Mark Miodownik

PRÊMIO WINTON DE LIVROS DE CIÊNCIAS DA ROYAL SOCIETY

DE QUE SÃO FEITAS AS COISAS

DE QUE SÃO FEITAS AS COISAS

DE QUE SÃO FEITAS AS COISAS

As curiosas histórias dos maravilhosos materiais que formam o mundo dos humanos

Mark Miodownik

TRADUÇÃO

Marcelo Barbão

Título original: *Stuff Matters – The Strange Stories of the Marvellous Materials That Shape Our Man-Made World*

Original English language edition first published by Penguin Books Ltd, London

Text copyright © Mark Miodownik, 2013

Copyright desta edição © Editora Edgard Blücher Ltda., 2015

The author and illustrator has asserted his moral rights.

All rights reserved.

Publisher Edgard Blücher
Editor Eduardo Blücher
Produção editorial Bonie Santos, Camila Ribeiro, Isabel Silva
Diagramação Negrito Produção Editorial
Preparação de texto Thaís Totino
Revisão de texto Bruna Gabriel Pedro
Capa Leandro Cunha
Produção gráfica Alessandra Ferreira
Comunicação Jonatas Eliakim

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar
04531-934 – São Paulo – SP – Brasil
Tel.: 55 11 3078-5366
contato@blucher.com.br
www.blucher.com.br

Segundo o Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed. do Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa, Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer meios, sem autorização escrita da Editora.

Todos os direitos reservados pela Editora Edgard Blücher Ltda.

FICHA CATALOGRÁFICA

Miodownik, Mark
De que são feitas as coisas: as curiosas histórias dos maravilhosos materiais que formam o mundo dos humanos/ Mark Miodownik; tradução de Marcelo Barbão. – São Paulo: Blucher, 2015.
312 p.: il.

Bibliografia
ISBN 978-85-212-0965-2
Título original: *Stuff Matters: The Strange Stories of the Marvellous Materials That Shape Our Man-Made World*

1. Ciência dos materiais – Obras populares I. Título II. Barbão, Marcelo

15-1030 CDD 620.11

Índices para catálogo sistemático:
1. Ciência dos materiais

Para Ruby, Lazlo e Ida

Conteúdo

Introdução 9

1 Indomável 21
2 Confiável 43
3 Fundamental 77
4 Delicioso 101
5 Maravilhoso 123
6 Imaginativo 145
7 Invisível 183
8 Inquebrável 205
9 Refinado 229
10 Imortal 245
11 Síntese 267

Agradecimentos 283
Leituras recomendadas 287
Índice remissivo 289
Créditos das fotos 303

Introdução

Enquanto estava em um trem sangrando em razão do que mais tarde seria classificado como uma ferida de lâmina de treze centímetros, eu me perguntava o que fazer. Era maio de 1985 e eu tinha acabado de entrar em um vagão do metrô de Londres bem quando a porta estava se fechando, deixando meu agressor do lado de fora, mas não antes que ele tivesse conseguido me ferir nas costas. A ferida ardia como um daqueles cortes de papel no dedo, e não percebi a seriedade da coisa; mas, sendo um estudante britânico na época, o embaraço superou qualquer tipo de senso comum. Então, em vez de pedir ajuda, decidi que a melhor coisa seria me sentar e ir para casa, e foi isso, por mais bizarro que pareça, o que fiz.

Para me distrair da dor e da sensação incômoda do sangue escorrendo pelas costas, tentei entender o que tinha acabado de acontecer. Meu assaltante tinha se aproximado de mim na plataforma pedindo dinheiro. Quando neguei com a cabeça, ele chegou desconfortavelmente perto, olhou para mim intensamente e falou que tinha uma faca. Algumas gotas de sua saliva atingiram meus óculos quando ele disse isso. Segui seu olhar até o bolso do casaco

azul que usava, no qual estava enfiada sua mão. Tive a sensação de que era seu dedo indicador que estava criando a saliência pontuda. Então outro pensamento cruzou minha mente: mesmo se ele tivesse uma faca, deveria ser tão pequena para caber naquele bolso que não poderia me causar muitos danos. Eu tinha canivetes e sabia que seria muito difícil que uma lâmina daquelas superasse as muitas camadas de roupa que eu estava usando; minha jaqueta de couro, da qual sentia muito orgulho, meu blazer de lã cinza da escola por baixo dela, meu suéter de nylon com gola V, minha camisa branca de algodão com a gravata escolar obrigatória com meio laço e meu colete de algodão. Um plano se formou rapidamente em minha cabeça: continue falando com ele e depois passe por ele, empurrando-o, e entre no trem quando as portas estiverem se fechando. Eu conseguia ver o trem chegando e tinha certeza de que ele não teria tempo para reagir.

O mais engraçado era que eu estava certo em uma coisa: ele não tinha uma faca. Sua arma era uma lâmina de barbear enrolada em fita. Esse pequeno pedaço de aço, não muito maior que um selo postal, tinha cortado cinco camadas das minhas roupas e depois a epiderme e a derme da minha pele de uma vez, sem qualquer problema. Quando vi aquela arma na delegacia mais tarde, fiquei espantado. Tinha visto lâminas de barbear antes, claro, mas agora compreendia que não as conhecia bem. Tinha acabado de começar a fazer a barba na época, e só as tinha visto em plásticos laranja, na forma de barbeadores Bic bem seguros. Quando a polícia me perguntou sobre a arma, a mesa entre nós balançou e a gilete em cima dela, também. Ao balançar sob a luz fluorescente, vi claramente que sua ponta ainda estava perfeita, sem ser afetada pelo trabalho que havia feito à tarde.

Lembro que depois tive de preencher um formulário, com meus pais ansiosamente sentados perto de mim e se perguntando:

por que está hesitando? Talvez eu tivesse esquecido meu nome e endereço? Na verdade eu tinha começado a me fixar no grampo no alto da primeira página. Tinha certeza de que também era feito de aço. Este aparentemente mundano pedaço de metal prateado tinha perfurado o papel de forma precisa. Examinei o outro lado. Suas duas pontas estavam dobradas firmemente uma contra a outra, mantendo o maço de papéis junto em um forte abraço. Um joalheiro não poderia ter feito melhor. (Mais tarde descobri que o primeiro grampeador foi feito à mão para o Rei Luis XV da França, com cada grampo tendo a sua insígnia. Quem teria imaginado que os grampeadores teriam sangue real?) Declarei que era "primoroso" e falei isso para meus pais, que se entreolharam preocupados, pensando que eu estava tendo um colapso nervoso.

E acho que estava mesmo. Certamente algo muito estranho estava acontecendo. Era o nascimento da minha obsessão por materiais – começando com o aço. De repente fiquei ultrassensível à sua presença em todos os lugares. Vi na ponta da caneta que estava usando para preencher o formulário policial; tiniu no molho de chaves de meu pai enquanto ele esperava impaciente; mais tarde, naquele mesmo dia, ele me protegeu e levou para casa, cobrindo a parte externa de nosso carro em uma camada não mais grossa que um cartão-postal. Estranhamente, senti que nosso Mini de aço, normalmente tão barulhento, estava se comportando bem naquele dia, materialmente se desculpando pelo incidente do esfaqueamento. Quando chegamos em casa, sentei perto do meu pai na mesa da cozinha e tomamos juntos, e em silêncio, a sopa de minha mãe. Então parei, percebendo que até tinha um pedaço de aço na minha boca. Chupei de propósito a colher de aço inoxidável com a qual estava tomando a sopa, então a tirei da boca e estudei sua aparência brilhante, tão brilhante que até conseguia ver meu reflexo distorcido na cavidade da colher. "O que é isso?", perguntei, mostrando a colher para meu pai. "E

por que não tem gosto de nada?" Coloquei de volta na minha boca para verificar, e chupei com força.

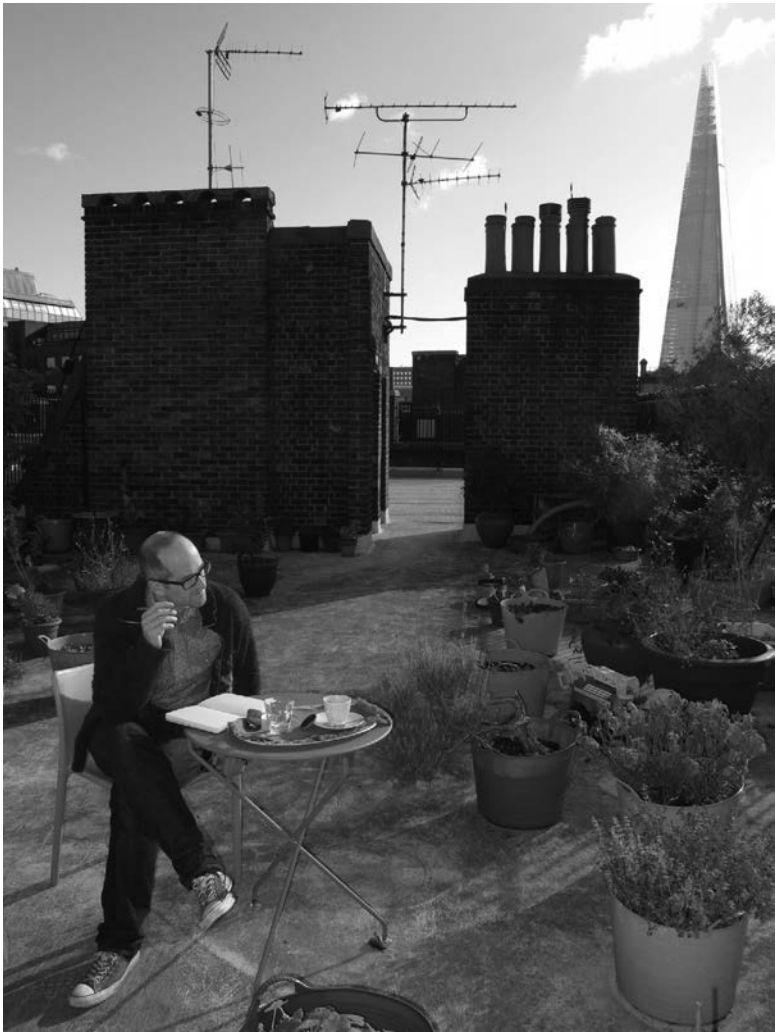
Então me surgiram milhões de perguntas. Como é que esse material faz tantas coisas por nós, e quase nunca falamos dele? É um caráter íntimo em nossas vidas – colocamos em nossas bocas, usamos para nos livrar de pelos indesejados, para dirigir por aí – é nosso amigo mais fiel e, mesmo assim, quase não sabemos como ele funciona. Por que uma lâmina de barbear corta enquanto um clipe de papel dobra? Por que os metais brilham? Por que, falando nisso, o vidro é transparente? Por que todo mundo parece odiar o concreto, mas amar o diamante? E por que o chocolate tem um gosto tão bom? Por que qualquer material tem o visual que tem e se comporta da maneira como se comporta?

Desde o incidente do esfaqueamento, passei a maior parte do meu tempo obcecado pelos materiais. Estudei ciência de materiais na Universidade de Oxford, concluí um doutorado em ligas de motor de jatos e trabalhei como cientista e engenheiro de materiais em alguns dos laboratórios mais avançados do mundo. Neste caminho, minha fascinação por materiais continuou a crescer – e com ela, minha coleção de extraordinárias amostras deles. Essas amostras agora foram incorporadas a uma grande biblioteca de materiais, construída com meus amigos e colegas Zoe Laughlin e Martin Conreen. Alguns são impossivelmente exóticos, como um pedaço de aerogel da NASA, que é 99,8% formado por fumaça sólida que parece ar; alguns são radioativos, como um vidro de urânio que encontrei no fundo de uma loja de antiguidades na Austrália; alguns são pequenos, mas absurdamente pesados, como lingotes de tungstênio extraídos cuidadosamente do mineral volframita; alguns são completamente familiares, mas têm um segredo escondido, como uma amostra de concreto com capacidade de se autocurar. Essa biblioteca, com mais de mil materiais, mostra os

ingredientes que construíram nosso mundo, nossos lares, nossas roupas, nossas máquinas, nossa arte. A biblioteca está localizada e é mantida no Institute of Making, que é parte da Universidade de Londres. Você poderia reconstruir nossa civilização a partir do conteúdo dessa biblioteca, e destruí-la também.

Mas existe uma biblioteca de materiais muito maior, contendo milhões de materiais, a maior parte já conhecida, que está crescendo em uma taxa exponencial: o próprio mundo humano. Considere a fotografia da página seguinte. Nela, apareço tomando chá no terraço do meu apartamento. É comum em todos os sentidos, exceto que, ao ser olhada com cuidado, fornece um catálogo das coisas que compõem nossa civilização. Essas coisas são importantes. Tirem o concreto, o vidro, os tecidos, o metal e os outros materiais da cena e fico nu, tremendo no meio do ar. Gostamos de pensar que somos civilizados, mas essa civilização está em grande parte concebida pela riqueza material. Sem essas coisas, rapidamente teríamos de enfrentar a mesma luta básica para sobreviver que os animais. Até certo ponto, então, o que permite que nos comportemos como humanos são nossas roupas, nossas casas, nossas cidades, nossas coisas, que nos animam com nossos costumes e nossa linguagem. (Isso fica claro se você já visitou uma zona de desastre.) Assim, o mundo material não é apenas uma demonstração da nossa tecnologia e da nossa cultura, é parte de nós. Inventamos isso, criamos e, em troca, ele nos faz quem somos.

Para nós, a importância fundamental dos materiais é aparente a partir dos nomes que usamos para categorizar os estágios da civilização – a Idade da Pedra, Idade do Bronze e Idade do Ferro – com cada nova era da existência humana sendo criada a partir de um novo material. O aço foi o material definidor da Era Vitoriana, permitindo aos engenheiros criar pontes suspensas, ferrovias, motores a vapor e transatlânticos de passageiros. O grande



engenheiro Isambard Kingdom Brunel o usou para transformar a paisagem e plantar as sementes do modernismo. O século XX geralmente é aclamado como a Era do Silício, depois do avanço na ciência de materiais que conduziram ao chip de silício e à revolução informática. Mas isso só serve para ignorar o caleidoscópio

de outros materiais novos que também revolucionaram a vida moderna nessa época. Arquitetos usaram chapas de vidro produzidas em massa e combinadas com aço estrutural para construir arranha-céus que inventaram um novo tipo de cidade. Designers de produto e de moda adotaram plásticos e transformaram nossas casas e roupas. Polímeros foram usados para produzir celuloides e conduziram à maior mudança na cultura visual dos últimos mil anos: o cinema. O desenvolvimento de ligas de alumínio e superligas de níquel nos permitiu construir motores a jato e voar mais barato, acelerando assim a colisão de culturas. Cerâmicas médica e dentária permitiram a nossa própria reconstrução e a redefinição de deficiências e envelhecimento – e, como o termo "cirurgia plástica" implica, materiais são geralmente a chave para novos tratamentos usados para reparar nossas capacidades (substituição de quadril) ou alterar nossas características (implantes de silicone para aumentar os seios). A exposição de Gunther von Hagens, *Body Worlds,* também testemunha a influência cultural de novos biomateriais, convidando-nos a contemplar nossa fisicalidade tanto na vida quanto na morte.

Este livro é para aqueles que querem decifrar o mundo material que construímos, e descobrir de onde vêm esses materiais, como eles funcionam e o que falam sobre nós. Os próprios materiais são, em geral, surpreendentemente obscuros, apesar de estarem ao nosso redor. Em uma primeira inspeção, eles raramente revelam seus distintos recursos e costumam se misturar no fundo de nossas vidas. A maioria dos metais é brilhante e cinza; quantas pessoas conseguem ver a diferença entre alumínio e aço? As madeiras são bem diferentes umas das outras, mas quantas pessoas podem dizer por quê? Plásticos são confusos; quem sabe a diferença entre polietileno e polipropileno? E o mais importante, talvez: por que deveríamos nos importar?

Eu me importo e quero contar o porquê. Além do mais, quando o assunto são as coisas que fazem parte de tudo, dá para começar por qualquer parte. E assim, por esses dois motivos, escolhi como ponto de início e inspiração para os conteúdos deste livro, a minha foto no terraço. Selecionei dez materiais encontrados naquela foto para contar a história das coisas. Para cada um, tentei descobrir o desejo que o criou, decodifiquei a ciência de materiais por trás dele, fico maravilhado com nossas façanhas tecnológicas ao sermos capazes de criá-lo, mas acima de tudo, tento expressar por que aquilo é importante.

Pelo caminho, descobrimos que, como acontece com as pessoas, as diferenças reais entre materiais estão bem abaixo da superfície, um mundo que está fechado para a maioria sem acesso a sofisticados equipamentos científicos. Então, para entender a materialidade, devemos necessariamente nos afastar da escala humana da experiência e entrar no espaço interno dos materiais. É nesta escala microscópica que descobrimos a razão de alguns materiais terem cheiro e outros, não; por que alguns materiais podem durar mil anos e outros ficam amarelados e desmoronam sob o sol; como é que alguns vidros são à prova de bala, enquanto uma taça de vinho se estilhaça com facilidade. A viagem para esse mundo microscópico revela a ciência por trás da nossa comida, das nossas roupas, dos nossos aparelhos, das nossas joias e, claro, dos nossos corpos.

Apesar de a escala física desse mundo ser muito menor, vamos descobrir que a escala de tempo é geralmente muito maior. Peguemos, por exemplo, um pedaço de barbante, que existe na mesma escala que o cabelo. O barbante é uma estrutura feita por humanos no limite de nossa visão, que permitiu a criação de cordas, cobertores, tapetes, mas, principalmente, roupas. O tecido é um dos primeiros materiais feitos pelos humanos. Quando usamos uma calça jeans, ou qualquer outro tipo de roupa, estamos usando

uma estrutura de tecido em miniatura, cujo design é mais antigo que Stonehenge. As roupas nos mantiveram aquecidos e protegidos durante toda a história registrada, assim como nos mantêm na moda. Mas também são alta tecnologia. No século XX, aprendemos como criar trajes espaciais de tecido resistentes o suficiente para proteger os astronautas na Lua; fizemos tecidos sólidos para membros artificiais; e de uma perspectiva pessoal, fico feliz com o desenvolvimento de roupas interiores à prova de facadas feitas de uma fibra sintética de alta resistência chamada *kevlar*. Essa evolução das nossas tecnologias de materiais em mil anos é algo que vou retomar muitas vezes neste livro.

Cada novo capítulo apresenta não apenas um material diferente, mas uma forma distinta de olhar para ele – alguns terão uma perspectiva histórica primária, outros, algo mais pessoal; alguns são visivelmente dramáticos, outros, mais frios cientificamente; alguns enfatizam a vida cultural do material, outros, sua impressionante habilidade técnica. Todos os capítulos são uma mistura única dessas propostas, pela simples razão de que os materiais e nossos relacionamentos com eles são muito diversificados e uma única forma não poderia ser usada para todos. O campo da ciência dos materiais fornece o quadro mais poderoso e coerente para entendê-los tecnicamente, mas há mais coisas do que ciência nos materiais. Afinal, tudo é feito de algo, e aqueles que fazem as coisas – artistas, designers, cozinheiros, engenheiros, carpinteiros, joalheiros, cirurgiões e assim por diante – têm uma compreensão diferente dos aspectos práticos, emocionais e sensuais de seus materiais. Foi essa diversidade de conhecimento de materiais que tentei capturar.

Por exemplo, o capítulo sobre papel está na forma de uma série de instantâneos, não só porque o papel aparece de muitas formas, mas porque é usado por quase todo mundo em uma infinidade

de formatos diferentes. O capítulo sobre biomateriais, contudo, é uma viagem profunda nos interstícios de nosso *Eu* material: nossos corpos, na verdade. Esse é um terreno que está rapidamente se tornando o Velho Oeste da ciência de materiais, onde novos materiais estão abrindo uma nova área da biônica, permitindo que o corpo seja reconstruído com a ajuda de bioimplantes criados para se encaixar "de forma inteligente" à nossa carne e ao nosso sangue. Tais materiais trarão profundas consequências para a sociedade, pois prometem mudar de forma fundamental o relacionamento com nosso próprio corpo.

Como tudo, no final, é constituído por átomos, não podemos evitar falar sobre as regras que os governam, que são descritas pela teoria conhecida como mecânica quântica. Isso significa que, quando entramos no mundo atômico do pequeno, devemos abandonar totalmente o sentido comum e falar, em vez disso, de funções de onda e estados do elétron. Um número cada vez maior de materiais está sendo criado do zero nessa escala, e podem realizar tarefas aparentemente impossíveis. Os chips de silício criados usando a mecânica quântica iniciaram a era da informação. Células solares criadas de forma similar têm o potencial de resolver nossos problemas de energia usando apenas a luz solar. Mas ainda não chegamos lá e precisamos de petróleo e carvão mineral. Por quê? Neste livro, tento jogar um pouco de luz sobre os limites do que podemos esperar conseguir examinando a nova esperança nessa área: grafeno.

A ideia central por trás da ciência de materiais, então, é que mudanças em escalas invisivelmente pequenas se manifestam como mudanças no comportamento de um material em escala humana. Foi esse o caminho trilhado por nossos ancestrais para fazer novos materiais como bronze e aço, mesmo sem ter microscópios para ver o que estavam fazendo – uma conquista impressionante! Por exemplo, quando golpeamos uma peça de metal, não estamos

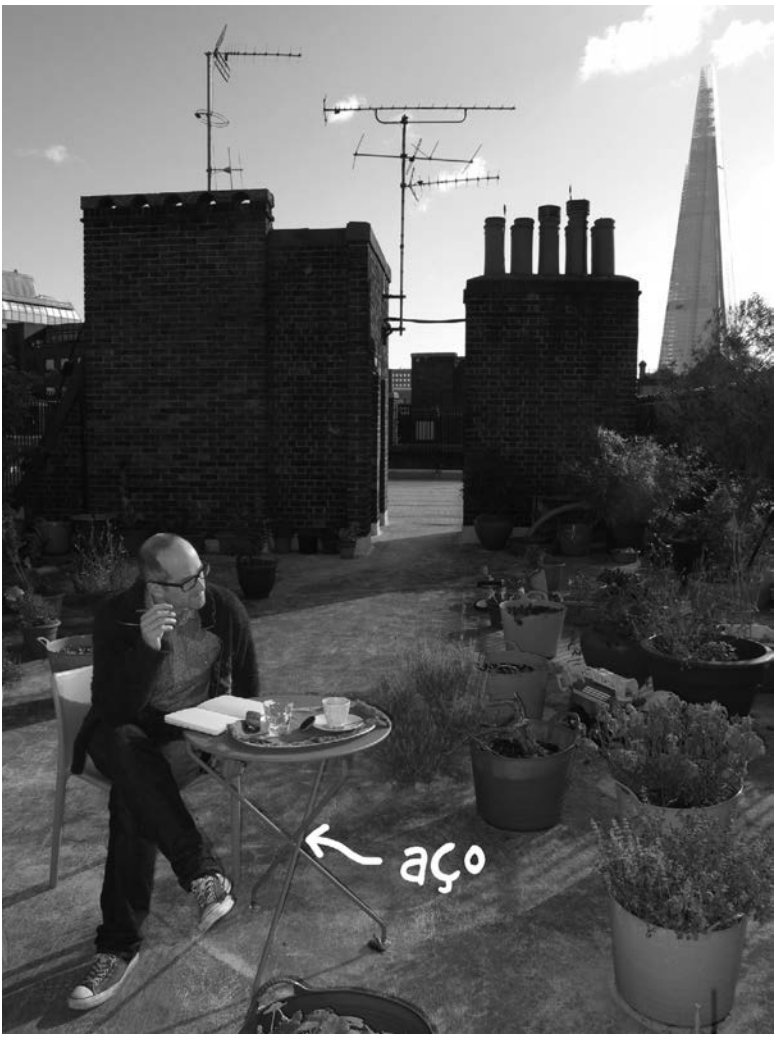
apenas mudando seu formato, estamos mudando a estrutura interna do metal. Se você golpear de uma maneira particular, a estrutura interna muda de certa forma deixando o metal mais duro. Nossos ancestrais sabiam disso por experiência, apesar de não saberem por quê. Esse acúmulo gradual de conhecimento nos tirou da Idade da Pedra e trouxe ao século XX antes que qualquer apreciação real da estrutura dos materiais fosse compreendida. A importância da compreensão empírica de materiais, encapsulada nessa técnica do ferreiro, continua: sabemos quase tudo dos materiais deste livro com nossas mãos, além de compreender com o cérebro.

Esse relacionamento sensual e pessoal com as coisas tem consequências fascinantes. Adoramos alguns materiais, apesar de seus problemas, e detestamos outros, mesmo se forem mais práticos. Peguemos a cerâmica, por exemplo. É o material da comida: de nossos pratos, tigelas e canecas. Nenhum lar ou restaurante está completo sem esse material. Nós o utilizamos desde a invenção da agricultura, há milhares de anos, e, mesmo assim, a cerâmica possui a crônica tendência de lascar, trincar e quebrar nos momentos mais inconvenientes. Por que não mudamos para materiais mais duros, como plástico ou metal para nossos pratos e canecas? Por que ficamos presos à cerâmica apesar de suas falhas mecânicas? Esse tipo de questão é estudado por uma grande variedade de acadêmicos, incluindo arqueólogos e antropólogos, assim como designers e artistas. Mas também há uma disciplina científica especialmente dedicada a investigar sistematicamente nossas interações sensuais com os materiais. Essa disciplina, chamada psicofísica, fez algumas descobertas interessantes. Por exemplo, estudos sobre a "crocância" mostraram que o som criado por certas comidas é tão importante para nosso prazer quanto o gosto deles. Isso inspirou alguns chefs a criar pratos com efeitos sonoros. Alguns fabricantes de batatas fritas, todavia, aumentaram não só a crocância de suas batatas, mas o barulho do pacote

também. Exploro os aspectos psicofísicos dos materiais em um capítulo sobre chocolate e mostro que foi o maior impulsionador da inovação durante séculos.

Este livro não é, de nenhuma maneira, uma pesquisa profunda sobre materiais e sua relação com a cultura humana, mas um instantâneo de como eles afetam nossas vidas e como até a mais inócua das atividades, como beber chá no terraço, tem como base uma profunda complexidade material. Você não precisa ir a um museu para se maravilhar com o modo como a história e a tecnologia afetaram a cultura humana; seus efeitos estão ao nosso redor. Na maior parte do tempo, nós ignoramos esses materiais. É preciso, pois seríamos tratados como lunáticos se passássemos o tempo todo correndo os dedos em uma parede de concreto e suspirando. Mas há momentos para tal contemplação: ser esfaqueado em uma estação de metrô foi um desses momentos para mim, e espero que este livro forneça outro momento desses para você.

1. Indomável



Nunca me pediram para assinar um acordo de não divulgação no banheiro de um bar antes. Assim, foi um alívio descobrir que era só isso que Brian estava me pedindo. Eu tinha conhecido Brian apenas uma hora antes. Estávamos no Sheehan's, um pub em Dun Laoghaire que não estava longe de onde eu trabalhava na época, em Dublin. Brian era um homem de rosto vermelho, com uns 60 anos, que usava uma bengala por ter um problema na perna. Vestia um terno muito elegante e tinha o cabelo grisalho fino com uma coloração amarelada. Fumava um cigarro Silk Cut atrás do outro. Quando Brian descobriu que eu era cientista, acertou que eu estaria interessado em ouvir a história de sua vida em Londres nos anos 1970, quando ele estava no lugar e no momento certos para vender chips de silício Intel 4004, que importava em caixas de 12.000 por £1 e vendia em pequenos lotes para a incipiente indústria de computadores por £10 cada. Quando mencionei que estava pesquisando ligas metálicas no Departamento de Engenharia Mecânica do University College Dublin, ele olhou pensativo e ficou quieto pela primeira vez. Achei que era o momento oportuno para ir ao banheiro.

O acordo de não divulgação foi rabiscado em um pedaço de papel que ele tinha claramente arrancado de seu caderno. O conteúdo era breve. Declarava que ia explicar sua invenção para mim, mas eu tinha que mantê-la confidencial. Em troca, ele iria me pagar uma libra irlandesa. Pedi que me contasse mais, mas ele comicamente fez a mímica de passar o zíper nos lábios. Eu não tinha certeza de por que tínhamos que conversar sobre isso em um cubículo de toalete. Sobre seu ombro, via outras pessoas entrando e saindo do banheiro. Fiquei pensando se deveria gritar por ajuda. Brian procurou em seu casaco e tirou uma caneta. Uma nota de uma libra imunda saiu de seus jeans. Ele era muito insistente.

Assinei o papel apoiado na parede do cubículo cheia de grafite. Ele assinou também, me deu a libra, e o documento se tornou legal.

De volta ao bar com nossas bebidas, fiquei ouvindo Brian explicar que tinha inventado uma máquina eletrônica que afiava lâminas de navalhas. Isso iria revolucionar o negócio de barbeadores, explicou, porque as pessoas só precisariam ter uma navalha em suas vidas. Com um único golpe, terminaria com uma indústria de bilhões de dólares, ficaria rico e reduziria o consumo da riqueza mineral da Terra. "Que acha disso?", falou, dando um gole triunfante em sua cerveja.

Olhei para ele com desconfiança. Cedo ou tarde, todo cientista ouviu alguém com uma ideia excêntrica para uma invenção. Além disso, navalhas eram um assunto sensível para mim. Senti-me irritado e desconfortável enquanto recordava minha longa cicatriz nas costas, resultado do meu encontro na plataforma da estação Hammersmith. Mas gesticulei para ele prosseguir e continuei ouvindo...

É um fato estranho que o aço só tenha sido entendido pela ciência no século XX. Antes disso, por milhares de anos, a produção do aço foi transmitida por gerações como um ofício. Mesmo no século XIX, quando conquistamos uma compreensão teórica impressionante da astronomia, física e química, a produção do ferro e do aço no qual nossa Revolução Industrial se baseou foi conseguida empiricamente – com uma suposição intuitiva, observação cuidadosa e muita sorte. (Brian poderia ter tido um pouco de sorte e simplesmente ter encontrado um novo processo revolucionário para afiar navalhas? Descobri que não estava preparado para descartar a ideia.)

Durante a Idade da Pedra, o metal era extremamente raro e muito disputado, já que as únicas fontes no planeta eram cobre e ouro, que ocorrem naturalmente, apesar de não serem tão frequentes na crosta terrestre (ao contrário da maioria dos metais,

Radivoke Lajic e os cinco meteoritos que atingiram sua casa, entre 2007 e 2008.

que precisam ser extraídos de minérios). Existia um pouco de ferro também, a maioria tendo caído do céu na forma de meteoritos.

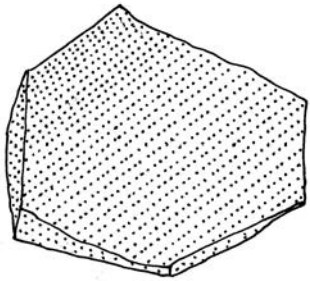
Radivoke Lajic, que vive no norte da Bósnia, é um homem que sabe tudo sobre estranhos pedaços de metal caindo do céu. Entre 2007 e 2008, sua casa foi atingida por não menos do que cinco meteoritos, que é algo estatisticamente tão absurdamente improvável que sua afirmação de que alienígenas estão mirando nele parece quase razoável. Desde que Lajic tornou públicas suas suspeitas, em 2008, sua casa foi atingida por outro meteorito. Os cientistas, investigando os choques, confirmaram que as pedras que atingiram a casa de Lajic eram meteoritos de verdade e agora estudam os campos magnéticos ao redor da casa dele para explicar a frequência extremamente incomum deles.

Na ausência de cobre, ouro e ferro de meteoros, as ferramentas de nossos ancestrais durante a Idade da Pedra eram feitas de

lascas, madeira e ossos. Qualquer um que tenha tentado fazer algo com esse tipo de ferramentas sabe como elas são limitadas: se você acerta um pedaço de madeira, ela lasca, quebra ou estala. O mesmo acontece com pedra ou osso. Metais são fundamentalmente diferentes desses outros materiais porque podem ser golpeados e moldados: eles fluem, são maleáveis. Não só isso, ficam mais fortes quando são golpeados; você pode endurecer uma lâmina somente golpeando-a. E pode reverter o processo simplesmente colocando o metal no fogo e esquentando, o que vai fazer com que amoleça. A primeira pessoa a descobrir essas propriedades há 10 mil anos encontrou um material que era quase tão duro quanto a pedra, mas se comportava como plástico e era quase infinitamente reutilizável. Em outras palavras, tinha descoberto o material perfeito para ferramentas, especialmente aquelas para cortar como machados, cinzel e navalhas.

Essa capacidade dos metais de se transformar de material mole em duro deve ter parecido quase mágica para nossos ancestrais. Era mágica para Brian também, como acabei descobrindo. Ele explicou que tinha inventado sua máquina por tentativa e erro, sem nenhuma apreciação real da física e da química, mas mesmo assim tinha conseguido, de alguma maneira. O que ele queria de mim era que medisse quão afiadas estavam as navalhas antes e depois de passarem por seu processo. Só essa evidência iria permitir que ele começasse discussões de negócios sérias com empresas de navalhas.

Expliquei ao Brian que seria preciso mais do que umas poucas medidas para que ele fosse levado a sério. A razão é que metais são feitos de cristais. A navalha média contém bilhões deles e, em cada um desses cristais, os átomos estão organizados de uma forma especial, um padrão tridimensional quase perfeito. As ligações entre os átomos mantêm todos no lugar e também dão força aos cristais. Uma navalha fica cega em razão das muitas colisões com



Um cristal de metal, como os que existem dentro de uma navalha. As filas de pontos representam átomos.

os pelos que encontra e que forçam esses cristais a se reagruparem de maneiras diferentes, formando e quebrando ligações, além de criar pequenos amassados na parte macia. Afiar novamente uma navalha utilizando algum mecanismo eletrônico, como ele propunha, teria de reverter esse processo. Em outras palavras, teria de mover os átomos para reconstruir a estrutura que tinha sido destruída. Para ser levado a sério, Brian precisaria não apenas criar evidências dessa reconstrução à escala dos cristais, mas ter uma explicação plausível em escala atômica do mecanismo pelo qual isso tudo funcionava. O calor, seja produzido eletricamente ou não, normalmente possui um efeito diferente do que ele estava afirmando: o calor amacia os cristais do metal, expliquei. Brian sabia disso e estava convencido de que sua máquina eletrônica não estava aquecendo as navalhas.

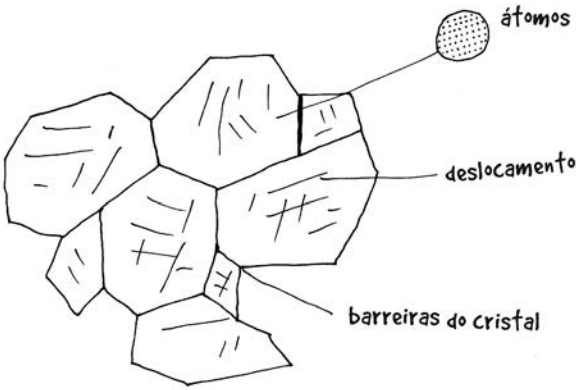
Pode ser estranho pensar que os metais são feitos de cristais porque nossa imagem típica de um cristal é de uma pedra transparente e muito facetada como um diamante ou uma esmeralda. A natureza cristalina dos metais está escondida porque os cristais de metal são opacos, e na maioria dos casos, microscopicamente pequenos. Vistos através de um microscópio eletrônico, os cristais em um pedaço de metal parecem uma calçada louca, e den-

tro daqueles cristais há linhas rabiscadas – os deslocamentos. São defeitos nos cristais de metal, e representam desvios em arranjos cristalinos de átomos que, do contrário, seriam perfeitos – são rupturas atômicas que não deveriam existir. Eles parecem erros, mas terminam sendo muito úteis. São os deslocamentos que fazem o metal ser tão especial para as ferramentas, cortando pontas e criando a navalha, porque eles permitem que os cristais de metal mudem de forma.

Você não precisa usar um martelo para experimentar o poder dos deslocamentos. Quando dobra um clipe de papel são, na verdade, os cristais de metal que estão se dobrando. Se não se dobrassem, o clipe de papel seria frágil e se romperia como um graveto. Esse comportamento plástico deriva dos deslocamentos que ocorrem dentro do cristal. Enquanto se movem, eles transferem pequenos pedaços de material de um lado para o outro do cristal, e isso acontece à velocidade do som. Quando você dobra um clipe de papel, está fazendo com que aproximadamente 100.000.000.000.000 de deslocamentos aconteçam a uma velocidade de milhares de centenas de metros por segundo. Apesar de cada deslocamento só mover um pequeno pedaço do cristal (um plano atômico, na verdade), há tantos deles que os cristais podem se comportar como um plástico superforte em vez de uma pedra frágil.

O ponto de derretimento de um metal é um indicador de quanto estão unidos os átomos e também afeta a facilidade de deslocamentos. O chumbo tem um baixo ponto de derretimento e assim os átomos se movem com facilidade, tornando-o um metal bastante macio. O cobre tem um ponto de derretimento mais alto e é mais forte. Aquecer metais permite deslocamentos e reorganizações, e um dos resultados disso é que os metais são mais macios.

A descoberta dos metais foi um momento importante na pré-história, mas não resolveu o problema fundamental de que não



Só mostrei uns poucos deslocamentos neste desenho para facilitar a visualização. Metais normais possuem um grande número de deslocamentos que se sobrepõem e se cruzam.

havia muitos metais por aí. Uma opção, claro, era esperar que caíssem mais do céu, porém isso exigia uma grande quantidade de paciência (alguns quilos caem na superfície da Terra a cada ano; a maioria nos oceanos). Mas, em determinado momento, alguém fez a descoberta que terminaria com Idade da Pedra e abriria as portas para um suprimento de coisas aparentemente ilimitado. Eles descobriram que uma rocha meio esverdeada, quando colocada em um fogo forte e cercada por brasas quentes, se transformava em um pedaço brilhante. Essa rocha esverdeada era a malaquita e o metal era, claro, o cobre. Deve ter sido uma revelação deslumbrante. De repente, estavam cercados não por rochas mortas inertes, mas por coisas misteriosas que tinham vida interna.

Eles só conseguiam fazer essa transformação com alguns tipos especiais de rochas, como a malaquita, porque, para que funcionasse bem, precisavam não apenas identificar essas pedras, mas também controlar cuidadosamente as condições químicas do fogo. E provavelmente suspeitaram que essas pedras que não se

transformavam, que continuavam obstinadamente como rochas por mais quente que estivesse o fogo, tinham segredos escondidos. E estavam certos. Tratava-se de um processo que funciona com muitos minerais, apesar de terem passado milhares de anos até que a química necessária fosse compreendida (controle das reações químicas entre a rocha e os gases criados pelo fogo), e que levou à segunda grande descoberta na arte do derretimento.

Nesse meio-tempo, por volta de 5.000 a.C., eles usaram tentativa e erro para aprimorar o processo de produção de cobre. A criação de ferramentas de cobre iniciou um crescimento espetacular na tecnologia humana, sendo fundamental no nascimento de outras tecnologias, de cidades e das primeiras grandes civilizações. As pirâmides do Egito são um exemplo do que se tornou possível depois das ferramentas de cobre. Cada bloco de pedra das pirâmides foi extraído de uma mina e individualmente talhado a mão, usando cinzéis de cobre. Estima-se que 10 mil toneladas de minério de cobre foram retiradas de minas em todo o Egito Antigo para criar os 300 mil cinzéis necessários. Foi uma conquista enorme, sem a qual as pirâmides não poderiam ter sido construídas, não importa o número de escravos que tivessem sido usados, já que não é prático cavar a rocha sem ferramentas de metal. Tudo isso fica ainda mais impressionante uma vez que o cobre não é o material ideal para cortar a rocha, por não ser tão duro. Esculpir um pedaço de calcário com um cinzel de cobre rapidamente deixa o cinzel sem ponta. Estima-se que os cinzéis de cobre deviam ser afiados a cada poucos golpes de martelo para que continuassem úteis. O cobre não é ideal para navalhas pela mesma razão.

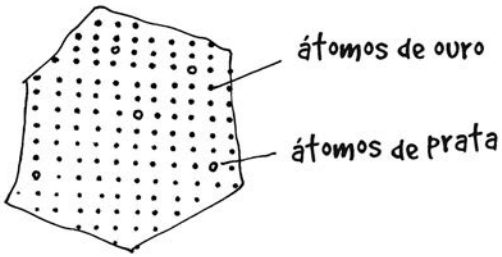
O ouro é outro metal com relativa maciez, tanto que raramente os anéis são feitos de ouro puro, pois logo riscam. Mas se você cria uma liga com ouro, acrescentando alguma porcentagem de outros metais, por exemplo prata ou cobre, não apenas muda a cor

do ouro – a prata o deixa mais branco e o cobre, mais vermelho – como também o deixa mais duro, bem mais duro. Essa mudança das propriedades do metal a partir de pequenas adições de outros ingredientes é o que faz com que o estudo de metais seja tão fascinante. No caso da liga de ouro, você poderia se perguntar para onde vão os átomos de prata. A resposta é que eles se acomodam dentro da estrutura do cristal de ouro, tomando o lugar dos átomos existentes, e é essa substituição de átomos dentro da treliça de cristal do ouro que o deixa mais forte.

Ligas tendem a ser mais fortes que metais puros por uma razão muito simples: os átomos da liga têm tamanho e química diferentes dos átomos do metal hospedeiro; assim, quando se acomodam no cristal hospedeiro, causam todo tipo de perturbações mecânicas e elétricas que convergem para um acontecimento crucial: dificultar os deslocamentos. E se os deslocamentos são mais difíceis de acontecer, então o metal é mais forte, já que é mais difícil que os cristais de metal mudem de formato. O design de liga é, assim, a arte de prevenir o movimento de deslocamentos.

Essa substituição de átomos acontece naturalmente dentro de outros cristais também. Um cristal de óxido de alumínio não tem cor se for puro, mas fica azul quando contém impurezas de átomos de ferro: é a pedra preciosa chamada safira. Exatamente o mesmo cristal de óxido de alumínio contendo impurezas de cromo é a pedra preciosa chamada rubi.

As eras da civilização, da Era do Cobre à Era do Bronze até a Era do Ferro, representam uma sucessão de ligas cada vez mais fortes. O cobre é um metal fraco, mas sua ocorrência é natural, além de ser fácil de derreter. O bronze é uma liga do cobre, contendo pequenas quantidades de estanho ou às vezes arsênio, e é muito mais forte que o cobre. Então, se você tinha cobre e sabia o que estava fazendo, com um pouco mais de esforço podia criar armas e lâminas



O ouro se mistura com a prata em escala atômica, mostrando como os átomos de prata substituem os átomos de ouro no cristal.

dez vezes mais fortes e mais duras que o cobre. O único problema é que estanho e arsênio são extremamente raros. Elaboradas rotas de comércio se desenvolveram na Idade do Bronze, para levar estanho de lugares como Cornualha e Afeganistão aos centros da civilização no Oriente Médio, exatamente por essa razão.

As lâminas modernas também são feitas de uma liga, mas, como expliquei para Brian, é um tipo muito especial de liga, cuja existência intrigou nossos ancestrais por milhares de anos. O aço, liga de ferro com carbono, é ainda mais forte que o bronze, com ingredientes que são muito mais abundantes: quase toda rocha tem um pouco de ferro, e o carbono está presente no combustível de qualquer fogo. Nossos ancestrais não perceberam que o aço era uma liga – que o carbono, na forma de carvão vegetal, não era apenas um combustível para se aquecer e remodelar o ferro, mas também poderia entrar nos cristais de ferro no processo. O carbono não faz isso com o cobre durante o derretimento, nem com o estanho ou com o bronze, mas faz com o ferro. Deve ter sido incrivelmente misterioso – e só agora, com o conhecimento da mecânica quântica, podemos realmente explicar por que isso acontece (o carbono no aço não assume o lugar de um átomo de ferro no cristal, mas é capaz de apertar-se entre os átomos de ferro, criando um cristal tenso).

Há outro problema, também. Se o ferro se mistura com muito carbono – se, por exemplo, contém 4% de carbono em vez de 1% –, torna-se extremamente frágil e acaba essencialmente inútil para ferramentas e armas. Esse é um grande obstáculo porque dentro do fogo há muito carbono. Assim, se você deixa o ferro por muito tempo, ele irá se liquefazer no fogo, e uma forte quantidade de carbono entrará nos cristais de metal, tornando a liga muito frágil. Espadas feitas com esse aço de alto carbono se rompem durante a batalha.

Até o século XX, quando o processo de mistura foi totalmente explicado pela primeira vez, ninguém entendia por que alguns processos de fabricação funcionavam e outros não. Estavam estabelecidos por tentativa e erro, e aqueles bem-sucedidos eram passados de uma geração para outra, vistos como segredos de ofício. Mas mesmo se fossem roubados, eram tão complicados que as chances de outra pessoa reproduzir com sucesso o processo de fabricação do aço eram muito baixas. Certas tradições metalúrgicas em determinadas culturas tornaram-se conhecidas por conseguirem produzir aço de alta qualidade, e tais civilizações cresceram.

Em 1961, o professor Richmond, da Universidade de Oxford, descobriu um poço cavado pelos romanos em 89 d.C., que continha 763.840 pequenos pregos de cinco centímetros, 85.128 pregos médios, 25.088 pregos grandes e 1.344 pregos extragrandes de quarenta centímetros. O tesouro era de ferro e aço, e não de ouro, o que a maioria das pessoas teria achado totalmente desapontador, mas não o professor Richmond. Por que, ele se perguntou, uma legião romana enterraria sete toneladas de ferro e aço?

A legião romana tinha ocupado os quartéis-generais avançados de Agricola em um lugar chamado Inchtuthil, na Escócia. Eram as fronteiras externas do Império Romano, e sua missão era proteger sua fronteira do que viam como as tribos selvagens que a

ameaçavam: os celtas. A legião de 5 mil homens ocupou a região por seis anos antes de recuar e, no processo, abandonar o forte. Fizeram grandes esforços para não deixar para trás nada que pudesse ajudar seus inimigos. Esmagaram toda a comida e bebida, além de queimar totalmente o forte. Mas não ficaram satisfeitos com isso. Nas cinzas estavam os pregos de aço que tinham mantido o forte de pé, e que eram demasiado valiosos para serem deixados às tribos que os tinham expulsado. Ferro e aço eram os materiais que permitiram aos romanos construir aquedutos, barcos e espadas; permitiram que criassem um império. Deixar os pregos a seus inimigos teria sido tão útil quanto deixar uma caixa de armas, então eles foram enterrados em um poço antes de marchar ao sul. Assim como suas armas e armaduras, entre os poucos aços menores que provavelmente levaram com eles estava o *novacili,* um objeto que condensou a postura de civilização deles: a lâmina romana. Este *novacili,* manejado pelos barbeiros, permitiu que os romanos recuassem barbeados e penteados para distinguir-se das hordas selvagens que tinham conseguido expulsá-los.

O mistério que cercava a fabricação do aço engendrou vários mitos, e a unificação e restauração da ordem na Grã-Bretanha no auge do recuo romano foi simbolizada por uma das mais duradouras: Excalibur, a lendária espada do Rei Arthur, muitas vezes atribuída a poderes mágicos e associada à verdadeira soberania da Grã-Bretanha. Em uma época na qual espadas regularmente se quebravam na batalha, deixando um cavaleiro sem defesa, é fácil ver por que uma espada de aço de alta qualidade utilizada por um forte guerreiro representou as regras da civilização sobre o caos. O fato de que o processo de fabricação de aço era, necessariamente, muito ritualizado ajuda também a explicar por que este material veio a ser associado com magia.

Isso não foi mais verdade do que no Japão, onde a fundição de uma lâmina de samurai levava semanas e era parte de uma cerimônia religiosa. A *Ama-no-Murakumo-no-Tsurugi* ("Espada da Concentração de Nuvens do Céu") é uma espada japonesa lendária que permitiu que o grande guerreiro Yamato Takeru controlasse o vento e derrotasse todos os seus inimigos. Apesar das histórias e rituais fantásticos, a ideia de que algumas espadas poderiam ser dez vezes mais fortes e mais afiadas que outras espadas não era somente um mito, era uma realidade. Por volta do século XV, a espada de aço feita pelos samurais do Japão era a melhor que o mundo já tinha visto e permaneceria preeminente por quinhentos anos até o advento da metalurgia como uma ciência no século XX.

Essas espadas samurais eram feitas de um tipo especial de aço chamado *tamahagane*, que pode ser traduzido como "aço de joia", feito da areia negra vulcânica do Pacífico (que consiste principalmente de um minério de ferro chamado magnetita, o material original da agulha das bússolas). Esse aço é feito em um enorme recipiente de barro com mais de um metro de altura, um metro de largura e quase quatro metros de extensão chamado *tatara.* O recipiente – endurecido de barro moldado em cerâmica – é "incendiado" por um fogo aceso dentro dele. Depois de incendiado, é empacotado meticulosamente com camadas de areia negra e carvão vegetal negro, que são consumidos na fornalha de cerâmica. O processo demora em torno de uma semana e exige atenção constante de uma equipe de quatro ou cinco pessoas para garantir que a temperatura do fogo seja mantida alta o suficiente bombeando ar na *tatara*, usando foles manuais. No final, a *tatara* é aberta e o aço *tamahagane* é tirado das cinzas e remanescentes da areia e do carvão vegetal. Esses caroços de aço descoloridos são pouco atrativos, mas o que os faz especial é possuírem uma grande quantidade de conteúdo de carbono, alguns muito baixos e alguns bastante altos.

A inovação samurai foi capaz de diferenciar aço de alto carbono – que é duro, mas frágil – do aço de baixo carbono, – que é duro, mas relativamente macio. Eles fizeram isso apenas pelo aspecto visual, a sensação nas mãos e como soava quando era golpeado. Ao separar os diferentes tipos de aço, podiam garantir que o aço de baixo carbono era usado para fazer o centro da espada. Isso dava à espada uma dureza enorme, significando que dificilmente as lâminas quebravam em combate. Na ponta, as lâminas tinham aço de alto carbono, que era frágil, mas extremamente duro, e podia, assim, ser bastante afiado. Ao usar o aço de alto carbono afiado como um envoltório por cima do aço de baixo carbono duro, eles alcançaram o que muitos achavam impossível: uma espada que poderia sobreviver ao impacto com outras espadas e armaduras enquanto permanecia afiada o suficiente para cortar a cabeça de um homem. O melhor dos dois mundos.

Ninguém poderia criar aço mais forte e mais duro que os samurais antes da Revolução Industrial. Quando, nessa época, os países europeus começaram a construir estruturas em uma escala maior e mais ambiciosa – como ferrovias, pontes e barcos –, usaram ferro fundido, que poderia ser feito em quantidades maiores e colocado em moldes. Infelizmente, tinham grande propensão a fraturar sob certas condições. Com a engenharia ficando mais ambiciosa, essas condições se tornaram mais frequentes.

Um dos piores acidentes ocorreu na Escócia. Na noite de 28 de dezembro de 1879, a maior ponte do mundo, a Tay Rail Bridge, feita de ferro fundido, colapsou durante vendavais extremos de inverno. Um trem carregando setenta e cinco passageiros caiu no rio Tay, matando todos. O desastre confirmou o que muitos suspeitavam: que o ferro não era o melhor material para esse tipo de construção. Era necessário não só fazer o aço tão forte quanto as espadas samurais, mas produzi-lo em massa.

Um dia, um engenheiro instalado em Sheffield, chamado Henry Bessemer, se levantou durante uma reunião da Associação Britânica para o Avanço da Ciência e anunciou que tinha conseguido tal proeza. Seu método não exigia os processos elaborados dos samurais e poderia criar toneladas de aço líquido. Era uma revolução produtiva.

O processo Bessemer era engenhosamente simples. Envolvia soprar ar através do ferro fundido, assim o oxigênio no ar entraria em reação com o carbono no ferro, e removê-lo como gás de dióxido de carbono. Isso exigia um conhecimento de química que, pela primeira vez, colocou a produção de aço no caminho científico. Além do mais, a reação entre o oxigênio e o carbono era extremamente violenta e criava muito calor. Esse calor elevava a temperatura do aço, mantendo-o quente e líquido. O processo era simples e podia ser usado em escala industrial; era a resposta.

O único problema com o processo Bessemer era que não funcionava. Ou, pelo menos, era o que diziam todos que haviam tentado. Logo, fabricantes bravos, que tinham comprado a licença de Bessemer e investiram grandes somas de dinheiro em equipamento só para produzir ferro frágil, começaram a pedir seu dinheiro de volta. Bessemer não tinha respostas para eles. Ele realmente não entendia por que o processo era bem-sucedido às vezes e outras vezes não funcionava, mas continuou a trabalhar em sua tecnologia, e com a ajuda do metalúrgico britânico Robert Forester Mushet, ele adaptou sua técnica. Em vez de tentar remover o carbono até ficar a quantidade correta, ao redor de 1%, o que era difícil porque cada fabricante tinha uma fonte diferente de ferro, Mushet sugeriu remover todo o carbono e então acrescentar 1% de volta. Isso funcionou e podia ser repetido.

Claro, quando Bessemer tentou fazer com que o mundo se interessasse por esse novo processo, os outros fabricantes o ignoraram, assumindo que era outra fraude. Insistiam que era impossível

criar aço de ferro líquido e que Bessemer era um golpista. No final, ele não viu outra opção a não ser montar sua própria fábrica de aço e começar a fazer as coisas. Depois de alguns poucos anos, a empresa Henry Bessemer & Co. estava fazendo aço muito mais barato e em tão grande quantidade que as empresas rivais foram forçadas a licenciar seu processo, deixando-o extremamente rico e conduzindo-o a Era da Máquina.

Brian poderia ser outro Bessemer? Poderia ter encontrado um processo para reorganizar a estrutura de cristal de metal na ponta de uma navalha através da ação dos campos elétricos ou magnéticos, um processo que ele não entendia como, mas que funcionava mesmo assim? Há muitas histórias de gente que riu de visionários somente para ficarem envergonhados por seus sucessos subsequentes. Muitos riam da ideia de que era possível criar máquinas voadoras mais pesadas que o ar, e mesmo assim todos voamos nelas agora. O mesmo aconteceu com televisão, celulares, computadores – tudo isso surgiu depois de uma nuvem de zombaria.

Até o século XX, lâminas de aço e facas cirúrgicas eram extremamente caras. Elas tinham de ser feitas à mão a partir do aço de mais alto grau, já que somente esse tipo de aço podia ser afiado o suficiente para cortar o pelo facial sem muito esforço, sem cortar a pele. (Qualquer um que já usou uma navalha cega vai saber como pode ser dolorido até o menor corte.) E como o aço é corroído na presença de ar e água, limpar as lâminas também as deixa cegas, pois a ponta bem afiada vai literalmente desaparecendo. Assim, durante milhares de anos o ritual de fazer a barba começava com o processo de "afiar as navalhas": o ato de afiar a lâmina passando de um lado para o outro por um pedaço de couro. Você pode achar que não é possível que um material tão macio quanto o couro possa afiar o aço, e estaria correto. É o fino pó de cerâmica que está impregnado no couro que afia o aço. Tradicionalmente, um

mineral chamado "rouge de joalheiro" era usado, mas naqueles dias o pó de diamante era muito comum. O ato de passar o aço pela tira, de um lado e do outro, faz com que a lâmina encontre as partículas extremamente duras de diamante que estão no pó, o que remove pequenas quantidades de metal na colisão, fazendo com que a ponta fina e afiada seja restaurada.

Mas isso mudou quando, em 1903, um empresário norte-americano, chamado King Camp Gillette, decidiu usar o novo aço industrial barato produzido pelo processo Bessemer para criar uma navalha descartável. Isso seria a democratização do barbear. Sua visão era remover a necessidade de afiar a navalha tornando-a tão barata que, quando ficasse cega, poderia ser descartada. Em 1903 Gillette vendeu 51 barbeadores e 168 lâminas. No ano seguinte, vendeu 90.884 barbeadores e 123.648 lâminas. Em 1915, a corporação tinha estabelecido fábricas nos Estados Unidos, Canadá, Inglaterra, França e Alemanha, e as vendas de barbeadores descartáveis tinham ultrapassado os setenta milhões. O barbeador descartável se tornou um aparelho permanente em todo banheiro, e as pessoas deixaram de precisar ir à barbearia. E continuou assim: apesar de haver vários movimentos de "volta ao básico" na produção de alimentos, ninguém quer cortar o cabelo com uma faca de cobre ou fazer a barba com uma navalha.

O modelo de negócio de Gillette era muito inteligente por diversas razões, uma das quais era, sem dúvida, que mesmo se as lâminas não ficassem cegas pelo ato de fazer a barba, elas perderiam a ponta rapidamente por causa da ferrugem, garantindo a continuidade do negócio. Mas há outra mudança na história, uma inovação tão absurdamente simples que só poderia ser descoberta por acidente.

Em 1913, quando as potências europeias estavam ocupadas se armando para a Primeira Guerra Mundial, Harry Brearley foi

incumbido de investigar ligas metálicas para criar melhores armas. Ele estava trabalhando em um dos laboratórios de metalurgia de Sheffield, adicionando diferentes elementos ao aço, criando espécimes e depois testando mecanicamente sua resistência. Brearley sabia que o aço era uma liga do ferro e do carbono, e também sabia que muitos outros elementos poderiam ser adicionados ao aço para melhorar ou destruir suas propriedades. Ninguém na época sabia por quê, então ele foi avançando por tentativa e erro, derretendo diferentes ingredientes para descobrir seus efeitos. Um dia era alumínio, no seguinte, níquel.

Brearley não fez progressos. Se um novo espécime não era duro o suficiente, ele jogava em um canto. Seu momento de genialidade aconteceu quando, um mês depois, estava cruzando o laboratório e viu algo brilhando na pilha de espécimes enferrujados. Em vez de ignorar e ir ao pub, tirou esse espécime que não tinha enferrujado e percebeu seu significado: estava segurando o primeiro pedaço de aço inoxidável que o mundo conheceu.

Acidentalmente, ao juntar as porcentagens corretas de dois ingredientes, carbono e cromo, ele tinha conseguido criar uma estrutura de cristal muito especial, na qual ambos, o cromo e os átomos de carbono, estavam inseridos nos cristais de ferro. A adição do cromo não tinha feito o aço mais duro, por isso ele rejeitara a amostra, mas tinha feito algo muito mais interessante. Normalmente, quando o aço é exposto ao ar e à água, o ferro na superfície reage para formar óxido de ferro (III), um mineral vermelho comumente conhecido como ferrugem. Quando essa ferrugem começa a se soltar, expõe outra camada de aço para ser corroída, o que faz do enferrujamento um problema crônico para estruturas de aço, por isso a necessidade de pintar pontes e carros. Mas com a presença do cromo, algo diferente acontece. Como um convidado muito educado, ele reage antes com o oxigênio que com os

hospedeiros átomos de ferro, criando óxido de cromo. Óxido de cromo é um mineral transparente e duro que se mistura muito bem com o aço. Em outras palavras, não se solta e nem sabemos que ele está lá. Em vez disso, ele cria uma camada protetora quimicamente invisível sobre toda a superfície do aço. Além do mais, agora sabemos que a camada protetora é autocurativa – o que quer dizer que quando você risca o aço inoxidável, apesar de quebrar a barreira protetora, ela se refaz.

Brearley continuou experimentando até fazer as primeiras facas de aço inoxidável do mundo, mas imediatamente começaram os problemas. O metal resultante não era duro o suficiente para fazer uma ponta afiada, e logo foram chamadas de "facas que não cortavam". Essa falta de dureza era, afinal, a própria razão pela qual Brearley tinha rejeitado a liga para ser usada em armas, mas permitiu que a liga fizesse outras coisas, no entanto, que somente se tornaram aparentes mais tarde – quer dizer, poderia assumir formas complexas, levando em algum ponto a uma das peças mais influentes da escultura britânica, presente em quase toda casa: a pia da cozinha.

Pias de aço inoxidável são insuperáveis, brilhantes e parecem capazes de aceitar qualquer coisa que seja jogada sobre elas. Em um mundo onde queremos nos livrar instantânea e convenientemente do desperdício – de gordura, de água sanitária e ácido – esse material realmente é o melhor. Superou as pias de cerâmica da cozinha, e teria superado a cerâmica do banheiro se deixássemos, mas ainda não confiamos nesse novo material o suficiente para o mais íntimo momento de liberação de desperdício.

O aço inoxidável é a personificação da nossa era moderna. É bonito e brilhante, parece ser quase indestrutível, mas no final é muito democrático: em menos de cem anos, tornou-se o metal com o qual nos relacionamos melhor; afinal, o colocamos em

nossa boca quase todo dia. Pois, no final, Brearley conseguiu criar talheres de aço inoxidável, e é a camada protetora transparente de óxido de cromo que faz com que a colher não tenha gosto, já que sua língua nunca toca o metal e sua saliva não pode reagir com ele; significa que somos uma das primeiras gerações que não precisa sentir o gosto de nossos talheres. Em geral, também é usado na arquitetura e na arte precisamente porque sua superfície brilhante parece nunca corroer. A escultura *Cloud Gate*, de Anish Kapoor, em Chicago, é um bom exemplo. Reflete nossos sentimentos de modernidade, de sermos clínicos, e de termos vencido a imundície, a sujeira e a bagunça da vida. De sermos, nós mesmos, invencíveis.

Ao resolver o problema da criação de aço inoxidável duro o suficiente para os talheres, os metalúrgicos também, sem saber, resolveram o problema da ferrugem nas lâminas, criando, assim, as melhores lâminas que o mundo já tinha visto e, no processo, alterando a aparência de muitos rostos e corpos. Sem saber, a domesticação do barbear também criou a arma preferida para os crimes de rua: navalhas que eram duráveis e baratas, e o mais importante: ultra-afiadas – capazes de cortar várias camadas de couro, lã, algodão e pele, como eu sabia muito bem.

Pesei tudo isso enquanto conversava com Brian sobre esse novo processo para afiar as lâminas de aço inoxidável. Como o aço inoxidável, um aço duro, resistente e afiado, impermeável à água e ao ar, foi criado principalmente por tentativa e erro nas últimas centenas de anos, não parecia totalmente impossível que alguém, mesmo sem conhecimento científico, pudesse tropeçar em um processo para afiar novamente a navalha. O mundo microscópico dos materiais é tão complexo e enorme que só uma fração dele foi explorada.

E no final da noite, quando nós dois saímos do pub, ele apertou minha mão e falou que ia entrar em contato. Quando se afastava pelas ruas de Dublin, banhado com a luz amarelada das lâmpadas de sódio, virou-se e gritou, meio bêbado: "Um viva ao deus do aço!". Assumi que estava se referindo a Hefesto, o deus grego dos metais, fogo e vulcões, cuja clássica imagem é a de um ferreiro em uma forja. Com uma deficiência física, ele é deformado, sofre provavelmente de intoxicação por arsênico, uma doença comum aos ferreiros da época que estavam expostos a altos níveis desse elemento durante a fundição do bronze, que terminava em fraqueza e câncer de pele. Olhei para Brian que se afastava na rua – com sua bengala e seu rosto vermelho – e, não pela primeira vez naquela noite, fiquei pensando quem ele era realmente.

• **Melhor Livro de 2015** •

Communication Awards
National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine

• ***New York Times Bestseller*** •

"*De que são feitas as coisas* explica as maravilhas ocultas e as propriedades surpreendentes dos materiais que achamos chatos, banais e desinteressantes... É até possível que esta ciência e estas histórias já tenham sido contadas em outro lugar, mas, como os melhores *chocolatiers*, Miodownik usa a proporção certa de cada ingrediente."

— The New York Times Book Review

"Excelente narrativa... fascinante."

— Popular Science

"Você já se perguntou como é feito o concreto? Ou por que o chocolate fica com manchas brancas na superfície se é aquecido e depois resfriado? Ou o que faz o diamante e o grafite, ambos feitos de carbono, serem tão diferentes? Mark Miodownik responde a todas essas perguntas – e tantas outras – relatando suas experiências pessoais com cada um dos materiais. Miodownik ensina química o suficiente para explicar como são feitas as coisas mais importantes do mundo, mas fala de ciência de um modo acessível para todos."

— Library Journal

Ciências
ISBN 978-85-212-0965-2
9 788521 209652

www.blucher.com.br

Blucher