

**A REVOLUÇÃO DO
APRENDIZADO
PROFUNDO**

CAP. DE AMOSTRA

A **inteligência artificial** encontra a **inteligência humana**

A REVOLUÇÃO DO APRENDIZADO PROFUNDO

TERRENCE J. SEJNOWSKI



ALTA BOOKS
EDITORA
Rio de Janeiro, 2019

CAP. DE AMOSTRA

Sumário

Prefácio ix

Parte I A Inteligência Reimaginada 1

- 1 A Ascensão do Aprendizado de Máquina 3
- 2 O Renascimento da Inteligência Artificial 31
- 3 O Alvorecer das Redes Neurais 41
- 4 Computando como o Cérebro 55
- 5 Pontos de Vista sobre o Sistema Visual 69

Parte II Diversas Maneiras de Aprender 87

- 6 O Problema da Festa 89
- 7 A Rede de Hopfield e a Máquina de Boltzmann 99
- 8 Retropropagação de Erros 119
- 9 Aprendizado Convolutivo 139
- 10 Aprendizado por Recompensa 157
- 11 Sistemas de Processamento de Informação Neural 177

Parte III Impacto Tecnológico e Científico 185

- 12 O Futuro do Aprendizado de Máquina 187
- 13 A Era dos Algoritmos 213
- 14 Olá, Senhores Chips 223
- 15 Informações Privilegiadas 237
- 16 Consciência 251
- 17 A Natureza É Mais Esperta do que Nós 263
- 18 Inteligência Profunda 281

Agradecimentos 289

Leituras Recomendadas 295

Glossário 299

Notas 303

Índice 337

CAP. DE AMOSTRA

1 A Ascensão do Aprendizado de Máquina

Não muito tempo atrás, dizia-se que a visão computacional não poderia competir com as habilidades visuais de uma criança de um ano. Isso não é mais verdade: os computadores agora reconhecem objetos tão bem quanto a maioria dos adultos, e há carros computadorizados que dirigem com mais segurança do que um adolescente de 16 anos o faria. E, em vez de serem informados sobre como enxergar ou dirigir, os computadores "aprendem" com a própria experiência, fazendo o mesmo que a natureza milhões de anos atrás. O que alimenta esses avanços são os dados. Eles são o novo petróleo. Algoritmos de aprendizado são refinarias que extraem informações de recursos brutos (os dados); a informação gera conhecimento; o conhecimento leva à compreensão; e a compreensão leva à sabedoria. Bem-vindo ao admirável mundo novo do aprendizado profundo.¹

O aprendizado profundo é um ramo do aprendizado de máquina que tem suas raízes na matemática, na ciência da computação e na neurociência. As redes profundas aprendem com os dados assim como bebês com o mundo a seu redor, começando com as primeiras visões e, aos poucos, adquirindo as habilidades necessárias para percorrer outros ambientes. A origem do aprendizado profundo remonta ao nascimento da inteligência artificial, nos anos 1950, quando havia duas ideias concorrentes de como criar uma IA: uma se baseava em programas lógicos e computadorizados, que a dominaram por décadas; a outra, diretamente nos dados, e levou muito mais tempo para se desenvolver.

No século XX, quando os computadores eram insignificantes e o armazenamento de dados caro em comparação aos padrões atuais, a lógica era eficiente como meio de resolver problemas. Programadores qualificados escreviam um programa específico para cada problema, e, quanto maior o problema, maior o programa. Hoje, o potencial dos computadores e do big data são imensuráveis e a solução de problemas por algoritmos de aprendizado é

mais rápida, precisa e eficiente. O mesmo algoritmo pode ser usado para resolver diversos problemas difíceis; as soluções são muito mais práticas do que a abordagem anterior de escrever um programa para cada problema.

Aprendendo a Dirigir

Quem levou o prêmio de US\$2 milhões em dinheiro, do grande desafio da Agência de Projetos Avançados de Defesa dos EUA (DARPA — Advanced Research Project Agency), em 2005, foi Stanley, um veículo autônomo desenvolvido pelo grupo de Sebastian Thrun, de Stanford, que o ensinou, por meio do aprendizado de máquina, a andar pelo deserto da Califórnia. O percurso de 212 quilômetros tinha túneis estreitos e curvas fechadas, incluindo a Beer Bottle Pass, uma estrada montanhosa com um penhasco de um lado e rochas do outro (Figura 1.1). Em vez de seguir a abordagem tradicional da inteligência artificial, em que se elabora um programa para antecipar todas as contingências, Stanley se conduziu pelo deserto (Figura 1.2) com base nas informações de seus sensores de visão e distância.



Figura 1.1

Sebastian Thrun com Stanley, o veículo autônomo que venceu o grande desafio da DARPA, em 2005. Esse avanço deu início a uma revolução tecnológica nos transportes. Cortesia de Thrun.

Thrun depois fundou o Google X, um skunk works — grupo que trabalha em projetos avançados ou secretos com alto grau de autonomia dentro de uma empresa — que desenvolve projetos de alta tecnologia, aprimorando os veículos autônomos ainda mais. Desde então, os veículos autônomos do Google rodaram aproximadamente 5,6 milhões de quilômetros pela área da baía de São Francisco. A Uber implementou uma frota de veículos autônomos em Pittsburgh. A Apple está entrando nesse mercado para ampliar a gama de produtos que seus sistemas operacionais controlam, na esperança de repetir o sucesso dos smartphones. Vendo um mercado que estivera estagnado por 100 anos se transformar diante de seus olhos, as montadoras deram continuidade a suas atividades. A General Motors pagou US\$1 bilhão pela Cruise Automation, uma startup do Vale do Silício que está aprimorando os veículos autônomos, e investiu, em 2017, mais de US\$600 milhões em pesquisa e desenvolvimento.² No mesmo ano, a Intel comprou a Mobileye, empresa especializada em sensores e visão computadorizada para veículos autônomos, por US\$15,3 bilhões. As apostas são altas no setor multimilionário dos transportes.



Figura 1.2

Beer Bottle Pass. Esse terreno desafiador era o final do percurso do grande desafio da DARPA, de 2005, em que um veículo autônomo deveria atravessar um percurso no deserto de quase 212km. Observe, à distância, um caminhão que acabou de começar a subida. Cortesia da DARPA.

Os veículos autônomos logo serão um problema para a subsistência de milhões de caminhoneiros e taxistas. Em breve, não haverá necessidade de se possuir um carro, pois os veículos autônomos o levarão rapidamente e em segurança ao destino, eliminando também a necessidade de estacionar. A média de utilização dos carros representa apenas 4% do tempo, o que significa que o mesmo veículo deve ficar estacionado em algum lugar durante 96% do tempo. Entretanto, como os veículos autônomos podem receber manutenção e ser estacionados fora dos centros urbanos, grande parte da área desses centros, que agora é ocupada por estacionamentos, será usada de maneira mais produtiva. Planejadores urbanos já estão pensando em um futuro em que estacionamentos darão espaço a parques.³

As faixas de estacionamento ao longo das ruas viabilizarão ciclovias maiores. Muitas outras empresas do setor de automóveis serão afetadas, incluindo agências de seguro e oficinas de manutenção. Não haverá mais multas por excesso de velocidade ou estacionamento indevido, ou mesmo mortes provocadas por motoristas alcoolizados ou que dormiram ao volante. O tempo gasto no trajeto para o trabalho será aproveitado para outros propósitos.

De acordo com o US Census Bureau, em 2014, 139 milhões de norte-americanos gastaram, em média, 52 minutos indo e voltando para o trabalho diariamente. Isso equivale a 29,6 bilhões de horas por ano, ou impressionantes 3,4 milhões de anos de vida humana que poderiam ser melhor aproveitados.⁴ A capacidade rodoviária será aumentada cerca de quatro vezes devido ao maior controle de trânsito.⁵ E, uma vez desenvolvidos e utilizados em grande escala, os veículos autônomos darão fim ao roubo de automóveis. Embora existam muitos obstáculos legais e burocráticos no caminho, quando os veículos autônomos forem vistos por toda parte, estaremos, de fato, vivendo em um admirável mundo novo. Os caminhões serão os primeiros a se tornarem autônomos, provavelmente em 10 anos; táxis em 15 e carros particulares dentro de 15 a 25 anos, considerando a transição.

O patamar icônico que os carros ocupam em nossa sociedade mudará de maneiras inimagináveis, e uma nova ecologia automobilística surgirá. Assim como a invenção do automóvel, há mais de 100 anos, criou muitos setores e empregos, já existe um ecossistema em rápido crescimento desenvolvido para os veículos autônomos. A Waymo, uma empresa de condução autônoma derivada do Google, investiu US\$1 bilhão em 8 anos e construiu uma base de testes secreta no vale central da Califórnia, com uma cidade falsa de 368.264m², incluindo simulação de ciclistas e acidentes de trânsito.⁶

O objetivo é ampliar os dados de treinamento para incluir circunstâncias especiais e incomuns, chamadas de casos excepcionais. Eventos raros que ocorrem em estradas muitas vezes terminam em acidentes. A diferença dos veículos autônomos é que, quando um deles passa por um evento raro, a experiência de aprendizado é compartilhada com todos os outros, como uma inteligência coletiva. Muitas bases de teste semelhantes estão sendo construídas por outras empresas automobilísticas do setor, o que cria novos empregos e cadeias de suprimentos para os sensores e lasers necessários aos carros.⁷

Os veículos autônomos são apenas a manifestação mais óbvia de uma grande mudança em uma economia movida pela tecnologia da informação (TI). A informação flui pela internet como a água pelas tubulações urbanas. As informações se acumulam nos grandes centros de dados administrados pelo Google, Amazon, Microsoft e outras empresas de TI que necessitam de tanta energia elétrica que precisam se localizar perto de usinas hidrelétricas, e a transmissão de informações gera tanto calor que precisa de rios para suprir os refrigeradores. Em 2013, os centros de dados dos Estados Unidos consumiram 10 milhões de megawatts, o equivalente à energia gerada por 34 grandes usinas.⁸ Mas o que agora impacta ainda mais a economia é a forma como essa informação é usada. Extraída de dados brutos, a informação está sendo transformada em conhecimento sobre pessoas e coisas: o que fazemos, o que queremos e quem somos. E, cada vez mais, os dispositivos controlados por computadores usam esse conhecimento para se comunicar conosco através da fala. Ao contrário do conhecimento passivo proveniente dos livros, que ganha uma materialidade que nos é alheia, o conhecimento em nuvem é uma inteligência externa que tem se tornado parte ativa da vida humana.⁹

Aprendendo a Traduzir

Atualmente, o aprendizado profundo é usado no Google em mais de 100 serviços, do Street View à Caixa de Entrada de Resposta Inteligente e à pesquisa por voz. Tempos atrás, os engenheiros do Google perceberam que precisavam estender esses aplicativos, com uso intensivo de computação, para as versões em nuvem. Visando ao projeto de um chip voltado especificamente para o aprendizado profundo, eles projetaram inteligentemente a placa para caber em um slot de unidade de disco rígido em seus racks de centros de dados. A unidade de processamento de tensores (TPU — Tensor Processing Unit) do Google agora é implementada em servidores em todo o mundo, propiciando uma enorme melhoria no desempenho dos aplicativos de aprendizado profundos.

Um exemplo da rapidez com que o aprendizado profundo modifica nosso contexto é o impacto que exerceu na tradução — o Santo Graal da inteligência artificial, uma vez que ela depende da capacidade de se entender uma sentença. A nova versão do Google Tradutor, recentemente lançada, baseada em aprendizado profundo, é um avanço inenarrável na qualidade da tradução automática. Quase da noite para o dia, a tradução deixou de ser um caos fragmentado de frases para se tornar sentenças coerentes (Figura 1.3). Os primeiros métodos computadorizados combinavam palavras que pudessem ser traduzidas juntas, enquanto o aprendizado profundo conecta sentenças.

Alertado sobre a melhora repentina do Google Tradutor, em 18 de novembro de 2016, Jun Rekimoto, da Universidade de Tóquio, testou o novo sistema fazendo com que traduzisse a abertura de “As Neves do Kilimanjaro”, de Ernest Hemingway, para o japonês e depois de volta para o inglês — com o seguinte resultado (adivinhe qual é o original):

1: Kilimanjaro is a snow-covered mountain 19,710 feet high, and is said to be the highest mountain in Africa. Its western summit is called the Masai “Ngaje Ngai,” the House of God. Close to the western summit there is the dried and frozen carcass of a leopard. No one has explained what the leopard was seeking at that altitude. [Kilimanjaro é uma montanha coberta de neve, a 19.710 pés de altura, considerada

a montanha mais alta da África. Seu cume ocidental é chamado de Masai “Ngaje Ngai”, a Casa de Deus. Perto do cume ocidental está a carcaça seca e congelada de um leopardo. Ninguém consegue explicar o que o leopardo procurava em um lugar tão alto.]



Figura 1.3

Ideogramas japoneses e menus instantaneamente traduzidos para o português pelo Google Tradutor, que agora pode ser baixado como um aplicativo para seu smartphone. Muito útil se você precisar usar o transporte público no Japão.

2: Kilimanjaro is a mountain of 19,710 feet covered with snow and is said to be the highest mountain in Africa. The summit of the west is called “Ngaje Ngai” in Masai, the house of God. Near the top of the west there is a dry and frozen dead body of leopard. No one has ever explained what leopard wanted at that altitude. [Kilimanjaro é uma montanha de 19.710 pés coberta de neve e que dizem ser a montanha mais alta da África. O cume do oeste é chamado de “Ngaje Ngai” em Masai, a casa de Deus. Perto do topo do oeste há um cadáver seco e congelado de leopardo. Ninguém jamais explicou o que o leopardo queria naquela altitude.]¹⁰

(O original é o primeiro.)

O próximo passo será treinar redes de aprendizado profundo para traduzir parágrafos, melhorando a conexão entre as sentenças. O significado das palavras está amplamente relacionado à cultura. Vladimir Nabokov, escritor russo e romancista de língua inglesa, que escreveu *Lolita*, chegou à conclusão de que era impossível traduzir poesia. Sua tradução literal de *Eugene Onegin*, de *Aleksandr Pushkin*, para o inglês, permeada de notas de rodapé explicando o fundo cultural dos versos, reforçou sua teoria.¹¹ Talvez o Google Tradutor possa traduzir Shakespeare algum dia, integrando toda a sua poesia.¹²

Aprendendo a Ouvir

Outro Santo Graal da inteligência artificial é o reconhecimento de fala. Até recentemente, o reconhecimento de fala independente do falante se limitava a domínios restritos, como reservas de companhias aéreas. Hoje, ele é ilimitado. Um projeto de pesquisa de verão da Microsoft Research, realizado por um estagiário da Universidade de Toronto, em 2012, melhorou drasticamente o desempenho do sistema de reconhecimento de fala da Microsoft (Figura 1.4).¹³ Em 2016, uma de suas equipes anunciou que sua rede de aprendizado profundo, com 120 camadas, alcançara o nível humano de desempenho em um teste de referência para o reconhecimento de fala de diversas pessoas.¹⁴

As consequências desse avanço repercutirão na sociedade durante os próximos anos, à medida que os teclados de computador forem substituídos por interfaces de conversão de fala em texto. Isso já acontece com assistentes digitais, como a Alexa, da Amazon, a Siri, da Apple, e a Cortana, da Microsoft, que estão presentes nos lares de toda parte. Assim como as máquinas de escrever tornaram-se obsoletas devido ao uso generalizado dos computadores pessoais, os teclados de computador algum dia se tornarão peças de museu.

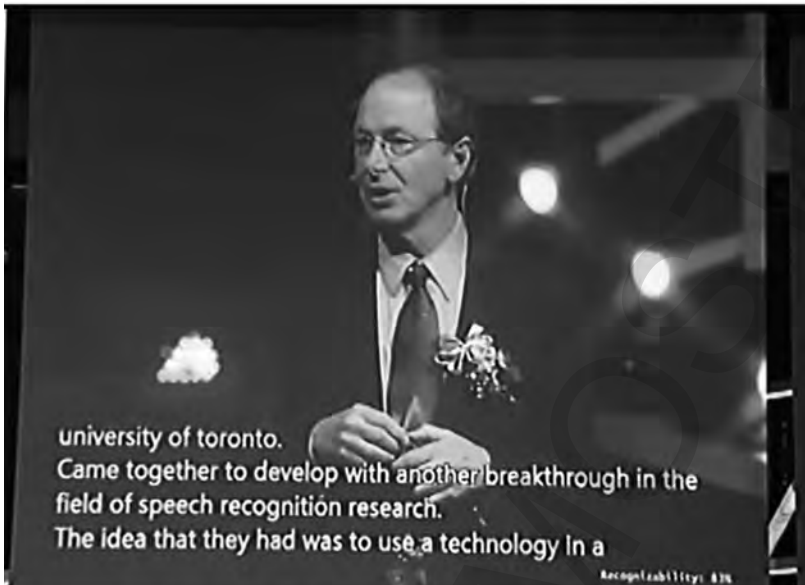


Figura 1.4

Rick Rashid, diretor-chefe de pesquisa da Microsoft, em uma demonstração ao vivo do reconhecimento de fala automatizado usando aprendizado profundo, em 25 de outubro de 2012, em um evento em Tianjin, China. Diante de uma plateia de 2 mil chineses, as palavras de Rashid, pronunciadas em inglês, foram reconhecidas pelo sistema automatizado, que primeiro as mostrou como legenda na tela em que Rashid aparecia e depois as traduziu, em áudio, para o chinês. Esse ato audacioso rendeu notícias por todo o mundo. Cortesia da Microsoft Research. [Em tradução livre para o português: "Universidade de Toronto. Eles se uniram para desenvolver outro avanço na área de pesquisas em reconhecimento de fala. A ideia era usar uma tecnologia em um..."]

Quando o reconhecimento de fala for combinado com a tradução, a comunicação direta em idiomas distintos se tornará possível. O tradutor universal de *Jornada nas Estrelas* está ao nosso alcance (Figura 1.4). Por que demorou tanto tempo para que o reconhecimento de fala e a tradução automáticos atingissem os níveis do desempenho humano? É apenas coincidência que essas e outras capacidades cognitivas dos computadores estejam se superando ao mesmo tempo? Bem, todos esses avanços estão sendo impulsionados pelo big data.

Aprendendo a Diagnosticar

Aprendizado Profundo na Pele

O setor de serviços e as profissões a ele relacionadas também serão transformados à medida que o aprendizado de máquina se consolidar e for utilizado para dirimir muitos outros problemas para os quais o big data estiver disponível. O diagnóstico médico, com base nos registros de milhões de pacientes, se tornará mais preciso. Um estudo recente usou o aprendizado profundo para identificar mais de 2 mil doenças diferentes entre 130 mil imagens de pele — um banco de dados médicos dez vezes maior do que o usado anteriormente (Figura 1.5).¹⁵ A rede do estudo foi desenvolvida para diagnosticar cada doença a partir de um “conjunto de testes”, contendo imagens nunca antes verificadas. Seu desempenho para fazer o diagnóstico a partir de imagens novas foi comparável e, em alguns casos, até melhor do que o de 21 especialistas em dermatologia.

Logo será possível que qualquer pessoa com um smartphone faça uma foto de uma lesão cutânea suspeita e a diagnostique instantaneamente, um processo que atualmente exige uma visita a um consultório médico e certa espera para que a lesão seja examinada, além do pagamento de uma quantia substancial. Isso ampliará imensamente o escopo e a qualidade da saúde dermatológica. Se as pessoas puderem obter uma avaliação rápida, feita por um especialista, as visitas ao consultório de seus médicos durante o estágio inicial de uma doença de pele serão mais recorrentes, período em que ela é mais fácil de tratar. Com a ajuda do aprendizado profundo, os médicos se tornarão melhores em diagnosticar doenças de pele raras.¹⁶

Aprendizado Profundo no Câncer

A detecção do câncer de mama metastático a partir de imagens de linfonodos em lâminas é feita por especialistas que cometem erros, o que tem consequências fatais. Esse é um problema de reconhecimento de padrões para o qual o aprendizado profundo deve se destacar. E, de fato, uma rede de aprendizado profundo, desenvolvida a partir de um grande conjunto de dados extraídos de lâminas, cujos resultados foram verificados, alcançou uma precisão de 0,925. Razoável, porém inferior à dos especialistas, que alcançaram 0,966 no mesmo conjunto de testes.¹⁷ No entanto, quando as previsões do aprendizado pro-

fundo foram combinadas com as dos especialistas humanos, o resultado foi de 0,995. Ambos se saem melhor juntos do que sozinhos, pois as redes de aprendizado profundo e os especialistas humanos analisam os mesmos dados de maneiras diferentes. Muitas vidas podem ser salvas. Isso aponta para um futuro em que o homem e a máquina trabalharão juntos, como parceiros, e não como concorrentes.



Figura 1.5

Representação artística de uma rede de aprendizado profundo que diagnostica uma lesão de pele com alta precisão, capa de 2 de fevereiro de 2017, publicada pela *Nature*.

Aprendizado Profundo no Sono

Se você tem problemas para dormir — 70% de nós teremos em algum momento da vida — depois de aguardar durante meses para ir ao médico (a menos que o problema se mostre urgente), você será direcionado para uma clínica

do sono, onde será observado durante a noite e conectado a um monte de eletrodos para registrar seu eletroencefalograma (EEG) e atividade muscular enquanto dorme. No decorrer de cada noite, você entra no sono de ondas lentas e, periodicamente, no sono de movimento ocular rápido (REM — Rapid Eye Movement), durante o qual sonha, mas a insônia, a apneia do sono, a síndrome das pernas inquietas e muitos outros distúrbios podem romper esse padrão. Se você teve problemas para dormir em sua casa, dormir em uma cama estranha conectada por fios a equipamentos médicos sinistros pode ser um verdadeiro desafio. Um especialista examinará seu EEG e marcará os estágios do sono em intervalos de 30 segundos, o que acaba levando várias horas para monitorar cada uma das oito horas de sono. Você receberá um relatório sobre as anormalidades em seu padrão de sono e uma conta a ser paga de cerca de US\$2 mil.

Os especialistas em sono são treinados para encontrar características reveladoras na identificação dos diferentes estágios do sono, com base em um sistema criado em 1968 por Anthony Rechtschaffen e Alan Kales.¹⁸ Mas, como os resultados costumam ser ambíguos e incoerentes, os especialistas os interpretam de forma homogênea em apenas 75% das vezes. Em contrapartida, Philip Low, ex-aluno de pós-graduação do meu laboratório, usou o aprendizado de máquina não supervisionado para detectar automaticamente estágios do sono em intervalos de três segundos e concordância entre os especialistas humanos de 87%, em menos de um minuto.

Além disso, esse método demandava o registro dos dados de apenas uma única área da cabeça, em vez de muitos pontos de contato e fios que demoram muito tempo para colocar e tirar. Em 2007, lançamos uma startup, a Neurovigil, para levar essa tecnologia às clínicas de sono, porém, elas demonstraram pouco interesse em interromper o fluxo de caixa do procedimento padrão. De fato, tendo motivos para lucrar, não havia incentivo para a adoção de um procedimento mais barato. A Neurovigil encontrou outro mercado em grandes empresas farmacêuticas que realizam testes clínicos e precisam averiguar os efeitos de suas drogas nos padrões de sono e, atualmente, está entrando no mercado de clínicas de cuidados de longo prazo, geralmente necessários para os idosos, que costumam apresentar problemas progressivos de sono.

O modelo da clínica do sono é falho porque as patologias não podem ser diagnosticadas de forma precisa com base em circunstâncias restritas: todos

possuem uma linha de base diferente, e os desvios dessa linha é que são informativos. A Neurovigil já tem um dispositivo compacto, o iBrain, que pode gravar seu EEG em casa, transmitir os dados pela internet para que sejam analisados a distância, para identificar tendências e anomalias. Isso permitirá que os médicos detectem problemas de saúde precocemente, período em que o tratamento é mais fácil e que o desenvolvimento de doenças crônicas ainda pode ser evitado. Existem outras doenças cujo tratamento se beneficiaria do monitoramento contínuo, como o diabetes tipo 1 — o nível de açúcar no sangue poderia ser monitorado e regulado pela administração de insulina. O acesso a sensores baratos que registram dados de maneira contínua exerce um grande impacto no diagnóstico e tratamento de outras doenças crônicas.

Há várias lições a serem aprendidas com a experiência da Neurovigil. Embora dominar uma tecnologia melhor e mais barata, ainda que seja infinitamente superior às outras, não signifique um novo produto ou serviço comercializável, quando um operador histórico está arraigado no mercado, existem mercados secundários nos quais a nova tecnologia pode ter um impacto mais imediato e ganhar tempo para se aprimorar e competir de maneira mais proveitosa. Foi assim que as tecnologias da energia solar e de muitos outros setores emergentes entraram no mercado. Em longo prazo, o monitoramento do sono e as novas tecnologias com vantagens demonstradas alcançarão os pacientes em casa e, eventualmente, serão integrados à prática médica.

Aprendendo a Ganhar Dinheiro

Mais de 75% das negociações na Bolsa de Valores de Nova York são automatizadas (Figura 1.6), baseadas em negociações de alta frequência que entram e saem de posição em frações de segundo. (Quando você não tem que pagar por transação, até mesmo pequenas vantagens se convertem em grandes lucros.) A negociação algorítmica, se aplicada em escalas maiores, leva em consideração as tendências de longo prazo baseadas em big data. O aprendizado profundo está se aprimorando em obter mais dinheiro e lucros maiores.¹⁹ O problema da previsão dos mercados financeiros é que os dados são ruidosos e as condições, dinâmicas — a lógica pode mudar da noite para o dia após uma eleição ou conflito internacional. Isso significa que um algoritmo que hoje prevê os valores das ações pode não funcionar amanhã. Na prática, centenas de algoritmos são usados, e os melhores são combinados para otimizar os retornos.

Na década de 1980, quando eu era consultor da Morgan Stanley para modelos de redes de negociação de ações na bolsa, conheci David Shaw, um cientista da computação especializado em projetar computadores paralelos. Em licença de seu cargo na Universidade de Columbia, Shaw trabalhava como analista quantitativo, ou “quant”, nos primórdios da negociação automatizada. Ele estava para lançar a própria empresa de gestão de investimentos em Wall Street, o D. E. Shaw Group, e agora é multibilionário. O D. E. Shaw Group tem sido muito bem-sucedido, mas não tanto quanto outro fundo hedge, o Renaissance Technologies, fundado por James Simons, um matemático ilustre e ex-presidente do Departamento de Matemática da Stony Brook University. Simons fez US\$1,6 bilhão só em 2016, e esse não foi seu melhor ano.²⁰ Chamado de “o melhor departamento de física e matemática do mundo”,²¹ o Renaissance “evita contratar qualquer um que tenha o menor vestígio de credenciais de Wall Street”.²²

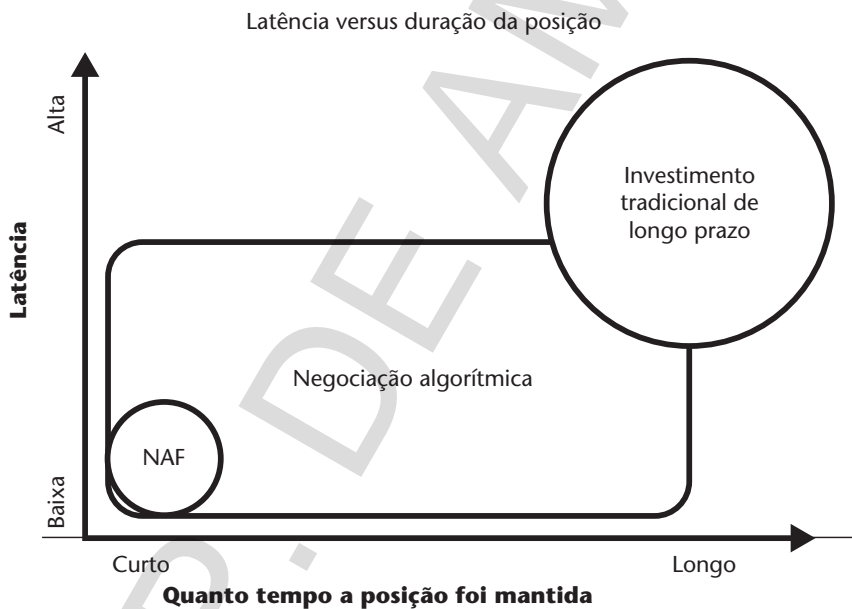


Figura 1.6

O aprendizado de máquina está conduzindo a negociação algorítmica, que é mais rápida do que as estratégias tradicionais de investimento de longo prazo e mais deliberada do que a negociação de alta frequência (NAF) nos mercados de ações. Muitos tipos diferentes de algoritmos de aprendizado de máquina são combinados para obter os melhores retornos.

Fora das operações cotidianas do D. E. Shaw, David Shaw está engajado com a D. E. Shaw Research, que construiu um computador paralelo de finalidade específica, chamado de “Anton”, que executa o enovelamento de proteínas muito mais rapidamente do que qualquer outro computador do planeta.²³ Simons se aposentou da supervisão da Renaissance e criou uma fundação que financia pesquisas sobre autismo e outros programas nas áreas de física e ciências biológicas. Através do Instituto Simons para a Teoria da Computação, na UC Berkeley, do Simons Center for the Social Brain, no MIT, e do Flatiron Institute, em Nova York, as ações filantrópicas de Shaw tiveram um grande impacto no avanço dos métodos computacionais para análise de dados, modelagem e simulação.²⁴

Os serviços financeiros, de maneira mais ampla, passaram por uma transformação sob o conceito de tecnologia financeira, ou “fintech”, como passou a ser chamada. A tecnologia da informação, assim como a cadeia de blocos, um livro financeiro seguro da internet que substitui intermediários em transações, está sendo testada em pequena escala, mas pode em breve atrapalhar os mercados financeiros multitrilionários. O aprendizado de máquina está sendo usado para aprimorar a avaliação de créditos, fornecer informações financeiras e corporativas com precisão, captar sinais nas mídias sociais que prevejam tendências de mercado e fornecer dados biométricos para a segurança de transações financeiras. Quem tiver mais dados ganha, e o mundo está repleto de dados financeiros.

Aprendendo o Direito

O aprendizado profundo está apenas começando a afetar as profissões da área jurídica. Grande parte do trabalho rotineiro de associados em escritórios de advocacia, que cobram centenas de dólares por hora, será automatizado, especialmente nos grandes e valiosos escritórios comerciais. Em particular, a revisão baseada em tecnologia, ou descoberta, será tomada pela inteligência artificial, que pode organizar e identificar milhares de documentos para obter provas legais sem se cansar. Os sistemas automatizados de aprendizado profundo também ajudarão os escritórios de advocacia a cumprir a crescen-

te complexidade dos regulamentos governamentais. Eles vão disponibilizar aconselhamento jurídico para aqueles que não podem arcar com um advogado. O trabalho jurídico não será apenas mais barato; será muito mais rápido, um fator que, nesse âmbito, costuma ser mais importante do que as despesas. O mundo do direito está a caminho de se tornar “legalmente profundo”.²⁵

Aprendendo a Jogar Pôquer

Heads-up no-limit Texas hold'em é uma das versões mais populares do pôquer, comumente jogada em cassinos, e a modalidade de apostas *no-limit* é a utilizada no principal evento do World Series of Poker (Figura 1.7). O jogo é desafiador porque, diferentemente do xadrez, em que ambos os jogadores têm acesso à mesma informação, os jogadores de pôquer possuem informações imprecisas e, nos níveis mais avançados do jogo, a habilidade de blefar e de dissimular são tão importantes quanto as cartas.

O matemático John von Neumann, que fundou a teoria matemática dos jogos e foi pioneiro em computação digital, era particularmente fascinado pelo pôquer. Como disse: “A vida real consiste de blefes, pequenas táticas de engano e em se perguntar o que o outro acha que pretendo fazer. E, na minha opinião, é disso que os jogos são feitos.”²⁶ O pôquer é um jogo que ativa partes da inteligência humana aprimoradas pela evolução. Uma rede de aprendizado profundo chamada de “DeepStack” jogou 44.852 partidas contra 33 jogadores profissionais. Para a surpresa dos especialistas, derrotou o melhor dos jogadores por uma margem considerável — um desvio-padrão —, mas superou todo o grupo por quatro desvios-padrão — uma margem imensa.²⁷ Se esses resultados forem conquistados em outras áreas fundamentadas do julgamento humano baseado em informações imperfeitas, como política e relações internacionais, as consequências podem nos levar ainda mais longe.²⁸



Figura 1.7

Heads-up no-limit Texas hold'em. Ases na manga. O blefe na modalidade de apostas altas foi dominado pela DeepStack, que derrotou os jogadores profissionais por uma margem considerável.

Aprendendo a Jogar Go

Em março de 2016, Lee Sedol, coreano 18 vezes campeão mundial de Go, disputou e perdeu uma partida de cinco jogos contra o AlphaGo, da DeepMind (Figura 1.8), um programa jogador de Go que usava redes de aprendizado profundo para avaliar posições do tabuleiro e possíveis movimentos.²⁹ Em dificuldade, o Go está para o xadrez como o xadrez para as damas. Se o xadrez é uma batalha, o Go é uma guerra. Um tabuleiro de Go, 19×19, é muito maior do que um de xadrez, 8×8, o que possibilita várias batalhas em diferentes partes do tabuleiro. Existem interações de longa distância entre batalhas que são difíceis de julgar, mesmo por especialistas. O número total de posições possíveis em um tabuleiro de Go é de 10^{170} , muito mais do que o número de átomos no universo.

Além das várias redes de aprendizado profundo para avaliar o tabuleiro e escolher o melhor movimento, o AlphaGo tinha um sistema de aprendizado completamente diferente, o mesmo usado para resolver o problema da atribuição de crédito temporal: quais dos muitos movimentos foram responsáveis por uma vitória e quais foram responsáveis por uma perda? Os gânglios da base do cérebro, que recebem projeções de todo o córtex cerebral e as projetam de volta para ele, resolvem esse problema com um algoritmo de diferença temporal e aprendizado por reforço. O AlphaGo usou esse mesmo algoritmo de aprendizado que os gânglios de base desenvolveram para avaliar sequências de ações que visavam a maximizar recompensas futuras (um processo explicado no Capítulo 10). O AlphaGo aprendeu jogando sozinho — muitas e muitas vezes.

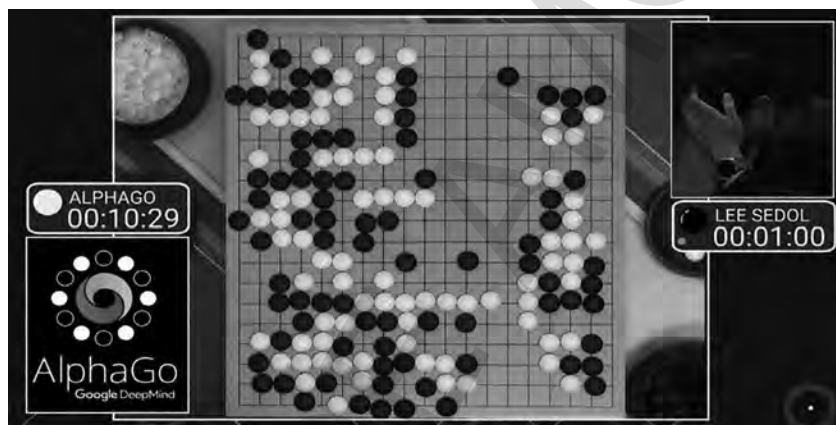


Figura 1.8

O tabuleiro de Go durante a partida de cinco jogos em que disputaram o campeão coreano, Lee Sedol, e o AlphaGo, uma rede neural de aprendizado profundo que aprendeu a jogar sozinha.

A partida de Go disputada por AlphaGo e Lee Sedol teve um grande sucesso na Ásia, em que os campeões de Go são considerados figuras nacionais e tratados como astros do rock. O AlphaGo havia derrotado um campeão europeu, mas o nível de jogo era consideravelmente inferior ao dos altos padrões asiáticos, e Lee Sedol não esperava uma partida difícil. Até mesmo a DeepMind, empresa que desenvolveu o AlphaGo, não sabia o quão forte era seu programa de aprendizado profundo. Desde a última partida, o AlphaGo já jogou outras milhões contra várias versões de si mesmo, e suas habilidades se demonstraram incomparáveis.

Foi uma surpresa para muitos quando o AlphaGo venceu os três primeiros jogos, demonstrando um nível inesperadamente alto de jogabilidade. Para a Coreia do Sul, essa foi uma façanha impressionante; todas as principais emissoras de televisão comentaram a partida. Alguns dos movimentos feitos pelo AlphaGo foram vanguardistas. No 38º lance do segundo jogo, ele fez uma jogada brilhantemente criativa, surpreendendo Lee Sedol, que levou quase dez minutos para reagir. O AlphaGo perdeu o quarto jogo — o gol de honra dos humanos — e terminou a partida ao vencer quatro jogos a um (Figura 1.9).³⁰ Eu ficava acordado até altas horas das noites de março em San Diego, fiquei hipnotizado pelos jogos. Eles me lembraram da vez em que me sentei colado na TV, em Cleveland, em 2 de junho de 1966, à 1h, quando a espaçonave robótica Surveyor aterrissou na lua e apresentou a primeira foto de uma paisagem lunar.³¹ Testemunhei esses momentos históricos em tempo real. O AlphaGo superou muito o que eu e muitos outros pensávamos ser possível.

Em 4 de janeiro de 2017, um jogador de Go em um servidor na internet chamado “Master” foi desmascarado como AlphaGo 2.0 depois de ganhar 60 dos 60 jogos contra alguns dos melhores jogadores do mundo, incluindo o atual campeão mundial de Go, o jovem prodígio chinês de 19 anos Ke Jie. Ele revelou um novo estilo de jogabilidade que contrariava a sabedoria estratégica de eras. Em 27 de maio de 2017, Ke Jie perdeu três jogos para o AlphaGo no Future of Go Summit em Wuzhen, na China (Figura 1.10). Essas foram algumas das melhores partidas de Go já jogadas, e centenas de milhões de chineses as acompanharam. “No ano passado, achava a jogabilidade do AlphaGo bem próxima à dos seres humanos, mas hoje vejo que ele joga como um deus”, concluiu Ke Jie.³²

Após o primeiro jogo, que perdeu por uma pequena margem de meio ponto, Ke Jie disse que “estive muito perto de vencer na metade do jogo” e que estava muito animado: “Podia sentir meu coração batendo! Talvez por estar muito empolgado, fiz algumas jogadas estúpidas. Talvez esse seja o ponto fraco dos seres humanos.”³³ O que Ke Jie experimentou foi uma sobrecarga emocional, porém, um estágio emocional não tão extremo é necessário para atingir o desempenho máximo. Os atores mesmo sabem que, se não sentirem borboletas no estômago antes de suas apresentações, é porque não estão em boa forma. Seus desempenhos seguem uma curva em forma de U invertido: os melhores resultados se situam entre os níveis baixos e altos de empolgação. Os atletas chamam isso de estar “no ápice”.



Figura 1.9

Lee Sedol, depois de perder a Challenge Match, em março de 2016.



Figura 1.10

Demis Hassabis (à esquerda) e Ke Jie se encontram após a histórica partida de Go, na China, em 2017, segurando uma prancha com a assinatura de Ke Jie. Cortesia de Demis Hassabis.

O AlphaGo também derrotou uma equipe de cinco grandes jogadores em 26 de maio de 2017. Esses jogadores analisaram os movimentos executados pela máquina e já estão mudando suas estratégias. Em uma nova versão da “diplomacia do pingue-pongue”, a partida foi organizada pelo governo chinês. A China está fazendo um grande investimento em aprendizado de máquina, e um dos principais objetivos de sua iniciativa no âmbito dos estudos do cérebro é explorá-lo em busca de novos algoritmos.³⁴

O próximo capítulo dessa saga Go é ainda mais notável, se é que isso é possível. O AlphaGo começou por meio do aprendizado supervisionado de 160 mil partidas entre humanos antes de jogar sozinho. Alguns pensavam que isso era trapaça — um programa de IA autônomo deveria ser capaz de aprender a jogar Go sem a experiência humana. Em outubro de 2017, foi lançada uma nova versão, chamada de AlphaGo Zero, que aprendeu a jogar usando apenas as regras do jogo, e massacróu o AlphaGo Master, a versão que venceu Kie Jie, vencendo 100 jogos.³⁵ Além disso, o AlphaGo Zero aprendeu 100 vezes mais rápido e com 10 vezes menos poder computacional do que o AlphaGo Master. Ao ignorar completamente o conhecimento humano, o AlphaGo Zero tornou-se super-humano. Não há limites claros para o quanto o AlphaGo pode se aprimorar à medida que os algoritmos de aprendizado de máquina se desenvolvem.

O AlphaGo Zero dispensou a experiência humana, mas ainda havia muito do conhecimento humano nas características que o programa usava para representar o tabuleiro. Talvez o AlphaGo Zero consiga se aprimorar ainda mais sem qualquer conhecimento prévio. De forma análoga, assim como a Coca-Cola Zero removeu todas as calorias da Coca-Cola preservando suas qualidades, todo o conhecimento sobre o Go foi absorvido pelo AlphaZero, removendo todos os eventuais problemas. Como resultado, o AlphaZero foi capaz de aprender de modo ainda mais rápido e, decisivamente, derrotar o AlphaGo Zero.³⁶

Para exacerbar a ideia do quanto menos é mais, o AlphaZero, sem alterar um único parâmetro do aprendizado, aprendeu a jogar xadrez em níveis sobre-humanos, fazendo movimentos raros, que ninguém jamais havia realizado. O AlphaZero não perdeu um jogo sequer para o Stockfish, o maior programa de xadrez já atuando em níveis sobre-humanos. Durante uma partida, o AlphaZero fez um ousado sacrifício do bispo — às vezes usado para ganhar

vantagem — seguido pelo da rainha, o que parecia um erro absurdo até realizar o xeque-mate muitas jogadas depois, algo que nem o Stockfish nem os humanos conseguiram prever. Os alienígenas chegaram. A Terra nunca mais será a mesma.

A desenvolvedora da AlphaGo, DeepMind, foi cofundada em 2010 pelo neurocientista Demis Hassabis (Figura 1.10, à esquerda), que foi bolsista de pós-doutorado da Gatsby Computational Neuroscience Unit, da Universidade de Londres (dirigida por Peter Dayan, ex-bolsista de pós-doutorado do meu laboratório e vencedor do prestigiado prêmio Brain Prize em 2017, com Raymond Dolan e Wolfram Schultz, por suas pesquisas sobre aprendizado de recompensas). A DeepMind foi adquirida pelo Google por US\$600 milhões em 2014. A empresa emprega mais de 400 engenheiros e neurocientistas em uma cultura que mistura o conceito da academia e o das startups. A sinergia entre a neurociência e a IA está integrada e tem se desenvolvido rapidamente.

Aprendendo a Ser Mais Inteligente

O AlphaGo é inteligente? Apenas a consciência supera a inteligência em toda a literatura da psicologia, e ambas possuem definições complexas. Os psicólogos, desde a década de 1930, distinguem a inteligência fluida, que usa o raciocínio e o reconhecimento de padrões para resolver problemas inéditos sem depender de conhecimentos prévios, da inteligência cristalizada, que depende do conhecimento prévio e é alvo dos testes padrões de QI. A inteligência fluida segue uma trajetória desenvolvimental, que atinge o pico no início da idade adulta e diminui com o tempo, enquanto a cristalizada aumenta de maneira lenta e assintótica com o passar dos anos. O AlphaGo possui ambas as inteligências em um domínio bastante restrito, no qual demonstrou uma criatividade surpreendente. A experiência profissional também se baseia no aprendizado em domínios restritos. Somos todos proficientes no que tange à linguagem e a praticamos todos os dias.

O algoritmo de aprendizado por reforço usado pelo AlphaGo pode ser aplicado a muitos problemas. Essa forma de aprendizado depende apenas da recompensa dada ao vencedor ao final de uma sequência de movimentos, uma projeção que acaba melhorando as decisões tomadas muito antes. Quan-

do é combinado a muitas redes poderosas de aprendizado profundo, acarreta muitos bits de inteligência específica de uma área. E, de fato, cada caso lida com diferentes tipos de inteligência: social, emocional, mecânica e construtiva, por exemplo.³⁷ O “fator g” (inteligência geral), que os testes de inteligência afirmam medir, correlaciona-se a esses tipos. É necessário atentar para algumas questões ao interpretar os testes de QI. O QI médio mundial tem crescido três pontos por década desde que foi estudado pela primeira vez, na década de 1930, uma tendência chamada de “efeito Flynn”. Há muitas explicações para o efeito Flynn, como a melhora da alimentação, da saúde e de outros fatores ambientais.³⁸

Isso é bastante plausível devido ao ambiente afetar a regulação gênica, que por sua vez afeta a conectividade do cérebro, levando a alterações do comportamento.³⁹ Como os seres humanos vivem cada vez mais em ambientes criados artificialmente, seus cérebros são formados de maneiras que a natureza nunca pretendeu. Será que os humanos estão ficando mais inteligentes ao longo de mais tempo? Por quanto tempo o aumento do QI continuará? A incidência de pessoas jogando xadrez virtual, gamão e agora Go vem aumentando desde o advento dos programas que jogam em níveis de campeonato, e assim a máquina aumentou a inteligência dos jogadores humanos.⁴⁰ O aprendizado profundo impulsionará a inteligência não apenas dos investigadores científicos, mas também dos trabalhadores de todas as profissões.

Os instrumentos científicos geram dados a uma taxa prodigiosa. Colisões de partículas elementares no Large Hadron Collider (LHC), em Genebra, originaram 25 petabytes de dados por ano. O Grande Telescópio Celestial Sinótico (LSST) gerará 6 petabytes de dados anualmente. O aprendizado de máquina atualmente é usado para analisar os enormes conjuntos de dados de física e astronomia que são muito grandes para que os humanos analisem usando os métodos tradicionais.⁴¹ Por exemplo, a DeepLensing é uma rede neural que reconhece imagens de galáxias distantes distorcidas pela reflexão da luz através das “lentes gravitacionais”, ao redor de outras galáxias ao longo da linha de visão. Isso permite que muitas novas galáxias distantes sejam descobertas de forma automática. Há muitos outros problemas do tipo “agulha no palheiro” na física e na astronomia, e, para eles, o aprendizado profundo tem desenvolvido amplamente as abordagens tradicionais da análise de dados.

O Mercado de Trabalho em Constante Mudança

Apresentados pelos bancos no final dos anos 1960, para disponibilizar dinheiro aos correntistas em tempo integral, uma conveniência muito bem-vinda para quem precisava de dinheiro antes ou depois de encarar as típicas horas na fila dos bancos, os caixas eletrônicos adquiriram a capacidade de ler cheques manuscritos. E, embora tenham reduzido o trabalho rotineiro dos atendentes dos caixas, há mais profissionais do que antes, que agora oferecem aos clientes serviços personalizados, como financiamento e consultoria de investimentos, e há muitos novos serviços paliativos nos caixas eletrônicos⁴² — assim como o motor a vapor deslocou trabalhadores braçais, por um lado, mas originou novos empregos para trabalhadores que poderiam construir e manter motores e dirigir locomotivas a vapor, por outro. Da mesma maneira, o marketing online da Amazon expulsou muitos trabalhadores de lojas de varejo físicas, porém criou 380 mil novos empregos em distribuição e entrega dos produtos próprios e de muitos negócios associados.⁴³ E conforme empregos que agora exigem habilidades cognitivas humanas são assumidos por sistemas automatizados de IA, haverá novos empregos para aqueles que puderem criar e manter esses sistemas.

A rotatividade dos empregos não é novidade. Os trabalhadores rurais do século XIX foram substituídos por máquinas, e novos empregos foram criados nas fábricas urbanas, possibilitados pelas máquinas, o que exigiu um sistema educacional para treinar os trabalhadores em novas habilidades. A diferença é que, hoje, os novos empregos criados pela inteligência artificial passarão a exigir novas habilidades, mais adaptativas, além das cognitivas tradicionais.⁴⁴ Assim, precisaremos aprender ao longo da vida. Para que isso aconteça, precisaremos de um novo sistema educacional, que se fundamente no lar, em vez de na escola.

Felizmente, assim como a necessidade de encontrar novos empregos tornou-se aguda, a internet disponibilizou cursos online abertos e massivos (MOOCs) para fornecer novos conhecimentos e habilidades. Embora ainda estejam engatinhando, os MOOCs evoluem rapidamente no ecossistema da educação e têm uma grande promessa de oferecer instrução de qualidade a um número bem maior de pessoas. Ao serem combinados à próxima geração de assistentes di-

gitais, os MOOCs serão transformadores. Barbara Oakley e eu desenvolvemos um MOOC popular chamado de “Learning How to Learn” [“Aprendendo a Aprender”, em tradução livre], que ensina como se tornar um aprendiz melhor (Figura 1.11) e um MOOC de acompanhamento chamado “Mindshift” [“Mudança Mental”, em tradução livre], que ensina como se reinventar e mudar seu estilo de vida (ambos os MOOCs são descritos no Capítulo 12).

Ao navegar pela internet, você gera big data sobre você mesmo que uma máquina pode ler. Você é exposto a anúncios gerados a partir de farelos digitais que deixa pelo caminho. As informações que revela no Facebook e em outras mídias sociais podem ser usadas para criar um assistente digital que o conhece melhor do que qualquer pessoa no mundo e não se esquecerá de nada, tornando-se, na prática, seu dúplice virtual. Ao unir o rastreamento da internet ao aprendizado profundo, as crianças de amanhã terão melhores oportunidades no âmbito educacional do que as disponíveis atualmente para as famílias mais ricas. Seus netos terão os próprios tutores digitais, que os acompanharão ao longo de sua trajetória discente. A educação não apenas se tornará mais individualizada, mas também mais precisa.

Já existe uma ampla gama de experimentos educacionais sendo desenvolvidos pelo mundo em programas como a Kahn Academy, alguns financiados pelos Gates, Chan-Zuckerberg e outras fundações filantrópicas que testam softwares para viabilizar a todas as crianças o desenvolvimento da educação formalizada no próprio ritmo, que se adequem às necessidades de cada uma.⁴⁵ A ampla disponibilidade de tutores digitais libertará os professores das partes mecânicas da profissão, como a avaliação, e permitirá que foquem o que os humanos fazem de melhor — dar apoio emocional aos alunos em dificuldades e inspirar intelectualmente os superdotados.

A tecnologia educacional — edtech — está avançando rapidamente, e a transição para a educação de precisão pode vir a ser muito rápida se comparada aos veículos autônomos, pois os obstáculos que precisa superar são muito menos assustadores, a demanda é muito maior e a educação constitui um mercado trilionário.⁴⁶ Uma das principais preocupações é quem terá acesso aos arquivos internos dos assistentes e tutores digitais.



Figura 1.11

“Learning How to Learn”, um curso online massivo e aberto (MOOC) que ensina como se tornar um aprendiz melhor. É o MOOC mais popular da internet, com mais de 3 milhões de alunos. Cortesia de Terrence Sejnowski e Barbara Oakley.

A Inteligência Artificial É uma Ameaça Existencial?

Quando o AlphaGo venceu Lee Sedol, em 2016, alimentou uma reação que vinha se desenvolvendo nos últimos anos com relação aos possíveis perigos da inteligência artificial para os humanos. Cientistas da computação assinaram acordos de não usar a IA para propósitos militares. Stephen Hawking e Bill Gates fizeram declarações públicas alertando sobre a ameaça existencial que a IA apresenta. Elon Musk e outros empreendedores do Vale do Silício montaram uma nova empresa, a OpenAI, com um investimento de um bilhão de dólares, e contrataram Ilya Sutskever, um dos ex-alunos de Geoffrey Hinton, para ser seu primeiro diretor.

Embora o objetivo declarado da OpenAI fosse garantir que as futuras descobertas de inteligência artificial estivessem disponíveis para uso público, havia outro, implícito e mais importante — impedir que empresas privadas praticassem o mal. Pois, com a vitória do AlphaGo sobre o campeão mundial Sedol, um ponto crítico fora alcançado. Quase da noite para o dia, a inteligência artificial deixou de ser considerada uma falha para ser cogitada como ameaça existencial.

Essa não é a primeira vez que uma tecnologia emergente representa uma ameaça existencial. A invenção, o desenvolvimento e o armazenamento de armas nucleares ameaçaram explodir o mundo, mas de alguma forma conseguimos evitar que isso acontecesse, pelo menos até agora. Quando a tecnologia do DNA recombinante veio à tona, surgiu o medo de que organismos geneticamente modificados fossem soltos para espalhar o sofrimento e a morte pelo mundo. A engenharia genética é agora uma tecnologia madura e, até então,

conseguimos sobreviver às suas criações. Os recentes avanços no aprendizado de máquina são uma ameaça relativamente modesta em comparação com as armas nucleares e os sistemas assassinos. Também nos adaptaremos à inteligência artificial, e, de fato, isso já está acontecendo.

Uma das implicações da mestria da DeepStack é o poder de ensinar a uma rede de aprendizado profundo a se tornar um mentiroso exímio. Os limites do que as redes profundas podem fazer, se treinadas, são a imaginação do treinador e os dados que possui. Se uma rede pode ser treinada para dirigir com segurança, também pode ser para pilotar carros de Fórmula 1, e alguém provavelmente estará disposto a pagar por ela. Atualmente, elaborar produtos e serviços usando o aprendizado profundo ainda demanda profissionais qualificados e altamente treinados; mas, como o custo do poder computacional tem se reduzido e os softwares, se automatizado, logo será possível que alunos do ensino médio desenvolvam aplicações para a IA.

A Otto, empresa e-commerce de roupas, móveis e esportes mais bem remunerada da Alemanha, usa o aprendizado profundo para prever pedidos de clientes e solicitá-los previamente com base em seu histórico de compras.⁴⁷ Com 90% de precisão, os clientes recebem as mercadorias praticamente antes de as encomendar. Realizada automaticamente, sem intervenção humana, as previsões de pedido não só geram uma economia de milhões de euros anuais devido às reduções de estoque excedente e às devoluções, como também resulta em maior satisfação e fidelização de clientes. Em vez de desalojar os trabalhadores da Otto, o aprendizado profundo aumentou sua produtividade. A IA pode torná-lo mais produtivo em seu trabalho.

Embora as principais empresas de alta tecnologia tenham sido pioneiras nas aplicações do aprendizado profundo, as ferramentas de aprendizado de máquina já estão disponíveis em grande escala, e muitas outras empresas estão começando a se beneficiar delas. A Alexa, uma assistente digital muito popular que opera junto ao Echo, o alto-falante inteligente da Amazon, responde a solicitações de linguagem natural baseada em aprendizado profundo. O Amazon Web Services (AWS) apresentou as caixas de ferramenta denominadas “Lex”, “Poly” e “Comprehend”, que facilitam o desenvolvimento das mesmas interfaces que funcionam a partir de linguagem natural, baseadas em conversão de texto para fala, reconhecimento de fala e compreensão de linguagem natural, respectivamente. Aplicativos com interações conversacionais estão

ao alcance de empresas menores, que não podem contratar especialistas em aprendizado de máquina. A IA pode aumentar a satisfação do cliente.

Quando os programas jogadores de xadrez ofuscaram os melhores jogadores humanos, isso impediu as pessoas de jogar? Pelo contrário, seu nível de jogabilidade foi elevado. O xadrez também foi democratizado. Os melhores jogadores vieram de grandes cidades como Moscou e Nova York, onde os grandes mestres, que transmitiam o conhecimento por gerações, estavam concentrados. Programas jogadores de xadrez possibilitaram Magnus Carlson, que cresceu em uma pequena cidade da Noruega, a se tornar um grande mestre aos 13 anos e, atualmente, o campeão mundial. Os benefícios da IA, contudo, afetarão não apenas o mundo dos jogos, mas todos os aspectos das atividades humanas, da arte à ciência. A IA pode deixá-lo mais inteligente.⁴⁸

De Volta para o Futuro

A Revolução do Aprendizado Profundo possui dois temas interligados: como a inteligência humana evoluiu e como a artificial está evoluindo. A grande diferença entre os dois tipos é que a inteligência humana levou milhões de anos para evoluir, enquanto a artificial tem evoluído consideravelmente em décadas. Embora essa velocidade seja avassaladora, até mesmo para as transformações culturais, apertar os cintos nem sempre é a melhor atitude.

Os recentes avanços do aprendizado profundo não foram os episódios repentinos que você deve ter visto nos noticiários. A história por trás da transição da inteligência artificial baseada em símbolos, lógica e regras para as redes de aprendizado profundo baseadas em big data e algoritmos de aprendizado não é amplamente conhecida. *A Revolução do Aprendizado Profundo* conta essa história e explora suas origens e consequências segundo minha perspectiva como pioneiro no desenvolvimento de algoritmos de aprendizado para redes neurais na década de 1980 e como presidente da NIPS Foundation, que tem coordenado descobertas sobre o aprendizado de máquina e o aprendizado profundo nos últimos 30 anos. Meus colegas e eu fomos por muitos anos os azarões na comunidade de redes neurais, mas nossa persistência e paciência, por fim, prevaleceram.