros planetas. Embora um punhado de astronautas já tenha então criado pequenos postos avançados nos planetas, a humanidade estará ainda presa na Terra.

Dado o facto de que a Terra será o lar da humanidade por séculos e séculos, levanta-se outra questão: Como serão afetados pela ciência o nosso estilo de vida, os nossos empregos, e a nossa sociedade? Sendo a ciência o motor da prosperidade, como dará nova forma à civilização e à riqueza no futuro?

¹ <http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/1999/ast02feb991/>.

² <http://lcross.arc.nasa.gov>.

³ *New York Times*, 16 de Setembro de 2010, p. A3.

⁴ Dyson, pp. 88-99.

⁵ Katherine Bourzac, «Making Carbon Nanotubes into Long Fibers», *Technology Review*, 10 de Novembro de 2009, www.technologyreview.com/energy/23921.

⁶ BBC-TV, 5 de Novembro de 2009.

⁷ <http://en.wikipedia.org/wiki/Ikaros>.

⁸ Nicholas Dawidoff, «The Civil Heretic», *New York Times*, 26 de Março de 2009, www.nytimes.com/2009/03/29/magazine/29Dyson-t.html?pagewanted=7&_r=1.

⁹ Vint Cerf, «One Is Glad to Be of Service», em Denning, pp. 229-230.

¹⁰ Scott A. Dickson, «Enabling Battlespace Persistent Surveillance: The Form, Function and Future of Smart Dust», Abril de 2007 (Blue Horizon Paper, Center for Strategy and Technology, Air War College).

CAPÍTULO 7

O Futuro da Riqueza — Ganhadores e Perdedores

Tecnologia e ideologia abalam os alicerces do capitalismo do século XXI. A tecnologia fará das aptidões e dos conhecimentos as únicas fontes de vantagem estratégica sustentável.
— LESTER THUROW

NA MITOLOGIA, a ascensão e a queda de grandes impérios dependia da força e astúcia dos exércitos que cada um possuía. Os grandes generais do Império Romano prestavam culto no templo de Marte, o deus da guerra, antes de campanhas militares decisivas. As lendárias proezas de Thor inspiraram os Vikings em batalhas heroicas. Os antigos construíram grandes templos e monumentos dedicados aos deuses, comemorando vitórias em batalha contra os seus inimigos.

Quando atualmente analisamos a ascensão e queda de grandes civilizações, encontramos uma história inteiramente diferente.

Se fôssemos alienígenas de Marte a visitar a Terra no ano de 1500 e víssemos todas as grandes civilizações, qual pensaríamos

que viria a dominar o mundo? A resposta seria fácil: qualquer, menos a europeia.

No Leste, veríamos a grande civilização chinesa, que durava há milénios. A longa lista de invenções de que os Chineses foram pioneiros não tem paralelo: papel, imprensa, pólvora, bússola, etc. Os seus cientistas eram os melhores do planeta. O seu governo estava unificado e o continente em paz.

No Sul, teríamos o Império Otomano, que esteve bem perto de invadir a Europa. A grande civilização muçulmana inventou a álgebra, produziu avanços na ótica e na física, e deu nomes às estrelas. Arte e ciência floresciam. Os seus grandes exércitos não enfrentavam oposição credível. Istambul era um dos grandes centros do saber científico.

Depois tínhamos os deploráveis países europeus, que eram assolados pelo fundamentalismo religioso, julgamentos de feiticeiras e pela Inquisição. A Europa Ocidental, em abrupto declínio por um milhar de anos desde o colapso do Império Romano, estava tão atrasada que importava mais tecnologia do que exportava. Era um buraco negro medieval. A maior parte do conhecimento do Império Romano tinha desaparecido havia muito, substituído pelo opressivo dogma religioso. A oposição ou a dissidência encontravam frequentemente a tortura ou pior. Além disso, as cidades-estado da Europa estavam constantemente em guerra umas com as outras.

Então o que aconteceu?

Ambos os Impérios, tanto o chinês como o otomano, entravam num período de estagnação tecnológica de 500 anos, enquanto a Europa começava uma adoção sem precedentes da ciência e da tecnologia.

Começando em 1405, o imperador Yongle da China mandou criar uma enorme armada, a maior alguma vez vista, para explorar o mundo. (Os três insignificantes navios de Colombo caberiam no convés de um único desses navios colossais.) Foram lançadas sete grandes expedições, cada uma maior do que a anterior. A frota velejou pela costa do Sudeste Asiático e alcançou a África, Madagáscar, e talvez mais do que isso. A frota trouxe de volta uma rica recompensa em mercadorias, iguarias e animais exóticos dos lugares longínquos da Terra. Existem notáveis xilogravuras antigas de girafas africanas a serem exibidas no jardim zoológico da dinastia Ming.

Contudo, os governantes da China também ficaram desapontados. Era tudo o que havia? Onde estavam os grandes exércitos capazes de rivalizar com os chineses? Onde estavam as comidas exóticas e os estranhos animais que o resto do mundo podia oferecer? Perdendo o interesse, os governantes subsequentes da China deixaram que a sua grande frota naval decaísse e acabaram por queimá-la. A China isolou-se gradualmente do mundo, estagnando, enquanto o mundo dava um salto em frente.

Uma atitude semelhante instalou-se no Império Otomano. Tendo conquistado a maior parte do mundo que conheciam, os Otomanos voltaram-se para dentro, para o fundamentalismo religioso e para séculos de estagnação. Mahatir Mohamad, o antigo primeiro-ministro da Malásia, disse: «A grande civilização islâmica entrou em declínio quando os letrados muçulmanos interpretaram a aquisição de conhecimentos, ordenada pelo Corão, como significando apenas conhecimento da religião, e os outros conhecimentos como sendo não islâmicos. Em resultado disto, os muçulmanos desistiram do estudo da ciência, matemática, medicina, e outras disciplinas reputadas de mundanas. Em vez disso, despendiam muito tempo a debater ensinamentos e interpretações islâmicos, jurisprudência islâmica e prática islâmica, o que levou à rutura da Umma e à fundação de numerosas seitas, cultos e escolas.»¹

Na Europa, todavia, estava a esboçar-se um grande despertar. O comércio trouxe ideias frescas, revolucionárias, aceleradas pela imprensa de Gutenberg. O poder da Igreja começou a enfraquecer depois de um milénio de domínio. As universidades desviaram lentamente a sua atenção da interpretação de obscuras passagens da Bíblia para a aplicação da física de Newton e da química de Dalton e outros. O historiador Paul Kennedy, de Yale, acrescenta mais um fator à ascensão meteórica da Europa: o constante estado de guerra entre potências europeias aproximadamente iguais, nenhuma das quais podia vir a dominar o continente. Os monarcas, constantemente em guerra uns com os outros, financiaram a ciência e a engenharia para promover as suas ambições territoriais. A ciência não era apenas um exercício académico, mas uma maneira de criar novas armas e novas avenidas de riqueza.

Bem cedo, a ascensão da ciência e da tecnologia na Europa começou a enfraquecer o poderio da China e do Império Otomano. A civilização muçulmana, que tinha prosperado durante séculos como porta de entrada do comércio entre o Oriente e o Ocidente, esmoreceu quando os velejadores europeus descobriram rotas de comércio para o Novo Mundo e o Oriente — em especial em volta de África, evitando o Médio Oriente. E a China viu-se retalhada por navios de guerra europeus que ironicamente exploravam duas das suas importantes invenções, a pólvora e a bússola. A resposta à pergunta «O que aconteceu?» é clara. Aconteceram a ciência e a tecnologia.

A ciência e a tecnologia são os motores da prosperidade. É claro que somos livres de ignorar a ciência e a tecnologia, mas só por nossa conta e risco. O mundo não fica parado porque estamos a ler um texto religioso. Se não dominarmos os últimos desenvolvimentos da ciência e da tecnologia, os nossos competidores fá-lo-ão.

1. Domínio das Quatro Forças

Todavia, precisamente, como é que a Europa, o cavalo desconhecido, ultrapassou subitamente a China e o mundo muçulmano depois de séculos de ignorância? Há fatores tanto sociais como tecnológicos nesta notável reviravolta.

Quando analisamos a História depois de 1500, percebemos que a Europa estava madura para o grande avanço que se seguiria, com

o declínio do feudalismo, a ascensão de uma classe mercantil e os ventos vibrantes do Renascimento. Os físicos, todavia, veem essa grande transição através da lente das quatro forças fundamentais que governam o universo. São essas forças fundamentais que podem explicar tudo à nossa volta, desde máquinas, foguetões e bombas às estrelas e ao próprio universo. Tendências sociais em mutação podem ter preparado o palco para esta transição, mas foi o domínio dessas forças na Europa que finalmente a impulsionou para a primeira linha das potências mundiais.

A primeira força é a gravidade que nos mantém presos ao chão, impede o sol de explodir e mantém íntegro o sistema solar. A segunda é a força eletromagnética, que ilumina as nossas cidades, fornece energia aos nossos dínamos e motores, e abastece os nossos *lasers* e computadores. A terceira e a quarta forças são as forças nucleares fraca e forte, que mantêm inteiro o núcleo dos átomos, iluminam as estrelas nos céus, e criam o fogo nuclear no centro do nosso sol. Todas as quatro forças foram descobertas na Europa.

De cada vez que uma dessas forças foi compreendida pelos físicos, a história da humanidade mudou, e a Europa estava idealmente adaptada para explorar o novo conhecimento. Quando Isaac Newton viu cair uma maçã e olhou para a Lua, fez a si próprio uma pergunta que mudou para sempre a história humana: Se uma maçã cai, então a Lua também cai? Numa brilhante intuição quando tinha vinte e três anos, percebeu que as forças que sustentam a maçã são as mesmas que interagem com os planetas e cometas nos céus. Isto permitiu-lhe aplicar a nova matemática que acabara

de inventar, o cálculo, para traçar a trajetória dos planetas e luas e, pela primeira vez, decodificar os movimentos celestes. Em 1687, publicou a sua obra-prima, *Principia*, indiscutivelmente o mais importante livro de ciência alguma vez escrito, alinhando entre os livros mais influentes de toda a história humana.

Mais importante, Newton introduziu uma nova maneira de pensar, uma mecânica com que se pode computar o movimento de corpos móveis por meio de forças. Não mais estávamos sujeitos aos caprichos de espíritos, demónios e fantasmas; em vez disso, os objetos moviam-se por causa de forças bem definidas que podiam ser medidas e disciplinadas. Isso levou à mecânica newtoniana, com que os cientistas podiam prever com precisão o comportamento de máquinas; e, por seu turno, preparou o caminho para a máquina a vapor e a locomotiva. A intrincada dinâmica de complexas máquinas a vapor pôde ser decomposta sistematicamente, parafuso por parafuso, alavanca por alavanca, pelas leis de Newton. Portanto, a descrição que Newton fez da gravidade ajudou a preparar o caminho para a Revolução Industrial na Europa.

Mais tarde, na década de 1800, novamente na Europa, Michael Faraday, James Clerk Maxwell e outros dominaram a segunda grande força, o eletromagnetismo, que abriu a porta à revolução seguinte. Quando Thomas Edison construiu geradores na Pearl Street Station, na baixa de Manhattan, e eletrificou a primeira rua na Terra, abriu a porta para a eletrificação de todo o planeta. Hoje, do espaço, podemos ver a Terra à noite, com continentes inteiros a brilhar. Contemplando a Terra a partir do espaço, qualquer alienígena perceberia imediatamente que os terráqueos tinham

dominado o eletromagnetismo. Apreciamos bem a nossa dependência do eletromagnetismo sempre que há um apagão. Num instante, somos subitamente atirados 100 anos para o passado, sem cartões de crédito, computadores, luzes, elevadores, TV, rádio, Internet, motores, etc.

Por fim, as forças nucleares, também dominadas por cientistas europeus, estão a mudar tudo à nossa volta. Não somente podemos desvendar os segredos dos céus, revelando a fonte de energia que põe as estrelas em fogo, mas podemos também revelar o espaço interior, usando esse conhecimento na medicina através dos exames com IRM, TAC e TEP, a radioterapia e a medicina nuclear. Porque governam a imensa energia armazenada no interior do átomo, as forças nucleares podem em último caso determinar o destino da humanidade, se prosperaremos por dominarmos o ilimitado poder da fusão ou se morreremos num inferno nuclear.

2. Futuros Próximo (Até 2030)

2.1 Quatro Fases da Tecnologia

A combinação de condições sociais em mudança e domínio das quatro forças impulsionou a Europa para a primeira linha das nações. Ora as tecnologias são dinâmicas, mudando constantemente. Nascem, evoluem, ascendem e caem. Para perceber como tecnologias específicas mudarão no futuro próximo, é útil ver como as tecnologias obedecem a certas leis de evolução.

As tecnologias de massa envolvem normalmente quatro fases básicas. Isto pode ser visto na evolução do papel, da água corrente, da eletricidade e dos computadores. Na fase I, os produtos da tecnologia são tão preciosos que são guardados ciosamente. O papel, quando foi inventado sob a forma de papiro pelos antigos egípcios e depois pelos chineses há milhares de anos, era tão precioso que um rolo de papiro era guardado ciosamente por um grande número de sacerdotes. Esta humilde tecnologia ajudou a pôr em marcha a antiga civilização.

O papel entrou na fase II cerca de 1450, quando Gutenberg inventou a impressão com tipos móveis. Isto tornou possível o «livro pessoal» de tal modo que uma pessoa podia possuir um livro contendo o conhecimento de centenas de rolos de pergaminho. Antes de Gutenberg, havia apenas 30 000 livros em toda a Europa. Em 1500, havia 9 milhões de livros, atijando um intenso fermento intelectual e estimulando o Renascimento.

Por volta de 1930, o papel chegou à fase III, quando o custo caiu para um cêntimo por folha. Isto tornou possível a biblioteca pessoal, um indivíduo possuindo centenas de livros. O papel tornou-se um bem de consumo vulgar, vendido à tonelada. O papel está por todo o lado e em lado nenhum, invisível e ubíquo. Agora estamos na fase IV, em que o papel é uma declaração de moda. Decoramos o nosso mundo com papel de todas as cores, formas e tamanhos. A maior fonte de lixo urbano é o papel. De modo que o papel evoluiu de um bem de consumo guardado ciosamente para lixo.

O mesmo se aplica à água corrente. Em tempos antigos, na fase I, a água era tão preciosa que um único poço tinha de ser partilhado por uma aldeia inteira. Isto durou milhares de anos, até aos primeiros anos de 1900, quando a canalização foi gradualmente introduzida e se entrou na fase II. Depois da Segunda Guerra Mundial, a água corrente entrou na fase III e tornou-se barata e ao alcance de uma classe média em expansão. Hoje, a água corrente está na fase IV, uma declaração de moda, aparecendo em numerosas formas, tamanhos e aplicações. Decoramos o nosso mundo com água, sob a forma de fontes e repuxos.

A eletricidade também passou pelas mesmas fases. Com o trabalho pioneiro de Thomas Edison e outros, na fase I uma fábrica partilhava uma única lâmpada e um único motor elétrico. Depois da Primeira Guerra Mundial, entrámos na fase II com a lâmpada pessoal e o motor pessoal. Hoje, a eletricidade desapareceu; está por toda a parte e em parte alguma. Até a palavra «eletricidade» quase desapareceu. No Natal, usamos centenas de lâmpadas a piscar para decorar as nossas casas. Assumimos que a eletricidade está oculta nas paredes, ubíqua. A eletricidade é uma declaração de moda, iluminando a Broadway e decorando o nosso mundo.

Na fase IV, tanto a eletricidade como a água corrente se tornaram serviços públicos. São tão baratas, e consumimo-las em tal quantidade que temos um contador que mede a porção de eletricidade e de água que fluem em nossas casas.

O computador segue o mesmo padrão. As empresas que o compreenderam vicejaram e prosperaram. As empresas que o não

compreenderam foram quase levadas à bancarrota. A IBM dominou a fase I com o computador de grande porte na década de 1950. Um computador de grande porte era tão precioso que era partilhado por 100 cientistas e engenheiros. Todavia, a administração da IBM não foi sensível à lei de Moore, de modo que a IBM quase ficou na bancarrota quando entrámos na fase II, na década de 1980, com a chegada do computador pessoal.

No entanto, até os fabricantes de computadores pessoais se tornaram complacentes. Tinham a visão de um mundo de computadores autónomos, um em cada secretária. Foram apanhados desprevenidos com a chegada da fase III, computadores ligados pela Internet com os quais se pode interagir com milhões de computadores. Hoje, o único sítio onde se pode encontrar um computador isolado, sem estar em rede, é num museu.

Desta forma o futuro do computador acabará por entrar na fase IV, onde desaparecerá e será ressuscitado como declaração de moda. Decoraremos o nosso mundo com computadores. A própria palavra *computador* desaparecerá gradualmente da nossa língua. No futuro, os maiores componentes do lixo urbano não serão papéis, mas sim *chips*. O futuro do computador é desaparecer e tornar-se um serviço público, vendido como a eletricidade e a água. Os *chips* de computador desaparecerão gradualmente à medida que a computação seja feita «nas nuvens».

Portanto, a evolução dos computadores não é um mistério; está a seguir o caminho bem batido dos seus predecessores, como a eletricidade, o papel e a água.

Ora o computador e a Internet ainda estão em evolução. O economista John Steele Gordon foi questionado se teria chegado ao fim esta revolução. «Céus, não. Passarão cem anos até ser completamente posto de lado, exatamente como a máquina a vapor. Estamos agora com a Internet no ponto em que eles estavam com o caminho-de-ferro em 1850. É apenas o começo.»²

Nem todas as tecnologias, devemos salientar, entram nas fases III e IV. Por exemplo, considere-se a locomotiva. O transporte mecanizado entrou na fase I no princípio da década de 1800 com a chegada da locomotiva a vapor. Cem pessoas partilhavam uma única locomotiva. Entrámos na fase II com a introdução da «locomotiva pessoal», conhecida por automóvel, no começo da década de 1900. Todavia, a locomotiva e o automóvel (essencialmente uma caixa em cima de carris ou rodas) não mudaram muito nas passadas décadas. O que mudou foram os refinamentos, tais como motores mais potentes e mais eficientes bem como a inteligência. De modo que as tecnologias que não podem entrar nas fases III e IV serão embelezadas; por exemplo, terão *chips* para que se tornem inteligentes. Algumas tecnologias evoluem até à fase IV, como a eletricidade, os computadores, o papel e a água. Outras ficam emperradas numa fase intermédia, mas continuam a evoluir por terem melhorias incrementais como *chips* e eficiência acrescida.

2.2 Porquê Bolhas e Derrocadas?

Hoje, no entanto, na esteira da grande recessão de 2008, algumas vozes podem ser ouvidas dizendo que todo este progresso

era uma ilusão, que temos de regressar aos dias mais simples, que há algo fundamentalmente errado com o sistema.

Quando adotamos a visão longa da História, é fácil apontar para o inesperado, com bolhas e derrocadas colossais que parecem brotar do nada. Parecem aleatórias, um subproduto da inconstância do destino e da loucura humana. Historiadores e economistas escreveram amplamente sobre a derrocada económica de 2008, tentando encontrar um sentido nela através do exame de uma variedade de causas, tais como a natureza humana, a ganância, a falta de regulação, a fraqueza da fiscalização, etc.

Todavia, tenho uma maneira diferente de ver a grande recessão, olhando através da lente da ciência. No longo prazo, a ciência é o motor da prosperidade. Por exemplo, The Oxford Encyclopedia of Economic History cita estudos que «atribuem 90% do crescimento do rendimento em Inglaterra e nos Estados Unidos depois de 1780 à inovação tecnológica, e não à mera acumulação de capital.»³

Sem a ciência, recuaríamos milénios para um passado obscuro. Ora a ciência não é uniforme; vem por vagas. Uma descoberta seminal (por exemplo, a máquina a vapor, a lâmpada, o transístor) causa frequentemente uma cascata de invenções secundárias que depois criam uma avalanche de inovação e progresso. Dado que criam vastas quantidades de riqueza, essas vagas devem refletir-se na economia.

A primeira grande vaga foi a energia do vapor, que acabou por levar à criação da locomotiva. A energia do vapor alimentou a Revolução Industrial, que alterou radicalmente a sociedade, e criou uma riqueza fabulosa. Porém, no capitalismo, a riqueza nunca fica estagnada. A riqueza tem de ir para algum lado. Os capitalistas estão incessantemente à caça da próxima oportunidade, e deslocam essa riqueza para investir em esquemas ainda mais especulativos, por vezes com resultados catastróficos.

No princípio da década de 1800, grande parte da riqueza gerada pela energia do vapor e pela Revolução Industrial foi para ações de caminhos-de-ferro na Bolsa de Valores de Londres. De facto, começou a formar-se uma bolha, com grande quantidade de empresas de caminhos-de-ferro a aparecer na Bolsa de Londres. Virginia Postrel, colunista de economia do *New York Times*, escreve: «Um século atrás, as empresas de caminhos-de-ferro eram responsáveis por metade dos títulos inscritos na Bolsa de Valores de Nova Iorque.»⁴ Dado que o caminho-de-ferro ainda estava na infância, esta bolha era insustentável e finalmente rebentou, criando a Derrocada de 1850, um dos maiores colapsos da história do capitalismo. Este colapso foi seguido de uma série de miniderrocadas que ocorreram em quase todas as décadas, criadas pelo excesso de riqueza gerado pela Revolução Industrial.

Há nisto uma ironia: o apogeu dos caminhos-de-ferro seria nas décadas de 1880 e 1890. De modo que a Derrocada de 1850 foi devida à febre especulativa e à riqueza criada pela ciência, mas o verdadeiro trabalho de prover o mundo de carris levaria muitos mais anos a completar-se.

Thomas Friedman escreve: «No século XIX, a América teve uma explosão de caminhos-de-ferro, bolha e falência... No entanto, mesmo quando essa bolha rebentou, deixou a América com uma infraestrutura de linhas de caminho-de-ferro que tornou as viagens transcontinentais espetacularmente mais fáceis e mais baratas.»⁵

Em vez de os capitalistas aprenderem esta lição, este ciclo começou a repetir-se pouco depois. Uma segunda grande vaga de tecnologia espalhou-se, liderada pela revolução elétrica e pela do automóvel de Edison e Ford. A eletrificação das fábricas e residências, bem como a proliferação do modelo T, criou novamente uma riqueza fabulosa. Como sempre, a riqueza excedentária tinha de ir para algum lado. Neste caso, foi para a Bolsa de Valores Americana, sob a forma de uma bolha em ações de serviços públicos e do sector automóvel. As pessoas ignoraram a lição da Derrocada de 1850, dado que tinha acontecido oitenta anos antes, num passado esquecido. De 1900 a 1925, o número de novas empresas do sector automóvel chegou a 3000⁶, simplesmente mais do que o mercado podia suportar. Uma vez mais, esta bolha era insustentável. Por esta e outras razões, a bolha estoirou em 1929, criando a Grande Depressão.

A ironia aqui é, todavia, que a pavimentação de estradas e a eletrificação da América e da Europa não ocorreriam senão depois da derrocada, durante as décadas de 1950 e 1960.

Mais recentemente, tivemos a terceira grande vaga de ciência, a chegada da alta tecnologia, sob a forma de computadores, *lasers*, satélites espaciais, Internet e eletrónica. A fabulosa riqueza criada

pela alta tecnologia tinha de ir para algum lado. Neste caso, foi para o imobiliário, criando uma enorme bolha. Com o valor do imobiliário a fazer explodir o telhado, as pessoas começaram a pedir empréstimos dando como garantia o valor das suas casas, usando-as como mealheiros, o que acelerou ainda mais a bolha. Banqueiros pouco escrupulosos alimentaram-na, distribuindo hipotecas sobre habitação como se fosse água. Uma vez mais, as pessoas ignoraram a lição das derrocadas de 1850 e 1929, que tinham ocorrido 160 e 80 anos antes. Por fim, essa nova bolha não podia ser sustentada e tivemos a derrocada de 2008 e a grande recessão.

Thomas Friedman escreve: «O princípio do século XXI assistiu a uma explosão, uma bolha e agora uma falência em torno dos serviços financeiros. Receio que tudo o que vai deixar para trás seja um monte de condomínios vazios na Florida que nunca deviam ter sido construídos, jatos privados usados que os ricos já não podem permitir-se utilizar, e os contratos de derivados feitos letra morta que ninguém é capaz de compreender.»⁷

Não obstante toda a tolice que acompanhou a recente derrocada, a ironia aqui é que a cablagem e ligação em rede do mundo ocorrerá depois da derrocada de 2008. O apogeu da revolução da informação ainda está para vir.

Isto leva à pergunta que se segue: Qual é a quarta vaga? Ninguém pode ter a certeza. Pode ser uma combinação de inteligência artificial, nanotecnologia, telecomunicações e biotecnologia. Tal como nos ciclos anteriores, pode levar outros oitenta anos até que essas tecnologias criem uma vaga de fundo de

fabulosa riqueza. Perto do ano de 2090, esperemos que as pessoas não ignorem a lição dos oitenta anos anteriores.

3. Meados do Século (2030 A 2070)

3.1 Ganhadores e Perdedores: Empregos

No entanto, as tecnologias, quando evoluem, criam alterações abruptas na economia que por vezes levam a agitações sociais. Em qualquer revolução, há ganhadores e perdedores. Isto ficará mais evidente lá para meados do século. Já não temos ferreiros e construtores de carroças em cada aldeia. Mais ainda, não choramos o desaparecimento de muitos desses empregos. Ora a questão é: que empregos florescerão por meados do século? A evolução da tecnologia irá alterar a maneira como trabalhamos?

Podemos determinar parcialmente a resposta fazendo uma simples pergunta: Quais são as limitações dos robôs? Como vimos, há pelo menos dois importantes obstáculos básicos à inteligência artificial: o reconhecimento de padrões e o senso comum. Por conseguinte, os empregos que sobreviverão no futuro são, principalmente, os que os robôs não conseguem executar — os que requerem essas duas aptidões.

Entre os operários, os perdedores serão os que executam tarefas puramente repetitivas (como os trabalhadores das cadeias de montagem de automóveis) porque os robôs são excelentes nisso. Os computadores dão a ilusão de que possuem inteligência, mas

apenas porque podem fazer cálculos milhões de vezes mais depressa do que nós. Esquecemos que os computadores são apenas máquinas de somar sofisticadas, e que o trabalho repetitivo é o que melhor fazem. Foi por isso que alguns trabalhadores de linhas de montagem de automóveis foram os primeiros a sofrer com a revolução informática. Isto significa que qualquer trabalho fabril que possa ser reduzido a um conjunto de movimentos repetitivos registados num roteiro acabará por desaparecer.

Surpreendentemente, há uma grande classe de operários que sobreviverá à revolução computacional e até prosperará. Os ganhadores serão os que executam tarefas não repetitivas que exigem reconhecimento de padrões. Os que recolhem o lixo, agentes da polícia, trabalhadores na construção, jardineiros e canalizadores, todos terão empregos no futuro. Os que recolhem o lixo, para apanharem o lixo em diferentes casas e apartamentos, têm de reconhecer os sacos do lixo, colocá-los no camião, e levá-los para o depósito do lixo. Porém, cada tipo de lixo requer um método diferente de eliminação. Para os trabalhadores na construção, cada tarefa requer diferentes ferramentas, planos e instruções. Não há duas obras nem duas tarefas que sejam idênticas. Os agentes da polícia têm de analisar uma variedade de crimes em diferentes situações. Além disso, têm de compreender os motivos e métodos dos criminosos, coisas que estão muito para além da capacidade de qualquer computador. Similarmente, cada jardim e cada esgoto é distinto do outro, requerendo diferentes aptidões e ferramentas do canalizador.

Entre os trabalhadores de escritório, os perdedores serão os envolvidos em trabalhos de intermediário, fazendo inventários e «contando feijões». Isto significa que empregados do nível inferior, corretores, caixas, contabilistas, etc., ficarão crescentemente sem trabalho à medida que os seus empregos desaparecerem. Esses empregos são chamados «o atrito do capitalismo». Neste momento, já se pode comprar um bilhete de avião pesquisando a web à procura dos melhores preços, passando por cima de um agente de viagens.

A Merrill Lynch, por exemplo, é famosa por ter afirmado que nunca adotaria o comércio de ações *online*. Faria sempre as transações de ações à velha maneira. John Steffens, o chefe dos corretores da Merrill, disse: «O modelo de investimento “faça você mesmo”, centrado no comércio pela Internet, deveria ser olhado como uma ameaça séria às vidas financeiras da América.»⁸ Por conseguinte, foi humilhante quando foi finalmente obrigada pelas forças do mercado a adotar o comércio *online* em 1999. «Raramente na História se sentiu o líder de uma indústria obrigado a fazer uma reviravolta e, virtualmente de um dia para o outro, adotar o que é essencialmente um novo modelo de negócios», escreveu Charles Gasparino das notícias ZDNet.⁹

Isto significa também que a pirâmide empresarial será comprimida. Dado que as pessoas do mais alto topo podem interagir diretamente com a força de vendas e representantes no terreno, há menos necessidade de intermediários para levar as ordens do topo. De facto, tais reduções de empregos ocorreram

quando o computador pessoal entrou pela primeira vez no escritório.

Portanto, os intermediários sobreviverão no futuro? Terão de adicionar valor ao seu trabalho e fornecer um bem de consumo que os robôs não podem providenciar: senso comum.

Por exemplo, no futuro, poderemos comprar uma casa na Internet usando o nosso relógio ou a nossa lente de contato. No entanto, ninguém vai comprar uma casa dessa maneira, dado que esta é uma das mais importantes transações financeiras que fará na vida. Para compras importantes como uma casa, queremos falar com um ser humano que nos possa dizer onde são as boas escolas, onde é baixa a taxa de criminalidade, como funciona o sistema de esgotos, etc. Para isso, quereremos falar com um agente habilitado que acrescenta valor.

Do mesmo modo, os corretores de nível inferior estão a ficar sem trabalho por causa do comércio *online*, mas os corretores da bolsa que dão conselhos fundamentados e sensatos serão sempre procurados. Os empregos de corretagem continuarão a diminuir a menos que ofereçam serviços de valor acrescentado, como os conhecimentos dos analistas de mercado e economistas de topo e o conhecimento interno de corretores experimentados. Numa Era em que o comércio online reduz impiedosamente o custo das transações de ações, os corretores de bolsa só sobreviverão se puderem também pôr no mercado as suas qualidades intangíveis, como experiência, conhecimento e análise.

Portanto, entre os trabalhadores de escritório, os vencedores serão os que puderem providenciar um útil senso comum. Isto significa trabalhadores envolvidos em criatividade — arte, teatro, humor, escrita de *software*, liderança, análise, ciência, criatividade — qualidades que nos «fazem humanos».

As pessoas das artes terão empregos, dado que a Internet tem um apetite insaciável por arte criativa. Os computadores são muito bons no que toca a duplicar a arte e ajudar os artistas a embelezar trabalhos artísticos, mas são miseráveis quanto a originar novas formas de arte. A arte inspira, intriga, evoca emoções e emocionamos para lá da capacidade de um computador, porque todas essas qualidades envolvem senso comum.

Romancistas, argumentistas e dramaturgos terão emprego, dado que têm de transmitir cenas realistas, conflitos, triunfos e derrotas humanos. Quanto aos computadores, a modelização da natureza humana, que envolve compreender motivos e intenções, está para além da sua capacidade. Os computadores não são bons a determinar o que nos faz rir ou chorar, dado que não podem chorar ou rir ou compreender o que é divertido ou triste.

As pessoas envolvidas em relações humanas, como os advogados, terão emprego.

Embora um robô advogado possa responder a perguntas rudimentares acerca da lei, a própria lei está constantemente a mudar, dependendo de normas sociais e de costumes que se

alteram. Em última análise, a interpretação da lei resume-se a um juízo de valor, coisa em que os computadores são deficientes. Se a lei fosse clara e concisa com interpretações bem definidas, não haveria necessidade de tribunais, juízes e júris. Um robô não pode substituir um júri, dado que os júris representam frequentemente os costumes de um grupo específico, que estão constantemente a alterar-se com o tempo. Isto ficou muito patente quando o juiz do Supremo Tribunal Potter Stewart teve uma vez de definir pornografia. Não conseguiu fazê-lo, mas concluiu: «Sei quando a vejo.»

Além disso, é provável que seja ilegal que os robôs substituam o nosso sistema de justiça, dado que as leis entesouraram um princípio fundamental: que os júris são constituídos por pessoas que são nossos pares. Dado que os robôs não podem ser nossos pares, será ilegal que substituam o nosso sistema de justiça.

Superficialmente, as leis podem parecer rigorosas e bem definidas, com uma redação precisa e rigorosa, com títulos e definições esotéricos, mas isto é só na aparência, dado que as interpretações dessas definições mudam constantemente. A Constituição dos EUA, por exemplo, parece ser um documento bem definido, e, todavia, o Supremo Tribunal está constantemente dividido relativamente a problemas controversos. Está sempre a reinterpretar cada palavra e cada frase da Constituição. A natureza mutável dos valores humanos pode ser vista olhando simplesmente para a História. Por exemplo, o Supremo Tribunal dos EUA decidiu, em 1857, que os escravos nunca se poderiam tornar cidadãos dos

Estados Unidos. Em certo sentido, uma guerra civil e milhares de mortos foram necessários para inverter essa decisão.

A liderança será também um bem valorizado no futuro. Em parte, a liderança consiste em avaliar toda a informação, pontos de vista e opções disponíveis e depois escolher a opção mais apropriada, compatível com certos objetivos. A liderança torna-se especialmente complicada porque trata de inspirar e providenciar orientação a trabalhadores humanos, que têm as suas próprias forças e fraquezas. Todos esses fatores requerem uma compreensão sofisticada da natureza humana, das forças do mercado, etc., que está para lá da capacidade de qualquer computador.

3.2 Futuro do Espetáculo

Isto também significa que indústrias inteiras, como a do espetáculo, estão a sofrer uma profunda convulsão. Por exemplo, a indústria musical foi desde tempos imemoriais baseada nos músicos que iam de cidade em cidade, fazendo apresentações pessoais. Os apresentadores de espetáculos estavam constantemente em movimento, montando o espetáculo num dia e passando depois para a povoação seguinte. Era uma vida dura, com parca compensação financeira. Este padrão antigo mudou abruptamente quando Thomas Edison inventou o fonógrafo e mudou para sempre a maneira como ouvimos música. De súbito, um cantor podia produzir discos vendidos aos milhões e receber rendimentos numa escala anteriormente inimaginável. No espaço de uma só geração, os cantores de *rock* tornar-se-iam os novos-ricos da sociedade. As

estrelas de *rock*, que poderiam ter sido modestos empregados de mesa na geração precedente, tornaram-se os ídolos venerados da sociedade jovem.

Infelizmente, a indústria musical ignorou as previsões dos cientistas que anteviram o dia em que a música seria enviada facilmente pela Internet, como o correio eletrónico. A indústria musical, em vez de lançar os alicerces para ganhar dinheiro vendendo *online*, tentou processar empresas em início de atividade que ofereciam música por uma fração do custo de um CD. Isto era como tentar empurrar o oceano para trás. Este descuido está a causar o presente tumulto na indústria musical.

(A coisa boa, no entanto, é que cantores desconhecidos podem agora subir ao topo, sem terem de enfrentar a censura efetiva das grandes empresas musicais. No passado, esses manda-chuvas da música quase podiam escolher quem seria a próxima estrela de *rock*. Portanto, no futuro, os músicos serão escolhidos mais democraticamente, através do envolvimento de forças de mercado e tecnologia livres para todos, em vez de o serem por executivos do negócio da música)

Os jornais estão também a enfrentar um dilema semelhante. Tradicionalmente, os jornais podiam contar com um fluxo regular de rendimento dos anunciantes, em especial na secção de anúncios classificados. Este fluxo de rendimento vinha não tanto da compra do próprio jornal, mas do rendimento publicitário que essas páginas geravam. Hoje, contudo, podemos descarregar as notícias do dia gratuitamente e anunciar numa variedade de sítios de anúncios de

procura e oferta. Consequentemente, os jornais por todo o país diminuem em dimensão e circulação.

Porém, este processo só continuará até certo ponto. Há tanto ruído na Internet, com pretensos profetas a arengar para a sua audiência e megalomaníacos a tentar impulsionar ideias bizarras, que as pessoas acabarão por acarinhar um novo bem: a sensatez. Factos aleatórios não se correlacionam com a sensatez, e no futuro as pessoas estarão cansadas da retórica dos bloguistas enfatuados e procurarão sítios respeitáveis que ofereçam esse raro bem da sensatez.

Como disse o economista Hamish McRae, «Na prática, o vasto volume desta “informação” é lixo, o equivalente intelectual do correio eletrónico indesejado.» E afirma «Um juízo correto continuará a ser altamente apreciado: os analistas financeiros de sucesso são, enquanto grupo, os investigadores mais bem pagos do mundo.»¹⁰

3.3 Matrix

Então e os atores de Hollywood? Em vez de se tornarem celebridades de bilheteira e tema de conversa de sociedade, será que os atores se vão ver na fila dos desempregados? Recentemente, tem havido um notável progresso nas animações computacionais do corpo humano, de tal modo que aparece como quase real. Os personagens animados têm agora características 3-D e sombra. De modo que virão os atores e atrizes a ficar obsoletos daqui a algum tempo?

Provavelmente não. Há problemas fundamentais na modelização do rosto humano no computador. Os humanos desenvolveram uma misteriosa capacidade de destrinçar os rostos uns dos outros, dado que a nossa sobrevivência depende disso. Num instante, tínhamos de dizer se uma pessoa era inimiga ou amiga. No espaço de segundos, tínhamos de determinar a idade, o sexo, a força e a emoção de uma pessoa. Os que não eram capazes de o fazer, simplesmente não sobreviviam para passar os seus genes à geração seguinte. Por isso, o cérebro humano dedica uma parte considerável da sua capacidade de processamento a ler os rostos dos seus pares. De facto, durante a maior parte da nossa história evolucionária, antes de aprendermos a falar, comunicávamos com gestos e linguagem corporal, e uma grande parte da nossa atividade cerebral era dedicada a observar subtis pistas faciais. Ora os computadores, que têm dificuldade em reconhecer objetos simples em seu redor, têm ainda mais dificuldade em recriar um rosto humano animado que seja realista. As crianças sabem imediatamente se o rosto que veem no ecrã de cinema é um ser humano verdadeiro ou uma simulação por computador. (Isto vem de trás, do Princípio de Homem das Cavernas. Dada uma escolha entre ver um filme de ação popular com o nosso ator favorito ou um filme de desenhos animados criado por computador, ainda preferimos o primeiro.)

O corpo, por contraste, é muito mais fácil de modelizar por computador. Quando Hollywood cria esses monstros realistas e figuras de fantasia nos filmes, usa um atalho. Um ator põe um fato justo à pele que tem sensores nas articulações. À medida que o ator se move ou dança os sensores enviam sinais para um computador

que então cria uma figura animada executando os movimentos exatos, como no filme *Avatar*.

Falei uma vez numa conferência promovida pelo Livermore National Laboratory, onde são desenhadas armas nucleares, e ao jantar sentei-me junto de alguém que tinha trabalhado no filme *Matrix*. Confessou que tinham tido de usar uma quantidade enorme de tempo de computador para criar os deslumbrantes efeitos especiais desse filme. Uma das cenas mais difíceis, disse, exigiu-lhes que reconstruíssem completamente uma cidade imaginária enquanto um helicóptero voava por cima dela. Com tempo de computador suficiente, disse, podia criar toda uma cidade de fantasia. Admitiu, no entanto, que modelizar um rosto humano realista estava para lá da sua capacidade. Isto acontece porque um feixe de luz, quando atinge o rosto humano, se dispersa em todas as direções, dependendo da textura deste último. Cada partícula de luz tem de ter a sua trajetória determinada pelo computador. Por isso, cada ponto da pele do rosto de uma pessoa tem de ser descrito por uma complexa função matemática, que é uma verdadeira dor de cabeça para um programador de computadores.

Observei que isso se parecia muitíssimo com a física de alta energia, a minha especialidade. Nos nossos aceleradores de partículas, criamos um potente feixe de prótons que bate contra um alvo, criando uma chuva de detritos que se dispersa em todas as direções. Introduzimos então uma função matemática (chamada fator de forma) que descreve cada partícula.

Meio a brincar, perguntei se havia alguma relação entre o rosto humano e a física de partículas de alta energia. Sim, respondeu ele. Os animadores de computadores usam o mesmo formalismo que é usado na física de alta energia para criar os rostos que vemos no ecrã de cinema! Nunca me tinha dado conta que as fórmulas obscuras que nós, os físicos teóricos, usamos poderiam um dia resolver o problema de modelizar o rosto humano. Portanto, o facto de podermos reconhecer o rosto humano é semelhante à maneira como nós, os físicos, analisamos partículas subatómicas!

4. Futuro Longínquo (2070 A 2100)

4.1 Impacto no Capitalismo

As novas tecnologias que temos vindo a discutir neste livro são tão potentes que, pelo fim do século, não podem deixar de ter um impacto no próprio capitalismo. As leis da oferta e da procura são as mesmas, mas a ascensão da ciência modificou o capitalismo de Adam Smith de muitas maneiras, desde a maneira como os bens são distribuídos à natureza da própria riqueza. Algumas das maneiras mais imediatas em que o capitalismo foi afetado são as seguintes:

- **Capitalismo perfeito** – O capitalismo de Adam Smith é baseado nas leis da oferta e da procura: os preços são fixados quando a oferta de um bem qualquer se equipara à procura. Se um objeto é raro e procurado, então o seu preço sobe. Porém, o consumidor e o produtor têm

apenas uma compreensão parcial, imperfeita, da oferta e procura, e por isso os preços podem variar amplamente de lugar para lugar. De modo que o capitalismo de Adam Smith era imperfeito. No entanto, isso mudará gradualmente no futuro.

«Capitalismo perfeito» é quando o produtor e o consumidor têm conhecimento infinito do mercado, de modo que os preços são perfeitamente determinados. Por exemplo, no futuro, os consumidores pesquisarão a Internet por meio das suas lentes de contato e terão um conhecimento infinito de todos os preços e desempenhos comparativos. Hoje já se pode pesquisar a Internet para encontrar as melhores tarifas aéreas. Isto acabará por se aplicar a todos os produtos vendidos no mundo. Seja através dos óculos, de ecrãs de parede, ou de telemóveis, os consumidores saberão tudo sobre um produto. Percorrendo um supermercado, por exemplo, o leitor pesquisará os vários produtos expostos e, por meio da Internet na sua lente de contato, avaliará imediatamente se o produto é ou não uma boa compra. A vantagem desloca-se para os consumidores, porque saberão tudo sobre um produto — a sua história, o seu registo de desempenho, o seu preço relativamente a outros, os seus pontos fortes e fracos.

O produtor também tem trunfos na manga, como usar prospeção de dados para compreender os desejos e necessidades do consumidor, e pesquisar a Internet em

busca de preços de mercadorias. Isto remove grande parte dos palpites no estabelecimento de preços. Todavia é principalmente o consumidor que tem vantagem, que tem instantaneamente um conhecimento comparativo de qualquer produto, e que pede imediatamente o preço mais barato. O produtor tem então de reagir à procura do consumidor que constantemente se altera.

- **Da produção em massa à personalização em massa**
 - No sistema atual, as mercadorias são criadas pela produção em massa. Henry Ford tem a fama de ter dito uma vez que o consumidor podia ter o Modelo T em qualquer cor, desde que fosse preto. A produção em massa baixou drasticamente os preços, substituindo o ineficiente sistema anterior de corporações e mercadorias manufaturadas. A revolução computacional alterará tudo isto.

Hoje, se uma cliente vê um vestido do estilo e cor perfeitos, mas do tamanho errado, então não há venda. Porém, no futuro, as nossas medidas exatas 3-D estarão guardadas no nosso cartão de crédito ou na nossa carteira. Se o vestido ou outra peça for do tamanho errado, mandaremos por correio eletrónico as nossas medidas para a fábrica e esta produzirá imediatamente um do tamanho certo. No futuro, tudo assentará bem.

Hoje, a personalização em massa não é prática, dado que é demasiado dispendioso criar um novo produto para

apenas um consumidor. No entanto, quando toda a gente estiver dependente da Internet, incluindo a fábrica, os objetos personalizados podem ser manufaturados ao mesmo preço que os itens produzidos em massa.

- **Tecnologia de massa como serviço público** – Quando as tecnologias são amplamente disseminadas, como aconteceu com a eletricidade e a água canalizada, acabam por se tornar serviços públicos. Com o capitalismo a baixar os preços e a aumentar a competitividade, essas tecnologias serão vendidas como serviços públicos, ou seja, não queremos saber de onde vêm e pagamo-los apenas quando os queremos. O mesmo se aplica à computação. A «Informática em nuvem», que assenta pesadamente na Internet para grande parte das funções computacionais, ganhará gradualmente popularidade. A informática em nuvem reduz a informática a um serviço público, algo que pagamos apenas quando necessitamos, e em que não pensamos quando não necessitamos.

Isto é diferente da situação de hoje, em que a maior parte de nós faz a sua datilografia, processamento de texto, ou desenho num computador de secretária ou portátil e depois se liga à Internet quando quer procurar informação. No futuro, poderemos gradualmente eliminar por completo o computador e aceder a toda a nossa informação diretamente na Internet, que depois nos cobra o tempo despendido. Portanto a informática

converte-se num serviço público que é contado, como a água e a eletricidade. Viveremos num mundo em que nos nossos eletrodomésticos, mobília, roupas, etc., serão inteligentes e falaremos com eles quando precisarmos de serviços específicos. Os ecrãs de Internet estarão escondidos por todo o lado, e os teclados materializar-se-ão sempre que precisarmos deles. A função terá substituído a forma, de modo que, ironicamente, a revolução informática acabará por fazer o próprio computador desaparecer nas nuvens.

Segmentando os clientes – Historicamente, as empresas punham os seus anúncios nos jornais, na rádio, na TV, etc., muitas vezes sem a menor ideia do impacto que tinham. Só podiam calcular a eficácia da sua campanha publicitária olhando para as variações de vendas. Porém, no futuro as empresas saberão quase imediatamente quantas pessoas descarregaram ou viram os seus produtos. Se uma pessoa for entrevistada num sítio de rádio da Internet, por exemplo, é possível determinar com precisão quantas pessoas ouviram. Isto permite às empresas a segmentação da sua audiência com especificações feitas por medida.

(Todavia, isto levanta outra questão: a questão sensível da privacidade, que será uma das grandes controvérsias do futuro. No passado, existiam preocupações de que o computador pudesse tornar possível o *Big Brother*. No romance de George Orwell. 1984, um regime totalitário domina a Terra, dando rédea solta a um futuro infernal em que os espiões estão por todo o lado, todas as liberdades são coartadas, e a vida é uma infindável série de

humilhações. Num dado ponto, a Internet podia ter evoluído para uma máquina de espiar desse tipo, infiltrando tudo. No entanto, em 1989, depois do desmoronamento do bloco soviético, a Fundação Nacional para a Ciência americana abriu-a efetivamente, convertendo-a, de um dispositivo primariamente militar, noutro que ligou em rede universidades e mesmo entidades comerciais, acabando por levar à explosão da Internet da década de 1990. Hoje, o *Big Brother* não é possível. O verdadeiro problema é o «pequeno irmão», ou seja, os intrometidos, pequenos criminosos, tabloides, e até empresas que usam a prospeção de dados para descobrir as nossas preferências pessoais. Como discutiremos no próximo capítulo, este é um problema que não desaparecerá, mas evoluirá com o tempo. É mais do que provável que haja um eterno jogo de gato e de rato entre programadores de computador a escrever programas para proteger a nossa privacidade e outros a escrever programas para violá-la.)

4.2 Do Capitalismo da Mercadoria ao Capitalismo Intelectual

Até agora, perguntámos apenas como está a tecnologia a alterar a maneira como o capitalismo opera. Com todo o turbilhão criado pelos avanços da alta tecnologia, que impacto tem na natureza do próprio capitalismo? Toda a agitação social que esta revolução está a criar pode ser resumida num único conceito: a transição do capitalismo da mercadoria para o capitalismo intelectual.

A riqueza, nos dias de Adam Smith, era medida em mercadoria. Os preços das mercadorias flutuam, mas, em média, têm estado a cair firmemente nos últimos 150 anos. Hoje, comemos um

pequeno-almoço que o rei de Inglaterra não podia ter comido há 100 anos. Manjares exóticos de todo o mundo são agora rotineiramente vendidos nos supermercados. A queda dos preços das mercadorias deve-se a uma variedade de fatores, como melhor produção de massa, contentorização, transporte, comunicação e competição.

(Por exemplo, os estudantes do ensino secundário de hoje têm muita dificuldade em perceber por que arriscou Colombo a vida e integridade física para encontrar uma rota comercial mais curta para as especiarias do Oriente. Por que não podia ir simplesmente ao supermercado, perguntam, e comprar um pouco de orégãos? Nos dias de Colombo, especiarias e plantas medicinais eram extremamente dispendiosas. Eram apreciadas porque podiam mascarar o sabor de alimentos meio apodrecidos, dado que nessa época não existiam frigoríficos. De tempos a tempos, até reis e imperadores tinham de comer ao jantar alimentos podres. Não havia camiões frigoríficos, contentores, nem navios para transportar especiarias através dos oceanos.) Por essas mercadorias serem tão valiosas é que Colombo pôs em jogo a sua vida para as obter, embora hoje se vendam por cêntimos.

O que está a substituir o capitalismo da mercadoria é o capitalismo intelectual. O capital intelectual envolve precisamente o que os robôs e a IA não podem providenciar, reconhecimento de padrões e senso comum.

Como disse Lester Thurow, economista do MIT: «Hoje, o conhecimento e as aptidões estão sozinhas como única fonte de

vantagem comparativa... Silicon Valley e Route 128 são onde são simplesmente porque é aí que está o poder do cérebro. Não têm mais nada a seu favor»¹¹

Por que está esta transição histórica a abanar os alicerces do capitalismo? Muito simplesmente, o cérebro humano não pode ser produzido em massa. Enquanto o *hardware* pode ser produzido em massa e vendido às toneladas, o cérebro humano não pode, significando isto que o senso comum será a moeda corrente do futuro. Diferentemente das mercadorias, para criar capital intelectual tem de se alimentar, cultivar e educar um ser humano, o que pede dezenas de anos de esforço individual.

Como diz Thurow: «Com tudo o resto a cair fora da equação competitiva, o conhecimento tornou-se a única fonte de vantagem competitiva sustentável no longo prazo.»¹²

Por exemplo, o *software* tornar-se-á gradualmente mais importante do que o *hardware*. Os *chips* de computador serão vendidos aos camiões à medida que o seu preço continuar a descer, mas o *software* tem de ser criado à maneira antiga, por um ser humano trabalhando com lápis e papel, calmamente sentado numa cadeira. Por exemplo, os ficheiros armazenados no seu portátil, que podem conter valiosos planos, manuscritos e dados, podem valer centenas de milhares de dólares, mas o próprio portátil vale apenas poucas centenas. Sem dúvida, o *software* pode ser facilmente copiado e produzido em massa, mas a criação de novo *software* não pode. Requer o pensamento humano.

Segundo o economista britânico Hamish McRae, «em 1991 a Grã-Bretanha passou a ser o primeiro país a ganhar mais com exportações de invisíveis (serviços) do que com as de visíveis.»¹³

Enquanto a quota-parte da economia dos EUA proveniente da manufatura declinou dramaticamente com o passar das décadas, o sector que envolve capitalismo intelectual (filmes de Hollywood, indústria musical, jogos de vídeo, computadores, telecomunicações, etc.) subiu em flecha. Esta deslocação do capitalismo da mercadoria para o capitalismo intelectual é gradual, começando no século passado, mas está a acelerar a cada década que passa. Thurow, o economista do MIT, escreve, «Depois de corrigidos relativamente à inflação geral, os preços dos recursos naturais caíram quase 60% de meados da década de 1970 a meados da década de 1990.»¹⁴

Algumas nações compreendem isto. Considere-se a lição do Japão na Era do pós-guerra. O Japão não tem grandes recursos naturais, e, todavia, a sua economia está entre as maiores do mundo. A riqueza do Japão é hoje uma prova do zelo e unidade do seu povo, mais do que da riqueza debaixo dos seus pés.

Infelizmente, muitas nações não entendem este facto fundamental e não preparam os seus cidadãos para o futuro e, em vez disso, fiam-se principalmente nas mercadorias. Isto significa que nações que são ricas em recursos naturais e não compreendem este princípio podem, no futuro, vir a mergulhar na pobreza.

4.3 Fosso Digital?

Algumas vozes desacreditam a revolução da informação, afirmando que teremos um abismo cada vez maior entre os «digitalmente ricos» e os «digitalmente pobres», ou seja, os que têm acesso a computadores e os que não têm. Esta revolução, clamam, alargará as linhas de clivagem da sociedade, abrindo novas disparidades de riqueza e desigualdades que podem despedaçar a estrutura da sociedade.

Esta é, contudo, uma visão estreita do verdadeiro problema. Com o poder computacional a duplicar a cada dezoito meses, até as crianças pobres estão a ganhar acesso a computadores. Pressão dos pares e preços baratos têm encorajado o uso de computadores e da Internet entre as crianças pobres. Num caso experimental, foram doados fundos para comprar um portátil para cada sala de aula. Apesar das boas intenções, o programa foi amplamente visto como um fracasso. Primeiro, o portátil ficava habitualmente não utilizado a um canto, porque era frequente que o professor não soubesse como usá-lo. Segundo, a maior parte dos estudantes estava já *online* com os amigos e simplesmente ignorava o portátil da sala de aulas.

O problema não é o acesso. Os empregos são o verdadeiro problema. O mercado de trabalho está a passar por uma alteração histórica, e as nações que prosperarão no futuro são as que estão a tirar vantagem disso.

Para as nações em desenvolvimento, uma estratégia possível é usar mercadorias para construir um alicerce sólido, e depois usar esse alicerce como degrau para fazer a transição para o capitalismo intelectual. A China, por exemplo, tem estado a adotar com sucesso este processo em dois passos: os chineses estão a construir milhares de fábricas que produzem bens para o mercado mundial, mas estão a usar os lucros para criar um grande sector de serviços assente em capitalismo intelectual. Nos Estados Unidos, 50% dos estudantes de doutoramento nasceram no estrangeiro (em grande medida porque os Estados Unidos não produzem um número suficiente de estudantes qualificados do seu país). Desses estudantes de doutoramento nascidos no estrangeiro, a maior parte são da Índia e da China. Alguns desses estudantes regressaram à sua terra natal para criar indústrias inteiramente novas.

4.4 Empregos Não Qualificados

Os empregos não qualificados serão a perda desta transição. Cada século tem introduzido novas tecnologias que criaram agitações bruscas na economia e na vida das pessoas. Por exemplo, em 1850, 65% da força de trabalho americana empregava-se na agricultura. (Hoje, só 2,4% o faz). O mesmo será verdade neste século.

Nas décadas de 1800, novas vagas de imigrantes fluíram para os Estados Unidos, onde a economia estava a crescer suficientemente depressa para os assimilar. Em Nova Iorque, por exemplo, os imigrantes podiam encontrar trabalho na indústria de vestuário ou indústria ligeira. Independentemente do nível de

educação, qualquer trabalhador com vontade de cumprir um dia de trabalho honesto podia encontrar alguma coisa para fazer numa economia em expansão. Era como uma correia de transmissão que pegava em imigrantes de bairros pobres da Europa e os atirava para a próspera classe média da América.

O economista James Grant disse: «A prolongada migração de mãos e mentes do campo para a fábrica, escritório e sala de aulas é tudo crescimento da produtividade... O progresso tecnológico é o baluarte da economia moderna. Além do mais, isto tem sido verdade na maior parte dos últimos 200 anos.»¹⁵

Hoje, muitos desses empregos não qualificados desapareceram. Além disso, a natureza da economia mudou. Muitos empregos não qualificados foram deslocalizados para países estrangeiros por empresas à procura de salários mais baixos. O antigo emprego de operário fabril desapareceu há muito.

Há muita ironia nisto. Durante anos, muita gente pediu condições de concorrência equitativas, sem favoritismo nem discriminação. Porém, se os empregos podem ser exportados premindo um botão, as condições de concorrência equitativas estendem-se agora à China e à Índia. De modo que os empregos não qualificados que costumavam atuar como correias de transmissão para acesso à classe média podem agora ser exportados para outras partes do mundo. Isto é ótimo para os trabalhadores nessas partes do mundo, dado que podem beneficiar das condições de concorrência equitativas, mas pode ser a causa para a desertificação de cidades do interior dos Estados Unidos.

O consumidor também beneficia com isto. Produtos e serviços vão ficando mais baratos e a produção e distribuição mais eficientes se existir competição global. Tentar simplesmente manter negócios obsoletos e empregos excessivamente bem pagos cria complacência, desperdício e ineficiência. Subsidiar indústrias débeis apenas prolonga o inevitável, adia o sofrimento do colapso e, de facto, piora as coisas.

Há outra ironia. Muitos empregos especializados, com altos salários, do sector de serviços ficam por preencher por falta de candidatos qualificados. Frequentemente, o sistema educativo não produz trabalhadores especializados em número suficiente, de modo que as empresas têm de se contentar com uma força de trabalho de menor nível de instrução. As empresas andam a pedir trabalhadores especializados que o sistema educativo muitas vezes não produz. Mesmo numa economia deprimida, há empregos para trabalhadores especializados que ficam vagos.

No entanto, uma coisa é clara. Numa economia pós-industrial, muitos dos velhos empregos de operário desapareceram de vez. Ao longo dos anos, os economistas têm brincado com a ideia de «reindustrializar a América», até perceberem que não se pode fazer andar para trás os ponteiros do relógio. Os Estados Unidos e a Europa passaram pela transição de uma economia largamente industrial para uma economia de serviços há dezenas de anos, e esta deslocação histórica não pode ser invertida. O apogeu da industrialização passou, para sempre.

Em vez disso, têm sido feitos esforços para reorientar e reinvestir nesses sectores que maximizam o capitalismo intelectual. Esta será uma das mais difíceis tarefas dos governos no século XXI, sem quaisquer soluções rápidas e fáceis. Por um lado, isso significa uma importante revisão em profundidade do sistema educativo, de modo a que os trabalhadores possam voltar à formação e também que os estudantes não saiam do liceu para entrar nas fileiras de desempregados. O capitalismo intelectual não significa empregos apenas para os programadores de *software* e cientistas, mas sim num largo espectro de atividades que envolvem criatividade, aptidões artísticas, inovação, liderança e análise — ou seja, senso comum. A força de trabalho tem de ser educada para ir ao encontro dos desafios do século XXI, não para os evitar. Em particular, os currículos científicos têm de ser profundamente reformados e os professores têm de voltar a ser formados para passarem a ser relevantes para a sociedade do futuro. (É triste que exista na América a velha expressão «Os que são capazes, fazem. Os que não são, ensinam.»)

Como disse o economista do MIT Lester Thurow, «O sucesso ou insucesso depende do facto de um país estar a fazer com sucesso uma transição para as indústrias de capacidade mental humana do futuro — não da dimensão de qualquer sector particular.»¹⁶

Isto significa criar uma nova vaga de empresários inovadores que imaginarão novas indústrias e nova riqueza a partir dessas inovações tecnológicas. A energia e vitalidade dessas pessoas devem ser libertadas. Deve permitir-se que injetem nova liderança no mercado.

4.5 Ganhadores e Perdedores: Nações

Infelizmente, muitos países não estão a tomar este caminho, fiando-se exclusivamente no capitalismo da mercadoria. Porém, dado que os preços das mercadorias, em média, têm estado a descer nos últimos 150 anos, as suas economias acabarão por se contrair com o tempo, à medida que o mundo os for ignorando.

Este processo não é inevitável. Olhe-se para os exemplos da Alemanha e do Japão em 1945, com a totalidade das suas populações perto de morrer de fome, as cidades em ruínas, e os governos desfeitos. Numa geração, foram capazes de marchar até à primeira linha da economia mundial. Olhe-se para a China de hoje, com a sua taxa de crescimento galopante de 8% a 10% ao ano, invertendo 500 anos de declínio económico. Em tempos escarnecida como o «doente da Ásia», com mais uma geração juntar-se-á à fileira das nações desenvolvidas.

O que distingue essas três sociedades é que cada uma era coesa como nação, tinha cidadãos que trabalhavam arduamente, e fabricava produtos que o mundo corria a comprar. Essas nações punham a ênfase na educação, na unificação do seu país e povo, e no desenvolvimento económico.

Como escreve o economista e jornalista britânico McRae: «Os velhos motores do crescimento — terra, capital, recursos naturais — já não importam. A terra importa pouco porque a subida do rendimento da agricultura tornou possível, no mundo industrial, produzir muito mais alimentos do que os necessários. O capital já

não importa porque está, por um certo preço, quase infinitamente disponível nos mercados internacionais para projetos geradores de rendimento... Esses ativos quantitativos, que tradicionalmente fizeram ricos os países, estão a ser substituídos por uma série de traços qualitativos, que se resumem à qualidade, organização, motivação e autodisciplina das pessoas que neles vivem. Isto é corroborado olhando para a maneira como o nível de aptidões humanas se está a tornar mais importante na fabricação, nos sectores privados de serviços, e no sector público.»¹⁷

No entanto, nem todas as nações estão a seguir este caminho. Algumas nações governadas por líderes incompetentes são cultural e etnicamente fragmentadas ao ponto da disfunção, e não produzem bens que o resto do mundo queira. Em vez de investirem na educação, investem em grandes exércitos e armas para aterrorizar o seu povo e manter os seus privilégios. Em vez de investirem numa infraestrutura para acelerar a industrialização do seu país, entregam-se à corrupção e prendem-se ao poder, criando uma cleptocracia, não uma meritocracia.

Infelizmente, esses governos corruptos esbanjaram grande parte da ajuda fornecida pelo Ocidente, apesar de esta ser pequena. Os futurólogos Alfred e Heidi Toffler comentam que, entre 1950 e 2000, mais de um bilião de dólares em ajuda foi dado às nações pobres pelas nações ricas. Todavia, observam, «diz-nos o Banco Mundial que perto de 2,8 mil milhões de pessoas — quase metade da população do planeta — ainda vivem com o equivalente de dois dólares ou menos por dia. Destas, perto de 1,1 mil milhões

sobrevive em extrema ou absoluta pobreza com menos de um dólar.»

As nações desenvolvidas, é claro, podem fazer muito mais para aliviar a condição das nações em vias de desenvolvimento, em vez de se limitarem a dissertar sobre o problema. Depois de tudo ser dito e feito, em última análise, a principal responsabilidade pelo desenvolvimento deve provir de uma liderança sensata entre as próprias nações em vias de desenvolvimento. Volta-se ao velho ditado, «Dá-me um peixe e comerei por um dia. Ensina-me a pescar e comerei para sempre.» Isto significa que, em vez de dar simplesmente ajuda às nações em vias de desenvolvimento, a ênfase devia ser posta na educação e em ajudá-las a desenvolver novas indústrias de modo a poderem tornar-se autossuficientes.

4.6 Tirando Partido da Ciência

As nações em vias de desenvolvimento podem ser capazes de aproveitar a revolução da informação. Podem, em princípio, saltar por cima das nações desenvolvidas em muitas áreas. No mundo desenvolvido, as empresas telefónicas tiveram de, fastidiosamente, passar cabos para cada casa e cada propriedade agrícola, com grandes custos. Porém, uma nação em vias de desenvolvimento não tem de passar cabos no seu país, dado que a tecnologia dos telemóveis pode ser excelente em áreas rurais, sem quaisquer estradas ou infraestrutura.

As nações em vias de desenvolvimento também têm a vantagem de não ter de reconstruir uma infraestrutura envelhecida. Por

exemplo, os sistemas de metropolitano de Nova Iorque e de Londres têm mais de um século e precisam muitíssimo de reparações. Hoje, renovar esses sistemas antiquados custaria mais do que construir o próprio sistema de origem. Uma nação em vias de desenvolvimento pode decidir criar um sistema de metropolitano novo e reluzente com toda a tecnologia mais recente, colhendo vantagem dos vastos melhoramentos em metais, técnicas de construção e tecnologia. Um sistema de metropolitano inteiramente novo pode custar muito menos do que os sistemas de há um século atrás.

A China, por exemplo, pôde beneficiar de todos os erros feitos no Ocidente quando construiu uma cidade a partir do nada. Em resultado disso, Pequim e Xangai estão a ser construídas por uma fração do custo original de uma cidade no Ocidente. Hoje, Pequim está a construir um dos maiores e mais modernos sistemas de metropolitano do mundo, beneficiando de toda a tecnologia computacional criada no Ocidente, com o fito de servir uma população urbana em explosão.

A Internet é outra maneira que as nações em desenvolvimento têm para tomar por um atalho em direção ao futuro, passando por cima de todos os erros cometidos no Ocidente, em especial nas ciências. Anteriormente, os cientistas do mundo em desenvolvimento tinham de fiar-se num sistema postal primitivo para entregar revistas científicas, que normalmente chegavam meses a um ano depois da publicação, se chegavam. Essas revistas eram dispendiosas e altamente especializadas, de modo que só as maiores bibliotecas as podiam comprar. Colaborar com um cientista

do Ocidente era quase impossível. Tinha de se ser independentemente rico, ou extremamente ambicioso, para obter uma posição numa universidade do Ocidente para trabalhar sob a supervisão de um cientista famoso. Agora é possível que o cientista mais obscuro de quase toda a parte do mundo, consiga aceder a um artigo científico menos de um segundo depois de ter sido colocado na Internet, e de graça. E, via Internet, é possível colaborar com cientistas do Ocidente que nunca se conheceram pessoalmente.

4.7 O Futuro é para Todos

O futuro está totalmente aberto. Como mencionámos, Silicon Valley pode tornar-se a cintura desindustrializada nas próximas décadas, quando a Era do silício acabar e a tocha passar para as mãos do inovador seguinte. Que nações liderarão no futuro? Nos dias da Guerra Fria, as superpotências eram as nações que podiam impor influência militar por todo o mundo. Ora o colapso da União Soviética tornou claro que, no futuro, as nações que ascenderão ao topo serão as que construírem as suas economias, o que, por seu turno, depende de cultivar e alimentar a ciência e a tecnologia.

Portanto, quem serão os líderes de amanhã? As nações que verdadeiramente percebam este facto. Por exemplo, os Estados Unidos mantiveram o seu domínio na ciência e na tecnologia apesar de os estudantes dos EUA ficarem frequentemente em último quando se trata de tópicos essenciais como Ciência e Matemática. Os resultados dos testes de competência em 1991, por exemplo, mostraram estudantes de treze anos nos Estados Unidos em décimo

quinto lugar a Matemática e décimo quarto em Ciência, pouco acima dos estudantes jordanianos, que ficaram em décimo oitavo lugar em ambas as categorias. Os testes feitos anualmente desde então confirmam esses tristes números. (Também deve ser apontado que esta classificação corresponde grosso modo ao número de dias que os estudantes passaram na escola. A China, que ficou em primeiro lugar, teve em média 251 dias de aulas por ano, enquanto os Estados Unidos tiveram apenas 178.)

Parece um mistério que, apesar destes terríveis números, os Estados Unidos continuem a portar-se bem internacionalmente em ciência e tecnologia, até percebermos que grande parte da ciência dos EUA vem do estrangeiro, na forma de «fuga de cérebros.» Os Estados Unidos têm uma arma secreta, o visto H1B, o chamado visto dos génios. Se uma pessoa puder mostrar que tem talentos, recursos ou conhecimentos científicos especiais, pode passar para a frente da fila das autorizações de permanência e obter um visto H1B. Isto reabasteceu continuamente as nossas fileiras científicas. Silicon Valley, por exemplo, tem aproximadamente 50% de estrangeiros, muitos vindos de Taiwan e da Índia. Em todo o país, 50% de todos os estudantes de doutoramento em Física são estrangeiros. Na minha universidade, a City University de Nova Iorque, o número está perto de 100% de estrangeiros.

Alguns congressistas tentaram acabar com o visto H1B porque, dizem, rouba empregos aos americanos, mas não percebem o verdadeiro papel que o visto desempenha. Habitualmente, não há americanos qualificados para ocupar os empregos de mais alto nível em Silicon Valley, e vemo-los muitas vezes não preenchidos em

consequência disso. Este facto ficou patente quando o antigo chanceler Gerhard Schroeder tentou aprovar uma lei de imigração para a Alemanha com um visto semelhante ao H1B, mas a medida foi derrotada pelos que clamavam que tal roubaria empregos aos alemães. Uma vez mais, os críticos não conseguiram entender que é frequente não existirem alemães para ocupar esses empregos de alto nível, que ficam então por preencher. Esses imigrantes H1B não roubam empregos, criam indústrias inteiramente novas.

No entanto, o visto H1B é apenas uma solução temporária. Os Estados Unidos não podem continuar a viver de cientistas estrangeiros, muitos dos quais estão a começar a regressar à China e à Índia à medida que as economias desses países melhoram. Portanto, a fuga de cérebros não é sustentável. Significa que os Estados Unidos acabarão por ter de fazer grandes alterações no seu sistema educativo arcaico e esclerótico. Presentemente, estudantes do ensino secundário deficientemente preparados inundam o mercado de emprego e as universidades, criando um impasse. Os empregadores lamentam continuamente o facto de precisarem de cerca de um ano para treinar os seus novos contratados para os pôr a funcionar adequadamente. E as universidades suportam o fardo de terem de criar novas camadas de cursos de recuperação para compensar o fraco sistema educacional do ensino secundário.

Felizmente, as nossas universidades e empresas acabam por fazer um trabalho digno de louvor na reparação dos danos ocasionados pelo sistema do ensino secundário, mas isto é um desperdício de tempo e de talento. Para que os Estados Unidos se

mantenham competitivos no futuro, terão de ser feitas mudanças fundamentais nos sistemas do ensino básico e secundário.

Para ser justo, os Estados Unidos ainda têm vantagens significativas. Estive uma vez num coquetel no Museu Americano de História Natural, em Nova Iorque, e encontrei um empresário belga do sector da Biotecnologia. Perguntei-lhe por que tinha emigrado, dado que a Bélgica tem a sua própria e vigorosa indústria de Biotecnologia. Disse que na Europa é frequente não se ter uma segunda oportunidade. Dado que as pessoas sabem quem somos e quem é a nossa família, se cometemos um erro podemos estar acabados. Os nossos erros tendem a seguir-nos, não importa onde estejamos. Porém, nos Estados Unidos, disse, podemos reinventar-nos constantemente. As pessoas não querem saber quem foram os nossos antepassados. Só querem saber o que podemos fazer por elas agora, hoje. Isso é refrescante, disse, e é uma razão por que outros cientistas europeus se mudam para os Estados Unidos.

4.8 Lição de Singapura

No Ocidente, há a expressão «A roda que chia leva o óleo». No Oriente, há outra expressão: «A unha espetada apanha a martelada.» Estas duas expressões são diametralmente opostas, mas captam algo das características essenciais dos pensamentos ocidental e oriental.

Na Ásia, os estudantes têm frequentemente notas de testes muito acima das dos ocidentais do mesmo nível. Todavia, muita dessa aprendizagem é aprendizagem livresca e memorização

adquirida por repetição, que só pode levar até um certo nível. Para alcançar os níveis mais elevados de ciência e tecnologia, é preciso criatividade, imaginação e inovação, que o sistema oriental não alimenta. Portanto, embora a China possa acabar por apanhar o Ocidente no que toca a fabricar cópias baratas de mercadorias originalmente manufaturadas no Ocidente, arrastar-se-á por dezenas de anos atrás do Ocidente no processo criativo de imaginar novos produtos e novas estratégias.

Proferi uma vez uma conferência na Arábia Saudita em que outro orador destacado era Lee Kuan Yew, primeiro-ministro de Singapura de 1949 a 1990. É uma espécie de estrela de *rock* entre as nações em desenvolvimento, dado que ajudou a forjar a moderna nação de Singapura, que está entre as nações de topo no que toca à ciência. De facto, Singapura é a quinta nação mais rica do mundo, se calcularmos o produto interno bruto *per capita*. A audiência esforçava-se para ouvir cada palavra desta figura lendária.

Recordou os primeiros dias depois da guerra, quando Singapura era vista como um porto do fim do mundo, conhecido principalmente pela pirataria, contrabando, marinheiros bêbados, e outras atividades moralmente ofensivas. Um grupo de associados seus, todavia, sonhava com o dia em que este minúsculo porto de mar pudesse rivalizar com o Ocidente. Embora Singapura não tivesse recursos naturais significativos, o seu maior recurso era o seu povo, que era trabalhador e semiqualeificado. O grupo a que pertencia embarcou numa jornada notável, pegando nessa adormecida nação do fim do mundo e transformando-a numa

potência científica no espaço de uma geração. Foi talvez um dos mais interessantes casos de engenharia social da história.

Ele e o seu partido iniciaram um processo sistemático de revolucionar toda a nação, insistindo na ciência e na educação e concentrando-se nas indústrias de alta tecnologia. No espaço de algumas dezenas de anos, Singapura criou um grande grupo de técnicos altamente preparados, que possibilitou que o país se transformasse num dos primeiros exportadores de eletrônica, produtos químicos e equipamento biomédico. Em 2006, produziu 10% das placas para computadores de todo o mundo.

Tem havido um certo número de problemas, confessou, ao longo do caminho para modernizar a sua nação. Para fazer respeitar a ordem social, impuseram-se leis draconianas, proibindo tudo desde cuspir na rua (punível com chicote) a traficar droga (punível com a morte). Também reconheceu uma coisa importante. Cientistas de topo, descobriu, estavam ansiosos por visitar Singapura, mas apenas um punhado lá ficava. Mais tarde, descobriu a razão: não havia encantos culturais e atrações para os manter em Singapura. Isso deu-lhe a ideia seguinte: apadrinhar deliberadamente todos os benefícios culturais marginais de uma nação moderna (companhias de bailado, orquestras sinfônicas, etc.) de tal modo que os cientistas de topo criassem raízes em Singapura. Quase da noite para o dia, organizações e acontecimentos culturais estavam a brotar por todo o país como um isco para manter ali ancorada a elite científica.

Depois, também compreendeu que as crianças de Singapura estavam a repetir cegamente as palavras dos seus professores, e

não a desafiar a sabedoria tradicional e a criar novas ideias. Percebeu que o Oriente estaria para sempre a seguir um pouco atrás do Ocidente enquanto produzisse cientistas que só fossem capazes de copiar outros. De modo que pôs em movimento uma revolução na educação: os estudantes criativos seriam selecionados e ser-lhes-ia permitido prosseguir os seus sonhos ao seu próprio ritmo. Percebendo que alguém como Bill Gates ou Steve Jobs seria esmagado pelo sufocante sistema educativo de Singapura, pediu aos professores que identificassem sistematicamente os futuros génios que fossem capazes de revitalizar a economia com a sua imaginação científica.

A lição de Singapura não é para todos. É uma pequena cidade-estado em que um punhado de visionários podia praticar a construção controlada de uma nação. E nem toda a gente quer ser chicoteada por cuspir na rua. Todavia, Singapura mostra o que se pode fazer se se quiser sistematicamente saltar para a linha da frente da revolução da informação.

4.9 Desafio Para o Futuro

Passei algum tempo no Instituto de Estudos Avançados de Princeton, e almocei com Freeman Dyson. Começou por recordar a sua longa carreira científica e depois mencionou um facto perturbador. Antes da guerra, quando era um jovem estudante universitário no Reino Unido, descobriu que as mentes mais brilhantes da Inglaterra estavam a virar as costas às ciências duras, como a Física e a Química, em favor de carreiras lucrativas nas finanças e na banca. Enquanto a geração precedente estava a criar

riqueza, sob a forma de centrais elétricas e químicas e a inventar novas máquinas eletromecânicas, a geração seguinte estava a ceder a massajar e gerir o dinheiro de outras pessoas. Lamentou que isso fosse um sinal do declínio do Imperio Britânico. A Inglaterra não podia manter o seu estatuto de potência mundial se tivesse uma base científica em desintegração.

Então disse uma coisa que captou a minha atenção.

Observou que estava a ver isto pela segunda vez na sua vida. As mentes mais brilhantes de Princeton já não estavam a atacar os problemas difíceis de Física e Matemática, mas estavam a ser arrastados para carreiras como a banca de investimento. Uma vez mais, pensava, isto podia ser um sinal de decadência, quando os líderes de uma sociedade já não conseguem patrocinar as invenções e a tecnologia que tornaram grande a sua sociedade.

Este é o nosso desafio para o futuro.

¹ Umi Hani Sharani, «Muslims Almost Totally Dependent on Others, Says Mahathir», Muslim Institute, 15 de Abril de 2006. www.musliminstitute.com/article.php?id=499.

² William J. Holstein, «To Gauge the Internet, Listen to the Steam Engine». *New York Times*, 26 de Agosto de 2001, <http://www.nytimes.com/2001/08/26/business/26SVAL.html?scp=I&sq=%22t0%20gauge%20the%20internet%22&st=cse>.

³ Virginia Postrel, «Avoiding Previous Blunders», *New York Times*, 1 de Janeiro de 2004, www.nytimes.com/2004/01/01/business/Olscene.html.

⁴ *Ibid.*

⁵ Thomas L. Friedman, «Green the Bailout», *New York Times*, 28 de Setembro de 2008, p. WK11, www.nytimes.com/2008/09/28/opinion/28friedman.html.

⁶ Steve Lohr, «New Economy; Despite Its Epochal Name, the Clicks-and-Mortar Age May Be Quietly Assimilated», *New York Times*, 8 de Outubro de 2001, www.nytimes.com/2001/10/08/business/new-economy-despite-its-epochal-nameclicks-mortar-age-may-be-quietly.html?scp=30&sq=automobile&st=nyt.

⁷ *Ibid.*

⁸ Charles Gasparino, «Merrill Lynch to Offer Online Trading», ZDNet News, 1 de Junho de 1999, www.zdnet.com/news/merrill-lynch-to-offer-onlinetrading/95883.

⁹ *Ibid.*

¹⁰ McRae, p. 175.

¹¹ Thurow, p. 68.

¹² Thurow, p. 74.

¹³ McRae, p. 12.

¹⁴ Thurow, p. 67.

¹⁵ James Grant, «Sometimes the Economy Needs a Setback», *New York Times*, 9 de Setembro de 2001, www.nytimes.com/2001/09/09/opinion/sometimes-theeconomy-needs-a-setback.html.

¹⁶ Thurow, p. 72.

¹⁷ McRae, pp. 12-13.

CAPÍTULO 8

O Futuro da Humanidade — Civilização Planetária

As pessoas de hoje estão a viver no meio do que pode ser visto
como os mais extraordinários três ou quatro séculos da história
humana.

— JULIAN SIMON

Quando não há visões proféticas, o povo corrompe-se.

— Provérbios 29:18

NA MITOLOGIA, os deuses viviam no divino esplendor dos céus, muito acima dos insignificantes assuntos dos simples mortais. Os deuses gregos divertiam-se no domínio celeste do Monte Olimpo, enquanto os deuses noruegueses que lutavam pela honra e eterna glória se banquetavam nas santificadas salas de Valhalla com os espíritos dos guerreiros caídos. Ora se o nosso destino é alcançar o poder dos deuses pelo fim do século, com que se parecerá a nossa civilização em 2100? Toda esta inovação tecnológica, onde está a levar a nossa civilização?

Todas as revoluções tecnológicas descritas aqui estão a levar a um único ponto: a criação da civilização planetária. Esta transição é talvez a maior na história humana. De facto, as pessoas hoje vivas são as mais importantes que em algum momento caminharam na superfície do planeta, dado que determinarão se alcançaremos essa meta ou se mergulharemos no caos. Talvez 5000 gerações de humanos tenham caminhado na superfície da Terra desde que emergimos pela primeira vez em África há cerca de 100 000 anos, e de entre elas, as pessoas vivas neste século determinarão em última análise o nosso destino.

A menos que haja uma catástrofe natural ou algum calamitoso ato de loucura, é inevitável que entremos nesta fase da nossa história coletiva. Podemos ver isto mais claramente analisando a história da energia.

1. Classificar Civilizações

Quando os historiadores profissionais escrevem a História, vêem-na através da lente da experiência e loucura humanas, ou seja, através das proezas de reis e rainhas, ascensão de movimentos sociais e proliferação das ideias. Os físicos, por contraste, veem a História de maneira muito diferente.

Os físicos classificam todas as coisas, até as civilizações humanas, pela energia que consomem. Quando aplicada à história humana, vemos que, durante incontáveis milénios, a nossa energia esteve limitada a 1/5 de cavalo-vapor, a energia das nossas mãos

nuas, e por isso vivemos vidas nômadas em pequenas tribos deambulantes, vasculhando em busca de alimentos num ambiente duro e hostil. Durante eternidades, fomos indistinguíveis dos lobos. Não havia registos escritos, apenas histórias passadas de mão em mão de uma geração para outra em solitárias fogueiras de acampamento. A vida era curta e brutal, com uma esperança de vida média de dezoito a vinte anos. A totalidade da riqueza de um indivíduo consistia no quer que fosse que pudesse transportar às costas. Durante a maior parte da vida, o indivíduo sentia a torturante dor da fome. Depois de morrer, não deixava traço algum de vida.

No entanto, há 10 000 anos, ocorreu uma coisa maravilhosa que pôs a civilização em movimento: terminou o Período Glaciar. Por razões que ainda não compreendemos, milhares de anos de glaciação terminaram. Isto preparou o caminho para a ascensão da agricultura. Cavalos e bois cedo foram domesticados, o que aumentou a nossa energia para 1 cavalo-vapor. Agora uma pessoa tinha energia para cultivar alguns hectares de terra arável, produzindo um excedente de energia que chegava para suportar uma população em rápida expansão. Com a domesticação de animais, os homens já não dependiam primariamente da caça para alimento, e as primeiras aldeias e cidades estáveis começaram a erguer-se nas florestas e planícies.

O excesso de riqueza criado pela revolução agrícola engendrou novas e engenhosas maneiras de manter e expandir essa riqueza. As matemáticas e a escrita foram criadas para contar essa riqueza, os calendários foram necessários para saber quando plantar e

colher, e os escribas e contabilistas para manter registos desse excedente e tributá-lo. Esse excedente de riqueza acabou por levar à formação de grandes exércitos, reinos, impérios, à escravatura e às antigas civilizações.

A revolução seguinte teve lugar subitamente há cerca de 300 anos atrás, com a chegada da Revolução Industrial. Subitamente, a riqueza acumulada por um indivíduo não era apenas produto das suas mãos e do seu cavalo, mas produto de máquinas que podiam criar uma riqueza fabulosa através da produção em massa.

Os motores a vapor podiam mover poderosas máquinas e locomotivas, de modo que a riqueza podia ser criada a partir de oficinas, fábricas, e minas, e não apenas campos. Os camponeses, fugindo de fomes periódicas e cansados de um trabalho físico muito penoso, chegaram em bandos às cidades, criando a classe operária industrial. Ferreiros e construtores de carroças acabaram por ser substituídos por trabalhadores do ramo automóvel. Com a chegada do motor de combustão interna, uma pessoa podia agora ter sob o seu comando centenas de cavalos-vapor. A esperança de vida começou a subir, chegando aos quarenta e nove anos nos Estados Unidos, no ano de 1900.

Por fim, estamos na terceira vaga, em que a riqueza é gerada a partir da informação. A riqueza das nações é agora medida por eletrões que circulam à volta do mundo em cabos de fibra ótica e satélites, acabando a dançar nos ecrãs dos computadores de Wall Street e outras capitais financeiras. A ciência, o comércio e o

espetáculo viajam à velocidade da luz, dando-nos informação ilimitada em todos os momentos, em toda a parte.

2. Civilizações de Tipos I, II e III

Como continuará esta ascensão potencial de energia nos séculos e milénios vindouros? Quando os físicos tentam analisar civilizações, classificam-nas com base na energia que consomem. Esta classificação foi introduzida pela primeira vez em 1964 pelo astrofísico russo Nikolai Kardashev, que estava interessado em sondar o céu noturno em busca de sinais enviados por civilizações avançadas do espaço.

Não estava satisfeito com algo tão nebuloso e mal definido como uma «civilização extraterrestre», de modo que introduziu uma escala quantitativa para guiar o trabalho dos astrónomos. Percebeu que as civilizações extraterrestres podiam diferir na base da cultura, sociedade, governo, etc., mas havia uma coisa a que todas tinham de obedecer: as leis da física. E a partir da Terra, havia uma coisa que podíamos observar e medir e que podia classificar essas civilizações em diferentes categorias: o seu consumo de energia.

De modo que propôs três tipos teóricos: Uma civilização do Tipo I é planetária, consumindo a porção de sol que cai sobre o seu planeta, ou cerca de 10^{17} *watts*. Uma civilização do Tipo II é estelar, consumindo toda a energia que o seu sol emite, ou 10^{27} *watts*. Uma civilização do Tipo III é galáctica, consumindo a energia de milhares de milhões de estrelas, ou perto de 10^{37} *watts*.

A vantagem desta classificação é que podemos quantificar a energia de cada civilização em vez de fazer vagas e incontáveis generalizações. Dado que conhecemos a potência energética desses objetos celestes, podemos pôr restrições numéricas específicas a cada um deles à medida que pesquisamos os céus.

Cada tipo de civilização está dez mil milhões de vezes distante do outro: uma civilização do Tipo III consome uma quantidade de energia 10 mil milhões de vezes superior à de uma civilização do Tipo II (porque há aproximadamente 10 mil milhões de estrelas numa galáxia), que por sua vez consome uma quantidade de energia 10 mil milhões de vezes superior à de uma civilização do Tipo I.

Segundo esta classificação, a nossa civilização presente é Tipo 0. Nem sequer temos lugar nesta escala, dado que obtemos a nossa energia de plantas mortas, isto é, de petróleo e carvão. (Carl Sagan, generalizando esta classificação, tentou obter uma estimativa mais precisa do nosso lugar na escala cósmica. O seu cálculo mostrou que somos de facto uma civilização do Tipo 0,7.)

Nesta escala, podemos também classificar as várias civilizações que vemos na ficção científica. Uma típica civilização do Tipo I seria a de Buck Rogers ou de Flash Gordon, em que a totalidade dos recursos de energia de um planeta foi aproveitada. Podem controlar todas as fontes de energia planetária, de modo que podem ser capazes de controlar ou modificar as condições meteorológicas como quiserem, controlar a energia de um furacão, ou ter cidades

nos oceanos. Embora percorram os céus em foguetões, a sua potência energética está ainda largamente confinada a um planeta.

Uma civilização do Tipo II podia incluir a Federação dos Planetas Unidos, de *Star Trek* (sem o impulso de deformação — *warp drive*), capaz de colonizar cerca de 100 estrelas vizinhas. A sua tecnologia mal consegue manipular a totalidade da potência energética de uma estrela.

Uma civilização do Tipo III pode ser o Império de *A Guerra das Estrelas* ou talvez o Borg na série *Star Trek*, que colonizaram ambos grandes porções da galáxia, abrangendo milhares de milhões de sistemas estelares. Podem percorrer à vontade os caminhos galáticos.

(Apesar de a escala de Kardashev ter por base planetas, estrelas e galáxias para a sua classificação, devíamos salientar a possibilidade de uma civilização de Tipo IV, que deriva a sua energia de fontes extragaláticas. A única fonte de energia conhecida para lá da nossa galáxia é a energia negra, que constitui 73% da matéria e energia do universo conhecido, enquanto o mundo das estrelas e das galáxias constitui apenas 4%. Uma possível candidata a civilização do Tipo IV poderia ser o divino Q da série *Star Trek*, cujo poder é extragalático.)

Podemos usar esta classificação para calcular quando poderemos alcançar cada um desses tipos. Assuma-se que a civilização mundial cresce à taxa de 1% ao ano em termos de seu PIB coletivo. Esta é

uma hipótese razoável quando fazemos a média de vários séculos passados. Com esta hipótese, leva aproximadamente 2500 anos a passar de uma civilização à seguinte. Uma taxa de crescimento de 2% daria um período de transição de 1200 anos.

Podemos também calcular quanto tempo levaria o nosso planeta a atingir a classificação de Tipo I. Não obstante as recessões e expansões económicas, aumentos e quedas, podemos estimar matematicamente que atingiremos o estatuto de Tipo I dentro de cerca de 100 anos, dada uma taxa média do nosso crescimento económico.

3. Do Tipo 0 ao Tipo I

Vemos provas desta transição do Tipo 0 para o Tipo I de cada vez que abrimos um jornal. Muitos dos títulos podem ser reportados aos tormentos do parto de uma civilização do Tipo I a nascer mesmo diante dos nossos olhos.

- A Internet é o começo de um sistema telefónico planetário do Tipo I. Pela primeira vez na história, uma pessoa num continente pode sem esforço trocar informação ilimitada com alguém noutro continente. De facto, muitas pessoas sentem já que têm mais em comum com alguém do outro lado do mundo do que com o vizinho do lado. Este processo só acelerará à medida que as nações instalem ainda mais cabos de fibra ótica e lancem mais satélites de comunicações. O processo é

também imparável. Se alguém tentasse proibir a Internet, mesmo que fosse o presidente dos Estados Unidos, só encontraria gargalhadas. Há quase mil milhões de computadores pessoais no mundo de hoje, e cerca de um quarto da humanidade esteve na Internet pelo menos uma vez.

- Um punhado de línguas, lideradas pelo inglês, seguido do chinês, está a emergir rapidamente como a futura língua do Tipo I. Na *World Wide Web*, por exemplo, 29% dos visitantes entram em inglês, seguidos de 22% em chinês, 8% em espanhol, 6% em Japonês, e 5% em francês. O inglês é já a língua planetária de facto da ciência, finanças, negócios e espetáculo. O inglês é o número uma das segundas línguas do planeta. Seja para onde for que viaje, descubro que o inglês emergiu como língua franca. Na Ásia, por exemplo, quando vietnamitas, japoneses e chineses estão numa reunião, usam o inglês para comunicar. Atualmente, há cerca de 6000 línguas faladas na Terra, e espera-se que 90% se extingam nas próximas décadas, segundo Michael E. Krauss, que trabalhou no Centro de Língua Nativa da Universidade do Alasca. A revolução das telecomunicações está a acelerar este processo, dado que as pessoas que vivem mesmo nas regiões mais remotas da Terra estão expostas ao inglês. Isto também acelerará o desenvolvimento económico à medida que as suas sociedades são cada vez mais integradas na economia mundial, elevando assim os padrões de vida e a atividade económica.

Certas pessoas lamentarão o facto de algumas línguas ancestrais deixarem de ser faladas. Por outro lado, a revolução informática garantirá que essas línguas não se perderão. Os falantes nativos adicionarão a sua língua e a sua cultura à Internet, onde durarão para sempre.

- Estamos a assistir ao nascimento da economia planetária. A ascensão da União Europeia e outros blocos comerciais representa a emergência de uma economia do Tipo I. Historicamente, os povos da Europa travaram lutas sangrentas com os seus vizinhos durante milhares de anos. Mesmo depois da queda do Império Romano, essas tribos continuariam a massacrar-se umas às outras, acabando por se converterem nas nações guerreiras da Europa. Todavia, hoje, esses implacáveis rivais uniram-se subitamente para formar a União Europeia, representando a maior concentração de riqueza do planeta. A razão por que essas nações puseram abruptamente de lado as suas famosas rivalidades foi para competir com a pressão económica irresistível de nações que assinaram o Acordo de Comércio Livre da América do Norte (NAFTA). No futuro, veremos formarem-se mais blocos económicos, à medida que as nações perceberem que não podem permanecer competitivas se não se juntarem a blocos comerciais lucrativos.

Vemos provas explícitas disto quando analisamos a grande recessão de 2008. Em poucos dias, as ondas de

choque emanando de Wall Street agitaram os corredores financeiros de Londres, Tóquio, Hong Kong e Singapura. Hoje, é impossível compreender a economia de uma única nação sem compreender as tendências que afetam a economia mundial.

- Estamos a assistir à ascensão de uma classe média planetária. Centenas de milhões de pessoas na China, Índia e outros lugares estão a entrar para as fileiras dessa classe, o que talvez seja a maior reviravolta no último meio século. Este grupo entende as tendências culturais, educacionais e económicas que afetam o planeta. Não são as guerras, a religião ou códigos morais estritos, o foco desta classe média planetária, mas a estabilidade política e social e os bens de consumo. As paixões ideológicas e tribais que podem ter interessado fortemente os seus antepassados significam pouco para eles quando o objetivo é ter uma moradia nos subúrbios com dois carros à porta. Enquanto os seus antepassados podiam ter celebrado o dia em que os filhos partiam para a guerra, uma das suas principais preocupações hoje é que possam entrar para uma boa universidade. E quem vê com inveja outros a subir na escala social, pergunta-se quando chegará a sua altura. Kenichi Ohmae, um antigo sócio sénior de McKinsey & Company, escreve: «As pessoas começarão inevitavelmente a olhar à sua volta e a perguntar por que não podem ter o que os outros têm. Igualmente importante, começarão a perguntar por que não puderam tê-lo no passado.»¹

- A economia, e não as armas, é o novo critério de uma superpotência. A ascensão da UE e da NAFTA sublinha um ponto importante: com o fim da Guerra Fria, ficou claro que uma potência mundial pode manter a sua posição dominante principalmente através de poder económico. As guerras nucleares são simplesmente muito perigosas de travar, de modo que é o poder económico que determinará em grande medida o destino das nações. Um fator que contribuiu para o colapso da União Soviética foi a pressão económica provocada pela competição militar com os Estados Unidos. (Como os conselheiros do presidente Ronald Reagan comentaram certa vez, a estratégia dos Estados Unidos era empurrar a Rússia para uma depressão, ou seja, aumentar a despesa militar dos EUA de modo que os Russos, com uma economia com menos de metade da dimensão da dos Estados Unidos, teriam de fazer passar fome ao seu próprio povo para se manterem a par.) No futuro, é claro que uma superpotência pode manter o seu estatuto apenas através do poder económico, o que por seu turno, deriva da ciência e da tecnologia.
- Está a emergir uma cultura planetária, baseada na cultura da juventude (*rock and roll* e moda jovem), cinema (sucessos de bilheteira de Hollywood), moda (bens de luxo), e alimentação (cadeias de fast-food para o mercado de massa). Seja para onde for que se viaje, podem encontrar-se provas das mesmas tendências culturais na música, na arte e na moda. Por exemplo,

Hollywood pondera cuidadosamente os fatores de apelo global quando estima o bom resultado de um filme que potencialmente é um sucesso de bilheteira. Os filmes com temas interculturais (como ação e romance), cheios de celebridades internacionalmente reconhecidas, são os grandes negócios rentáveis para Hollywood, uma prova de uma cultura planetária emergente.

Vimos isto depois da Segunda Guerra Mundial quando, pela primeira vez na história humana, uma geração inteira de jovens dispôs de suficiente rendimento disponível para alterar a cultura prevalecente. Antes disso, as crianças eram mandadas para os campos para labutar com os pais assim que atingissem a puberdade. (Esta é a origem das férias de Verão de três meses. Durante a Idade Média, as crianças eram requisitadas para o duro trabalho nos campos durante o Verão assim que atingiam a idade própria.) Porém, com o aumento da prosperidade, a geração do *baby boom* do pós-guerra deixou os campos para se dirigir às ruas. Hoje vemos o mesmo padrão a ocorrer num país após outro, à medida que o desenvolvimento económico confere à juventude amplos rendimentos disponíveis. À medida que a maior parte das pessoas do mundo entrar na classe média, os rendimentos crescentes acabarão por ser canalizados para a juventude, alimentando uma perpetuação dessa cultura planetária jovem.

Rock and roll, filmes de Hollywood, etc., são de facto exemplos perfeitos de como o capitalismo intelectual está a ocupar o lugar do capitalismo mercantil. Os robôs serão incapazes, por muitas dezenas de anos ainda, de criar música e filmes que possam entusiasmar uma audiência internacional.

Isto está também a acontecer no mundo da moda, em que um punhado de marcas está a alargar a sua influência por todo o mundo. A alta-costura, em tempos reservada à aristocracia e aos extremamente ricos, está a proliferar rapidamente por todo o mundo à medida que mais pessoas entram na classe média e aspiram a uma parte do fascínio dos ricos. A alta-costura já não é domínio exclusivo da elite privilegiada.

A emergência de uma cultura planetária não significa que as culturas ou os costumes locais sejam abandonados. Em vez disso, as pessoas serão biculturais. Por um lado, conservarão as suas tradições culturais locais vivas (e a Internet garante que esses costumes regionais sobreviverão para sempre). A rica diversidade cultural do mundo continuará a prosperar no futuro. De facto, certas características obscuras da cultura local podem disseminar-se por todo o mundo via Internet, ganhando uma audiência mundial. Por outro lado, as pessoas serão fluentes na mudança de tendências que afetam a cultura global. Para comunicar com outras culturas usar-se-á a via cultura global. Isto já aconteceu a muitas elites do

planeta: falam a língua local e obedecem aos costumes locais, mas usam o inglês e seguem costumes internacionais quando lidam com parceiros de outros países. Este é o modelo para a civilização emergente do Tipo I. As culturas locais continuarão a prosperar, coexistindo lado a lado com a cultura global mais vasta.

- As notícias estão a tornar-se planetárias. Com a TV por satélite, os telemóveis, a Internet, etc., passa a ser impossível que uma nação controle e filtre as notícias. Filmes não editados emergem de todas as partes do mundo, fugindo ao alcance dos censores. Quando rebentam guerras ou revoluções, as imagens fortes são difundidas instantaneamente por todo o mundo à medida que ocorrem, em tempo real. No passado, era relativamente fácil para as grandes potências do século XIX, impor os seus valores e manipular as notícias. Hoje, ainda é possível, mas numa base muito mais reduzida, por causa da tecnologia avançada. E também, com a subida dos níveis de educação em todo o mundo, há uma audiência muito mais vasta para as notícias à escala global. Os políticos de hoje têm de incluir a opinião mundial quando pensam nas consequências das suas ações.
- Os desportos, que no passado foram essenciais para forjar uma identidade, primeiro tribal, depois nacional, estão a consolidar agora uma identidade planetária. O futebol e os Jogos Olímpicos estão a emergir para

dominar os desportos planetários. Os Jogos Olímpicos de 2008, por exemplo, foram amplamente interpretados como uma saída do armário dos chineses, que queriam assumir a posição cultural a que têm direito no mundo, depois de séculos de isolamento. Isto é também um exemplo do Princípio do Homem das Cavernas, dado que os desportos são «High Touch», mas estão a entrar no mundo do «High Tech».

- As ameaças ambientais também estão a ser debatidas à escala planetária. As nações percebem que a poluição que criam cruza fronteiras nacionais e por isso pode precipitar uma crise internacional. Vimo-lo pela primeira vez quando um gigantesco buraco da camada de ozono se abriu por cima do Pólo Sul. Porque a camada de ozono impede que raios UV e raios X nocivos, vindos do sol, cheguem ao solo, as nações uniram-se para limitar a produção e consumo de clorofluorcarbonetos usados em frigoríficos e sistemas industriais. O Protocolo de Montreal foi assinado em 1987 e diminuiu com sucesso o uso de produtos químicos destruidores do ozono. A partir deste sucesso internacional, a maioria das nações adotaram o Protocolo de Quioto, em 1997, que visa a ameaça do aquecimento global, uma ameaça ainda maior ao ambiente do planeta.
- O turismo é uma das indústrias que crescem mais depressa no planeta. Durante a maior parte da história humana, era comum que as pessoas vivessem vidas

inteiras num raio de poucos quilómetros do seu local de nascimento. Era fácil, para líderes não escrupulosos, manipular o seu povo, que tinha pouco ou nenhum contato com outros povos. Hoje, contudo, pode viajar-se à volta do globo com um orçamento modesto. Os Jovens de mochila às costas de hoje, que ficam em albergues de juventude baratos por todo o mundo, serão os líderes de amanhã. Há quem censure o facto de alguns turistas terem apenas a mais rudimentar compreensão das culturas, histórias e políticas locais. No entanto, temos de pesar tal situação com o passado, quando o contacto entre culturas distantes era quase inexistente, exceto em tempos de guerra, frequentemente com resultados trágicos.

- De igual modo, a queda dos preços das viagens intercontinentais está a acelerar o contacto entre diversos povos, tornando as guerras mais difíceis de travar e disseminando os ideais da Democracia. Um dos principais fatores que criaram animosidade entre as nações foi a incompreensão entre os povos. Em geral, é muito difícil travar uma guerra com uma nação com que estamos intimamente familiarizados.
- A natureza da própria guerra está a mudar para refletir esta nova realidade. A História mostrou que duas democracias quase nunca entram em guerra uma com a outra. Quase todas as guerras do passado foram travadas entre não-democracias, ou entre uma democracia e uma

não-democracia. Em geral, a febre da guerra pode ser facilmente excitada por demagogos que demonizam o inimigo. Numa democracia, com uma imprensa vibrante, partidos de oposição, e uma classe média confortável que tem tudo a perder numa guerra, a febre bélica é muito mais difícil de cultivar. É difícil excitar a febre da guerra quando existe uma imprensa cética e mães que exigem saber por que estão os seus filhos a ir para a guerra.

Ainda haverá guerra no futuro. Como disse uma vez o teórico militar prussiano Carl von Clausewitz: «A guerra é a política por outros meios.» Embora ainda venhamos a ter guerras, a sua natureza mudará à medida que a democracia se disseminar por todo o mundo.

(Há outra razão para as guerras estarem a tornar-se mais difíceis de travar à medida que o mundo vai ficando mais rico e as pessoas têm mais a perder. O teórico político Edward Luttwak escreveu que as guerras são muito mais difíceis de travar porque as famílias são hoje mais pequenas. No passado, a família média tinha dez filhos ou perto disso; o mais velho herdava a propriedade enquanto os irmãos mais novos faziam carreira na igreja, na vida militar, ou procuravam a sua sorte noutro lugar. Hoje a época em que uma família tem em média 1,5 filhos, já não há excedente de crianças para preencher as fileiras da vida militar ou da igreja. Por isso, as guerras serão muito mais difíceis de travar, em especial entre democracias e guerrilhas do terceiro mundo.)

- As nações enfraquecerão, mas ainda existirão em 2100. Ainda serão precisas para aprovar leis e resolver problemas locais. Todavia, o seu poder e influência serão amplamente diminuídos à medida que os motores do crescimento económico se tornarem regionais, e depois globais. Por exemplo, com a ascensão do capitalismo no fim século XVII e princípio do XVIII, as nações eram necessárias para obrigar a uma moeda e a uma língua comuns, a leis tributárias e regulações respeitantes ao comércio e às patentes. As leis e tradições feudais, que travaram o avanço da livre troca, do comércio e da finança, foram rapidamente varridas pelos governos nacionais. Normalmente, este processo poderia levar cerca de um século, mas vimos uma versão acelerada quando Otto von Bismarck, o Chanceler de Ferro, forjou o estado alemão moderno em 1871. Da mesma maneira, esta marcha para uma civilização do Tipo I está a alterar a natureza do capitalismo, e o poder económico está a deslocar-se gradualmente dos governos nacionais para as potências regionais e blocos comerciais.

Isto não significa necessariamente um governo mundial. Há muitas maneiras para uma civilização planetária poder existir. É claro que os governos nacionais perderão poder relativo, mas o poder que preencherá o vazio dependerá de muitas tendências históricas, culturais e nacionais que são difíceis de prever.

- As doenças serão controladas numa base planetária. Outrora, as doenças virulentas não eram de facto tão perigosas porque a população humana era muito pequena. O incurável vírus Ébola, por exemplo, é provavelmente uma doença antiga que infetou apenas algumas aldeias num período de milhares de anos. No entanto, a rápida expansão da civilização a áreas anteriormente desabitadas e o crescimento das cidades significam que um vírus como o Ébola tem de ser monitorizado muito cuidadosamente.

Quando a população das cidades chega a várias centenas de milhares, a um milhão de habitantes, as doenças podem espalhar-se rapidamente e criar genuínas epidemias. O facto de a Peste Negra ter morto talvez metade da população europeia foi, ironicamente, uma indicação de progresso, porque as populações tinham atingido a massa crítica para as epidemias, e as rotas de transporte ligavam antigas cidades de todo o mundo.

O recente surto da gripe H1N1 é, portanto, também uma medida do nosso progresso. Com origem provável na cidade do México, a doença espalhou-se rapidamente por todo o mundo através das viagens de avião. Mais importante, foram precisos apenas uns poucos meses para as nações do mundo sequenciarem os genes do vírus e depois criarem uma vacina que ficou disponível para dezenas de milhões de pessoas.

4. Terrorismo e Ditaduras

Há grupos, todavia, que instintivamente resistem à tendência para uma civilização planetária do Tipo I, porque sabem que é progressista, livre, científica, próspera e instruída. Essas forças podem não estar conscientes deste facto e não conseguem articulá-lo, mas estão efetivamente a lutar contra a tendência para uma civilização do Tipo I. São elas:

- Os terroristas islâmicos, que preferem recuar um milénio, para o século XI, em vez de viver no século XXI. Não são capazes de enquadrar o seu descontentamento no nosso mundo, mas, julgando pelas suas declarações, preferem viver numa teocracia em que a ciência, as relações pessoais e a política estão todas sujeitas a éditos religiosos intransigentes. (Esquecem-se que, historicamente, a grandeza e as proezas científicas e tecnológicas da civilização islâmica só foram igualadas pela sua tolerância a novas ideias. Esses terroristas não entendem a verdadeira fonte da grandeza do passado islâmico.)
- Ditaduras cuja força depende da manutenção do seu povo longe da riqueza e progresso do mundo exterior. Um exemplo impressionante foram as manifestações que tomaram conta do Irão em 2009, quando o governo tentou suprimir as ideias dos manifestantes, que estavam a usar o Twitter e o Youtube na sua luta para levar a sua mensagem ao mundo.

No passado, as pessoas diziam que a pena era mais poderosa do que a espada. No futuro o *chip* será mais poderoso do que a espada.

Uma das razões por que o povo da Coreia do Norte, uma nação horripelmente empobrecida, não se revolta é porque lhe é negado todo o contato com o mundo, cujos povos, acreditam, estão também a morrer de fome. Em parte, não compreendendo que não têm da aceitar o seu destino, suportam incríveis proações.

5. Civilizações do Tipo II

Uma sociedade tornar-se-á imortal quando, dentro de milhares de anos, atingir o estatuto de Tipo II. Não há nada que a ciência conhece que possa destruir uma civilização do Tipo II. Dado que terá há muito dominado as condições meteorológicas, os períodos glaciares podem ser evitados ou alterados. Meteoros e cometas podem também ser defletidos. Mesmo que o seu sol se transforme numa supernova, o povo terá capacidade para fugir para outro sistema estelar, ou talvez impedir a sua estrela de explodir. (Por exemplo, se o seu sol se converter numa gigante vermelha, podem ter capacidade de pôr asteroides a girar em torno do seu planeta num efeito de tiro de funda com o intuito de mover o seu planeta para mais longe do sol.)

Uma maneira como uma civilização do Tipo II pode ser capaz de explorar a totalidade da produção energética de uma estrela é criando em torno de si uma gigantesca esfera que absorva toda a luz da estrela. Chama-se a isto uma esfera de Dyson.

Uma civilização do Tipo II estará provavelmente em paz consigo mesma. Dado que as viagens espaciais são tão difíceis, terá permanecido uma civilização de Tipo I durante séculos, tempo mais do que suficiente para resolver as divisões no interior da sociedade. No momento em que alcançar o estatuto de Tipo II, a civilização terá colonizado não apenas a totalidade do seu sistema solar mas também as estrelas próximas, talvez à distância de várias centenas de anos-luz, mas não muito mais. Ainda estarão restringidos pela velocidade da luz.

6. Civilizações de Tipo III

No momento em que alcançar o estatuto de Tipo III, a civilização terá explorado a maior parte da galáxia. A maneira mais conveniente de visitar centenas de milhares de milhões de planetas é enviando por toda a galáxia sondas robóticas autorreplicantes. Uma sonda von Neumann é um robô que tem a capacidade de fazer um número ilimitado de cópias de si mesmo; pousa numa lua (dado que nesta não há ferrugem nem erosão) e faz uma fábrica a partir de poeira lunar, que cria milhares de cópias de si mesmo. Cada cópia parte para outros sistemas estelares distantes e faz milhares de cópias mais. Começando com uma dessas sondas, criamos rapidamente uma esfera de bilhões dessas sondas autorreplicantes expandindo-se a perto da velocidade da luz, traçando o mapa de toda a Via Láctea em apenas 100 000 anos. Dado que o universo tem 13,7 mil milhões de anos, há uma grande quantidade de tempo para essas civilizações terem a sua ascensão (e queda). (Um crescimento assim rápido, exponencial, é também o mecanismo pelo qual os vírus se espalham no nosso corpo.)

Há outra possibilidade, no entanto. No momento em que a civilização alcançar o estatuto de Tipo III, as pessoas terão recursos energéticos suficientes para sondar a «energia de Planck», ou 10^{22} milhões de eletrões-volt, a energia a que o próprio espaço-tempo se torna instável. (A energia de Planck é mil biliões de vezes maior do que a energia produzida pelo nosso maior acelerador de partículas, o LHC (Grande Acelerador de Hadrões), nos arredores de Genebra. É a energia a que a teoria da gravidade de Einstein finalmente deixa de funcionar. A este nível de energia, considera-se teoricamente que o tecido do espaço-tempo se rasgará finalmente, criando minúsculos portais que podem levar a outros universos, ou outros pontos no espaço-tempo.) Controlar uma energia desta vastidão requer máquinas colossais numa escala inimaginável, mas estas, se tiverem sucesso, podem criar atalhos possíveis através do tecido do espaço-tempo, quer comprimindo o espaço quer passando por buracos de verme. Assumindo que é possível superar um certo número de teimosos obstáculos teóricos e práticos (como controlar a energia positiva e negativa suficiente e remover instabilidades), é concebível que possa ser possível colonizar toda uma galáxia.

Isto impeliu muita gente a especular sobre a razão por que não nos visitaram elementos dessas civilizações. Onde estão eles? — perguntam os críticos.

Uma resposta possível é que talvez já tenham estado, mas nós somos demasiado primitivos para dar por isso. Sondas de von Neumann autorreplicantes seriam a maneira mais prática de explorar a galáxia, e não têm de ser enormes. Podem ter apenas

alguns centímetros de comprimento, por causa de avanços revolucionários da Nanotecnologia. Podem estar à vista de todos, mas não as reconhecemos porque estamos à procura da coisa errada, esperando uma enorme nave estelar transportando alienígenas do espaço. É mais do que provável que a sonda fosse completamente automática, parte orgânica e parte eletrônica, e não contivesse quaisquer alienígenas.

E se acabarmos por encontrar alienígenas, talvez sejamos surpreendidos pelo facto de eles terem há muito alterado a sua biologia usando robótica, nanotecnologia e biotecnologia.

Outra possibilidade é que se tenham autodestruído. Como mencionámos, a transição do Tipo 0 para o Tipo I é a mais perigosa de todas, dado que ainda possuímos toda a selvajaria, fundamentalismo, racismo e por aí adiante do passado. Pode ser que um dia, quando visitarmos as estrelas, venhamos a encontrar provas de civilizações do Tipo 0 que não conseguiram fazer a transição para o Tipo I (por exemplo, as suas atmosferas podem ser demasiado quentes, ou demasiado radioativas, para sustentar a vida).

7. Seti (Busca de Inteligência Extraterrestre)

No momento presente, as pessoas por todo o mundo certamente que não estão conscientes da marcha em direcção a uma civilização planetária do Tipo I. Não existe autoconsciência coletiva de que esta transição histórica está a ocorrer. Se fizermos uma sondagem,

algumas pessoas podem estar vagamente conscientes do processo de globalização, mas para além disso não há uma sensibilização consciente de que estamos apontados para um destino específico.

Tudo pode mudar subitamente se encontrarmos provas de vida inteligente no espaço. Então, ficaríamos imediatamente conscientes do nosso nível tecnológico em relação a essa civilização alienígena. Os cientistas, em particular, ficariam intensamente interessados em que tipos de tecnologias foram dominados por essa civilização.

Embora não possamos ter a certeza, é provável que no decorrer deste século venhamos a detetar uma civilização avançada no espaço, dados os rápidos progressos da nossa tecnologia.

Duas tendências tornaram isto possível. Primeiro, o lançamento de satélites especificamente desenhados para encontrar pequenos planetas rochosos extrassolares, os satélites COROT e Kepler. Espera-se que o Kepler identifique no espaço até 600 pequenos planetas semelhantes à Terra. Uma vez identificados esses planetas, o passo seguinte é centrar a nossa pesquisa em emissões inteligentes vindas de lá.

Em 2001, Paul Allen, o multimilionário da Microsoft, começou a doar fundos, mais de 30 milhões de dólares até agora, para dar um empurrão ao programa SETI, que estava parado. Isto aumentará imenso o número de radiotelescópios na instalação de Hat Creek, localizada a norte de São Francisco. O Allen Telescope Array, quando inteiramente operacional, terá 350 radiotelescópios, sendo

a instalação mais avançada de radiotelescópios do mundo. Enquanto no passado os astrónomos esquadriharam pouco mais de 1000 estrelas na sua busca de vida inteligente, o novo Allen Array aumentará esse número 1000 vezes, para um milhão de estrelas.

Embora os cientistas tenham andado durante quase cinquenta anos a procurar, em vão, sinais de civilizações avançadas, só recentemente é que esses dois desenvolvimentos deram um muito necessário empurrão ao programa SETI. Muitos astrónomos acreditam que houve simplesmente um esforço muito reduzido e muito poucos recursos devotados a este projeto. Com este influxo de novos recursos e novos dados, o programa SETI está a converter-se num projeto científico sério.

É concebível que possamos, no decorrer deste século, detetar sinais de uma civilização inteligente no espaço. (Seth Shostak, director do SETI Institute em Bay Area, disse-me que no espaço de vinte anos espera fazer um contato com uma civilização dessas. Pode ser demasiado otimista, mas é seguro dizer que dentro deste século será estranho que não detetemos sinais de outra civilização no espaço.)

Se forem encontrados sinais de uma civilização avançada, isso poderia ser um dos mais significativos marcos da história humana. Os filmes de Hollywood descrevem o caos que tal acontecimento pode desencadear, com profetas a dizerem-nos que o fim está perto, com loucos cultos religiosos a fazer horas extraordinárias, etc.

A realidade, contudo, é mais terra a terra. Não haverá necessidade de pânico imediato, dado que essa civilização pode nem saber que estamos a escutar as suas conversas. E se soubesse, seriam difíceis conversas diretas entre eles e nós, dada a enorme distância a que estão. Primeiro, podiam ser precisos meses ou anos para decodificar completamente a mensagem, e depois classificar a tecnologia dessa civilização, para ver se se adapta à classificação de Kardashev. Segundo, é natural que a comunicação direta com eles seja improvável, dado que a distância a que estão será de muitos anos-luz, demasiado longe para qualquer contato direto. Portanto, só seremos capazes de observar essa civilização, e não entraremos em conversação com ela. Haverá um esforço para construir transmissores de rádio gigantescos que possam enviar mensagens de volta aos alienígenas.

De facto, pode levar séculos antes que seja possível qualquer comunicação bidirecional com essa civilização.

8. Novas Classificações

A classificação de Kardashev foi introduzida na década de 1960, quando os físicos estavam preocupados com a produção de energia. No entanto, com a espetacular ascensão da capacidade dos computadores, a atenção voltou-se para a revolução da informação, em que o número de *bits* processados por uma civilização se tornou tão relevante como a sua produção de energia.

Uma pessoa pode imaginar, por exemplo, uma civilização alienígena num planeta em que os computadores são impossíveis porque a sua atmosfera é condutora de eletricidade. Nesse caso, qualquer aparelho elétrico rapidamente entraria em curto-circuito, criando faíscas, de modo que apenas as mais primitivas formas de aparelhos elétricos seriam possíveis.

Qualquer dínamo ou computador de grande dimensão rapidamente se queimaria. Podemos imaginar que uma civilização assim pudesse controlar combustíveis fósseis e energia nuclear, mas a sua sociedade seria incapaz de processar vastas quantidades de informação. Ser-lhes-ia difícil criar uma Internet ou um sistema de telecomunicações planetário, de modo que a sua economia e o seu progresso científico ficariam tolhidos. Apesar de serem capazes de ascender na escala de Kardashev, a ascensão seria muito lenta e dolorosa sem computadores.

Por consequência, Carl Sagan introduziu outra escala, baseada no processamento da informação. Congeminou um sistema em que as letras do alfabeto, de A a Z, correspondem a informação. Uma civilização do Tipo A é aquela que apenas processa um milhão de fragmentos de informação, correspondendo a uma civilização que tem apenas língua falada, mas não escrita. Se compilarmos toda a informação que sobreviveu da Grécia Antiga, que tinha uma língua escrita e uma literatura florescentes, é de cerca de mil milhões de *bits* de informação, fazendo dela uma civilização de Tipo C. Subindo a escala, podemos então estimar a quantidade de informação que a nossa civilização processa. Um palpite põe-nos como uma civilização de Tipo H. Portanto, a energia e o processamento de

informação da nossa civilização produzem uma civilização Tipo 0,7 H.

Em anos recentes, surgiu outra preocupação: poluição e resíduos. Energia e informação não são suficientes para classificar uma civilização. De facto, quanto mais energia uma civilização consome e quanto mais informação debita, mais poluição e resíduos pode produzir. Esta não é uma questão académica, pois os resíduos de uma civilização do Tipo I ou II podem ser suficientes para destruí-la.

Uma civilização do Tipo II, por exemplo, consome toda a energia que é produzida por uma estrela. Digamos que os seus motores são 50% eficientes, querendo assim dizer que metade dos resíduos que produz são-no sob a forma de calor. Isso é potencialmente desastroso porque significa que a temperatura do planeta se elevará até que se liquefaça! Pensem em milhares de milhões de centrais a carvão num planeta assim, debitando enormes quantidades de calor e gases que aquecem o planeta a ponto de tornar a vida impossível.

De facto, Freeman Dyson tentou uma vez encontrar civilizações do Tipo II no espaço procurando objetos que emitem primariamente radiação infravermelha, em vez de raios X ou luz visível. Isto porque uma civilização do Tipo II, mesmo que quisesse ocultar a sua presença a olhares curiosos criando uma esfera em torno de si própria, produziria inevitavelmente resíduos sob a forma de calor, de tal modo que resplandeceria de radiação infravermelha. Consequentemente, sugeriu que os astrónomos procurassem

sistemas estelares que produzissem principalmente luz infravermelha. (Contudo, nenhum foi encontrado.)

Ora isto gera a preocupação de que qualquer civilização que deixe a sua energia crescer descontroladamente possa cometer suicídio. Vemos, portanto, que energia e informação não são suficientes para assegurar a sobrevivência da civilização enquanto ela sobe na escala. Precisamos de uma nova escala, uma escala que considere eficiência, resíduos de calor e poluição. Uma nova escala que o faça é baseada noutro conceito, chamado entropia.

9. Classificar Civilizações pela Entropia

Idealmente, o que queremos é uma civilização que cresce em energia e informação, mas fá-lo sabiamente, de modo que o seu planeta não se torne insuportavelmente quente ou inundado de resíduos.

Isso foi vivamente ilustrado no filme da Disney, *Wall-E*, onde no futuro distante teremos poluído e degradado tanto a Terra que deixamos simplesmente a confusão para trás e vivemos vidas imoderadas em naves de cruzeiro de luxo deambulando pelo espaço.

É aqui que as leis da termodinâmica passam a ser importantes. A primeira lei da termodinâmica diz simplesmente que não se pode ter alguma coisa em troca de nada, ou seja, não há almoços grátis. Por outras palavras, a quantidade total de matéria e energia no

universo é constante. Ora, como vimos no capítulo 3, a segunda lei é a mais interessante e pode acabar por determinar o destino de uma civilização avançada. Posta de maneira simples, a segunda lei da termodinâmica diz que a quantidade total de entropia (desordem ou caos) cresce sempre. Isto significa que todas as coisas têm de acabar; os objetos têm de apodrecer, decair, enferrujar, ficar velhos ou cair em pedaços. (Nunca vemos a entropia total *decrecer*. Por exemplo, nunca vemos ovos estrelados a saltarem da frigideira de volta à casca. Nunca vemos cristais de açúcar numa chávena de café a subitamente se «desmisturarem» e saltarem para a colher. Esses eventos são tão excessivamente raros que a palavra «desmisturar» não existe em português — ou em qualquer outra língua.)

Portanto, se as civilizações do futuro produzirem cegamente energia enquanto se elevam ao Tipo II ou III, criarão tanto desperdício de calor que o seu planeta natal se tornará inabitável. A entropia, sob a forma de resíduo de calor, caos e poluição, destruirá essencialmente a civilização. Similarmente, se produzir informação derrubando florestas inteiras e gerando montanhas de papel desperdiçado, a civilização ficará enterrada nos seus resíduos de informação.

De modo que temos de introduzir ainda outra escala para classificar civilizações. Temos de introduzir dois novos tipos de civilizações. O primeiro é uma civilização «conservadora da entropia», que usa todos os meios ao seu dispor para controlar o excesso de resíduos e de calor. À medida que a sua energia continua a crescer exponencialmente, percebe que o seu consumo de energia

pode alterar o ambiente do planeta, tornando impossível a vida. A desordem total ou entropia produzida por uma civilização avançada continuará a subir em flecha, é inevitável. No entanto, a entropia local pode decrescer no planeta se for usada a nanotecnologia e a energia renovável para eliminar os resíduos e a ineficiência.

A segunda civilização, «desperdiçadora de entropia», continua a expandir sem limites o seu consumo de energia. Se o planeta natal se tornar inabitável, a civilização poderia tentar fugir dos seus excessos expandindo-se para outros planetas. Porém, o custo de criar colónias no espaço limitará a sua capacidade de expansão. Se a entropia crescer mais rapidamente do que a capacidade de expandir-se para outros planetas, a civilização enfrentará o desastre.

10. De Senhores da Natureza a Conservadores da Natureza

Como mencionámos acima, nos tempos antigos éramos observadores passivos da dança da natureza, olhando espantados para todos os mistérios à nossa volta. Hoje, somos como que coreógrafos da natureza, capazes de dobrar as suas forças aqui e ali. E lá para 2100, seremos senhores da natureza, capazes de movimentar objetos com as nossas mentes, controlando a vida e a morte, e alcançando as estrelas.

No entanto, se vamos ser senhores da natureza, também teremos de passar a ser conservadores da natureza. Se deixarmos

que a entropia cresça sem limite, pereceremos inevitavelmente pelas leis da termodinâmica. Uma civilização do Tipo II, por definição, consome a energia de uma estrela, e por isso a temperatura da superfície do planeta será escaldante se deixarmos que a entropia cresça sem peias. Porém, há maneiras de controlar o crescimento da entropia.

Por exemplo, quando visitamos um museu e vemos as enormes máquinas a vapor do século XIX, com as suas grandes caldeiras e vagões de negro carvão, vemos como eram ineficientes, desperdiçando energia e gerando enormes quantidades de resíduos de calor e poluição. Se as compararmos com um silencioso e reluzente comboio elétrico, vemos como hoje usamos a energia mais eficientemente. A necessidade de gigantescas centrais elétricas a carvão, expelindo para o ar enormes quantidades de resíduos de calor e poluição, pode ser vastamente reduzida se os eletrodomésticos forem energeticamente eficientes usando energia renovável e miniaturização. A nanotecnologia dá-nos oportunidade de reduzir ainda mais o desperdício de calor quando as máquinas forem reduzidas à escala atômica.

Do mesmo modo, se os supercondutores à temperatura ambiente forem descobertos neste século, isso significa uma completa renovação dos nossos requisitos de energia. Os resíduos de calor, sob a forma de atrito, serão grandemente reduzidos, aumentando a eficiência das nossas máquinas. Tal como mencionámos, a maioria do nosso consumo de energia, em especial nos transportes, vem de vencer o atrito. É por isso que pomos gasolina nos depósitos, mesmo não sendo precisa quase nenhuma

energia para nos deslocarmos da Califórnia a Nova Iorque se não houvesse atrito. Pode imaginar-se que uma civilização avançada seria capaz de executar muitíssimo mais tarefas com menos energia do que usamos hoje. Isto significa que podíamos ser capazes de pôr limites quantitativos à entropia produzida por uma civilização avançada.

11. Transição Muitíssimo Perigosa

A transição entre a nossa civilização corrente do Tipo 0 e uma futura civilização Tipo I é talvez a maior transição da História. Determinará se continuaremos a prosperar e florescer, ou se pereceremos devido à nossa loucura. Esta transição é extremamente perigosa porque ainda temos toda a selvajaria bárbara que tipificou a nossa dolorosa ascensão a partir do pântano. Raspe-se o verniz de civilização, e ainda se veem em ação as forças do fundamentalismo, sectarismo, racismo, intolerância, etc. A natureza humana não mudou muito nos passados 100 000 anos, exceto que agora temos armas nucleares, químicas e biológicas para resolver velhos conflitos.

No entanto, uma vez feita a transição para uma civilização Tipo I, teremos muitos séculos para resolver as nossas diferenças. Como vimos em capítulos anteriores, as colónias espaciais continuarão a ser extremamente dispendiosas no futuro, de modo que é improvável que uma significativa porção da população mundial abandone a Terra para colonizar Marte ou a cintura de asteroides. Até que projetos radicalmente novos de foguetões baixem os custos ou até que o elevador espacial seja construído, as viagens espaciais

continuarão a ser do domínio dos governos e dos ricos. Para a maioria das pessoas da Terra, isto significa que ficarão no planeta quando atingirmos o estatuto Tipo I. Significa também que teremos séculos para atenuar as nossas diferenças como civilização Tipo I.

12. A Busca de Sabedoria

Vivemos em tempos excitantes. A ciência e a tecnologia estão a abrir-nos mundos com que anteriormente apenas podíamos sonhar. Quando olho para o futuro da ciência, com todos os seus desafios e riscos, vejo esperança genuína. Descobriremos mais sobre a natureza nas décadas vindouras do que em toda a história humana combinada — muitas vezes mais.

Nem sempre foi assim.

Considerem-se as palavras de Benjamin Franklin, o último grande cientista/estadista da América, quando apresentou uma previsão, não somente para o século seguinte, mas para os mil anos seguintes. Em 1780, anotou com desgosto que os homens agiam frequentemente como lobos uns dos outros, principalmente por causa do pesado fardo de sobreviverem num mundo duro.

Escreveu:

É impossível imaginar a altura a que pode ser levado, num milhar de anos, o poder do homem sobre a matéria. Talvez possamos aprender a despojar grandes massas da sua gravidade, e a dar-lhes levitação absoluta, a bem de um transporte fácil. A agricultura pode diminuir o seu labor e duplicar a sua produção; todas as doenças podem ser prevenidas ou curadas por meios seguros, não excetuando a idade

avançada. e as nossas vidas prolongadas o quanto queiramos, até para lá do padrão antediluviano.²

Franklin escrevia num tempo em que os camponeses arrancavam do solo uma parca existência, em que carros de bois traziam produtos a apodrecer para o mercado, em que pragas e fomes eram factos da vida, e só um punhado de afortunados vivia para lá dos quarenta anos. (Em Londres, em 1750, dois terços das crianças morriam antes dos cinco anos.) Franklin viveu numa época em que parecia não haver esperança de que um dia fôssemos capazes de resolver esses velhíssimos problemas. Ou, como escreveu Thomas Hobbes em 1651, a vida era «solitária, pobre, sórdida, embrutecida e curta.»

Hoje, muito aquém dos mil anos de Franklin, as suas previsões estão a mostrar-se verdadeiras.

Esta fé — de que razão, ciência e intelecto nos libertariam um dia da opressão do passado — foi veiculada na obra do Marquês de Condorcet *Esboço de um Quadro Histórico dos Progressos do Espírito Humano*, que alguns afirmam ser a mais exata previsão de acontecimentos futuros alguma vez escrita. Fez uma variedade de previsões, todas muito heréticas, mas que vieram todas a verificar-se. Previu que as colónias do Novo Mundo acabariam por se libertar da Europa e depois avançariam rapidamente por beneficiarem da tecnologia europeia. Previu o fim da escravatura por toda a parte. Previu que as explorações agrícolas aumentariam grandemente a quantidade e a qualidade de alimentos produzidos por hectare. Previu que a ciência cresceria rapidamente e beneficiaria a

humanidade. Previu que seríamos libertados da corveia da vida diária e teríamos mais tempo de lazer. Previu que o controlo dos nascimentos seria um dia amplamente disseminado.

Em 1795, parecia não haver esperança de que essas previsões se cumprissem.

Benjamin Franklin e o marquês de Condorcet viveram ambos numa época em que a vida era curta e brutal e a ciência estava ainda na infância. Olhando para trás, para estas previsões, podemos apreciar inteiramente os rápidos avanços feitos na ciência e na tecnologia, que criaram suficiente abundância e riqueza para tirarem milhares de milhões da selvajaria do passado. Olhando para trás para o mundo de Franklin e Condorcet, podemos ser sensíveis a que, de todas as criações da humanidade, a criação da ciência foi de longe a mais importante. A ciência tirou-nos das profundezas do pântano e elevou-nos ao limiar das estrelas.

No entanto, a ciência não fica parada. Como mencionámos atrás, em 2100, teremos o poder dos deuses da mitologia que em tempos venerámos e tememos. Em particular, a revolução informática deve dar-nos a capacidade de manipular a matéria com a mente, a revolução biotecnológica deve dar-nos a capacidade de criar vida quase a pedido e alargar o nosso período de vida, e a revolução nanotecnológica pode dar-nos a capacidade de alterar a forma dos objetos e até de os criar a partir de nada. E tudo isto pode acabar por levar à criação de uma civilização planetária do Tipo I. Por consequência, a geração agora viva é a mais importante de sempre a caminhar na superfície da Terra, porque determinará se

alcançaremos uma civilização Tipo I ou nos despenharemos no abismo.

A ciência é por si mesma moralmente neutra. A ciência é como uma espada de dois gumes. Um lado da espada pode cortar pobreza, doença e ignorância, mas o outro lado da espada pode cortar pessoas. A maneira como esta poderosa espada será usada depende da sabedoria dos que a empunham.

Como Einstein disse certa vez, «A ciência pode apenas determinar o que é, mas não o que será; e fora do seu reino, os juízos de valor continuam a ser indispensáveis.» A ciência resolve alguns problemas, para apenas criar outros, mas num nível mais alto.

Vimos o lado brutal e destruidor da ciência durante a Primeira e a Segunda Guerras Mundiais. O mundo assistiu com horror ao modo como a ciência podia causar ruína e devastação numa escala nunca antes vista, com a introdução do gás venenoso, da metralhadora, de bombardeamentos de cidades inteiras, e da bomba atômica. A selvajaria da primeira parte do século XX soltou as amarras da violência quase para lá da compreensão.

A ciência também permitiu que a humanidade reconstruísse e se elevasse acima da ruína da guerra, criando ainda maior paz e prosperidade para milhares de milhões de pessoas. Logo, o verdadeiro poder da ciência é que nos fortalece — dando-nos mais

opções. A ciência aumenta o espírito inovador, criativo e paciente da humanidade e também as nossas flagrantes deficiências.

13. Chave para o Futuro: Sabedoria

A chave, portanto, é encontrar a sabedoria necessária para manejar a espada da ciência. Como disse o filósofo Immanuel Kant, «A ciência é conhecimento organizado. A sabedoria é vida organizada.»³ Na minha opinião, a sabedoria é a capacidade de identificar as questões cruciais do nosso tempo, analisá-las de muitos pontos de vista diferentes, e depois escolher aquela opção que realiza alguma meta e algum princípio nobres.

Na nossa sociedade, a sabedoria é difícil de conseguir. Como disse Isaac Asimov, «o aspeto mais triste da sociedade neste momento é que a ciência adquire conhecimento mais depressa do que sociedade adquire sabedoria.»⁴ Diferentemente da informação, sabedoria não pode ser distribuída via blogues ou por conversa na Internet. Dado que nos estamos todos a afogar num oceano de informação, a mercadoria mais preciosa na sociedade moderna é a sabedoria. Sem sabedoria e visão, somos deixados à deriva sem objetivo e sem finalidade, com um sentimento vago e oco depois de a novidade da informação ilimitada estar gasta.

Ora, de onde vem a sabedoria? Em parte, a sabedoria vem de debate democrático racional e informado de lados opostos. Este debate é frequentemente confuso, grosseiro, e sempre áspero, mas dos trovões e do fumo emerge uma genuína clarividência. Na nossa

sociedade, este debate emerge sob a forma de democracia. Como observou certa vez Winston Churchill, «a democracia é a pior forma de governo, com exceção de todas as outras que têm sido experimentadas de tempos a tempos.»⁵

Portanto, a democracia não é fácil. Para tê-la, é preciso trabalhar. George Bernard Shaw disse, «a democracia é um instrumento que assegura que não seremos mais bem governados do que merecemos.»⁶

Hoje, a Internet, com todos os seus erros e excessos, está a emergir como guardiã das liberdades democráticas. Questões que antes eram discutidas à porta fechada estão agora a ser dissecadas e analisadas num milhar de sítios Web.

Os ditadores vivem com o receio da Internet, aterrorizados com o que acontece quando os seus povos se erguem contra eles. De modo que hoje, o pesadelo de 1984 desapareceu, com a Internet a mudar, passando de um instrumento de terror a um instrumento de democracia.

Da cacofonia do debate emerge sabedoria. No entanto, a maneira mais segura de melhorar um debate vigoroso e democrático é por meio da instrução, porque só um eleitorado instruído pode tomar decisões sobre tecnologias que determinarão o destino da nossa civilização. Em última instância, o povo decidirá por si mesmo quão longe levar uma dada tecnologia, e em que

direções se deve desenvolver, mas só um eleitorado informado e instruído pode tomar essas decisões sabiamente.

Infelizmente, muitos permanecem lamentavelmente ignorantes dos enormes desafios que enfrentaremos no futuro. Como podemos gerar novas indústrias para substituir as antigas? Como prepararemos os jovens para o mercado de trabalho do futuro? Até que ponto devemos levar a engenharia genética em humanos? Como podemos reparar um sistema educativo decadente, disfuncional, para ir ao encontro dos desafios do futuro? Como podemos defrontar o aquecimento global e a proliferação nuclear?

A chave para uma democracia é um eleitorado instruído, informado, que pode discutir racional e desapassionadamente os problemas do dia. A finalidade deste livro é ajudar a iniciar o debate que determinará como este século se revelará.

14. Futuro como Comboio de Carga

Em síntese, o futuro é nosso para que o criemos. Nada está escrito na pedra. Como Shakespeare escreveu, em *Júlio César*, «O erro, caro Brutus, não está nas nossas estrelas, mas em nós mesmos...» Ou, como Henry Ford disse uma vez, talvez menos eloquentemente, «A História é mais ou menos tarimba. É tradição. Nós não queremos tradição. Queremos viver no dia de hoje e a única história que vale alguma coisa é a história que fazemos hoje.»⁷

Logo, o futuro é como um enorme comboio de carga voando nos carris em direção a nós. Por detrás desse comboio está o suor e a labuta de milhares de cientistas que estão a inventar o futuro nos seus laboratórios. Pode ouvir-se o apito do comboio. Diz: biotecnologia, inteligência artificial, nanotecnologia e telecomunicações. Todavia, a reação de alguns é dizer, «Estou velho demais. Não consigo aprender. Vou apenas deitar-me e deixar-me atropelar pelo comboio.» Contudo, a reação dos jovens, dos enérgicos, e dos ambiciosos é dizer. «Ponham-me nesse comboio! Esse comboio representa o meu futuro. É o meu destino. Ponham-me no lugar do maquinista.»

Esperemos que as pessoas deste século usem a espada da ciência sabiamente e com compaixão.

No entanto, para compreender melhor como poderemos viver numa civilização planetária, talvez possa ser instrutivo viver um dia em 2100, para ver como essas tecnologias afetarão as nossas vidas quotidianas e também as nossas carreiras, as nossas esperanças e os nossos sonhos.

¹ Kenichi Ohmae, *The End of the Nation State: The Rise of Regional Economies* (New York: Free Press, 1995), p. 45.

² Benjamin Franklin, carta a Joseph Priestley, citada em Cornish, p. 173

³ http://www.brainyquote.com/quotes/authors/i/immanuel_kanC2.html.

⁴ <http://www.brainyquote.com/quotes/topics/topic science4.html>.

⁵ <http://www.brainyquote.com/quotes/keywords/democracy.html>.

⁶ http://www.brainyquote.com/quotes/authors/g/george_bernard_shaw_2.htm.

⁷ Citado em Rhodes, p. 61.

CAPÍTULO 9

Um Dia na Vida em 2100

De Aristóteles a São Tomás de Aquino, a perfeição significava sabedoria enraizada na experiência e na relação pela qual a vida moral se aprende pelo exemplo. A nossa perfeição não reside no melhoramento dos genes, mas no melhoramento do carácter.

— STEVEN POST

1. 1 de Janeiro de 2100, 6:15

DEPOIS DE UMA NOITE de festa rija na Véspera de Ano Novo, o leitor dorme profundamente.

Subitamente, o seu ecrã de parede acende-se. Um rosto familiar e amigável aparece no ecrã. É Molly, o programa de *software* que comprou recentemente. Molly anuncia alegremente:

— John, acorde. Chamam-no no escritório. Em pessoa. É importante.

— Um momento, Molly! Deves estar a brincar! — resmunga o leitor — É dia de Ano Novo e tenho uma ressaca. De qualquer forma, o que pode ser tão importante?

Lentamente, arrasta-se para fora da cama e dirige-se relutantemente à casa de banho. Enquanto lava a cara, centenas de sensores de ADN e proteínas ocultos no espelho, sanita e lavatório entram silenciosamente em ação, analisando as moléculas que emite na respiração e os fluídos corporais, procurando o mais leve sinal de qualquer doença ao nível molecular.

Deixando a casa de banho, enrola em volta da cabeça alguns fios, que lhe permitem controlar telepaticamente a sua casa: sobe mentalmente a temperatura do apartamento, liga uma música repousante, diz ao cozinheiro robótico que lhe faça o pequeno-almoço e um pouco de café, e ordena ao seu automóvel magnético que saia da garagem e se prepare para levá-lo. Quando entra na cozinha, vê os braços mecânicos do cozinheiro robótico a preparar ovos exatamente como gosta.

Depois coloca as suas lentes de contato e liga-se à Internet. Piscando, vê a Internet que brilha na retina do seu olho. Enquanto bebe o café quente, começa a percorrer os cabeçalhos que cintilam nas suas lentes de contato.

- O posto avançado em Marte está a pedir mais abastecimentos. O Inverno em Marte aproxima-se rapidamente. Os colonizadores, para completarem a

próxima etapa da colonização, precisam de mais recursos da Terra para enfrentarem o frio de gelar. O plano é começar a primeira fase da terraformação de Marte elevando a temperatura da superfície.

- As primeiras naves estelares estão prontas para lançamento. Milhões de nanobôs, cada um do tamanho de uma cabeça de alfinete, serão disparados da base lunar, voarão em roda de Júpiter usando o seu campo magnético, e partirão rumo a uma estrela próxima. Serão precisos anos, contudo, para que um punhado desses nanobôs alcance o seu destino noutro sistema estelar.
- Mais um animal extinto vai para o jardim zoológico local. Desta vez, é um raro tigre-dentes-de-sabre, trazido de volta à vida com o ADN congelado encontrado na tundra. Como a Terra tem estado a aquecer, tem sido recuperado ADN de cada vez mais animais, que depois é clonado para encher os jardins zoológicos pelo mundo todo.
- O elevador espacial, depois de anos a transportar carga para o espaço, está agora a permitir um número limitado de turistas para o espaço. O custo da viagem espacial, em anos recentes, já baixou 50% desde que o elevador espacial foi inaugurado.

- As centrais de fusão mais antigas têm agora quase cinquenta anos. Chegou o momento de começar a desativar algumas delas e de construir novas.
- Os cientistas estão a monitorizar cuidadosamente um novo vírus letal que subitamente surgiu no Amazonas. Até ao momento, parece confinado a uma pequena área, mas não há cura conhecida. Equipas de cientistas estão freneticamente a sequenciar os seus genes para compreender os pontos fracos do vírus e como lutar contra ele.

De súbito, um artigo desperta a sua atenção:

- Uma grande infiltração foi inesperadamente descoberta nos diques que rodeiam Manhattan. A menos que os diques sejam reparados, a cidade inteira pode ficar submersa, como muitas outras cidades do passado.

— Oh, oh — diz para consigo. — Então é por isso que o escritório telefonou e me acordou.

Salta o pequeno-almoço e precipita-se para a porta. O seu automóvel, que saiu sozinho da garagem, está à sua espera na rua. Ordena por telepatia ao automóvel que o leve ao escritório tão rapidamente quanto possível. O automóvel magnético acede instantaneamente à Internet, ao GPS, e a milhares de milhões de

chips ocultos na estrada que monitorizam constantemente o tráfego.

O seu automóvel magnético arranca silenciosamente, flutuando numa almofada de magnetismo criada pelo pavimento supercondutor. A face de Molly aparece subitamente no pára-brisas do automóvel.

— John, a última mensagem do escritório diz que vá ter com todos à sala de conferências. E também tem uma mensagem vídeo da sua irmã.

Com o automóvel a guiar-se por si, o leitor tem tempo para percorrer o correio de vídeo deixado pela sua irmã. A imagem dela aparece no seu relógio de pulso e diz:

— John, lembra-te de que temos este fim-de-semana a festa de anos do Kevin, que faz seis anos. Prometeste-lhe o cão robô mais recente. E, já agora, andas com alguém? Estava a jogar bridge na Internet, e encontrei uma pessoa de que podes gostar.

— Oh, oh — diz para consigo.

O leitor gosta de se deslocar no seu automóvel magnético. Não há solavancos nem buracos com que se preocupar, dado que ele paira acima da rua. Melhor de tudo, raramente precisa de pôr combustível, pois quase não há atrito que o faça baixar de velocidade. (É difícil de acreditar, devaneia, que havia uma crise de

energia na primeira parte do século. Sacode a cabeça, percebendo que a maior parte da energia era perdida a vencer o atrito.)

Recorda-se de quando abriu a primeira autoestrada supercondutora. Os média lamentaram que a Era da eletricidade estivesse a chegar ao fim, abrindo a porta à nova Era do magnetismo. Atualmente, não sente saudades nenhuma da Era da eletricidade. Olhando para fora, vendo automóveis, camiões e comboios reluzentes a passar por si no ar, percebe que o magnetismo é o caminho a seguir e que se poupa dinheiro nesse processo.

O seu automóvel magnético desloca-se agora ao lado da lixeira da cidade. Repara que a maior parte do lixo é composto por peças de computadores e robôs. Com os *chips* a custarem quase nada, menos ainda do que a água, os que ficam obsoletos estão a empilhar-se nas lixeiras das cidades por todo o mundo. Fala-se de usar *chips* para construir aterros.

2. O Escritório

Finalmente, chega ao edifício do escritório, quartel-general de uma importante companhia de construção. Quando entra, quase não repara que um *laser* está silenciosamente a verificar a sua íris e a identificar o seu rosto. Já não são precisos cartões de segurança de plástico. A sua identidade é o seu corpo.

A sala de reuniões está quase vazia, apenas com um punhado de colegas de trabalho à volta da mesa. Porém, nessa altura, nas suas lentes de contato, as imagens 3-D dos participantes começam a materializar-se rapidamente à volta da mesa. Os que não podem vir ao escritório estão aqui holograficamente.

Observa a sala. As suas lentes de contato identificam todas as pessoas sentadas à mesa, mostrando as suas biografias e experiência. Há um bom número de pessoas importantes aqui, repara. Mentalmente, toma nota das pessoas importantes que estão presentes.

A imagem do seu patrão materializa-se subitamente na cadeira.

— Meus senhores — anuncia —, como provavelmente ouviram, os diques em volta de Manhattan começaram subitamente a ter fugas. É grave, mas detetámos a tempo, de modo que não há perigo de colapso. No entanto, infelizmente, os robôs que mandámos para reparar os diques falharam.

Instantaneamente, as luzes baixam de intensidade e o leitor fica completamente rodeado pelas imagens 3-D do dique subaquático. Está completamente mergulhado em água, com a imagem do dique com uma enorme fenda olhando para si.

À medida que a imagem roda, pode ver com precisão onde ocorreu a fuga. Pode ver um grande e estranho corte no dique que chama a sua atenção.

— Os robôs não chegam — continua o seu patrão. — Isto é o tipo de fuga que não faz parte do programa deles. Precisamos de mandar pessoas experientes que sejam capazes de avaliar a situação e de improvisar. Não preciso de lembrar-vos de que, se falharmos, Nova Iorque pode sofrer o mesmo destino de outras grandes cidades, algumas delas agora submersas.

Um arrepio percorre o grupo. Todos conhecem o caso de grandes cidades que tiveram de ser abandonadas quando os níveis do mar subiram. Embora as tecnologias renováveis e a energia de fusão tivessem tirado o lugar, há muitas dezenas de anos, aos combustíveis fósseis como principal fonte de energia do planeta, as pessoas ainda estão a sofrer por causa do dióxido de carbono que já tinha sido libertado na atmosfera na primeira parte do último século.

Depois de muita discussão, fica decidido enviar a equipa de reparação de robôs controlados por humanos. É aqui que o leitor entra em ação. Ajudou a conceber esses robôs. Trabalhadores humanos treinados são postos numa cabina, onde lhes são adaptados elétrodos em volta da cabeça. Os sinais cerebrais dos trabalhadores permitem-lhes um contato telepático com os robôs. Das cabinas, os trabalhadores podem ver e sentir tudo que os robôs veem e sentem. É exatamente como se estivessem lá, com a diferença de que estão num novo corpo super-humano.

Está, justificadamente, orgulhoso do seu trabalho. Esses robôs telepaticamente controlados provaram o que valem muitas e muitas vezes. A base lunar é em grande parte controlada por trabalhadores

humanos, instalados confortavelmente e em segurança nas suas cabinas na Terra. No entanto, dado que é preciso cerca de um segundo para um sinal rádio alcançar a Lua, isso também quer dizer que esses trabalhadores têm de ser treinados para se ajustarem a esse lapso temporal.

(Gostaria muito de pôr os seus robôs na base de Marte, também. Contudo, dado que leva mais de vinte minutos para um sinal alcançar Marte e vinte minutos para voltar, foi decidido que comunicar com robôs em Marte seria demasiado difícil. Infelizmente, apesar de todo o nosso progresso, há uma coisa que não podemos ajustar: a velocidade da luz.)

Porém, na reunião há algo que ainda o incomoda.

Finalmente, o leitor ganha coragem para interromper o patrão.

— Caro senhor, odeio dizer isto, mas olhando para a fuga no dique, a racha parece suspeita, como se fosse uma marca deixada por um dos nossos próprios robôs.

Um sonoro murmúrio enche imediatamente a sala. Pode ouvir o coro de objeções que se levanta.

— O nosso próprio robô? Impossível. Absurdo. Nunca aconteceu antes — protestam todos.

Então o patrão silencia a sala e responde solenemente.

— Estava com medo que alguém levantasse esta questão, por isso deixem-me dizer que é assunto de grande importância, que tem de ser mantido em estrita confidencialidade. Esta informação não deve deixar esta sala, até que publiquemos o nosso próprio comunicado de imprensa. Sim, a fuga foi causada por um dos nossos robôs que subitamente ficou fora de controlo.

É o pandemónio na reunião. As pessoas sacodem a cabeça. Como pode ser isto?

— Os nossos robôs têm tido um comportamento perfeito — insiste o patrão. — Absolutamente imaculado. Nem um único robô causou qualquer dano, nunca. O seu mecanismo de segurança contra falhas mostrou, vezes sem conta, ser eficiente. Tem sido assim. Mas, como sabem, a nossa geração mais recente de robôs avançados usa computadores quânticos, que são os mais potentes, aproximando-se mesmo da inteligência humana. Sim, inteligência humana. E, na teoria quântica, há sempre uma pequena, mas definida probabilidade de que aconteça algo errado. Neste caso, perder as estribeiras.

O leitor cai para trás na cadeira, esmagado pelas notícias.

3. De Regresso a Casa

Foi um dia muito longo, primeiro a organizar a equipa de reparação de robôs para consertar a fuga, e depois a ajudar a desativar todos os robôs experimentais que usam computadores

quânticos, pelo menos até esse problema ser finalmente resolvido. Por fim, regressa a casa. Está estafado. Quando se enterra confortavelmente no sofá, Molly aparece no ecrã de parede. — John, tem uma mensagem importante do Dr. Brown.

Dr. Brown? O que tem o seu robô médico a dizer?

— Põe-no no ecrã — ordena a Molly. O seu médico aparece no ecrã de parede. O «Dr. Brown» é tão realista que esquece por vezes que ele é apenas um programa de *software*.

— Peço desculpa de incomodar, John, mas há algo para que tenho de pedir a sua atenção. Lembra-se do seu acidente de esqui no ano passado, aquele que quase o matou?

Como se poderia ter esquecido? Ainda estremece quando se lembra como foi contra uma árvore enquanto esquiava no que resta dos Alpes. Dado que a maior parte da neve alpina já se derreteu, teve de escolher uma estância a grande altitude com que não estava familiarizado. Não acostumado ao terreno, caiu violentamente pela encosta abaixo e chocou contra um grupo de árvores a sessenta e cinco quilómetros por hora. Ai!

O Dr. Brown prossegue:

— Os meus registos mostram que ficou inconsciente, sofrendo uma concussão e extensos ferimentos internos, mas a sua roupa salvou-lhe a vida.

Apesar de estar inconsciente, a roupa que vestia chamou automaticamente uma ambulância, enviou a sua história médica, e localizou as suas coordenadas exatas. Depois, no hospital, robôs executaram uma microcirurgia para parar a hemorragia, coseram minúsculos vasos sanguíneos que se tinham rompido, e consertaram os outros danos.

— O seu estômago, fígado e intestinos ficaram danificados para lá de uma possível reparação — lembra-lhe o Dr. Brown. — Por sorte, pudemos cultivar um novo conjunto de órgãos para si, mesmo a tempo.

Subitamente, sente-se um pouquinho como um robô, com uma parte tão grande do corpo feita de órgãos criados numa fábrica de tecidos vivos.

— Sabe, John, os meus registos também mostram que podia ter substituído o seu braço destruído por um inteiramente mecânico. O braço robótico mais recente teria aumentado cinco vezes a força do seu. Mas recusou.

— Sim — responde o leitor —, acho que ainda sou um homem antiquado. Um destes dias aceitarei carne sobre aço — diz o leitor.

— John, temos de fazer um exame de controlo periódico aos seus novos órgãos. Pegue no seu aparelho de IRM e passe-o devagar em cima da área do estômago.

Vai à casa de banho e pega num pequeno aparelho, do tamanho aproximado de um telemóvel, e passa-o lentamente por cima dos seus órgãos. Imediatamente, pode ver aparecer, no ecrã de parede, a imagem 3-D dos seus órgãos.

— John, vamos analisar estas imagens para ver como o seu corpo se está a recompor. Já agora, esta manhã os sensores de ADN da casa de banho detetaram cancro a desenvolver-se no pâncreas.

— Cancro? — Endireita-se de um golpe. Está confuso. — Eu pensava que o cancro tinha sido curado há anos. Ninguém fala muito disso por estes dias. Como posso ter cancro?

— De facto, os cientistas nunca curaram o cancro. Digamos apenas que temos uma trégua com o cancro, um impasse. Há muitas espécies de cancro. É como a constipação comum. Também nunca a curámos. Mantemo-las simplesmente controladas. Encomendei algumas nanopartículas para matar essas células cancerosas. No entanto, sem esta intervenção é provável que venha a morrer dentro de perto de sete anos — diz impassível.

— Ah, que alívio — diz para consigo.

— Sim, hoje podemos detetar o cancro antes de se formar um tumor — diz o Dr. Brown.

— Tumor? Que é isso?

— Ah, é uma palavra antiquada para um tipo avançado de cancro. Está a desaparecer bastante da linguagem. Já nunca a ouvimos — acrescenta o Dr. Brown.

O leitor percebe então que, com toda esta excitação, se esqueceu de que a sua irmã ameaçou juntá-lo com alguém. Volta a chamar Molly — Molly, não faço nada este fim-de-semana, podes encontrar uma companhia para mim? Sabes de que tipo de pessoa gosto.

— As suas preferências estão programadas na minha memória. Espere um minuto enquanto pesquiso a Internet. — Um minuto depois, Molly apresenta os perfis de candidatas promissoras que estão também sentadas em frente dos seus ecrãs de parede, fazendo a mesma pergunta.

Depois de analisar as candidatas, seleciona finalmente uma que lhe interessa. Chama-se Karen, tem um ar algo especial, pensa o leitor.

— Molly, manda à Karen uma mensagem simpática, perguntando-lhe se está disponível este fim-de-semana. Há um restaurante novo, acabado de abrir, que quero experimentar.

Molly envia então o seu perfil para Karen em correio de vídeo.

Nessa noite, relaxa convidando para sua casa alguns colegas de trabalho para beber umas cervejas e ver futebol. Os seus amigos podiam ter visto futebol estando presentes na sua sala de estar

através de imagens holográficas, mas, de certa forma, dar vivas ao clube que se apoia é mais aprazível com os amigos juntando-se pessoalmente à excitação. Sorri, imaginando que provavelmente era assim há milhares de anos, quando os homens das cavernas tiveram de se relacionar uns com os outros.

Subitamente, toda a sala fica iluminada, e é como se estivesse mesmo no estádio, na linha das 50 jardas. Quando o meio-campo faz um passe para a frente, está mesmo ao lado dele. O jogo é jogado em redor de si.

Durante o intervalo, o leitor e os seus amigos começam a avaliar os jogadores. Bebendo cerveja e comendo pipocas, opina calorosamente sobre quem treina mais, pratica com mais denodo, tem os melhores treinadores e o melhor terapeuta génico. O seu clube, concordam todos, tem o melhor geneticista da liga, com os melhores genes que o dinheiro pode comprar.

Depois de os amigos saírem, está ainda demasiado excitado para ir dormir. De modo que decide jogar um jogo rápido de póquer antes de se ir deitar.

— Molly — pede, — é tarde, mas quero um jogo de póquer. Sinto-me com sorte. Deve haver alguém acordado em Inglaterra, na China, Índia ou Rússia, que queira jogar um pouco neste momento.

— Não há problema — diz Molly. Um certo número de rostos promissores aparece no ecrã. À medida que as imagens 3-D de cada

jogador se materializam na sua sala de estar, saboreia a ideia de quem será o melhor a fazer bluff. É divertido, diz para consigo, que seja mais íntimo de pessoas em países distantes, a milhares de quilómetros, do que dos vizinhos da porta ao lado. As fronteiras nacionais não significam muito nestes dias.

Finalmente, imediatamente antes de se deitar, Molly volta a interromper, aparecendo no espelho da casa de banho.

— John, a Karen aceitou o seu convite. Está tudo preparado para este fim-de-semana. Farei uma reserva no novo restaurante. Quer ver o perfil que ela escreveu? É sabido que as pessoas... ah... mentem sobre os seus perfis.

— Não — diz o leitor. — Deixemos que seja uma surpresa para o fim-de-semana. Depois do jogo de póquer, sente-se novamente com sorte.

4. O Fim-de-Semana

Agora é fim-de-semana, e altura de ir às compras e encontrar um presente para Kevin.

— Molly, põe o centro comercial no ecrã.

O centro comercial aparece no ecrã de parede. Agita os braços e os dedos, e a imagem no ecrã percorre um caminho pelo centro comercial. Dá uma volta virtual até chegar à imagem da loja de

brinquedos. Sim, têm exatamente os animais domésticos robóticos que quer. Ordena telepaticamente ao automóvel que o leve ao centro comercial. (Podia ter encomendado o brinquedo online. Ou podia obter os planos, enviados para si por correio eletrónico, e depois ordenar ao seu fabricante que materializasse o brinquedo em sua casa a partir do zero usando matéria programável. Porém, é sempre bom sair do apartamento e ir às compras de vez em quando.)

Deslocando-se no seu automóvel magnético, olha para fora e vê pessoas a passear. Está um dia tão bonito. Vê também robôs de todos os géneros. Robôs para passear o cão. Robôs caixeiros, cozinheiros, rececionistas, e animais domésticos. Parece que toda a tarefa perigosa, repetitiva ou que requer apenas a interação humana mais simples está a ser duplicada por robôs. De facto, os robôs são agora um grande negócio. A toda a sua volta, vê anúncios a pedir alguém que seja capaz de reparar, fazer a manutenção, melhorar ou construir robôs. Qualquer pessoa no campo da robótica tem um futuro brilhante. O negócio dos robôs é maior do que a indústria automóvel do século passado. E a maioria dos robôs, percebe o leitor, estão ocultos à vista, reparando silenciosamente a infraestrutura da cidade e mantendo serviços essenciais.

Quando chega à loja de brinquedos, um empregado robô dá-lhe as boas-vindas à entrada.

— Em que posso ajudá-lo? — pergunta.

— Quero comprar um cão robô.

Olha para os cães robô mais recentes. É espantoso o que esses animais domésticos robôs podem fazer, diz para si. Podem brincar, correr, apanhar, tudo o que um cão é capaz de fazer. Tudo menos sujar a carpete. Talvez seja por isso que os pais os comprem para os filhos, medita.

Então diz ao empregado robô:

— Quero comprar um animal doméstico robô para o meu sobrinho de seis anos. Ele é muito inteligente, uma criança do tipo «mãos na massa», mas é também tímido e tranquilo, por vezes. Que tipo de cão o poderia ajudar a sair da sua concha?

O robô responde:

— Lamento. Isso está fora do meu programa. Talvez o possa interessar num brinquedo do espaço?

Esqueceu-se de que os robôs têm um longo caminho a percorrer até compreenderem o comportamento humano, por mais versáteis que sejam.

Depois vai à loja de roupa de homem. É tempo de substituir a roupa maltrapilha que usa se quer impressionar a mulher com quem vai encontrar-se. Veste alguns fatos de estilista. Todos parecem elegantes, mas são do tamanho errado. Fica desapontado. Então

puxa do cartão de crédito, que contém todas as suas medidas exatas em 3-D. Os seus dados são fornecidos ao computador, e depois é cortado um fato novo na fábrica, fato que em breve será entregue à sua porta. Um ajuste perfeito sempre.

Por fim, vai ao supermercado. Esquadrinha todos os *chips* ocultos em cada artigo de plástico e compara preços, nas suas lentes de contato, para ver que loja da cidade tem os melhores produtos e mais baratos. Já não são precisos palpites acerca dos preços mais baixos.

5. O Encontro

Tem estado na expectativa deste encontro toda a semana. Preparando-se para o encontro com Karen, fica surpreendido por se sentir novamente como um miúdo da escola. Decide que, se vai convidá-la para o seu apartamento depois do jantar, terá de fazer uma séria remodelação da sua mobília gasta. Felizmente, a maior parte das bancadas da cozinha e da mobília da sala de estar é feita de matéria programável.

— Molly — diz o leitor, — podes mostrar-me o catálogo de novas bancadas de cozinha e mobílias oferecidas pelo fabricante? Quero reprogramar a mobília. Tem um ar tão velho.

Num instante, as fotos das mobílias de design mais recente brilham no ecrã.

— Molly, por favor descarrega os planos desta bancada de cozinha, aquele sofá, e esta mesa, e depois instala-os, por favor.

Enquanto se apronta para o encontro, Molly descarrega e instala os planos. Instantaneamente, a bancada da cozinha, o sofá da sala de estar e a mesa começam a dissolver-se, transformam-se numa coisa que tem o aspeto de massa de vidraceiro, e depois voltam gradualmente a adquirir forma nas novas configurações. Numa hora, o seu apartamento fica novinho em folha. (Recentemente, o leitor esteve a pesquisar a secção de propriedades na Internet, e reparou que as casas feitas de matéria programável estavam a ficar muito em voga. De facto, na sua empresa de engenharia, há planos ambiciosos para criar uma cidade inteira no deserto totalmente feita de matéria programável. Carrega-se num botão, e — puf! — nasce uma cidade instantânea.)

O seu apartamento ainda parece um pouco pesado, decide o leitor. Acena com a mão, e o padrão e a cor do papel de parede mudam imediatamente. Ter papel de parede inteligente certamente que vale mais do que ter de voltar a pintar as paredes, diz para si.

Compra umas flores no caminho e finalmente vai buscar a sua companhia. Fica agradavelmente surpreendido. Acertou em cheio. Sente-se o clique.

Ao jantar, descobre que Karen é artista. Normalmente, brinca ela, podia estar sem um tostão, com fome, e a vender quadros no passeio em troca de algo para comer. Em vez disso, é uma

desenhadora Web de sucesso. De facto, tem a sua empresa. Toda a gente, ao que parece, quer os mais recentes desenhos para a Web. Há enorme procura de arte criativa.

Ela desenha alguns círculos no ar com os dedos, e algumas das suas animações ficam visíveis no ar.

— Aqui estão algumas das minhas mais recentes criações — diz com orgulho.

O leitor comenta:

— Sabes, como engenheiro, trabalho todo o dia com robôs. Alguns são bastante avançados, mas, por vezes, também podem agir de maneira muito estúpida. Que acontece no teu campo? Os robôs estão já a fazer incursões?

— De maneira nenhuma — protesta ela. Karen diz que trabalha exclusivamente com pessoas criativas, em que o bem de consumo mais apreciado é a imaginação, algo que falta mesmo aos robôs mais avançados.

— Posso ser antiquada, mas no meu campo, usamos robôs apenas para fazer cópias ou trabalho de escritório — diz com orgulho. — Gostaria de ver o dia em que os robôs podem fazer algo realmente original, como contar uma piada, escrever um romance, ou compor uma sinfonia.

Isso ainda não aconteceu, mas pode acontecer, pensa o leitor.

Enquanto ela fala, uma pergunta ocorre-lhe. Que idade tem ela?

Dado que o processo de envelhecimento foi medicamente desacelerado já há anos, as pessoas podem ter uma idade qualquer. O sítio Web dela não dizia a idade, mas não parece ter nem um dia mais do que vinte e cinco anos.

Depois de levá-la a casa, começa ociosamente a sonhar acordado. Como seria viver com uma pessoa como ela? Passar o resto da vida com ela? Porém, há algo que está a incomodá-lo. Tem estado a importuná-lo todo o dia.

Põe-se diante do ecrã e ordena:

— Molly, por favor liga ao Dr. Brown. — Está subitamente grato por os médicos robôs irem a casa em qualquer altura do dia. E nunca se queixam nem invocam dores de barriga. Não faz parte da programação deles.

A imagem do Dr. Brown aparece instantaneamente no ecrã de parede.

— Há alguma coisa que o está a incomodar? — pergunta em tom paternal.

— Doutor, tenho de lhe fazer uma pergunta que me tem estado a perturbar ultimamente.

— Sim, de que se trata? — pergunta o Dr. Brown.

— Doutor, quanto tempo de vida pensa que tenho?

— Quer dizer, qual é a sua esperança de vida? Bom, não sabemos realmente, os seus registos dizem que tem setenta e dois anos, mas biologicamente os seus órgãos estão mais perto dos trinta. Faz parte da primeira geração que foi geneticamente reprogramada para viver mais tempo. Escolheu parar de envelhecer perto dos trinta. Ainda não morreram pessoas suficientes da sua geração, de modo que não temos dados para trabalhar. Portanto, não temos maneira de saber quanto tempo viverá.

— Então pensa que viverei para sempre?

— Se é imortal? — o Dr. Brown franze o sobrolho. — Não, penso que não. Há uma grande diferença entre alguém que vive para sempre e alguém que tem uma duração de vida tão longa que ainda não foi medida.

— Se não envelheço — protesta o leitor, — então como posso saber quando... Detém-se a meio da frase. — Ah, está bem... sabe, acabei de conhecer uma pessoa, ah, especial, e, assumindo que desejo planejar uma vida com ela, como ajusto as etapas da minha vida com a dela? Se a minha geração ainda não viveu o suficiente

para morrer — continua — então como posso saber quando me casar, ter filhos, e planejar a reforma? Sabe, como defino os marcos da minha vida?

— Não sei que resposta dar-lhe. Sabe, a humanidade é agora uma cobaia, de certo modo — diz o Dr. Brown. — Desculpe, John. Está em águas inexploradas.

6. Meses Seguintes

Os meses seguintes são uma maravilhosa surpresa para si e para Karen. O leitor leva-a ao salão da realidade virtual e divertem-se imenso a viver vidas tolas, imaginárias. Como voltar a ser criança, por exemplo. Entra numa câmara vazia. O *software* de um mundo virtual é projetado nas suas lentes de contato, e o cenário muda instantaneamente. Num programa, está a fugir de dinossauros, mas seja para onde for que corra, outro dinossauro sai de rompante dos arbustos. Noutro programa, está a combater alienígenas espaciais ou piratas que tentam abordar o seu navio. Noutro, decide mudar de espécie e transforma-se em duas águias que pairam nos ares. E noutro programa, está a aquecer-se ao sol numa romântica ilha dos mares do Sul, ou a dançar ao luar com música que flutua suavemente no ar.

Depois de algum tempo, o leitor e Karen querem tentar algo novo. Em vez de viverem vidas imaginárias, decidem viver vidas reais. Assim, quando ambos têm tempo de férias juntos, decide fazer uma viagem rápida pela Europa.

Diz para a parede:

— Molly, Karen e eu queremos planejar umas férias na Europa. Verdadeira. Por favor, procura voos, hotéis e qualquer coisa especial. Depois lista os possíveis espetáculos ou eventos que nos possam interessar. Conheces os nossos gostos.

Em poucos minutos, Molly preparou um itinerário detalhado.

Mais tarde, enquanto caminham pelas ruínas do Fórum Romano, pode ver o Império Romano ressuscitado nas lentes de contato. Passando pelas colunas partidas, pedras, e detritos, contempla o poderio do que em tempos foi a Roma imperial no auge da sua glória.

E ir às compras é uma delícia, mesmo quando se regateia em italiano nas lojas locais. Pode ver claramente as traduções a aparecer por baixo da pessoa com quem está a falar. E não são precisos guias nem mapas maljeitosos. Está tudo nas lentes de contato.

À noite, contemplando o céu por cima de Roma, podem ver claramente as estrelas dispostas em constelações nas vossas lentes de contato. Percorrendo o céu com o olhar, podem ver imagens aumentadas dos anéis de Saturno, cometas que voam, lindas nuvens de gás, e estrelas que explodem.

Um dia, Karen revela um segredo, a sua verdadeira idade. Tem sessenta e um anos. De certa maneira, isso já não parece muito importante.

— Bom, Karen, sentes-te mais feliz agora que vivemos por tanto tempo?

— Sim, sim! — responde imediatamente. — Sabes, a minha avó viveu numa época em que as mulheres se casavam, tinham família, e talvez conseguissem uma carreira. Eu gosto de sentir que reincarnei três vezes, com três carreiras, e nunca olhei para trás. Primeiro, fui guia turística em vários países, viajando pelo mundo. Foi uma vida maravilhosa. O turismo é uma indústria tão vasta, com inúmeros empregos. Mais tarde, quis fazer algo mais relevante. De modo que me tornei advogada, defendendo casos e pessoas que me diziam alguma coisa. E então, decidi satisfazer o meu lado artístico e iniciei a minha companhia de desenho para a Web. E sabes uma coisa? Tenho orgulho em dizer que nunca usei um robô. Nenhum robô pode ser guia turístico pessoal, ganhar um caso nos tribunais, ou produzir um belo trabalho artístico.

O tempo dirá, pensa o leitor.

— E estás a planear uma quarta carreira? — pergunta.

— Bom, talvez, se aparecer alguma coisa melhor. — Ela sorri para si.

— Karen — diz o leitor finalmente, — se paramos de envelhecer, como saberás qual é o melhor momento para, bom, para te casares, ter filhos, e constituir família? O relógio biológico foi pela janela fora há dezenas de anos. Portanto, estava a pensar, talvez seja o momento de assentar e ter uma família.

— Queres dizer ter filhos? — pergunta Karen, um pouco surpreendida. — Isso é algo em que não pensei seriamente. Bom, até agora, quero dizer. Depende tudo de aparecer o homem certo —, diz ela, enquanto sorri maliciosamente.

Mais tarde, discutem o casamento, que nome poderiam escolher para um filho e também que genes querem que a criança tenha.

Vai até ao ecrã de parede e diz:

— Molly, podes dar-me a lista dos genes mais recentes que foram aprovados pelo governo? — Enquanto percorre a lista, vê os vários genes para a cor do cabelo, cor dos olhos, altura, complexão, e até alguns traços de personalidade que estão agora à disposição. A lista parece crescer a cada ano que passa. Vê também a lista de doenças hereditárias que podem ser curadas. Dado que a fibrose cística tem aparecido na sua família durante séculos, é um alívio já não ter de se preocupar com ela.

Percorrendo a lista dos genes aprovados, sente que não é apenas um futuro progenitor, mas uma espécie de deus, criando um filho à sua imagem.

Então Molly diz:

— Há um programa que pode analisar o ADN de um bebé e depois dar uma aproximação razoável do rosto, configuração do corpo e personalidade futuros. Quer descarregar esse programa e ver com quem se poderia parecer o seu filho no futuro?

— Não — responde o leitor. — Algumas coisas devem permanecer um mistério.

7. Um Ano Mais Tarde

Karen está grávida, mas os médicos tranquilizam-na que não há perigo em fazer uma viagem no elevador espacial, que está aberto aos turistas.

— Sabes — admite o leitor para Karen, — em criança, sempre quis ir ao espaço. Fazer de astronauta. Porém, um dia pensei que me ia sentar em cima de milhões de litros de volátil combustível de foguetão que podia explodir com uma única faísca. Então o meu entusiasmo pelo espaço começou a arrefecer um pouco. Todavia, o elevador espacial é diferente. Limpo, seguro, sem barafunda. É o caminho a seguir.

Quando entram no elevador, veem o operador carregar no que parece ser o botão Subir. Quase esperam ver o departamento de roupa interior, como se estivessem num grande armazém. Em vez disso, sentem-se a subir como uma flecha em direção ao espaço.

Sentem a lenta aceleração à medida que rapidamente se elevam no ar. O indicador do elevador mostra, «10 quilómetros, 20 quilómetros, 30 quilómetros...»

Lá fora, veem o cenário a mudar, segundo após segundo. Num momento estão a olhar para nuvens fofas que passam por eles à medida que se elevam rapidamente na atmosfera. Depois o céu muda de azul a púrpura para um negro profundo, e por fim veem as estrelas a rodeá-los em todo o seu esplendor. Começam a identificar as constelações como nunca as viram antes, brilhando na distância. As estrelas não estão a brilhar, como aparecem na Terra, mas olham fixamente, luminosas, como fizeram por milhares de milhões de anos.

O elevador pára devagar a cerca de 160 quilómetros da superfície da Terra. Do espaço, têm uma vista deslumbrante que anteriormente só conheciam de imagens.

Olhando para baixo, veem subitamente a Terra a uma luz inteiramente nova. Veem os oceanos, os continentes e as luzes de megacidades que brilham no espaço.

Do espaço, a Terra aparece tão serena que é difícil acreditar que, em tempos, as pessoas derramaram sangue travando guerras por causa de tolas fronteiras. Essas nações ainda existem, mas parecem tão bizarras, tão menos relevantes hoje, numa Era em que a comunicação é instantânea e ubíqua.

Quando Karen encosta a cabeça no seu ombro, começa a perceber que está a assistir ao nascimento de uma nova civilização planetária. E o vosso filho estará entre os primeiros cidadãos dessa nova civilização.

E então, o leitor tira do bolso de trás um livro velho e gasto e lê para ela as palavras de alguém que morreu há mais de cem anos. Elas lembram-lhe os desafios a enfrentar pela humanidade antes de alcançar uma civilização planetária.

Mahatma Gandhi escreveu em tempos:

As Raízes da Violência:

Riqueza sem trabalho,

Prazer sem consciência,

Conhecimento sem carácter.

Comércio sem moralidade,

Ciência sem humanidade,

Adoração sem sacrifício,

Política sem princípios.