

**A**

**b**

**C**

**da**

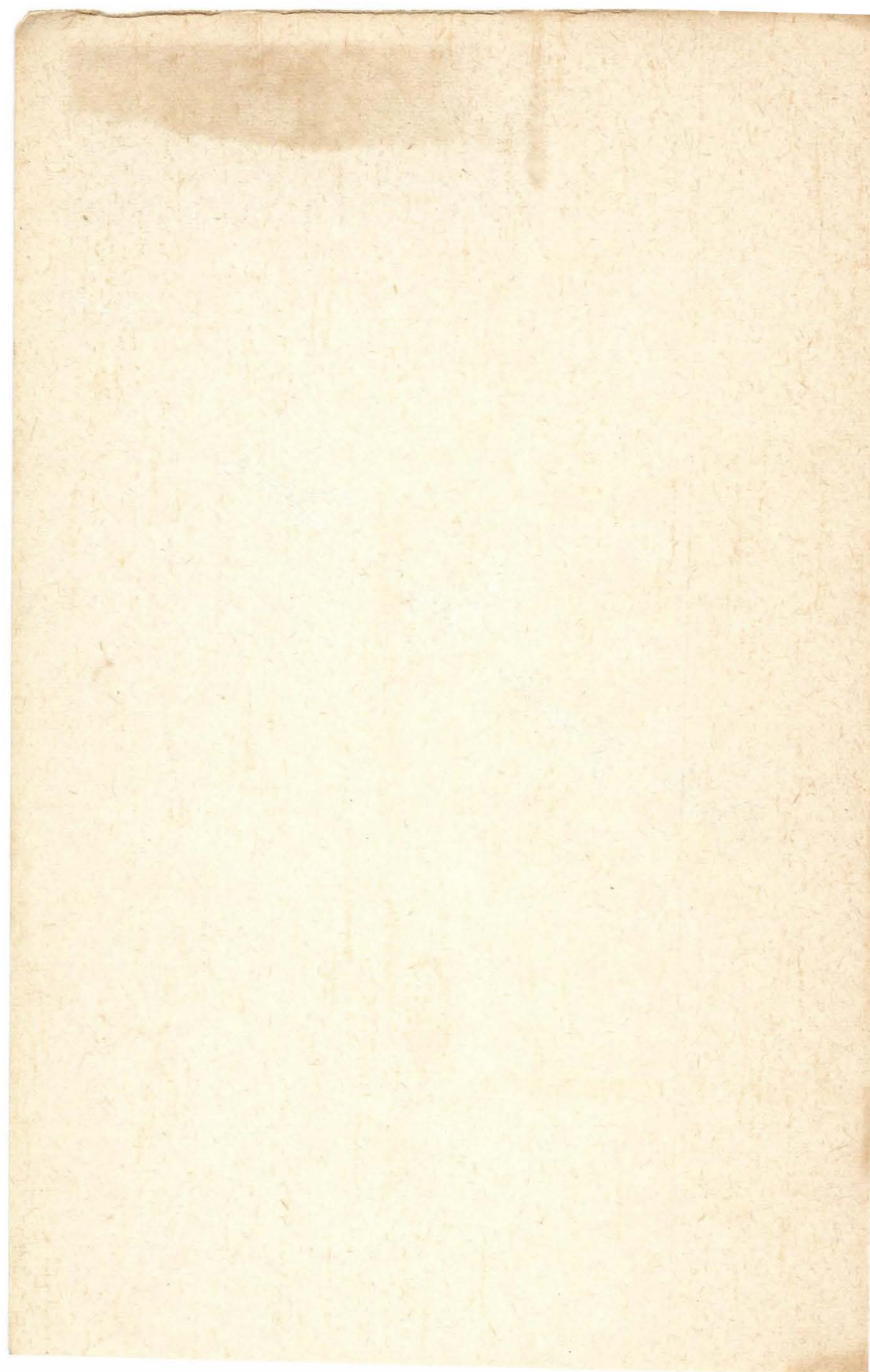
**cibernética**

A. Kondratov

um livro distribuído pela

**expresso**





# A B C DA CIBERNÉTICA

## PERSPECTIVAS:

1. DEPOIMENTOS DOS «ANGRY MEN», por *John Osborne e outros*
2. TEMAS DE SOCIOLOGIA CONTEMPORÂNEA, por *Raymond Aron*
3. BOM DIA, COSMOS!, por *Yuri Gagarine e outros*
4. GUERRA E CIVILIZAÇÃO, por *Arnold Toynbee*
5. OS INTELECTUAIS E A POLÍTICA, por *Romeu de Melo*
6. NOVOS TEMAS DE SOCIOLOGIA CONTEMPORÂNEA, por *Raymond Aron*
7. A ARTE MODERNA, por *Poseph-Emile Muller*
8. O PROGRESSO, por *Sottomaior Cardia*
9. O MOVIMENTO SURREALISTA, por *Franco Fortini*
10. O HOMEM CONTEMPORANEO, por *Romeu de Melo*
- \* 11. POLÍTICA ECONÓMICA I, por *Francesco Forte*
12. O PENSAMENTO DE BERTRAND RUSSELL, por *Romeu de Melo*
13. POLÍTICA ECONÓMICA II, por *Francesco Forte*
14. A EDUCAÇÃO NO SÉCULO XX, por *René Maheu e outros*
15. SUBDESENVOLVIMENTO ECONÓMICO, por *Josué de Castro e outros*
16. A RELATIVIDADE E O HOMEM, por *V. Smilga*
17. A ORIGEM DO HOMEM, por *M. Nesturkh*
18. DEMOCRACIA E TOTALITARISMO, por *Raymond Aron*
19. PAGINAS DE ESTÉTICA CONTEMPORÂNEA, por *Pierre Abraham e outros*
20. MARCUSE POLÊMICO, por *Erich Fromm e outros*
21. TEATRO E VANGUARDA, por *Bertolt Brecht e outros*
- \* 22. PSICANALISE E SOCIEDADE, por *Wilhelm Reich e outros*
23. SITUAÇÃO ACTUAL DA MULHER, por *Marthe van de Meulebroeke e outros*
24. SOCIOLOGIA E IDEOLOGIA, por *Adam Schaff e outros*
25. CULTURA E SOCIEDADE, por *T. W. Adorno e outros*
26. A HISTORIA ME ABSOLVERA, por *Fidel Castro*
27. O QUE É O EROTISMO, por *Arnaldo Saraiva*
28. IDEÓLOGOS E IDEOLOGIAS DA NOVA ESQUERDA, por *Bernd Oelgart*
29. ENSINO: REFORMA OU REVOLUÇÃO? por *G. W. Parkin e outros*
- \* 30. ABC DA CIBERNÉTICA, por *A. Kondratov*



A. KONDRATOV

A B C  
DA CIBERNÉTICA

TRADUÇÃO DE  
RUI DE NAZARÉ

EDITORIAL PRESENÇA, LDA.

Capa de  
*J. C.*

Reservados todos os direitos desta edição à  
Editorial Presença, Lda.—R. Augusto Gil, 2-c/v eq.

LISBOA

## INTRODUÇÃO

*Desde tempos imemoriais os homens aprenderam a resolver os problemas práticos com o auxílio de números. Há cinco mil anos, na Babilónia, a matemática veio ajudar o progresso da astronomia. Uma das ciências mais antigas, a geometria, enveredou também pela matematização. Há três séculos Galileu e Lomonossov, Newton e Lavoisier seguiram esta via física, na química e na mecânica.*

*Contudo, o ritmo crescente da matematização dos conhecimentos só veio a manifestar-se plenamente a partir do século XX.*

*No entanto, esta aliança entre o número e o pensamento não estava, até há bem pouco tempo, suficientemente confirmada.*

*Os cálculos que exigiam a resolução de numerosos problemas económicos e científicos, eram enormes e fastidiosos. Mas em meados do nosso século esta aliança encontrou-se fortemente consolidada pela cibernética.*

*A cibernética é uma ciência que estuda os mais variados assuntos, desde os problemas puramente*



técnicos da automatização da produção, até aos problemas filosóficos.

O seu campo abrange problemas de biologia e de economia, de medicina e de automação, de psicologia e de radiotécnica, de estética e de lógica, de filosofia e de linguística, de electrónica e de arte epistolar.

Esta ciência utiliza os domínios mais diversos das matemáticas: a teoria das probabilidades, a teoria de informação, a lógica matemática, a teoria dos autómatos, a teoria dos algoritmos, a teoria dos jogos, a álgebra superior.

Esta ciência, cujas aquisições lembram um conto de fadas...

A cibernética...

Quando nasceu ela?

Que problemas vem resolver?

Em que medida vem em auxílio do homem?

É difícil estabelecer a idade duma ciência. Porque, na realidade, não se pode promulgar um decreto estabelecendo a «descoberta da ciência zooló-

*gica» ou a «interdição da botânica». As ciências nascem e desenvolvem-se à medida que aumentam os conhecimentos humanos. E uma nova ciência que acaba de nascer não está isenta duma certa penumbra romântica; subsiste sempre alguma indeterminação no que diz respeito ao círculo de problemas e de questões que deve resolver este recém-nascido, o que esta ciência pode e o que não pode.*

*Isto é igualmente verdadeiro quanto à nova ciência da gestão que é também a cibernética.*

*Se bem que, não obstante a sua juventude, a cibernética tenha obtido notáveis resultados práticos, os sábios continuam a discutir acaloradamente o objecto desta ciência, o que é e o que não é do seu domínio.*

*Duma maneira geral admite-se que o seu «baptismo» científico data de 1948, quando o matemático americano Norbert Wiener publicou o seu trabalho «Cibernética ou regulação e comunicação no animal e na máquina».*



Este livro, embora cheio de numerosíssimas fórmulas, obteve um êxito notável entre leitores das mais diversas profissões.

A palavra «cibernética» não era um neologismo de Wiener.

Este termo foi empregado cerca de 80 anos antes pelo grande físico inglês Maxwell para determinar o «estudo dos mecanismos de repetição» de que falaremos nos segundo e terceiro capítulos deste livro.

No entanto, não é a Maxwell que se deve a criação da palavra «cibernética». O célebre físico e filósofo francês Ampère já a utilizara muitas dezenas de anos antes de Maxwell. A verdade é que Ampère considerava como tal não a automação, mas a ciência dos meios de governo «assegurando aos cidadãos a possibilidade de usufruir plenamente as benesses deste mundo».

Enfim, muitos séculos antes de Ampère, o filósofo grego Platão serviu-se da palavra «cibernética»

(em grego Kubernêtês significa piloto) para designar a arte de pilotagem, bem como, num sentido figurado, a arte de dirigir os homens.

Ora, a cibernética tanto quanto ciência na concepção moderna definida por Norbert Wiener, é a «teoria da regulação e da comunicação, quer na máquina quer no animal».

O mérito de Wiener consiste em ter sido ele o primeiro a compreender que, graças aos progressos dum grande número de disciplinas científicas (a fisiologia que se desenvolveu principalmente sob o impulso dos trabalhos de L. Pavlov; a teoria da informação criada pelo matemático e engenheiro americano Claude Shannon, e cuja base é constituída pelos trabalhos do matemático soviético A. Kolmogorov sobre a teoria das probabilidades; a teoria dos autómatos desenvolvida por um dos maiores sábios do nosso século, John von Neuman), bem como graças aos progressos da técnica de cálculo e de automação, todo um círculo comum de problemas ficou

elaborado. Estes problemas estão ligados à transmissão, à acumulação e à utilização da informação.

A informação é o conceito essencial em cibernética. É por ela e pela noção da probabilidade, que lhe está orgânicamente ligada, que começaremos o nosso livro.



## I

### A PROBABILIDADE DOS MILAGRES

*Nem coroa, nem... cara!*

«Atire uma moeda ao ar, doutor!» disse o capitão.

O doutor retirou da algibeira uma moeda de prata e fez um gesto com a mão.

— Coroa! gritou precipitadamente Gruchnitski, como se uma amistosa pancada o tivesse despertado súbitamente.

— Cara, digo eu.

A moeda elevou-se no ar e voltou a cair tilintando, enquanto todos se precipitaram para ela.

— Teve sorte, disse eu a Gruchnitski, comece você!»

Certamente lembram-se desta cena do duelo, tirada do livro de Lermontov «Um herói do nosso tempo».

Muitas vezes recorre-se a tirar às sortes para decidir uma discussão qualquer e a maneira mais simples de o fazer é de atirar uma moeda ao ar.

Lermontov descreve precisamente uma cena deste género.

Mas já pensaram que existe uma terceira possibilidade: a moeda pode cair do lado coroa ou do lado cara, mas também ficar em equilíbrio sobre o bordo? Claro está, nenhuma das pessoas que atira uma moeda, e Deus sabe se tal acontece com frequência, espera que a moeda possa manter-se em equilíbrio sobre o seu bordo.

Suponhamos que decidem que João comerá a maçã se sair coroa, ou no caso de sair cara pertencerá a Pedro, e se a moeda ficar em equilíbrio sobre o bordo, a maçã caberá a Yvette. A maçã será seguramente atribuída a João ou a Pedro, porque é muito pouco provável que a moeda, caindo numa superfície lisa, fique em equilíbrio sobre o bordo.

Será esta eventualidade muito pouco provável? Mas, porventura, será mesmo impossível?

Ora, não é nada assim: com muita paciência e tempo pode-se conseguir fazê-la cair sobre o bordo, de modo que Yvette conserva sempre uma probabilidade, ínfima claro está, de ganhar a maçã.

Não é nada impossível que uma cadeira vulgar se eleve subitamente no «ar por si mesma», sem que nenhuma força exterior lhe seja aplicada... Com efeito, as moléculas de que ela é composta efectuam um movimento caótico, desordenado, e não fica excluída a possibilidade de, num dado momento, todas as suas acelerações serem orientadas no sentido rigorosamente oposto ao da gravidade terrestre.



Neste caso, a cadeira se elevará por «suas próprias forças».

Isto é muito pouco provável certamente, mas não quer dizer que seja impossível!

Apenas será inútil aguardar a eventualidade desta «cadeira voadora». Para ver com os vossos próprios olhos estes autêntico «milagre», mesmo que conseguissem observar todas as cadeiras da terra, não chegaria a vossa vida inteira. E não somente a vossa vida, mas mesmo o tempo de existência de toda a humanidade.

Mais ainda: o nosso planeta, o nosso sol, a nossa galáxia, cuja idade não ultrapassa uma dezena de bilhões de anos, são todos demasiado jovens para que um tal milagre, mesmo que possível, se produza na realidade.

Mas isso não impede que a cadeira possa levantar voo instantâneamente.

Eis outro exemplo do «milagre». O astrónomo e físico inglês Jeans conseguiu calcular esta probabilidade: num recipiente colocado sobre um forno aquecido, a água, em vez de ferver, congela!

Este fenómeno possível, se bem que muito pouco provável, passou a ser conhecido como o «milagre de Jeans». Aliás não há nisso nada de sobrenatural. Muito simplesmente o calor da água transmitindo-se ao forno, fê-lo reaquecer, ao passo que a água, tendo dado o seu calor, arrefeceu.

Bem entendido, isso não é fácil de se verificar: a probabilidade deste acontecimento é infinitamente pequena... mas apesar de tudo não é igual a zero, de modo que o «milagre de Jeans» é possível.

## Por que não voam as cadeiras?

Mas então por que é que as moedas não se mantêm em equilíbrio sobre o bordo, em lugar de assentarem uma das faces — cara ou coroa — no solo? Porque ficam as cadeiras sàbiamente imóveis e não voam espontâneamente? Porque não se transforma em gelo a água posta a ferver para o chá?

Há um século, um novo conceito foi introduzido na ciência, a noção de energia que, hoje, é acessível a qualquer escolar. A energia pode revestir as formas mais diversas: química, eléctrica, calorífera, mecânica. Numerosas experiências confirmaram que a energia não pode nem «ser criada», nem «ser destruída»; ela não pode desaparecer num hipotético «nenhum lugar» nem ser criada a partir do «nada».

É a lei principal da natureza, a lei da conservação da energia. Mas existe uma outra lei igualmente válida na natureza. Embora a quantidade global de energia seja conservada, as possibilidades de transformação duma forma de energia numa outra diminuem: a energia calorífera não pode passar integralmente para outras formas de energia: eléctrica, mecânica ou química. «Um processo cujo único resultado seria a transformação total do calor em trabalho é impossível», proclama a segunda lei da natureza. Subsistirá sempre uma certa quantidade de energia calorífera. Para explicar este fenómeno é necessário considerar a noção «de entropia» (do grego *entropé*, retorno), introduzida na ciência pelo físico alemão R. Clausius em 1865 e respeitante ini-



cialmente aos processos térmicos. Em qualquer sistema isolado ela exerce-se, quer constante, quer crescente, em função do tempo.

Porquê? Porque é uma característica dos processos térmicos. Todo o sistema, quando isolado das influências exteriores e não estando influenciado por outros processos mas abandonado a si próprio, tende, inevitavelmente, a ocupar o estado de equilíbrio, o estado de repouso, no qual nenhuma transformação pode ter lugar. É a este estado de equilíbrio térmico que corresponde a entropia máxima.

Clausius e, depois dele, numerosos sábios idealistas estenderam a lei do crescimento da entropia ao Universo inteiro e chegaram à conclusão do «fim do mundo».

Com efeito, se cada processo, cada acção necessita duma certa quantidade de calor, e se a energia térmica não pode ser integralmente transformada noutras formas de energia, o Universo deve transformar-se pouco a pouco numa massa uniforme de matéria de temperatura igual. A «morte térmica» do Universo sobreviria então, e nenhuma mudança, nenhuma transformação eram possíveis visto que careciam de uma fonte de energia que não podiam obter em parte alguma, uma vez que toda a energia fora transformada em energia térmica uniformemente repartida pelo Universo.

Esta conclusão agradou mais aos idealistas, sobretudo aos teólogos. O Papa referiu-se também a ela para demonstrar a origem divina da criação do mundo. Porque é evidente que se o Universo deve ter um fim, é porque teve um princípio.



Friedrich Engels tinha já demonstrado no século passado que esta conclusão era falsa, porque se conclui da própria definição da entropia que esta se refere a um sistema isolado. Ora, o nosso Universo é infinito, de modo que não pode haver nem fim nem começo do mundo...

«Contudo... objectam os cépticos, mesmo que o Universo seja infinito, é muito possível que o nosso sistema, digamos a Metagaláxia, não receba qualquer energia do exterior durante vários biliões de anos. A «morte térmica» será então inevitável. Senão a morte de todo o Universo, pelo menos a do mundo imenso em que vivemos... Porque num sistema isolado a entropia só tende a aumentar».

Inevitável? Claro que não, evidentemente. Mesmo no sistema isolado. Suponhamos que a nossa Metagaláxia não seja «influenciada» energéticamente pela parte restante infinita do Universo; ora, podem nele existir mundos duma estrutura completamente diversa, *qualitativamente* diferente do nosso mundo físico, para os quais o aumento da entropia não é fatal.

No século passado, o célebre fisico austríaco Ludwig Boltzmann esclareceu a causa que determina esta tendência para a «igualização» da temperatura e para o crescimento contínuo da entropia. Esta causa está ligada à probabilidade dum acontecimento.

As possibilidades de movimento caótico das moléculas são bem mais numerosas que as de um movimento ordenado, o que torna a probabilidade deste movimento ínfima. Eis porque as cadeiras não

voam, as moedas não se equilibram sobre o seu bordo, o «milagre de Jeans» não se produz. É isso precisamente que condiciona o crescimento da entropia: o equilíbrio térmico é um estado mais natural, mais provável, do sistema que qualquer outro estado «instável...»

Suponham que transportam dois pacotes: um de sal e outro de açúcar, mas tropeçam e os dois pacotes caem por terra, rotos. Açúcar e sal misturaram-se. Experimentem separar a mistura na esperança de conseguir que todo o açúcar fique de um lado e o sal do outro.

Se os grãos de sal e de açúcar forem da mesma espessura, poremos consagrar a vida inteira nesta ocupação pouco animadora sem jamais acabarmos com a mistura. Porquê?

Muito simplesmente porque a um só estado «ordenado» do sal e do açúcar (sal à parte e açúcar à parte) correspondem biliões e biliões de outros estados, caóticos, de mistura do sal e do açúcar.

Pretender obter um estado ordenado por acaso é tão ilusório como tentar criar a estátua da Vénus de Milo... fazendo explodir um bloco de mármore com dinamite na esperança de que um dos bocados seja a cópia exacta da imortal obra-prima antiga.

### *O inimigo da entropia, a vida*

Evidentemente, um «milagre» desses é possível, mas infinitamente pouco provável.

Nem no nosso planeta, nem em todos os planetas da nossa Galáxia e mesmo na Metagaláxia



haveria mármore e dinamite suficientes para que «este método de criação artística» permitisse recriar a célebre estátua... No entanto, este acontecimento não é «impossível», *pode* ter lugar!

Do mesmo modo os processos em que a entropia não aumenta, mas pode manter-se constante ou até diminuir, são igualmente possíveis. E embora esta probabilidade seja infinitamente menor que a dos estados de «entropia», ela não é igual a zero. Isso significa que, durante um período suficientemente longo (independentemente dos desvios do equilíbrio que possam ocorrer), na imensidade do Universo, podem existir fenómenos inteiramente opostos a este acréscimo contínuo do caos e da «uniformidade», e um destes fenómenos é a vida de que somos, todos nós, apenas parcelas.

O escritor que escreve um conto, o pedreiro que constroi uma casa, a criança aprendendo as letras do alfabeto, a abelha recolhendo o pólen das flores, o infusório nadando numa gota de água, estão certamente longe de suspeitar que a actividade é extremamente rara no Universo, cerca da ordem da do «milagre de Jeans».

Diferentemente da maior parte dos processos do Universo, a vida vai dos estados mais prováveis aos estados menos prováveis, dos estados ordenados aos estados ainda mais ordenados. O nascimento das primeiras parcelas de vida, a combinação das moléculas numa ordem determinada, era em si pouquíssimo provável. Mas as matérias que compõem as proteínas entraram em reacção química e constituíram combinações químicas milhões e bi-

liões de vezes durante milhões e possivelmente biliões de anos. Contudo, a formação da primeira proteína, o suporte da vida, não é um milagre tão inconcebível como por exemplo uma combinação aleatória de elementos químicos dando origem digamos... a um homem ou a uma outra criatura altamente organizada. O primeiro suporte da vida na Terra era incomparavelmente mais simples. Definitivamente, só após numerosos biliões de combinações é que foi criada a matéria viva. Após este «nascimento espontâneo», a vida desenvolve-se tornando-se mais complexa, e em dois biliões de anos alcançou o nível de fenómenos cuja probabilidade ínfima é bem inferior à do «milagre de Jeans» ou do «voo espontâneo das cadeiras. Com efeito, se a combinação aleatória das moléculas pôde constituir a proteína, suponhamos, uma só vez entre vários biliões de combinações aleatórias da matéria de que é constituída a proteína, a criação ao acaso da ameba a partir destas mesmas matérias químicas tem uma probabilidade que é biliões de vezes menor. E a probabilidade da criação aleatória do homem é ainda numerosos biliões e biliões de vezes mais ínfima!

Em geral, todas as manifestações da actividade humana... quilómetros de prateleiras nas bibliotecas cheias de livros em que a desordem aparente na disposição das letras constitui na realidade uma ordem suprema, todas estas manifestações são infinitamente improváveis, escrevia o célebre matemático francês Emile Borel.

O mesmo matemático citou um exemplo dos mais interessantes...



## *O macaco dactilógrafo*

Suponhamos, escreve ele no seu livro «O Acaso», que instalávamos um macaco diante duma máquina de escrever. Quanto tempo lhe seria necessário para que batendo as teclas ao acaso ele pudesse reconstituir o texto da célebre tragédia de Racine, «Fedra»?

Evidentemente que o macaco não conhece a língua francesa e, sem dúvida, não leu Racine. Sòmente por acaso, batendo as teclas, obterá a primeira letra do título da tragédia: F. Depois continuando a bater ainda ao acaso acabará por compor as duas primeira letras do título: Fe, depois de ter batido provàvelmente dezenas de vezes Fo, Fi, Fa, Fr, etc. Continuando a bater as teclas poderá enfim obter as três primeiras letras do título: Fed...

Decorrerá bastante tempo antes que o nosso macaco-dactilógrafo possa reconstituir, batendo sempre ao acaso, as quatro primeiras letras Fedr e depois o título inteiro.

Mas trata-se apenas do título. Quanto tempo não decorrerá para que o nosso pobre macaco dactilografe o texto completo da tragédia? Um ano? Cinco anos? Quarenta anos? Um século? Ou até mesmo um milénio?

Pois bem, mesmo um milhar de anos é muito pouco. Para escrever o número de anos necessário, seria preciso uma unidade seguida, de cerca de 150 000 zeros. A nossa Terra data apenas de 4-5 biliões de anos, o que constitui um período de tempo verdadeiramente ínfimo em relação àquele número monstruoso.

## *Os milagres à nossa volta*

Assim todos os dias, em cada minuto, em cada segundo, temos que lidar com verdadeiros milagres. A nossa conversação, os nossos livros, os nossos objectos, os nossos edificios são de tal modo improváveis que o seu aparecimento espontâneo é simplesmente inconcebível. A vida manifesta-se como uma corrente oposta ao caos. Com o tempo ela não aumenta a entropia, mas ao contrário cria fenómenos cada vez mais improváveis.

Contudo, não há nisto qualquer milagre do ponto de vista físico. A entropia diminui na terra em detrimento da energia do sol, a fonte da vida.

Pela sua actividade o homem introduz uma organização e uma ordem apenas na natureza viva mas influi conscientemente na matéria inorgânica.

Milhões de toneladas de ferro fundido e de aço, milhares de quilómetros de estradas, a rede de fios telefónicos e telegráficos, as barragens das centrais eléctricas, todos estes fenómenos são infinitamente improváveis do ponto de vista do seu aparecimento espontâneo. O aluno da sexta classe leva algumas horas a escrever uma redacção vulgar. Dez biliões de anos não bastariam ao nosso macaco para fazer o mesmo. Recordemos uma vez mais que é essa a idade da nossa Galáxia, alguns astrónomos calculam mesmo que esta idade é excessiva e remoçam a nossa Galáxia duas vezes. E conquanto o homem não possa «tirar» ou «acrescentar» um só grama de matéria ou um só erg de energia do Universo, não é menos certo que toda a actividade humana, da



criação dos utensílios de pedra à elaboração dos reactores atômicos e às naves cósmicas, constitui uma verdadeira transformação do Universo, uma barragem que se opõe ao acréscimo da entropia e do caos.

A vida na Terra e a sua manifestação suprema, o homem, estão longe de dissipar e de perder a sua organização, e o homem aumenta-a e aperfeiçoa-a constantemente de século para século, ano após ano, de mês para mês.

## II

### OS BITS MEDEM A INFORMAÇÃO

*Que é a informação?*

Que é que permite à vida compensar a entropia? Porquê a lei da natureza, que consente que a desordem e o caos aumentem, se encontra impotente perante ela? A fim de esclarecer este mistério, é necessário tomar conhecimento de um outro fenómeno.

Estamos ligados a ele ao lermos este livro, encontramos-lo a cada passo: à chegada do autocarro, nas carteiras do estudante, no futebol, no cinema, por toda a parte em todas as circunstâncias...

É-nos indispensável como o ar e a água. Constitui o alimento da nossa inteligência, é através dele que aprendemos na escola, que lemos livros, escutamos a telefonia.

Este fenómeno é a informação.

Se a entropia é a medida do caos, da desordem, a informação é a medida da ordem e de algum



modo uma «medida da vida». A informação é a negação da entropia.

«O saber é a luz e a ignorância as trevas», diz o adágio bem conhecido. Do mesmo modo, a entropia representa as «trevas» e a informação a «luz», o conhecimento que vem dissipar as trevas.

Mas há saber e saber. Que pode haver de comum entre o saber que horas são e o da tábua de logaritmos, entre o conhecimento do resultado dum desafio de futebol e o do vosso itinerário nas ruas de Moscovo ou de Paris?

*Pode medir-se o conhecimento!*

Verifica-se a existência dum ponto comum e de métodos que permitem definir a quantidade de informação.

Em 1940 nasceu uma nova disciplina matemática, a «teoria da informação». Ensina a medir quantitativamente a informação contida nas mensagens mais variadas, quer se trate dum relatório de empresa ou dum poema de Puchkine, uma conversação telefónica ou um concerto para violino de Bach, um boletim meteorológico ou os apontamentos dum caderno escolar.

Mas não precipitemos as coisas. Comecemos pelo mais elementar. É evidente que cada um de nós está convencido desta simples verdade: para obter um conhecimento qualquer é necessário primeiramente ignorar o que esse conhecimento ensina! Com efeito, é pouco provável que adquiram novos conhe-

cimentos se o autor deste livro lhes ensinar que  $2 \times 2 = 4$  e que  $5 \times 7 = 35$ . Porquê? Muito simplesmente porque já o sabem. O conhecimento duma certa coisa, quer dizer a obtenção duma informação, só é possível perante a ignorância prévia. Na teoria da informação esta ignorância é chamada indeterminação. Quanto maior for a quantidade de indeterminação que a mensagem recebida suprime, mais importante será a informação que pode ser medida quantitativamente por números.

Isso faz-se muito simplesmente. Tomemos o caso mais simples: o resultado dum desafio de futebol. Suponhamos que se defrontam duas equipas de igual valor num desafio de eliminatória: não pode haver empate e o número de golos não tem nenhuma importância. O que importa é conhecer-se se a vossa equipa favorita venceu neste caso: a única coisa que não conhecemos é uma das eventualidades possíveis do desafio de eliminatória: a «vitória» ou a «derrota», «sim» ou «não».

A notícia da vitória da vossa equipa preferida dar-lhes-á, além duma grande alegria, uma certa quantidade de informação. Mas independentemente da decepção que possam sentir ao saber que a vossa equipa perdeu o desafio, a notícia fornecerá uma quantidade de informação absolutamente igual à do anúncio da sua vitória. As coisas passam-se dum modo totalmente diverso se as forças dos adversários não forem iguais. Suponhamos que a vossa equipa preferida joga na primeira divisão e o adversário pertence à segunda divisão.



A notícia da vitória da vossa equipa fornecerá neste caso uma informação bem menor, porque antes do desafio já estavam quase certos desta vitória. Pelo contrário, o anúncio da derrota da vossa equipa será para vocês uma notícia tão inesperada como desagradável. A única consolação que dela possam tirar é que a notícia da derrota fornece mais informação que a da vitória.

### *Probabilidade e informação*

A noção de informação, do mesmo modo que a noção de entropia, está orgânicamente ligada à probabilidade dos acontecimentos.

No princípio deste livro falámos duma moeda que atirámos ao ar — o que implica três eventualidades: coroa, cara ou equilíbrio da moeda sobre o bordo. Mas normalmente observamos sempre coroa ou cara e na nossa prática habitual (e também científica) desprezamos as possibilidades das experiências semelhantes a esta terceira eventualidade. Porque esta última é demasiado improvável!

Nenhum de nós que colocasse uma chaleira cheia de água num fogão a gás poderia falar seriamente do receio de ver a água transformar-se em gelo (lembram-se do «milagre de Jeans»). Ninguém tenta escrever poemas ou contos pelo método dos habitantes de Laputa de que fala Swift nas suas «Viagens de Gulliver».

O grande sábio da academia de Laputa tinha descoberto um método segundo o qual o homem

mais ignorante com pouca despesa e pequenos esforços físicos podia escrever um livro de filosofia, de direito, de matemática ou até de teologia sendo totalmente desprovido de erudição e de talento.

Esta invenção apresentava-se sob a forma dum grande quadro cuja superfície era constituída por uma imensidade de cubos de madeira ligados por fios finos. Em cada face de cada cubo estava colada uma palavra numa declinação dada, num modo e num tempo determinado. À ordem do professor, quarenta pessoas lançavam mãos aos fios fazendo-os dar uma volta simultâneamente: a disposição das palavras no quadro mudava completamente. Se as palavras formassem uma frase com sentido, os escribas escreviam-na, senão rodavam de novo os punhos... Desta maneira os habitantes de Laputa esforçavam-se em criar obras de arte e tratados científicos.

Evidentemente, graças a este método de «criação», não fica excluído que se possa obter por acaso uma máxima interessante, curtas frases e mesmo versos. Mas para cada frase sensata devem encontrar-se milhões e biliões de frases destituídas de sentido! No nosso livro encontrámos com frequência a palavra «bilião». Para mostrar que este número está longe de ser uma bagatela lembremos que, contando a velocidade dum número por segundo durante dez horas por dia, levaríamos 80 anos para chegar ao bilião.

Eliminámos na nossa actividade prática todos os acontecimentos pouco prováveis que julgámos impossíveis. Nem pode ser doutro modo. Se nos



preocupássemos com isso não teríamos tempo para fazer outra coisa, pois levaríamos demasiado tempo a contar os acontecimentos pouco prováveis tais como a «cadeira voadora» ou o «milagre de Jeans».

Suponhamos que desejam pedir emprestado um livro a um amigo. Mas eis que surgem algumas dúvidas: terá o amigo deixado a cidade? É verdade que o viram uma hora antes, mas algum acontecimento imprevisto pode ter ocorrido. Se ele não tiver partido podem ainda pensar que o livro se perdeu ou foi roubado; e enfim talvez seja melhor não sair à rua, não vão correr o risco... de não chegar à casa do vosso amigo. Sabe-se lá o que pode acontecer no caminho: um tijolo pode cair sobre a cabeça, serem esmagados por um carro. No entanto, ficar em casa não elimina todo o perigo. E se se desencadeia algum tremor de terra? Ou cai algum raio sobre a casa, ou um enorme meteorito a fizer em pedaços? E se houvesse alguma inundação? Ou... O nosso leitor não teria nenhuma dificuldade em alongar a lista destes «se».

É verdade que a queda dum meteorito, como uma inundação ou um tremor de terra são acontecimentos plenamente reais. Mas é muito pouco provável que tenham lugar em cada segundo, sem o menor pretexto, e precisamente no momento em que estamos em casa. Uma eventualidade dessas é de tal modo improvável que todo o homem sensato não lhe deve prestar qualquer atenção, ao invés do sabichão do conto de Saltikov — Chtchedrine que vivia em transees contínuos.

Eis porque, ao atirarmos ao ar uma moeda, admitimos que só existem duas hipóteses igualmente prováveis: coroa ou cara. O número de resultados possíveis aumentará notavelmente se lançarmos em vez duma moeda um dado de jogar. Tem seis faces e cada um delas é igualmente provável.

Qual é a comunicação que fornece a maior informação: a que nos dá coroa ou cara, ou a que nos anuncia que obtivemos seis com um dado?

É, claro, a comunicação que respeita ao dado.

Mas em quanto? Já mencionámos que a informação é medida por números. Mas para medir é preciso dispor duma unidade de medida de informação.

*Que é um bit?*

Nenhum estudante ignora que a unidade de comprimento é o metro. Para unidade de medida da informação escolheu-se uma grandeza chamada «bit» ou, do nome do seu inventor, «hartley». «Bit» é a abreviatura da expressão inglesa «binary digest» que em francês significa «sinal binário». Um metro é igual aproximadamente a 0,0000001 parte do quarto do meridiano de Paris. Mas a que é igual um «bit»?

A mensagem que nos informa sobre qual das faces caiu a moeda fornece exactamente uma quantidade de informação de 1 bit. Um bit é a informação fornecida por um dos dois acontecimentos equiprováveis, uma das duas soluções possíveis:



«sim» ou «não». É por isso mesmo que se chama por vezes ao bit unidade «sim — não».

Mas como medir a informação nas mensagens em que três, seis, dez, cem ou dez mil eventualidades sejam possíveis? (Por exemplo, o número de combinações de moléculas de proteínas que estão na base da vida é medida por um número formado pela unidade seguida de 1300 zeros. O número que exprime a quantidade de variantes possíveis dum texto poético do volume de «Eugene Oneguine» de Puchkine escreve-se com o auxílio da unidade seguida de 53 000 zeros!)

Para compreender como se mede a informação com os bits, é preciso recorrer a um pouco de matemáticas elementares. Aprendem-se no liceu os logaritmos decimais. Na teoria da informação utilizam-se logaritmos cuja base é igual a 2, em vez de 10. Assim  $\lg 2^2 = 1$  será igual a 1 bit. A mensagem que anuncia a rota dum navio entre as quatro direcções possíveis, norte, sul, leste, oeste, contém  $\lg 2^4 = 2$  bits, e a mensagem que fornece o número de pontos obtidos ao jogar um dado  $\lg 2^8 = 2,58$  bits. Pode-se deste modo somar e subtrair a informação. Também a informação da última mensagem relativa ao número de pontos obtidos quando se lança o dado é de 1,58 bits menos 1 bit = 1,58 bits.

A informação possui uma propriedade espantosa: ao transmitirmos os nossos conhecimentos aos outros, nós não os perdemos. Ao proclamar na página anterior que a informação é medida em bits, o autor deste livro não perdeu por isso o conhecimento do

facto. Do mesmo modo os leitores não se verão privados quando o fizerem aos vossos amigos.

Será então possível que as leis da transmissão da informação, a sua multiplicação sem qualquer perda, contradigam a lei fundamental da natureza, a lei da conservação da energia?

Com efeito, este livro teve uma tiragem de milhares de exemplares. Suponhamos que cada exemplar seja lido por cinco a dez pessoas. Os sábios chegaram à conclusão de que cada letra do alfabeto russo fornece uma informação quase igual a um bit (no caso dum texto em prosa séria). O nosso livro comporta cerca de duzentas mil letras, o que significa que cada leitor recebe uma informação de duzentos mil bits. E isso sem qualquer dispêndio de energia? Sem dúvida que não!

### *A lei mantém-se válida*

Os exemplares deste livro empilhados na tipografia, nas livrarias, nas estantes das bibliotecas, tudo isso constitui a informação «morta». Para ler esta obra é necessária energia: uma fonte luminosa e um certo dispêndio de energia dos músculos do olho. O cérebro deve também dispender energia. Porque para ler (e não só um livro sobre a cibernética) não basta ver simplesmente as letras, é necessário igualmente compreender o texto. Por outro lado, é preciso também dispender uma certa quantidade de energia muscular para voltar as páginas do livro.



A aquisição duma informação qualquer exige pois determinados gastos de energia. Mas estes gastos são tão desprezíveis que se pode praticamente não os tomar em conta. Comparem, por exemplo, o esforço muscular que é necessário dispender para levantar um fardo, com o trabalho dos músculos das mãos quando voltam as páginas do livro.

Obtemos uma enorme quantidade de informação com dispêndio duma energia ínfima. Um bit de informação produz um dispêndio de energia igual a 0,000 000 000 000 0001 erg! Ora, a energia de 1 erg é a duma formiga.

Contudo tanto basta para que a lei da conservação da energia se mantenha válida. Não podemos transmitir ou receber uma informação sem um certo dispêndio energético.

### *Informação e entropia*

Que influência exerce na transmissão e recepção da informação esta outra lei todo-poderosa da natureza, a lei do crescimento da desordem e do caos, a lei do crescimento da entropia? Conseguiremos libertar-nos dela ao lermos um livro ou enviarmos um telegrama? Como agirá o desenrolar do tempo sobre os nossos conhecimentos, irá aumentá-los ou reduzi-los?

Ninguém pode, certamente, pôr em dúvida o facto de que quanto mais vivemos mais os nossos conhecimentos aumentam. Mas devemos inteiramente

este aumento ao facto de recebermos em cada minuto novos dados, novas informações.

A sociedade humana opõe-se ao caos e com o tempo acumula conhecimentos. Mas que aconteceria se este processo terminasse?

Imaginemos um caso deste género. Um amigo, vindo declarar-nos que «sabe tudo», acha que não tem nenhuma razão para prosseguir os seus estudos. Pensa que lhe é completamente supérfluo ler livros, escutar a telefonia, ver as emissões de televisão, em suma, não quer receber qualquer informação nova; contenta-se com a informação antiga que ele acumulou antes. É evidente que quanto mais tempo decorrer desde o momento da sua «recusa da informação» tanto mais diminuirão os seus conhecimentos. Em primeiro lugar esquecerá uma parte deles, se não se der o caso de confundi-los desde que não proceda à sua revisão contínua. Por outro lado os seus conhecimentos envelhecerão rapidamente. Na realidade, cada dia traz-nos alguma coisa de novo que diminui frequentemente as nossas concepções antigas.

O nosso amigo «eu-sei-tudo» ignoraria tudo acerca do primeiro voo do homem no cosmos se, por exemplo, a sua «recusa» datasse de 1961.

### *A vida é o movimento*

A vida é o movimento. Quantas vezes ouvimos esta frase! Não deixa no entanto de conter um sentido físico muito profundo. Em todas as manifestações da vida o tempo parece escoar «ao contrário».



Quanto mais o tempo passa mais os seres vivos se tornam organizados e mais improváveis, o que não acontece nas outras partes do Universo em que aumenta o caos e cresce a entropia.

A transmissão duma informação, por exemplo, duma sequência de letras que constituem o texto duma comunicação científica, é um processo físico. Por conseguinte, neste caso ainda a desorganização, a entropia, não pode senão aumentar. É muito duvidoso que erros de transmissão eventuais melhorem o conteúdo do texto desta comunicação científica.

Se nos enviarem por telegrama a demonstração dum teorema matemático, escreve o célebre físico francês Louis de Broglie, é possível que uma má transmissão torne o texto ininteligível. Mas, pelo contrário, se nos telegrafam a dizer: eis um teorema que parece verdadeiro intuitivamente, mas que não se pode demonstrar, não acontecerá nunca que, devido aos erros de transmissão, o telegrama recebido contenha a demonstração procurada.

No entanto, pode dar-se o caso (embora muito pouco provável) de que a informação que contém um erro aleatório se torne mais útil do que a que tinha sido transmitida.

Lembrem-se do livro de Júlio Verne «Os filhos do capitão Grant».

A distração de Jacques Paganel ao redigir a mensagem fez com que o navio «Duncan» fosse dirigido não para a Austrália, como devia, mas para as costas da Nova Zelândia. E foi precisamente este erro que salvou os heróis do livro! Mas deve-se



afirmar que a quantidade de informação ficara aumentada? Claro que não!

### *Qualidade e quantidade*

A quantidade de informação, medida em bits, é uma grandeza absoluta, igual para todos os homens, do mesmo modo que é idêntica para todos a velocidade medida em quilómetros por segundo ou o peso medido em gramas. No caso de Jacques Paganel tratava-se do valor da informação, da sua qualidade. E esta qualidade, esta significação humana da informação não pode ser avaliada por unidades tão precisas como os gramas ou os bits. Na apreciação da qualidade, as opiniões e os gostos individuais, subjectivos, desempenham um importante papel.

Um peso de cem quilos deve ser considerado grande ou pequeno?

É claro que a «avaliação» deste peso («pesado» ou «leve») dependerá da força de quem o levantar. Uma criança de três anos não pode deslocar um peso de dez quilogramas enquanto que o halterófilo Youri Vlassov ergue com facilidade duzentos quilos. As gruas deslocam facilmente dezenas de toneladas, e para elas cem quilos não passam duma bagatela.

Vêm portanto que a noção de «pesado» é muito relativa, o que não é o caso para o peso exacto medido em quilogramas!

Do mesmo modo, o valor da informação é muito relativo, embora possamos medir exactamente a quantidade de informação em bits.

Pegemos em dois livros do mesmo volume: «Os filhos do capitão Grant» de Júlio Verne e a «Introdução à matemática» de S. Kleene, que nos fornecerão aproximadamente a mesma quantidade de bits de informação. Que escolheriam para vossa leitura?

Sem dúvida, o livro de Júlio Verne. Um especialista de lógica matemática, pelo contrário, ficará fortemente interessado pelo livro de Kleene que vos poderia parecer muito enfadonho.

Pensem nas ardentes polémicas que ocasionam as tentativas de avaliar a informação que fornece uma obra de arte. Existem certamente tantas opiniões e apreciações diferentes quantos os amadores de pintura. Por isso o conhecido físico francês Léon Brillouin escreve no seu livro «A ciência e a teoria da informação» que a eliminação da estimativa humana da informação é precisamente a via que conduz à análise científica.

Bem entendido, uma estimativa de género puramente quantitativo é insuficiente. Aliás ela decepcionava-nos. A mensagem informando que Jean Blanchet obteve na licenciatura a nota de «bom» fornece exactamente a mesma quantidade de informação que a que informasse que a nota de «bom» tivesse sido atribuída ao próprio leitor. As cem mil letras do livro mais enfadonho fornecem aproximadamente tanta informação como as cem mil letras do romance de aventuras mais cativantes. No resultado de atirar uma moeda colhe-se a mesma quantidade de informação que na notícia, por exemplo, de que o leitor foi admitido ou reprovado no seu exame de admis-



são à faculdade (com a condição de as suas probabilidades de ser admitido ou recusado serem antecipadamente iguais).

### *As bases da cibernética*

Renunciando a avaliar a qualidade da informação obtemos a possibilidade de a medir por meio de números, quer dizer de a traduzir na «língua universal do Universo», como se designa frequentemente as matemáticas. Porque em Marte, como num planeta da nebulosa de Andrómeda, um mais um será sempre igual a dois.

Isso nos permite «iniciar» os nossos fiéis assistentes, as máquinas, na arte da recepção, do tratamento e da transmissão da informação. São precisamente os problemas do «diálogo» entre o homem e as máquinas que conduziram à criação da cibernética, ciência que «se ocupa do estudo dos sistemas duma natureza qualquer capazes de assimilar, de conservar, de tratar a informação e de a utilizar para a gestão e a regulação». Foi assim que definiu as finalidades da cibernética um dos maiores matemáticos soviéticos, Andrei Kolmogoroy.

No número destes «sistemas duma natureza qualquer» se podem contar tanto os homens, os animais como as máquinas.

Trocámos mensagens uns com os outros. É precisamente para esse fim, a transmissão das mensagens, que servem os meios de comunicação como a rádio e a televisão, os jornais e as revistas, a lite-



ratura e a arte. A troca de informação não é o privilégio dos humanos. Os animais «conversam» igualmente uns com os outros pelos métodos e os meios mais diversos, dos odores aos gritos, que lembram as exclamações humanas, expressões exclamativas das emoções.

Não só os homens e os animais mas também as máquinas «comunicam» entre elas, quer dizer, recebem, tratam a informação e «respondem» a esta.

O aparelho automático mais simples, o distribuidor de água gasosa, recebe uma peça-«mensagem» e «responde» pela água gasosa. Os calculadores electrónicos registam a informação que recebem, bem entendido, sob forma de «linguagem-máquina», conservam-na na sua memória electrónica, tratam-na segundo leis determinadas e respondem pelos resultados dos cálculos.

### *Informação e linguagem*

O locutor lê ao microfone o boletim meteorológico, o professor explica uma lição aos alunos, os interlocutores conversam, tudo isto constitui exemplos de comunicação com o auxílio de palavras, mais precisamente de comunicação oral.

Antigamente, na aurora da humanidade, a língua falada era quase o único meio que permitia transmitir a informação de homem a homem... Mas será apenas com o auxílio de palavras que se pode transmitir a informação?

Na sociedade humana primitiva existia (em certas povoações atrasadas ainda hoje existe) a «linguagem dos gestos», pela qual se efectuava a comunicação. A informação pode igualmente ser transmitida por outros meios: para numerosas populações de África, o tam-tam é um excelente meio de transmissão de notícias.

A informação sob uma forma «não verbal» pode ser transmitida por um desenho, e aqui os artistas atingem um tal grau de perfeição que seria vão procurar exprimir por palavras o que nos dizem os quadros de Rembrandt, de Rafael, de Cézanne e de Matisse.

A «linguagem da natureza» pode igualmente constituir uma fonte de informação. Um céu coberto anuncia a chuva, os rebentos se surgem na Primavera fazem prever uma boa colheita.

A linguagem pode revestir as formas mais diversas, do mugido da vaca à música mais suave, os modos de transmissão podem ser os mais variados, desde a troca de sinais através dum muro à televisão a cores.

### *Qual é a melhor linguagem?*

O meio de comunicação mais universal, o mais seguro, é a linguagem humana.

É certo que antes da invenção da escrita os homens apenas dispunham dum meio imperfeito de comunicar entre eles. Os conhecimentos transmitidos de pai a filho, de geração a geração, de boca ao



ouvido, eram deformadas, caíam no esquecimento. Na sociedade ignorante, este estado de coisas era particularmente difícil para os comerciantes e viajeros, por ser difícil chegar a um acordo para a conclusão de negócios. Eis porque, com a invenção da escrita, a humanidade realizou um grande avanço.

A escrita deu aos homens o meio de fixar os seus conhecimentos para os seus contemporâneos e para as gerações futuras. Isso permitiu ao homem tornar-se o dono do tempo. Podemos facilmente comunicar com Homero ou Dickens. Eles conseguiram na verdade atravessar os séculos e falam-nos hoje como seres viventes. E isso porque souberam exprimir por palavras aquilo que pensavam, o que sentiam e o que desejavam.

O académico A. Kolmogorov no seu relatório «Os autómatos e a vida» exprimiu muito bem as possibilidades espantosas que a linguagem confere aos homens: «O poeta pode incluir numa mensagem de quatrocentas letras impressas, numa mensagem puramente numérica, contendo uma informação da ordem de mil bits, isto é, quantitativamente insignificante à escala da técnica moderna, todo um mundo de sentimentos que se sabe com razão insusceptível de representar em noções, e criar com meios tão modestos uma linguagem de transmissão<sup>1</sup>, de comu-

---

<sup>1</sup> *Linha de transmissão*, meio material, pelo qual é transmitida a informação. Por exemplo, as ondas de rádio, as ondas sonoras, etc.



nicação directamente emocional com os seus contemporâneos e os seus descendentes, descobrindo assim, eliminando as barreiras do tempo e do espaço, a sua individualidade única».

Desde os mais remotos tempos o homem esforçou-se em fixar, conservar a informação. Lenços com nós para se lembrar de alguma coisa, entalhos, sinais, desenhos: durante milénios os métodos mais diversos, os mais insólitos, foram inventados para transcrever a informação, mas, bem entendido, com a invenção da escrita passaram todos ao segundo plano. A humanidade obteve então uma memória segura e isenta de erros.

### *Uma vida de ferro*

Para que serve a informação?

Acaso poderíamos viver sem receber qualquer informação:

a) dos nossos órgãos dos sentidos: tacto, vista, ouvido, etc.;

b) dos nossos órgãos internos, enviando continuamente sinais ao cérebro: «o coração funciona normalmente», «a respiração é boa», «a pressão arterial é normal», bem como mil e uma comunicações com respeito aos nossos «assuntos internos»;

c) das pessoas do nosso meio graças às quais somos nós próprios homens, membros da sociedade humana.

Com efeito, os lendários «filhos da selva» Tarzan e Mowgli não existiram senão na imaginação dos escritores. Na realidade as crianças isoladas da sociedade de seus semelhantes, só podiam mover-se de gatas e não sabem nem pensar, nem falar.

A faculdade de assimilar a informação do mundo exterior e de agir em função desta informação constitui um dos traços essenciais que diferencia a natureza viva da natureza não viva.

Há numerosos séculos, mestres bastante hábeis fabricavam engenhosos mecanismos que pareciam exteriormente imitar com perfeição os animais e os homens. O tocador de flauta metálica executava doces melodias, o pato mecânico nadava e patinhava na água, estendendo as suas asas e alisando as penas de ferro com o bico.

Mas todos estes «autômatos-milagres» não recebiam qualquer informação do mundo exterior. Se se declarasse um incêndio na casa onde o tocador de flauta exercia a sua arte, este teria continuado, imperturbável, a tocar as suas melodias até ser reduzido a cinzas. O pato metálico executava apenas os movimentos que lhe tinham sido «prescritos», e teria patinhado com o mesmo ardor no petróleo ou na gasolina como na água. A única resposta a uma modificação não prevista das condições exteriores era a paragem do mecanismo do autômato, a «morte».

O autômato recuava diante da complexidade e a multiplicidade do mundo circundante. Executava «mecanicamente» o que lhe tinha sido «prescrito» e unicamente isso! Uma tal limitação dos fenómenos



da vida pode ser comparada à linguagem do papagaio: este pode repetir maquinalmente algumas palavras da linguagem humana e mesmo frases inteiras, sem que por isso lhes compreenda o sentido. O princípio de todos os milagres mecânicos dos séculos passados era bastante simples. Nenhum estudante o ignora, porque estes homens e animais metálicos não passavam senão... de montras. Verdade é que o seu mecanismo era de tal modo engenhoso que lhes permitia copiar as criaturas vivas à maneira do papagaio! A «vida de ferro» não imitava a vida verdadeira senão mecânicamente, exteriormente.

Só muito recentemente, no século XX, é que se penetrou no princípio segundo o qual agem todos os seres vivos no nosso planeta, o princípio que foi utilizado por todos os sistemas cibernéticos. Este princípio é chamado o princípio da «retroacção».





### III

## OS AUTÓMATOS E A VIDA

### *«Modelo de evolução»*

O programa é introduzido. Prime-se o botão de comando, e à velocidade de 15 000 operações por segundo o computador electrónico «Kiev» começa o seu trabalho. Após alguns segundos, os resultados inscrevem-se numa carta perfurada. Mas em vez de colunas áridas de zeros e de unidades, a imaginação desenha um quadro totalmente diverso...

As nuvens pesadas e infinitas estendem-se sobre o oceano desolado que recobre quase a totalidade do planeta. O maior experimentador, a Natureza, realiza a sua admirável experiência, o nascimento da vida na Terra.

Biliões e centenas de biliões de elementos primários se associaram numa infinidade de combinações antes que uma criatura, fruto do acaso, nascesse a partir da matéria. A partir deste instante começou na Terra, além das leis físicas, o reinado duma outra lei, a lei da evolução, graças à qual a



vida conquistou o nosso planeta inteiro e também de-  
vido a ela surgiu na Terra o senhor actual do pla-  
netas, o homem...

Mas que relação pode na realidade existir entre a evolução da vida e o funcionamento do computador electrónico «Kiev»?

Por muito espantoso que possa parecer, a cibernética é um verdadeiro mestre que faz tudo.

Os investigadores do instituto de cibernética de Kiev, A. Letitchevski e A. Dorodnitsina levaram a cabo uma experiência difícil: imitaram no computador electrónico «Kiev», a evolução dos seres vivos. Eis porque o programa deste computador electrónico foi chamado «modelo de evolução».

Num circuito fechado, substituindo de certo modo o «meio vital» dos organismos, deslocava-se o alimento. Primeiro num sentido, depois noutro, como um pêndulo efectuando oscilações.

Além do alimento «lançava-se» neste meio «habitantes».

É evidente que «meio nutritivo» e «habitantes» eram implantados na máquina após terem sido previamente «traduzidos» na linguagem dos números. O comportamento dos «habitantes» inscrevia-se num «quadro de conduta especial». Para cada «habitante» este quadro era particular, individual.

Note-se, os «habitantes» electrónicos eram muito mais simples que os menos complexos dos seres vivos. No entanto os princípios gerais da sua conduta eram similares: moviam-se, alimentavam-se e reproduziam-se.

## *Quadros de conduta*

Os «habitantes» electrónicos podiam reproduzir-se, como os seus irmãos vivos, em presença das condições seguintes: atingirem uma certa idade, serem alimentados e disporem dum certo espaço vital para a sua progenitura. A reprodução tinha lugar da maneira mais simples: por divisão (do mesmo modo que se reproduzem as bactérias). Teve-se igualmente presente uma propriedade vital das mais interessantes: durante a reprodução, os descendentes não são sempre exactamente idênticos aos seus pais, mesmo para os organismos mais simples. Há muitas vezes «lapsos» e numa ninhada de gatos pretos encontra-se por vezes gatinhos inteiramente brancos, uma filha cujos pais têm olhos azuis pode apresentar olhos negros. Nos «habitantes» electrónicos, estes «lapsos» exprimiam-se pelo facto de um dos números do quadro de conduta ser modificado duma maneira aleatória. Os «filhos» diferiam assim em alguma coisa dos seus pais. Às vezes esta modificação influía notavelmente no comportamento dos «filhos», outras não exercia praticamente nenhuma influência, tudo dependendo do acaso.

Desde o começo da experiência do «modelo de evolução», os «habitantes» que se moviam com dificuldade desapareceram. Empenhavam-se em seguir os movimentos da «alimentação» e como estes eram mais rápidos, os «habitantes» mais «ágeis» na sua «busca» da alimentação podiam reproduzir-se e preencher os vazios deixados pelos «mortos» (o nú-



mero global de todos os «habitantes» mantinha-se constantemente no modelo da evolução.)

Várias gerações passaram e graças aos «lapsos» surgiram «habitantes» que frenavam o seu movimento na zona da alimentação. Os seus «descendentes» rejeitaram todas as outras espécies a ponto de na sexagésima-milésima geração de «habitantes» só restar uma única espécie, a melhor adaptada, a mais viável.

Que experiência interessante, não acham? Tentemos agora descobrir-lhe o alcance prático.

*Porque tem a garça as patas compridas?*

Desde sempre os homens se vêm interrogando: porque é que a estrutura dos organismos vivos se encontra tão bem adaptada às condições do meio ambiente?

Com efeito, porque apresentam as rãs essa cor verde que as mascara tão bem, e não são antes vermelhas ou brancas? Porque tem a garça os pés compridos e um longo bico, tão cómodo para a caça nos pântanos?

Foi só no século passado que Darwin pôde explicar cientificamente esta espantosa faculdade de adaptação dos organismos vivos às condições exteriores. Durante vários milhões de anos, a dura e implacável lei da selecção natural eliminou impiedosamente todos os indivíduos não adaptados e conservou apenas os seres «racionalmente concebidos». A cibernética explica-nos porquê.

Remontemos de novo a um passado distante, aos primeiros seres vivos na Terra cujo nascimento foi um «acaso necessário». Ninguém os criou conscientemente, «de fora». Cedo ou tarde a combinação da vida devia ser elaborada a partir das matérias químicas primárias.

Ora, estas primeiras «partículas de vida» não estavam adaptadas às condições exteriores. Não tiveram pai onisciente, «criador de todas as coisas», e conheceram a dura necessidade de sobreviver por si próprias...

A faculdade de adaptação dos seres vivos surgiu tão caoticamente como a vida na Terra: da maneira mais regular embora aleatória.

As condições exteriores influenciaram os «pioneiros da vida». Quer eles quisessem ou não, tinham de responder às influências do mundo exterior. Esta resposta podia ser de duas espécies: ou enfraquecer a influência exterior, ou, ao contrário, reforçá-la. Uma tal ligação dos organismos (ou de qualquer outro sistema) com o meio ambiente é chamada em cibernética retroacção. Para os primeiros seres vivos estes dois modos de «resposta ao mundo exterior» eram equivalentes. Duma maneira puramente aleatória, certas «particularidades de vida» acentuavam a influência do meio ambiente (retroacção chamada positiva). Outras partículas, por este mesmo acaso, subtraíam-se a esta influência (retroacção negativa).

Os organismos do primeiro tipo, sofrendo a influência do meio ambiente, «juntavam o óleo ao fogo», esforçando-se por intensificar, prolongar, tornar esta influência duradoura. Uma tal tendência



tinha por resultado que à primeira influência negativa se destruíam a si próprios, «se suicidavam».

Os organismos com retroacção negativa, ao contrário, esforçavam-se, ao sofrer qualquer influência exterior por não a prolongar e voltar ao estado inicial.

Essa independência permitia-lhes viver muito mais tempo que os organismos do primeiro tipo. E mesmo que existisse uma quantidade quase igual de organismos iniciais de cada tipo, só os organismos mais estáveis com retroacção negativa puderam subsistir.

É precisamente este modo de retroacção que explica a faculdade espantosa de adaptação característica de todo o mundo vivo. Porque só puderam sobreviver racionalmente concebidos, bem adaptados. Toda a elaboração não racional dum organismo conduzia rapidamente à morte do ser vivo.

A seguir aos «lapsos» de que falámos podem nascer garças com patas curtas e rãs brancas. Mas a sua existência será de pouca duração. A garça de patas curtas morrerá rapidamente de fome, e a rã albina muito vistosa fará cedo as delícias duma outra garça, de pés compridos. Eis porque é pouco provável encontrar-se uma garça de patas curtas ou uma rã branca. A vida, esta longa série de equilíbrios cada vez mais complexos do meio exterior, como lhe chamou o académico Pavlov, não pode desenvolver-se senão por meio da retroacção negativa. A retroacção positiva, em vez de conduzir a um equilíbrio, acentuava ao contrário a influência do meio ambiente sobre o organismo e este último se

consumia como a pólvora. Porque a combustão da pólvora é acompanhada duma retroacção positiva. Quanto mais rapidamente ela se queima, maior é a quantidade de oxigénio que se liberta, o que, por sua vez, activa a combustão.

Para equilibrar a influência do meio ambiente, o organismo teve de conhecer este meio.

Foi assim que nos organismos vivos se desenvolveram e aperfeiçoaram órgãos duma sensibilidade e duma acuidade extraordinárias, trazendo a informação relativa ao mundo ambiente, o odor e a vista, o tacto e o ouvido.

### *Os «insectos» electrónicos*

Pode-se construir seres vivos artificiais ou mais exactamente modelos mecânicos, agindo dum modo semelhante aos organismos vivos?

Não é difícil para os engenheiros modernos criar órgãos de sentidos artificiais. É certo que estes estão longe de ser tão perfeitos como os seus homólogos naturais. O olho humano continua a ser incontestavelmente o «instrumento» mais aperfeiçoado sobre a terra: é capaz de diferenciar a estrutura quântica da luz composta de minúsculas partículas, os fótons. Contudo, é perfeitamente possível ao nível técnico actual dotar os mecanismos de vista (com o auxílio de células fotoeléctricas) ou de ouvido (com o auxílio de microfones) primitivos.

Foi assim que no decurso destes últimos anos foi criada uma verdadeira colecção de «seres vivos»



cibernéticos. O mais simples dentre eles foi construído logo nos primeiros anos da cibernética. O princípio de acção destas máquinas «vivas» era muito simples: a retroacção.

Dotada duma retroacção positiva, a máquina era uma «traça» precipitando-se para a luz, dotada duma retroacção negativa, um «percevejo» fugindo à luz. A estrutura da máquina era excessivamente simples: compunha-se dum carrinho dotado dum motor e de duas células fotoeléctricas que lhe estavam ligadas.

Percebendo-se a luz, a «traça» aproximava-se dela comandando o sistema de condução e regulando o ângulo de incidência da luz. Ao contrário, o «percevejo» amedrontado com a luz recuava em busca dum ângulo sombrio para se esconder.

### *As tartarugas de Walter*

O modelo simplista do «percevejo» foi continuado e desenvolvido pelo «cibernetista inglês Grey Walter que, segundo a sua própria expressão, «além da retroacção negativa, introduziu outras características que conferem ao instrumento uma relação ética e de investigação para com o mundo, assim como uma relação fototrópica». (O fototropismo é um fenómeno que se pode observar no mundo vegetal, e que consiste no facto de, numa célula vegetal iluminada parcialmente, a parte não iluminada se deslocar progressivamente em direcção à zona iluminada).

Grey Walter chamou à sua máquina «tartaruga» pois assemelha-se a este animal pelo seu aspecto exterior e a sua lentidão. Mais tarde, Grey Walter e outros ciberneticistas construíram uma quantidade de moldes e foi necessário dar nomes próprios a estas tartarugas: Cora, Elmer, Elsie, etc.

Apesar da sua estrutura elementar, o comportamento da tartaruga de Grey Walter não era tão simples. Quando o local estava escuro ou fracamente iluminado ela arrastava-se como se quisesse estudá-lo. Quando deparava com um obstáculo deslocava-se se fosse leve, contornava-o se fosse muito pesado. Perante uma luz viva, a tartaruga reagia rapidamente e, evitando todos os obstáculos, dirigia-se para ela. Mas caso se aproximasse demasiado da fonte luminosa, recuava como se ficasse cega pela sua intensidade, e parecia procurar as condições «ópticas» para as quais a luz não era demasiado fraca nem demasiado forte. Quando os acumuladores que alimentavam o motor estavam quase descarregados, a sensibilidade à luz diminuía, a tartaruga perdia o medo de se sentir cega.

Ousava então dirigir-se decididamente para um nicho fortemente iluminado e, entrando em contacto com uma «mangedoura», «comia» com apetite. Após ter recebido a sua ração de «alimento», isto é, recarregados automaticamente os seus acumuladores, afastava-se e retomava o seu comportamento inicial.

Se se colocasse diante da tartaruga duas fontes luminosas de igual intensidade, sem se perturbar, ela aproximava-se primeiro de uma, depois da outra.



A tartaruga possuía além disso uma outra faculdade espantosa. «Reconhecia-se» perante um espelho. Claro está, não havia nisto nada de milagroso: ela identificava-se graças a uma pequena lâmpada eléctrica ligada à sua cabeça. A luz da lâmpada reflectia-se no espelho e deste modo a tartaruga reagia.

A semelhança entre os modelos electrónicos e os animais vivos exprimia-se igualmente pelo facto de dois exemplares dum mesma tartaruga (mais exactamente dum mesmo esquema) apresentarem um comportamento diferente. A tartaruga Elsie de Grey Walter, que era portanto a cópia exacta de Elmer, seu irmão mais velho, comportava-se dum modo algo diferente. Mais brincalhona, ela reagia às mais pequenas variações de intensidade luminosa, o que fazia com que estivesse quase sempre em movimento, enquanto que Elmer passava dias inteiros a pavonear-se debaixo da sua poltrona. A sua exigência em energia era evidentemente diferente. Quando Grey Walter, ao fim do seu dia de trabalho, regressava a casa e acendia a lâmpada do recipiente, Elsie acorria prontamente enquanto Elmer se escondia ainda mais profundamente debaixo da poltrona.

Quando o «irmão» e a «irmã» se encontravam, «reconheciam-se» graças às suas lâmpadas de sinalização e executavam uma espécie de dança. Eis como o ciberneticista francês Albert Ducrocq descreve essa dança (é verdade que os seus pupilos não eram tartarugas mas raposas chamadas Job e Bárbara):

— Job e Bárbara ofereceram-nos um espectáculo tão divertido como inesperado. Enquanto Job avançava pacificamente, Bárbara aproximava-se para o animar, afastava-se, voltava de novo para acariciá-lo, tornava a afastar-se para executar algumas voltinhas. Quando os dois animais avançavam um para o outro podia-se vê-los parar: Job voltava a cabeça, enquanto Bárbara parecia deleitar-se em testemunhar a sua dedicação ao irmão mais velho, e os dois partiam juntos.

### *Reflexo aprendido*

Grey Walter fabricou uma terceira tartaruga, Cora, mais complexa que sua irmã mais velha Elsie. Era dotada não sòmente de «vista» e de «tacto» mas também de «ouvido». Graças a um microfone, podia-se educar Cora, ensinaram-lhe reflexos condicionados.

Mas antes de falar disso, recordemos o que são os reflexos condicionados dos animais. Sabe-se que a experiência mais conhecida foi realizada por Pavlov. À vista da comida desencadeia-se no cão uma abundante secreção de saliva e de suco gástrico. Quanto ao reflexo condicionado, é o resultado duma aprendizagem, de um hábito adquirido (eis aliás porque se chama *learned* em inglês, isto é, *aprendido*). Cada vez que se alimentava o cão, tocava-se uma campainha. O cão adquiria assim, progressivamente, um reflexo condicionado: a saliva e o suco gástrico eram segregados não só à vista da comida, mas ao



som apenas da campainha sem apresentação de alimento. No entanto, se o som da campainha não era acompanhado pela presença da comida, o reflexo desaparecia e o cão cessava de reagir ao toque da campainha.

A tartaruga Cora podia «ouvir» graças a um microfone. Grey Walter assobiava sempre que a tartaruga se aproximava da lâmpada para se «alimentar». A fim de verificar se o assobio não influenciava o comportamento de Cora, o sábio limitava-se às vezes a assobiar sem apresentação de «alimento». De início a tartaruga não prestou nenhuma atenção ao assobio. Contudo, verificou-se rapidamente que a tartaruga começava a elaborar um reflexo condicionado. Ela voltava-se para o lugar donde provinha o assobio se «tinha fome» e, ao contrário, escapava-se quando buscava não o seu «alimento», mas uma sombra salvadora.

Tendo elaborado este reflexo condicionado, Grey Walter pôs-se a «enganar» a tartaruga. Chamava por Cora quando não existia «alimento». E chegou o momento em que Cora deixou de responder ao assobio, tal como o cão deixara de reagir ao toque da campainha quando não seguido de alimento.

### *A bicharada da cibernética*

As tartarugas de Walter serviram de protótipo para toda uma família de «animais electrónicos» construídos pelos amadores de rádio, as organizações científicas estudantis, os círculos de jovens téc-

nicos, os laboratórios científicos, nos mais diversos países do mundo.

O princípio de todos estes «animaizinhos» era idêntico e elas diferiam sobretudo pelo seu aspecto exterior.

Foi assim que se construiu no Instituto Electrónico de Leninegrado um «cachorro» que reagia ao «alimento» — a luz. Em vez dum assobio, o estímulo condicionado era uma beliscadura na cauda do cachorro.

O cibernetista americano Edmundo Berkeley construiu com o auxílio de dois estudantes um «esquilo» especializado na execução dum trabalho determinado. Do mesmo modo que o esquilo vivo que, animal providente, preparava durante o Verão as suas reservas de pequenas nozes para o Inverno, o animal cibernético apanhava as bolas de golf e juntava-as num lugar determinado.

Mas é o rato construído pelo engenheiro e matemático americano Claude Shannon que possui as faculdades mais espantosas.

...Teseu, o herói da lenda grega, devia procurar o Minotauro, esse monstro com cabeça de toiro e corpo de homem, no labirinto do rei Minos de Creta. O labirinto era de tal modo complicado que sem o auxílio de Ariana, a filha do rei Minos, Teseu ter-se-ia perdido nele e não escaparia à morte.

Shannon chamou ao rato o «Teseu cibernético», embora estivesse longe de se parecer com o herói lendário. Consistia apenas dum bocado de aço magnético com um comprimento de alguns centímetros deslocando-se sobre rodízios, e no qual havia de-



senhado dois olhos e acrescentado uma cauda e bigodes. No entanto, a sua faculdade de orientar-se no labirinto não ficava nada a dever à de Teseu, graças à sua «memória», um esquema de *relais* que, evidentemente, não podia ficar alojado no pequeno corpo de aço.

O rato era largado num labirinto constituído por paredes de madeira, e ele esforçava-se por alcançar a sua «recompensa», um «bocado de toucinho». No caso, o «bocado de toucinho» era muito simplesmente um eléctrodo que, uma vez tocado, fechava o circuito e o rato cessava as suas peregrinações no labirinto.

Muito antes do nascimento da cibernética, os psicólogos e os fisiologistas se tinham ocupado com experiências nas ratas e nos ratos vivos largados num labirinto. A princípio os animais erravam às cegas no labirinto, mas quanto mais a experiência durasse, mais rapidamente eles encontravam o alimento no labirinto.

### *«Teseu» no labirinto*

O rato cibernético mostrou-se muito mais perspicaz que os ratos vivos. É verdade que desde a primeira incursão no labirinto o seu comportamento não teve nada de particular. Batia nos cantos e nas paredes, errando ao acaso antes de atingir o fim das suas deambulações.

Pelo contrário, a partir da segunda incursão, o rato cibernético encontrou o caminho mais curto para

o fim assinalado: as pancadas nas paredes e nos cantos tinham-lhe fornecido uma informação sobre a estrutura do labirinto. Se se colocava o rato numa parte desconhecida do labirinto, que não tinha sido visitada por ele durante a primeira incursão, voltava a tactear, na sua marcha hesitante, antes de reencontrar a parte conhecida do labirinto que percorria então rapidamente sem se enganar uma só vez!

Voltando a colocar o rato na zona já por ele explorada durante a sua segunda viagem, tornava a partir novamente, sem se enganar, em direcção ao objectivo. Acrescentara, pois, a informação relativa a esta parte do labirinto aos seus conhecimentos anteriores.

Enfim, quando se modificava o labirinto (deslocando as divisões podia-se obter, segundo a afirmativa do próprio Shannon «cerca de mil milhões de labirintos diferentes»), o rato partia para o destino como o tinha feito anteriormente. Mas quando em vez duma passagem livre encontrasse uma divisória, ele recomeçava o seu «reconhecimento da topografia do terreno» até reencontrar o caminho. Se a chegada da meta estivesse fechada de todos os lados e o labirinto intransponível, o rato percorria-lhe todos os recantos acessíveis.

Comparando com os seres vivos, a aprendizagem do rato cibernético efectuava-se duma só vez e não necessitava de repetição.



## A «*Cliente electrónica*»

Um programa cibernético de aprendizagem ainda mais complexo foi realizado na Universidade de Cambridge na Inglaterra. Não se tratava desta vez da aprendizagem dum rato mas da dum computador electrónico. O programa chamava-se: «visita a um armazém para compra de mercadorias». A «memória» da máquina encontrava-se dividida em duas partes. Numa, o armazém, vendiam-se diversos artigos expressos em números. A segunda parte caracterizava os clientes.

O modo de aprendizagem era sensivelmente o mesmo que o do rato de Shannon. Primeiramente a «cliente», à procura dum artigo determinado, experimentava indiferentemente todos os que lhe caíam nas mãos. Informava-se de certo modo da variedade dos produtos. O rato de Shannon apenas conhecia o «Sim» e o «não», a presença ou a ausência da passagem. Mas a «cliente» electrónica lembrava-se das diferentes variedades de produtos nas diversas «prateleiras do armazém».

A máquina obedecia às ordens ulteriores prontamente e com exactidão, sem revistar todo o armazém.

Se um artigo não fosse pedido, a máquina-cliente «esquecia-o». Para satisfazer uma encomenda não habitual deste artigo a máquina retomava as investigações às cegas até o encontrar.

Assim, o comportamento dos «animais» cibernéticos, das tartarugas, esquilos, raposas e dos ratos é, sob inúmeros aspectos, similar ao dos seres vivos,

por muito incrível que possa parecer um comportamento «racional» dos animais metálicos.

Por meio dos seus «órgãos dos sentidos», eles percebem a informação e transformam-na em resposta às influências do mundo exterior segundo o princípio da retroacção negativa, como os seres vivos. São capazes de aprender e de esquecer, manifestam uma curiosidade original em presença dum fenómeno desconhecido e possuem até uma certa individualidade. Recorde-se o comportamento diferente de Elmer e de Elsie, as tartarugas de Grey Walter.

Apesar da complexidade da sua estrutura, os animais cibernéticos são muito mais simples que um besouro ou uma formiga. Mas apresentam para a ciência uma vantagem considerável sobre os seres vivos. Pode-se dar-lhes uma ordem e uma medida exactas, estudar-lhes os processos biológicos subtis de aprendizagem e de habilitação, de desenvolvimento individual e de evolução dos organismos vivos.

A utilização dos moldes cibernéticos mal acaba de começar e reserva-nos possibilidades insuspeitadas.

Eis, por exemplo, o que se propõem os ciberneticistas ingleses: ensinar os animáculos electrónicos a jogar às escondidas. Os modelos existentes podem correr um atrás do outro. Se se lhes ensinasse também a diferenciar um jogador do outro e os dotasse do sentido da direcção poderiam jogar não só às escondidas mas também à bola. Formar-se-iam, assim, duas equipas e seguiríamos diversas variantes do jogo.



Podia-se igualmente tentar inculcar nos pequenos animais cibernéticos hábitos «sociais» primitivos, por exemplo ensinar-lhes o valor do dinheiro. Eles procurariam as moedas lançadas ao chão, juntá-las-iam e quando chegasse a hora de tomarem as suas «refeições», pagariam em dinheiro a sua quota de energia eléctrica consumida.

### *Cérebro electrónico e cérebro humano*

Mais espantosos ainda que os animais cibernéticos, os calculadores electrónicos dão resultados assombrosos. Eles executam trabalhos que se julgava dantes serem unicamente destinados ao cérebro humano. Além disso, em relação aos animais mecânicos que não passam de brinquedos, o seu trabalho apresenta não só um interesse científico e teórico mas também económico.

Computador electrónico e cérebro... Que pode haver de comum entre uma máquina electrónica imprimindo unidades e zeros e um cérebro humano, o órgão do pensamento, o órgão do conhecimento do mundo exterior e da sua transformação criadora?

E entretanto...

«O cérebro é um dispositivo de cálculo com retroacção negativa».

«O cérebro como calculadora dum tipo particular».

«Porquê construir um cérebro mecânico?»

«O pensamento criador das máquinas».

Estas frases não constituem, como poderíamos pensar, títulos de diferentes capítulos dum romance de ficção científica, mas a lista das comunicações apresentadas à conferência internacional de cibernética dedicada à elaboração de projecto de máquinas imitando o comportamento do cérebro humano».

Interessa destacar que o facto de apresentarmos estes problemas não comporta em si nada de fantástico. Os trabalhos de Pavlov e doutros fisiologistas e psicólogos demonstraram que o suporte da consciência e do pensamento do homem é o cérebro, dispositivo de cálculo com um volume de 1,42 litro e um peso médio de 1,36 Kg, duma potência consumida de cerca de 25 volts e possuindo uma memória que pode conter 10 000 000 000 ou 1 000 000 000 000 000 bits de informação. Um dispositivo que, graças ao trabalho ininterrupto de dez biliões de *relais* estáveis e insubstituíveis, se conserva, comanda a sua actividade e mantém o equilíbrio do seu corpo e suas relações com o mundo exterior graças à retroacção negativa, elaborada na base dos impulsos e dos reflexos... Foi assim que qualificou o cérebro um dos participantes da conferência internacional de cibernética.

O elemento principal do sistema nervoso, a célula nervosa, age segundo o princípio de tudo ou nada. Esteja ela em repouso ou excitada.

O elemento principal do computador electrónico, a lâmpada electrónica, possui também dois estados «em circuito ou fora do circuito», «sob tensão ou não».



O cérebro humano e o computador electrónico recebem e tratam a informação, possuem ambos uma memória, um «entreposto de informação». Mas pela complexidade da sua estrutura, o cérebro humano é cerca de um milhão de vezes superior aos maiores computadores. E apesar desta enorme diferença com vantagem para o cérebro, este não pesa mais que 1,5 ou 2 Kg e está alojado na caixa craniana ao passo que os computadores electrónicos modernos pesam dezenas de toneladas e ocupam salas inteiras.

Os dispositivos da memória dum grande computador podem conter um milhão de bits de informação; o cérebro, esse, no curso da existência dum homem pode assimilar  $10^{15}$  bits de informação, isto é, um bilião de vezes mais.

No entanto, os computadores electrónicos podem ser de grande auxílio no tratamento da informação mesmo para um dispositivo tão aperfeiçoado como o cérebro humano.

### *Os três «trunfos» do computador electrónico*

O cérebro humano tem seus limites.

*Primo*, funciona lentamente. Em relação à máquina é uma modesta engrenagem. A velocidade à qual se desenrolam os processos no computador electrónico aproxima-se da maior velocidade possível, 300 mil quilómetros por segundo. Ora, a velocidade dos processos que se efectuam no nosso cérebro é um milhão de vezes menor.

Secundo, o cérebro humano fatiga-se depressa, enquanto a máquina pode funcionar 24 horas em 24.

Tercio, a despeito da sua incrível capacidade, a memória humana é limitada.

Calcula-se que lendo 12 horas por dia durante cinquenta anos o homem não podia ler mais que 24 000 livros (cada livro contendo 300 páginas em média). Ora, publicam-se por ano, no mundo, duzentos mil livros só no domínio técnico. Pelo contrário, pode-se aumentar indefinidamente a memória das máquinas e estas podem fornecer ao homem as informações desejadas sobre os livros que assimilaram.

Eis porque o cérebro humano transmite cada vez mais as suas funções ao «cérebro electrónico». Tudo o que pode ser traduzido na linguagem dos números, dos esquemas lógicos estritos e rigorosos, o homem transmite-o à máquina.

Nos capítulos seguintes tratamos de expor, em pormenor, as diversas especializações do cérebro electrónico.





## IV

### AS FÓRMULAS DO SUCESSO

#### *O homem e as máquinas*

O trabalho criou o homem. E desde que o homem se tornou homem, tem porfiado em libertar-se do trabalho, confiando este às máquinas. Não por preguiça, mas porque as forças do homem não correspondem à amplitude dos seus desejos.

Quis, «bípede sem plumas», voar como a ave, nadar como o peixe, correr como um alce, ser forte como o mamute ou o leão. Mas a natureza não lhe deu senão mais do que as suas duas mãos e o seu cérebro.

E apesar de tudo o homem torna-se o dono do planeta!

O seu cérebro e as suas mãos provaram ser mais fortes do que os tigres, os ursos das cavernas e os mastodontes. Mais fortes porque o homem criou instrumentos que duplicariam, centuplicariam as suas forças.

Vários milénios decorreram. Os terríveis animais pré-históricos que ontem povoavam a terra desapa-



receram há muito tempo. Mas os amplificadores dos músculos humanos subsistem, tornaram-se até mais necessários. O homem descobriu-lhes mil e um empregos no seu labor quotidiano.

A alavanca e a roda, o torno do oleiro e o fuso, o barco e a armadilha, a chama e a máquina de fiar... O homem domesticou os animais selvagens. Obrigou a natureza a fornecer-lhe a energia. Criou milhares de mecanismos engenhosos e úteis. E chegou por fim o tempo que o seu trabalho físico é quase inteiramente mecanizado. Resta apenas ao homem ordenar às máquinas que pensem por elas.

Pode parecer que se atingiu no domínio da produção o fim último da mecanização: o homem comanda e as máquinas executam as suas ordens.

Mas porque se lê cada vez com mais frequência nos livros e nas revistas estas palavras: automação, automatização integral da produção? É ainda possível mecanizar alguma coisa em presença duma tal distribuição dos deveres: o homem comanda e as máquinas trabalham! A cibernética demonstrou que isso é possível. Dantes as máquinas substituíam os braços e os músculos do homem. Actualmente elas podem substituir o seu cérebro e o seu sistema nervoso. Contudo, este abandono das prerrogativas do homem não constitui de modo nenhum qualquer ameaça para ele. Porque todos os auxílios que soube criar não o têm enfraquecido na realidade.

Com a cibernética o homem começa a transmitir uma parte da sua actividade «humana» às máquinas «inteligentes».

## *Primeiro os matemáticos*

As máquinas vieram em primeiro lugar em auxílio do homem nos cálculos. Os ábacos e os aritmógrafos, as máquinas de calcular mecânicas e analíticas e enfim os computadores electrónicos, constituíram as etapas de desenvolvimento dos meios que o homem elaborou para os cálculos.

Seria necessário ao homem cerca de dois séculos de trabalho árduo para resolver certos cálculos matemáticos complexos que um computador efectua numa semana.

O cálculo da órbita de cerca de 700 pequenos planetas-asteróides teria exigido o trabalho prolongado dum importante centro de cálculo. O computador electrónico soviético BESM realizou esse trabalho em alguns dias.

Se se pode traduzir em números um problema respeitante a qualquer ramo da ciência, o computador electrónico resolve-o com êxito.

«Que há de comum entre o cálculo do movimento dos astros sob a acção da atracção solar e o balanço que sofre um barco num mar agitado? escrevia o célebre engenheiro e matemático soviético Krylov. Escrevendo-se apenas as fórmulas e as equações sem explicar do que se trata, não se sabia diferenciar tais cálculos porque as equações serão idênticas».

Na realidade, antes do advento dos computadores electrónicos, teria sido vão constituir equações muito complicadas.



Com efeito, que interesse teria para nós a previsão do tempo para amanhã, se a resolução das equações correspondentes necessita o trabalho de um centro de estudos durante um mês! Os computadores electrónicos efectuam este trabalho em uma hora. No tratamento dos dados das estações meteorológicas, em uma hora de funcionamento as máquinas substituem o trabalho de 64 000 calculadores de escritório com teclado.

Eis ainda um outro exemplo tomado a um outro campo. Para elaborar uma carta de relevos geográficos, era necessário resolver um sistema de oitocentas equações. O computador electrónico BESM executou um quarto de milhão de operações aritméticas e pôde resolver este problema em menos de vinte horas.

Um só homem não teria podido chegar ao fim, mesmo durante vários anos de trabalho.

As trajetórias das naves cósmicas presentes e futuras são determinadas com uma precisão extrema pelos computadores electrónicos. Sem eles a era da conquista do cosmos não teria ainda soado.

### *O autómato «regulador»*

O êxito das conquistas no cosmos está nos sucessos alcançados em terra. Como é que as máquinas cibernéticas podem vir em nosso auxílio na produção?

Em que consiste a substituição dos nervos e do cérebro humanos?

Antes de mais, na regulação e no controlo. Tomemos um exemplo simples. No apartamento existe um fogão. As funções de quem lida com ele não são complicadas: se fizer frio, aquece mais, se fizer calor, menos. No entanto um mecanismo «não inteligente» sem retroacção não pode desempenhar-se da tarefa correctamente — todo o acontecimento imprevisto, a abertura dum postigo, em vidro partido etc., torna-o ineficaz. Com efeito, um mecanismo deste género funciona segundo um programa determinado, segundo uma informação «precisa» mas não está ligado ao mundo exterior que ele «receia» e ao qual não está adaptado. Pelo contrário, um automático com retroacção resolve facilmente a tarefa: basta ligar o termómetro a um simples dispositivo que comanda a chegada do combustível ao forno.

Se a temperatura do quarto é normal o automático funciona normalmente. Se faz mais frio o automático aumenta a chegada do combustível ao forno, se faz mais calor, redu-lo.

O aquecedor automático será «ligado» à temperatura do ar do quarto.

O princípio de retroacção é universal. Basta aperfeiçoar o dispositivo de condução, e os pilotos dos barcos ou dos aviões podem ser substituídos por automátos vigilantes. Se confiarmos a uma máquina a tarefa de comparar um processo determinado de produção com o processo que se desenrola na realidade, ela substitui com vantagem um controlador humano. Tanto mais que o controlador automático funciona em quaisquer condições. Não é prejudicado por uma temperatura excessiva, nem por um frio



glacial ou uma dose de radioactividade mortal para todo o ser vivo. No entanto, é ainda o homem que, a maior parte das vezes, é mais tenaz e mais aguerrido e suporta melhor do que certos aparelhos complexos um calor ou um frio excessivos.

O olho humano é um instrumento óptico verdadeiramente universal. Contudo não é capaz de seguir as evoluções muito rápidas. Na retina do olho a imagem dum objecto mantém-se fixa durante  $\frac{1}{24}$  segundo e os movimentos mais rápidos são portanto confundidos (é devido a esta propriedade do olho que nós interpretamos as imagens sucessivas dum filme como um todo contínuo, e não como um conjunto de quadros separados). O autómato, pelo contrário, é capaz de seguir quaisquer evoluções, por muito rápidas que elas sejam. Além disso, o homem não responde instantaneamente às impressões recebidas; a sua reacção não se manifesta senão dentro de um ou dois décimos de segundo após um estímulo, e a resposta eventual só é possível decorrido este lapso de tempo. Ora um autómato é capaz de reagir quase instantaneamente.

### *Fábricas automáticas*

Nas numerosas oficinas de fábricas foram instaladas cadeiras automáticas em que o processo de produção decorre sem intervenção humana.

Não está longe o dia em que será inaugurada a primeira fábrica inteiramente automatizada.

Desde os séculos os homens sonham com essa fábrica automática. Não é por acaso que nos contos e lendas se fala com frequência duma toalha mágica à qual se pode ordenar seja que prato for, o mais apetitoso; dum génio da lâmpada e dum rei dos peixes capazes de realizar todos os caprichos do homem.

O cozinheiro cibernético dum próximo futuro é esta toalha mágica: basta ordenar-lhe que prepare centenas de pratos suculentos. Nas fábricas automáticas poderemos encomendar não só as nossas refeições, mas também tudo o que desejarmos: aparelhos de rádio, canetas, automóveis, relógios.

Certos autómatos fornecerão as matérias primas que tratarão em conformidade com as instruções recebidas. Outros, mais complexos, controlarão os trabalhadores automáticos e serão responsáveis pela qualidade da produção. Enfim, um computador electrónico receberá a informação relativa ao desenrolar do processo de produção e à base dos dados recolhidos escolherá o programa óptimo da actividade dos seus operários automáticos como o melhor planeamento da produção.

Escolher?

De que maneira?

### *Que significa «optimal»*

Como pode o computador electrónico conhecer qual o plano de acção que é superior aos outros? E como pode ele escolher entre uma imensidade de planos bons ou maus o plano «optimal»?



Em primeiro lugar, como procede um homem para escolher um lapso de acção, como é que ele decide sobre qual é o melhor? Por exemplo, quando escolhe um itinerário turístico ou resolve onde passar a noite de sábado: no cinema, no estádio ou no parque.

Habitualmente os homens fazem a sua escolha «por juízo» aproximado: isto está bem, isso também não é mau. Ora, o problema da escolha não se limita apenas a resolver como passar o fim-de-semana o mais agradavelmente possível. O gráfico do andamento dos comboios, a planificação da economia aos mais variados níveis desde a pequena empresa ao escalão do Estado, tudo isso envolve problemas de escolha, problemas cuja solução exacta pode implicar uma economia de milhões e biliões de escudos...

Eis porque foi elaborada uma ciência aplicada, das mais interessantes: a investigação operacional, a ciência de escolha da melhor solução.

### *Grupo de pesquisa operacional*

Havia quatro celhas cheias de água na cantina duma unidade militar. Os soldados lavavam as suas gamelas nas duas primeiras e passavam por água nas outras duas. Normalmente faziam bicha. Como eliminá-la? A solução era simples: para acabar com a bicha bastava adquirir outras celhas.

Contudo, a pesquisa operacional conseguiu encontrar uma outra solução para liquidar a fila de

espera. Chegou-se à conclusão que era necessário três vezes mais tempo para lavar as gamelas do que para as passar por água.

Por conseguinte uma só celha foi destinada para enxaguar as restantes para lavagem das gamelas. As bichas desapareceram como por encanto.

Assim, sem comprar novas celhas, chegou-se por uma simples transposição a resolver o problema das bichas. Bem entendido, todos os problemas da pesquisa operacional estão longe de ser tão simplistas.

Praticamente, cada domínio da actividade humana (produção, transportes, comunicações, construção, comércio) pode ser estudado e melhorado graças aos métodos da pesquisa operacional. E os computadores electrónicos permitem vencer todas as dificuldades matemáticas.

A particularidade desta ciência reside no facto de não ser apenas um sábio mas um conjunto chamado grupo de pesquisa operacional (em abreviado GRO) que dela se ocupa.

Regra geral, o grupo compreende um matemático que desempenha o papel de dirigente e um especialista do ramo considerado da pesquisa. Se se trata do ramo militar, o especialista é neste caso um oficial; se se trata da construção de vias férreas, um engenheiro dos caminhos de ferro e comunicações, etc. O grupo compreende além disso um psicólogo e um pedagogo, quando se estuda a actividade duma colectividade (por exemplo uma escola).

O trabalho do GRO divide-se em várias etapas.

A primeira é a observação (tornada conhecimento).



Por exemplo, estuda-se a capacidade duma rede de caminho de ferro.

O GRO estuda o número de vias principais e de vias de resguardo da rede, as diversas variantes da distribuição das carruagens na rede; analisa as condições que constituem o que se chama em linguagem cibernética o conjunto de todos os estados possíveis do sistema, ou em linguagem económica o conjunto de todos os planos possíveis.

A segunda etapa é a mais importante: estabelecem-se as avaliações que permitem julgar quais são as boas e as más variantes.

O problema da apreciação da qualidade não se põe sòmente aos GRO. O professor tem, diàriamente na escola, que apreciar, pelas notas que dá, os conhecimentos dos seus alunos. Isso é muitas vezes bastante difícil. Qual a nota mais justa para uma resposta dada?

Não é um problema fácil. Ora, os problemas de avaliação da qualidade que devem resolver os GRO são bem mais complexos e delicados! A caderneta das notas não compreende neste caso dez ou vinte pontos, mas cem e às vezes mil.

Cada um de vocês teve certamente ocasião de se encontrar perante uma situação de estimativa complexa, por exemplo, ao comprarem bombons na confeitaria. Que é preferível comprar? Que bombons escolher?

Aos que interessa em primeiro lugar a quantidade comprarão, claro está, os menos caros (avaliando a qualidade em gramas). Outros, procurando a diversidade, levarão de vinte a trinta gramas de

cada espécie (apreciando a qualidade pelo número de espécies diferentes). Mas se o médico os aconselhar a preferir os bombons em função da sua qualidade nutritiva, deverão escolher bombons de chocolate (sendo a qualidade neste caso avaliada pela quantidade de calorias).

Isso não impede de apreciar a qualidade segundo o gosto de cada um, e podem portanto comprar as vossas amêndoas ou os vossos confeitos preferidos.

Vimos que situação complexa pode representar uma simples compra de bombons.

Compreende-se porque um especialista faz obrigatoriamente parte de cada GRO.

É ele quem possui todos os trunfos no seu jogo para resolver correctamente este problema de avaliação da qualidade.

Mas suponhamos a avaliação feita. Tudo depende agora do matemático: a ele compete determinar a melhor variante segundo esta avaliação da qualidade. Quando a melhor variante, o plano óptimo, é achada, ela é verificada num modelo ou na prática.

De que modo o matemático pesquisa o plano óptimo, a melhor solução? Porque o número de planos possíveis atinge valores tais que até os computadores electrónicos mais rápidos não podem estudá-los todos.

Tomemos o exemplo da rede dos caminhos de ferro. O comboio percorre um troço da rede que compreende cinco estações. Tanto pode parar em cada estação 5 ou 10 minutos como não parar em certas



estações, e 243 variantes são possíveis. Se houver 6 estações, o número de variantes ultrapassa 700. Havendo sete, eleva-se a 2 000 e atinge cerca de 6 500 para oito estações. Uma rede vulgar de caminhos de ferro comporta habitualmente várias dezenas de estações. Se se numerassem ao acaso as variantes possíveis, mesmo à velocidade de 100 000 variantes por segundo, seriam precisos milhões de anos para procurar a melhor solução. E isso para uma única linha, quando existem centenas e até milhares.

É evidente que é necessário encontrar métodos particulares de pesquisa.

### *A programação linear*

O primeiro método matemático que permite achar não uma solução aproximada mas a solução exacta, foi elaborado pelo matemático leninegradense L. Kantarovitch em 1938-1939. Este método é chamado *programação linear*. (

Actualmente a programação linear comporta vários métodos de pesquisa do plano «optimal». E o mais concreto é, sem dúvida, o método de correcção dos factores.

«O Sr. Fox possui um milhão de dólares. Ora, o dinheiro não deve ficar inactivo... Enfim, o senhor Fox acha uma saída. Chapéus, eis o que é rendoso. O negócio de chapéus caminha bem, os fabricantes enriquecem. O Sr. Fox manda construir uma fábrica de chapéus.

Mas a mesma ideia ocorre ao Sr. Fox, ao Sr. Krox e ao Sr. Nox. E todos se põem ao mesmo tempo a construir fábricas de chapéus.

Em menos de seis meses, há algumas fábricas de chapéus a mais no país. Por toda a parte a publicidade, cartazes: Chapéus! Chapéus!

E eis que acontece uma coisa que não tinham previsto nem o Sr. Fox, nem o Sr. Krox, nem o Sr. Nox. As pessoas deixam de comprar chapéus. O Sr. Nox baixa os seus preços de 20 cêntimos, o Sr. Krox de 40 cêntimos, o Sr. Fox vende os seus chapéus com perda, apenas para se ver livre deles.

Mas os negócios vão de mal a pior...

E súbitamente, tudo pára!

O Sr. Fox fecha a fábrica. 2 000 operários são despedidos e podem ir para onde lhes apetercer. No dia seguinte a fábrica do Sr. Nox fecha as portas. Milhares de operários são lançados para a rua...

Decorre um ano. Passa o segundo. Os chapéus comprados no Nox, no Fox, estão gastos e há necessidade de chapéus novos...

E então não é o Sr. Fox, mas um certo Sr. Doodl que encontra uma boa aplicação para o seu dinheiro: constrói uma fábrica de chapéus. Mas a mesma ideia ocorre aos outros homens de negócios, Sr. Voodl, Sr. Foodl e Sr. Noodl. E a história repete-se.

E o que se passa com os chapéus é válido para os sapatos, o açúcar, o aço, o carvão, o petróleo».

É assim que o escritor muito conhecido M. Iline descreve a concorrência capitalista no seu livro «Récit sur le grand plan».



Os períodos de depressão e de expansão da economia duram até que um certo equilíbrio se instaure. As fábricas produzem então uma certa quantidade de produtos conforme a procura dos clientes. Para atingir espontaneamente esse equilíbrio é necessário mais de um ano, pelo que as crises e as depressões, os *craques* da bolsa e o desemprego são inevitáveis.

Seria muito mais simples repartir entre as diversas fábricas o plano optimal de produção. Mas isso não pode ser realizado senão por meio duma economia planificada.

Para se conseguir o plano melhor, a concorrência real é neste caso transposta para o computador electrónico. O equilíbrio do mercado, da oferta e da procura (a «correção dos factores») efectua-se não no decurso duma dezena de anos, mas em dez minutos. Em alguns centésimos de segundo, na memória do computador electrónico nascem empresas, abrem falências e reabrem de novo. Isso dura até se encontrar o resultado definitivo, a melhor distribuição, a mais correcta, do volume da produção entre as empresas.

Graças à programação linear, o computador assimilou inúmeras especialidades económicas. Os gráficos do tráfego ferroviário, a repartição do frete entre os diversos meios de transporte são resolvidos hoje pelos «ferroviários» electrónicos. Os computadores electrónicos determinam a carga óptima das máquinas-ferramentas na oficina. Permitem igualmente a solução acertada dos problemas agrícolas.

## *Passo a passo*

Contudo, embora seja aplicada nos sectores mais diversos, a programação linear não pode ser considerada como um método universal.

Ela considera na realidade apenas os problemas lineares (donde o seu nome). A causa e a consequência, a acção e o seu resultado são directamente proporcionais. Se dez máquinas fabricam 30 pares de sapatos, cem máquinas produzirão 300. Se um comboio se desloca numa via férrea, em três vias circularão três comboios.

Ora, os problemas da escolha não são todos lineares. A simples fila que formam os clientes à espera de serem servidos ao balcão de refrescos não cresce linearmente, o seu comprimento é uma função não linear do número de serventes. Não obstante, além da não linearidade, inúmeros problemas possuem esta outra particularidade de serem dinâmicos, isto é, ligados ao tempo. Não se pode avaliar se o petróleo extraído em 1950 é idêntico ao extraído em 1968. O petróleo extraído hoje servirá de combustível que permitirá extrair o petróleo de 1969 por exemplo.

Uma fábrica de automóveis que não tenha em conta a dinâmica da produção, não poderá montar um só automóvel por ano se os pneus forem fabricados em Janeiro e os pára-brisas em Dezembro.

Eis porque, além da programação linear, foi igualmente elaborada a programação dinâmica. A pesquisa da melhor variante, do melhor plano, efectua-se por isso passa a passo.



Os investigadores do centro de cálculo de Kiev, e mais precisamente o matemático V. Mikhalevitch e o engenheiro N. Chor, elaboraram à base das ideias da programação dinâmica o método «de análise sequencial».

### *É longo o caminho de A a B*

Suponhamos que é necessário construir uma via férrea ligando a vila A à vila B. A distância entre elas é de apenas dez quilómetros. Que itinerário se deve escolher?

O terreno não é plano, e a via férrea pode passar a diferentes altitudes. Suponhamos que segundo os dados do problema, estes «níveis» sejam em número de dez. Os engenheiros aconselham a não construir um troço rectilíneo de via férrea dum comprimento inferior a quinhentos metros. Por conseguinte, de A a B pode haver nele quando muito vinte troços de quinhentos metros. O cálculo é fácil de achar: os especialistas aconselham a tomar por base o volume dos trabalhos de terraplanagem.

A melhor variante será portanto aquela em que o volume desses trabalhos for mais reduzido.

Pode, pois, parecer que tudo é evidente. Basta introduzir todas as variantes na calculadora electrónica e esta não terá mais do que as verificar à velocidade de vários milhares por segundo.

Contudo, a nossa espera, pelo resultado definitivo seria, neste caso, inútil porque poderiam decorrer anos e milénios e o terreno baixio entre as vilas A

e B estaria há muito tempo transformado em planície, antes que a máquina tivesse analisado integralmente todas as variantes. Com efeito, o número de variantes possíveis não é da ordem do milhão ou do bilhão, mas sim um número monstruoso formado pela unidade seguida de vinte zeros. Nenhuma computadora pode examinar um tal número de variantes mesmo durante milénios.

É por isso que se aplica o método da análise sequencial.

Para melhor compreensão escolhamos um exemplo. Como adivinhar o mais rapidamente possível a data do nascimento duma pessoa, supondo que às nossas perguntas se responda por «sim» ou por «não»? Podem citar-se sucessivamente todos os dias e perguntar: «Nasceu no dia 1 de Janeiro?» «Em 2 de Janeiro?», etc. Arriscámo-nos portanto a fazer 365 perguntas porque não fica excluída a hipótese de a pessoa interrogada ter nascido em 31 de Dezembro. Se, ao contrário, se recorre ao método de pesquisa dito «dicotómico» perguntar: «Nasceu no primeiro semestre?» E, conforme a resposta, separar da mesma maneira o semestre por perguntas partitivas, relativas à estação, ao mês, à quinzena, à semana, à metade da semana, e enfim ao dia par ou ímpar.

É por princípio análogo de divisão que se pesquisa a variante óptima com o auxílio do método de análise sequencial.

Estuda-se em primeiro lugar todas as comunicações possíveis entre as vilas A e B e o primeiro



marco intermédio separado de A por uma distância mínima de quinhentos metros.

A maioria destas variantes é em seguida rejeitada porque é claro que elas não satisfazem às condições «optimais». Só uma pequena parte das variantes se mantém válida. Cada variante é então ligada com o ponto intermediário seguinte. Depois efectua-se uma nova triagem. E o número de candidatos diminui. No decurso das etapas seguintes fica ainda mais reduzido. Durante a última etapa que conduz ao ponto B subsiste apenas uma variante, a melhor, a que venceu com êxito o concurso da «optimalidade».

Para encontrar esta variante a máquina computadora levará, não milénios, mas alguns segundos.

Os cálculos experimentais realizados com a máquina «Kiev» demonstraram que a variante escolhida por ela é de dez a doze por cento mais vantajosa que a variante proposta pelos economistas. Sendo o custo dum quilómetro de via da ordem de cem mil rublos, concebe-se fàcilmente a enorme economia que pode ser realizada quando se estabelece um projecto relativo a um comprimento de vias férreas de vários milhares de quilómetros, com o auxílio dos economistas electrónicos.

## V

### JOGOS E SOLUÇÕES

#### *Uma «História de peixes»*

Nem sempre é possível realizar com êxito o melhor plano.

Os economistas tinham determinado por meio de calculadores electrónicos que o melhor plano de pesca para um arrasto consistia em apanhar cinco mil toneladas de peixe no mar do Norte e mil toneladas no mar da Noruega. Mas desde que se intensificou fortemente a pesca no mar do Norte, quase todos os cardumes demandaram o mar da Noruega, tornando-se deste modo irrealizável o plano «optimal». Tudo era devido ao facto de os pescadores terem que trabalhar não com um equipamento inerte mas com seres vivos.

Na caça, na pesca e mesmo nos parques florestais participa-se na realidade num «jogo» com a natureza, porque não é somente o homem que toma uma decisão, mas também a sua antagonista, a natureza ou os animais.

Na programação linear e não linear não tomamos em conta senão os nossos próprios interesses. Por-



que, bem entendido, não vamos considerar a opinião do lastro da via, do poste ou dos fios telegráficos que funcionam consoante o plano «optimal».

Ora, no exemplo da pesca não basta considerar unicamente os interesses do homem. É necessário ter em vista igualmente os interesses opostos, os dos peixes. É precisamente o conflito destes interesses divergentes que anima o jogo.

Os pescadores podem começar a sua pesca no mar da Noruega, depois no mar do Norte, ou vice-versa. Os cardumes de peixes podem deixar o mar do Norte na altura da pesca para aí regressarem quando ela termina. Mas se os pescadores adivinham esta «intenção do adversário», podem apanhar o peixe em movimento, etc.

Em uma palavra, as mais diversas soluções são possíveis para este jogo e o plano «optimal» não é válido neste jogo.

Quer isso dizer que, neste domínio do livre arbítrio, o computador electrónico não tem qualquer utilidade?

Naturalmente, se se pudesse traduzir o jogo na linguagem dos números, a máquina saberia encontrar a maneira como os pescadores devem proceder.

A matematização dos jogos será possível?

### *A teoria dos jogos*

Muito antes do aparecimento da cibernética a ideia de transcrever os jogos matematicamente já tinha sido ventilada. Não obstante, estas ideias ti-

nham sido formuladas não só pelos matemáticos, mas também por outros especialistas que se ocupam não da teoria mas da prática. O campeão do mundo do xadrez, Emanuel Lasker era um fervoroso adepto dessa matematização.

Foi em 1928 que o maior matemático do nosso século, John von Neuman, demonstrou o teorema fundamental da teoria dos jogos. Mas só em 1944 apareceu o seu célebre livro «Teoria dos jogos e comportamento económico» que certos sábios consideram como uma das aquisições científicas mais importantes da primeira metade do século XX.

Desde o aparecimento deste livro começou o desenvolvimento rápido da teoria dos jogos e das suas múltiplas aplicações. Porque, graças a von Neuman, por teoria dos jogos encarava-se a partir de então não só o jogo de coroa ou cara, os jogos de cartas ou de xadrez, mas também qualquer situação de conflito de interesses.

E mesmo a luta pela vida definida por Darwin, este conflito contínuo entre os organismos vivos e as forças cegas da natureza e a luta entre as espécies, foi daí em diante considerada como um jogo à escala gigantesca (o planeta inteiro) de longa duração (mais de dois biliões de anos), no qual participam milhões de milhões de seres.

Um dos ciberneticistas-biólogos escrevia: «É inevitável que a teoria dos jogos terá uma enorme importância científica para a biologia, porque as propriedades inatas dos organismos vivos não são senão estratégias que se revelam satisfatórias durante a concorrência secular e são transmitidas aos jovens



animais prontas a ser utilizadas desde que haja necessidade.

Com efeito, do mesmo modo que os jogadores de xadrez descobriram que ao iniciar a partida é vantajoso deslocar o peão c2-c4, numerosas espécies de animais acharam que «arreganhar os dentes» é um bom método para conduzir com êxito a luta pela vida.

O músico tenta traduzir em notas as emoções e os sentimentos humanos. Os cibernetistas pretendem traduzir em números todas as situações que a máquina de calcular terá que enfrentar. A teoria matemática dos jogos conferiu ao ordenador electrónico uma outra especialidade, a mais espantosa, que é, segundo parece, a especialidade do jogador.

Recordemos, uma vez mais, aos que não consideram um jogo um assunto sério, que, na teoria dos jogos, nós entendemos pelo vocábulo «jogo» não o simples passatempo inocente de jogar aos dados, às cartas ou ao dominó. Por «jogo» podemos considerar uma guerra, uma caça ou a luta pela vida, esta mesma luta em que o vencedor se tornou o dono incontestável da Terra — o homem.

### *Adivinha*

Assim, uma máquina-jogadora... Os estudantes americanos gostam muito do jogo das «duas moedas». Difere do jogo vulgar da coroa ou cara pelo facto de não se basear unicamente no acaso mas

no de os dois jogadores tentarem mostrar-se cada um mais esperto que o outro.

Um dos jogadores (Tom) poussa a moeda sem que o seu parceiro (Heck) possa ver a face que ficou assente. Heck faz o mesmo. Em seguida os jogadores descobrem simultâneamente as duas moedas. Se as faces forem idênticas Tom ganha a partida, senão quem ganha é o Heck. O jogo da coroa ou cara não exige qualquer aptidão especial, pois cada face da moeda aparece por acaso. Pelo contrário, no jogo das «duas moedas» o vencedor é o que souber melhor penetrar a psicologia do seu adversário.

E foi nesse jogo psicológico que participou a máquina!

A teoria dos jogos recomenda nestes casos que se proceda do modo seguinte: não subestimar o seu adversário, não supor que é uma cabeça de alho chocho, mas considerá-lo tão esperto como vocês. Não procurar enganá-lo mas seguir o jogo baseando-se no puro acaso, colocando a moeda duma maneira completamente aleatória. É certo que não poderá pretender ganhar muito, mas em contrapartida você está seguro de não perder muito, por muito astuto que seja o seu adversário. A hipótese mais provável será assim um resultado nulo, porque o jogo é equitativo para os dois antagonistas.

Mas se tentar ganhar mais e afastar-se da sua estratégia «optimal», o adversário pode adivinhar o seu desígnio e castigá-lo severamente pela sua leviandade.



Na verdade os jogadores de duas moedas não seguem habitualmente essa tática. Cada um deles tenta ser mais esperto do que o outro. Suponhamos que na primeira jogada as suas faces sejam idênticas, ambas, e que Tom tenha ganho. À segunda jogada Tom pensa: «Ganhei ao apresentar cara e Heck ficou conhecedor disso. Ele vai escolher certamente coroa desta vez. Vou causar-lhe uma pequena surpresa, jogando também coroa, de modo que as duas moedas coincidam!» Mas se Heck for mais esperto que Tom, saberá esta manobra e pode ganhar, escolhendo cara. A terceira jogada terá um carácter psicológico ainda mais acentuado porque os dois adversários conhecem o resultado das duas primeiras partidas.

E no entanto por muito subtis que sejam os planos respectivos, ambos escolherão quer coroa, quer cara, por não haver outra hipótese.

### *Um desafio sensacional*

Decide-se substituir um dos jogadores por uma máquina. É certo que, para o efeito, as moedas foram substituídas por lâmpadas eléctricas. Se a máquina escolher cara, a lâmpada acende, se escolher coroa a lâmpada apaga-se. Ela pode registar na sua memória o resultado das partidas anteriores. Durante o jogo analisa as partidas e tenta descobrir a estratégia psicológica do seu adversário humano. (Por exemplo, depois de ter ganho duas partidas conse-

cutivas, pode passar ou de cara à coroa, ou escolher cara à terceira vez).

Um grande número de pessoas participam neste jogo contra a máquina. O resultado definitivo das inúmeras partidas jogadas (cerca de dez mil) foi a favor da máquina 5 218: 4 577.

Os matemáticos calculam que a probabilidade para que um tal resultado seja devido não à habilidade da máquina mas unicamente às flutuações do acaso é da ordem de um décimo bilionésimo. Isso significa que a vitória da máquina não é um efeito do acaso mas provém realmente do seu hábito de jogar!

A história da máquina que joga «coroa-ou-cara» não fica por aí. Claude Shannon, o criador do teseu cibernético, elaborou outra máquina para jogar este jogo, mais simples e mais móvel.

Após longas controvérsias sobre as qualidades respectivas das duas máquinas, organizou-se um desafio entre ambas. Os admiradores fizeram as suas apostas e aplaudiram ruidosamente as vitórias do seu favorito.

Cada uma das máquinas tentava descobrir o esquema do jogo da outra e logo que uma o conseguisse, o adversário começava a perder e via-se na obrigação de mudar de tática. A máquina de Shannon, mais maleável e mais eficaz, ganhou o desafio contra o adversário mais lento.

Um desafio deste género é na verdade um espectáculo pouco vulgar. Mas que necessidade temos de construir tais máquinas? Que utilidade pode haver em elas ganharem aos humanos as partidas de cara ou



coroa ou o jogo das «duas moedas»? Será que o homem ensina as máquinas a jogar com um fim puramente desportivo?

Claro está que não! A máquina jogadora de que falámos é capaz de se adaptar às condições ambientes, de assimilar a psicologia do seu parceiro de jogo. Ela não comporta contudo mais que uma centena de *relais* enquanto que a formiga mais estúpida possui mais de duzentos *relais* nervosos, ou neurónios, e o homem mais de dez biliões!

### *A classificação dos jogos*

Já falámos do vasto domínio de aplicação da teoria dos jogos. Ela engloba o jogo de futebol e a luta política, o jogo de dominó e as relações económicas. Não é por acaso que no prefácio da tradução russa do livro de J. Williams «A estratégia perfeita», o célebre ciberneticista I. Poletacv escreveu: «Não é exagerado afirmar que a teoria dos jogos constitui a base matemática da arte militar».

É certo que todos os jogos que enumeramos diferem bastante uns dos outros. A teoria dos jogos distingue os jogos finitos e infinitos segundo o número de estratégias de que dispõem os jogadores. Os jogos diferem igualmente pelo número de participantes e a soma dos ganhos. No jogo de damas ou no jogo de xadrez a soma dos ganhos é exactamente igual à das perdas; estes jogos são também chamados jogos de soma nula. No decurso duma guerra, duma

caça, duma pesca, a vitória de uma das partes e a derrota da outra não são iguais. Eis porque estes jogos são designados por jogos de soma não nula.

Diferenciam-se igualmente os jogos de azar e os jogos de estratégia. O jogo de cara ou coroa é um exemplo típico de jogo de puro azar. Pelo contrário, os jogos estratégicos dependem da habilidade dos jogadores (o xadrez, quase todas as competições desportivas e em geral a maioria dos jogos). Uma das características mais importantes do jogo é a informação que os protagonistas recebem sobre o desenrolar do jogo. Esta informação pode ser incompleta (jogo de informação imperfeita) como é o caso no jogo de dominó. Existem igualmente outros jogos ditos de informação perfeita entre os quais figuram jogos muito complicados tais como o xadrez e jogos primitivos como o jogo das «cruzes e dos pontos».

### *O «Dicionário do jogo»*

Não é difícil ensinar a máquina a jogar um jogo de informação perfeita. Desde que conheçamos todas as soluções possíveis do jogo, podemos introduzi-las na «memória» da máquina, isto é, compor o «dicionário do jogo». Quando a máquina joga pode consultar o dicionário e escolher a melhor jogada face a uma situação determinada. Porque podemos igualmente inscrever esta jogada na memória da máquina.



Para o jogo das «cruzes e dos pontos» não é difícil registar todas as variantes do jogo e precisar a melhor jogada para cada situação possível. Em princípio isso é também possível para o xadrez. Contudo... desde o primeiro lance, as brancas podem jogar de vinte maneiras diferentes: dezasseis com os peões e quatro com os cavalos. As pretas podem responder igualmente de vinte maneiras diferentes. Isso já perfaz 400 variantes possíveis.

Mas isso é apenas o começo. Aos dois primeiros lances correspondem mais de 160 000 variantes possíveis. Aos três primeiros, mais de 64 milhões. O número de variantes cresce em progressão geométrica. Uma partida comporta em matéria 40 a 50 jogadas. O número de variantes possíveis durante a sua duração exprime-se pela unidade seguida de 116 zeros!

Bem entendido, não se trata de constituir um «dicionário de jogo» para um tal número de variantes. A teoria dos jogos demonstra que durante o período da existência real dum homem não é possível prever o jogo integralmente. Contudo, para os seres que tenham uma existência bastante longa ( $10^{100}$  séculos) o jogo de xadrez pareceria tão simples e predeterminado como o é para nós o jogo das «cruzes e dos pontos». Se as pretas ou as brancas cometem uma única falta ao primeiro, ao segundo ou ao quadragésimo segundo lance perdem, ou então verifica-se um desafio nulo. Felizmente para o jogo de xadrez, a idade do homem não é de  $10^{100}$  séculos, mas de  $10^2$  anos, um século, e este jogo não corre

o risco de ser classificado um dia entre os jogos primitivos que servem para divertir as crianças. Contudo...

### *Uma carreira pouco vulgar*

O primeiro torneio no qual participou o jogador de xadrez de nome algo estranho, o Sr. Robotov-Semionov, era um torneio de principiantes. Tendo ganho 70 % das partidas, este jogador de xadrez principiante tomou parte no torneio dos jogadores da quinta categoria. Comporta-se honrosamente e classifica-se ao nível dum jogador de quarta categoria.

Decorreram alguns meses. O nosso jovem jogador de xadrez obteve o direito de participar no torneio dos jogadores de primeira categoria. Um ano depois, tendo saído vencedor da meia-final do campeonato da U.R.S.S., Robotov-Semionov atingiu a final. Nesta, tendo ganho 15 partidas em 17 e concedido dois desafios empatados, foi consagrado campeão de xadrez na nação mais forte do mundo no jogo de xadrez. Nenhum jogador de xadrez alcançara até então uma soma tão grande de vitórias.

Durante o torneio dos pretendentes ao título de campeão do mundo Robotov-Semionov perdeu apenas uma só partida, tendo reparado que em nove jogadas o seu rei podia ter sido posto perpétuamente em cheque. Pelo contrário, ganhou todas as outras vezes e foi uma vez mais proclamado vencedor.



O desafio para o título supremo realizou-se na Primavera do ano seguinte. Todas as atenções se concentravam nele, não só da enorme plêiade de amadores do jogo de xadrez, mas também dos matemáticos, engenheiros, escritores que aguardavam o resultado com impaciência.

O resultado foi conhecido após as dezasseis primeiras partidas. O resultado definitivo do torneio foi de 12,5: 3,5 a favor de Robotov-Semionov. Contudo o vencedor não foi celebrado com grandes pompas. Os jornalistas não se apressaram em o entrevistar a fim de lhe perguntarem o segredo dos seus métodos de treino. O novo campeão não foi felicitado pelos seus amigos e admiradores. Tal conspiração de silêncio não se podia atribuir ao facto de o novo campeão ter um carácter execrável ou tímido ou mesmo demasiado modesto.

Não, o facto é que Robotov-Semionov não era um homem mas uma máquina de jogar o xadrez construída no Instituto Nacional de Cibernética em 19...

### *Os Robots-Jogadores de xadrez*

Naturalmente que tudo o que acabámos de dizer é do domínio da pura ficção. Nenhum jogador de xadrez cibernético conheceu essa carreira triunfal. Mas em que medida esta ficção está longe da realidade?

Não tentemos resolver por nós próprios o problema da máquina jogadora de xadrez. Ouçamos

antes a opinião do ex-campeão do mundo Mikhail Botvínik, tanto mais que ele acumula com as suas actividades xadrezistas os títulos de doutor em ciências técnicas e de engenheiro em electrónica. Qual é a opinião abalizada deste campeão duplamente especialista?

«A máquina poderá enfrentar com êxito os mestres porque possui uma excelente memória e um sangue frio total, será indiferente ao entusiasmo da sala e às críticas acerbas dos jornalistas especializados... O que acabámos de dizer não é do domínio da ficção. Com o tempo, quando as máquinas obtiverem o título de grande-mestre internacional, será necessário organizar dois campeonatos do mundo, um para os humanos, outro para as máquinas», escreve Botvínik no seu artigo «Os homens e as máquinas no xadrez».

A primeira máquina-jogadora de xadrez apareceu há cerca de duzentos anos. Foi criada em 1769 pelo húngaro Farkacs Kempelen. O princípio era muito simples. Um homem hábilmente escondido no interior manobrava os ponteiros.

Há alguns anos um jogador autómato deste género surgiu também na América.

Numa exposição na Califórnia mostrava-se uma máquina que jogava o jogo de damas.

Era quase impossível ganhar-lhe uma partida. O próprio campeão dos Estados Unidos teve de se contentar com um jogo empatado. Contudo os ciberneticistas continuaram cépticos. A máquina jogava muito bem e era de dimensões bastante reduzidas. Após um minucioso inquérito descobriu-se o segredo



do seu funcionamento. Um jogador dirigia-a à distância.

Evidentemente, não é dum similar «princípio de acção» do jogador-máquina que estivemos a falar.

Eis uma partida de damas jogada por uma verdadeira calculadora electrónica. O seu adversário era o programador que comentou do mesmo passo a partida (No jogo de damas americano, as damas não podem voltar atrás mais do que uma casa, e os simples peões não podem recuar).

Branças — a máquina, pretas — o homem.

1. a3-b4 b6-c5 2. b2-a3 f6-e5 3. g3-h4 b6-g5. Uma tentativa da minha parte, o único sacrifício voluntário dum peão que concedi. Fizera mal em pensar que esta jogada era completamente isenta de perigo.

4. hxf6 (g5) e7xg5 (f6) 5. e3-d4! Um golpe que eu não tinha previsto 5... c5xe3 (d4). 6. d2xh6 (e3;d5). Melhor que f2xf6 (e3;e5) 6... a7-b6 7. c1-b2. Uma jogada ao acaso, testemunha da ausência de plano construtivo. 7... b6-c5 8. f2-g3 c5-d4 9. g3-f4. Uma outra jogada ao acaso e cuja significação é nula. Na realidade não foi má. 9... e5-g3 (f4) 10. h2xf4(g3) d4-e3 11. e1-f2. Má jogada. No fim de contas permitiu-me fazer dama. A jogada c3-d4 teria sido melhor. 11... e3.d2 12. b4-a5 d2-e1. Dama. 13. f2-e3 e1-d2?

Um descuido da minha parte. 14. g1-f2! Um golpe explorando ao máximo o meu erro. 14... d2xb4 (c3) 15. a3xe7 (b4;d6) d8xf6 (e7) 16.f4.e5 f6xd4 (e5) 17. e3xc5 (d4) g7-f6 18. c5-b6 c7-d6 19. b6-a7 d6-e5 20. f2-g3. Má jogada: abre o caminho da dama.

20... e5-d4 21. g3-f4 d4-e3 22. a5-b6 e3-d2 23. b6-c7. Sacrifício para fazer dama. Excelente jogada, mas que era impossível antes de ter sido feita ao acaso a jogada a5-b6. 24. a7-b8. Dama. d2-c1. Dama. 25. b2-c3 c1-b2 26. c3-d4 f6-g5? Outro descuido da minha parte. 27. a1xc3 (b2) g5xe3 (f4) 28. c3-d4 e3-d2 29. b4-a5 d2-c1. Dama. 30. b8-a7. Jogada sem finalidade. Para o fim da partida a tática é pior. 30... c1-d2 31. a7.b8 d2-c3 32. b8-c7. Muito tarde. 32... c3xe5 (d4) 33. a5-b6 f8-e7 34. c7-b8. Jogada inútil: O jogo termina assim porque o resultado é claro: partida empatada.

### *O quadro das preferências*

Como joga a máquina? Com efeito, não se pode criar um dicionário do jogo, sendo o número de variantes muito elevado. Resta apenas uma única via possível: elaborar para a máquina os princípios da sua estratégia. Por exemplo, no princípio do jogo fazer avançar os peões. Ao meio do jogo assegurar a superioridade material e de posição; ao fim do jogo realizar esta superioridade. Os jogadores de xadrez seguem exactamente estes princípios. Formulando-os na linguagem da máquina, esta poderá assim escolher de cada vez a jogada que satisfaz melhor às exigências da estratégia.

A linguagem das máquinas é a dos números e como tal será preciso avaliar pelos números cada posição do jogo de xadrez.



Um dos maiores jogadores de xadrez do mundo, o grande mestre checo Ricardo Reti, escrevia: «A força do jogo de xadrez é a força da faculdade de avaliação».

O jogador de xadrez avalia a posição sem descontos quantitativos. A máquina utiliza para isso o quadro seguinte:

Rei	200 pontos	Peão	1 ponto
Rainha	9 »	Peão da rectaguarda	0,5
Torre	5 »	Peão isolado	0,4
Bispo	3 »	Peão duplo	0,3
Cavalo	3 »		

Além destes «coeficientes de ponderação» das figuras, a máquina tem em conta igualmente a mobilidade, o número de casos no tabuleiro que se encontram sob a ameaça de cada peça. A máquina tenta escolher cada jogada de modo a conquistar uma posição com avaliação elevada. Contudo parte do princípio de que o seu adversário não é menos inteligente do que ela. Eis porque tende a executar as jogadas de modo a minimizar a avaliação da posição do adversário.

É claro que a máquina não se satisfaz em efectuar as avaliações; verifica também as posições triviais, se o rei não está em cheque, se não há concentrações, se as peças não estão ameaçadas, e só depois dessa verificação ela escolhe o golpe seguinte.

Apesar da sua vasta «memória», da sua velocidade fantástica (várias dezenas de milhares de operações por segundo), as computadorras electrónicas

modernas não podem avaliar com antecipação senão duas ou três jogadas. O número de variantes é demasiado elevado e a máquina deve examiná-las todas. O homem, pelo contrário, não examina senão as variantes plausíveis, racionais. Vamos agora estudar duas partidas jogadas pela máquina contra um homem.

### *Análise de duas partidas*

Branças — a máquina, pretas — o homem.

1. e2-e4 e7-e5 2. Cb3-c3 Cg8-f6 3. d2-d4 Ff8-b4  
4. Cg1-f3 d7-d6. 5. Fc1-d2 Cb8-c6 6. d4-d5 Cc6-d4.

Até aqui nada de extraordinário. Tanto o homem como a máquina executam o princípio. Contudo na sétima jogada a máquina enfraqueceu a sua posição, porque não «compreende» os elementos principais do jogo de posição.

7. h2-h4? Jogada sem qualquer finalidade. É certo que numerosos jogadores neófitos procedem frequentemente deste modo 7... Fc8-g4. É agora difícil de caçar o bispo com o peão h2-h3. O homem tira partido da fraqueza do jogo da máquina. 8. a2-a4? A mesma coisa do flanco da rainha. Uma outra jogada sem finalidade. 8... Cd4xf3+9. g2xf3. Fg4-h5 10. Ff1-b5+! Já é melhor! As pretas devem perder, ou a possibilidade de fazer o roque ou dois peões. 10... c7-c6 11. d5xc6 o-o 12. c6xb7 Ta8-b8 13. Fb5-a6. Tendo ganho os dois peões, a máquina não quer cedê-los ao adversário. 13... Dd8-a5 14. Dd1-e2 Cf6-d7 15. Th1-g1 Cd7-c5 16. Tg1-g5. As



brancas atacam. 16... Fh5-g6 17. Fa6-b5. Teria sido melhor recuar o bispo em c4, para avançar em seguida o peão em h5. 17... Cc5-b7 18. o-o-o Cb7-c5 19. Fb5-c6? Porquê? A máquina dispõe de um ataque quase insustentável sobre o flanco do rei. Contudo parece que ela não «vê» este ataque.

19... Tf8-c8 20. Fc6-d5 Fb4xc3 21. Fd3xc3 Da5-a4 22. Rc1-d2. Covardia incompreensível. O cheque em a1 com a rainha não era de recear. Em vez destes «tactamentos» a máquina deveria passar resolutamente ao ataque. 22... Cc5-e6. Vemos que o homem se orienta melhor no seu lugar do que a máquina. 23. Tg5-g4 Ce6-d4 24. De3-d3 Cd4-b5 25. Fd5-b3 Da4-a6 26. Fb3-c4 Ff6-h5 27. Tg4-g3 Da6-a4 28. Fe4xb5 Da4xb5 29. Dd3xd6?? Esta jogada vem arruinar todas as esperanças da máquina. A demasiada prudência e a avareza sórdida da máquina fizeram-lhe perder a partida 29... Tc8-d8.

As brancas perdem a rainha. A partida decorre sem esperança para a máquina e traduz-se numa derrota sem esperar que ela se renda.

O jogo dos dois adversários, tanto do homem como da máquina, não é brilhante e deixa a desejar. Ambos cometeram erros e não encontraram as melhores jogadas. A máquina previa as posições com a antecipação de uma ou de duas jogadas. Uma armadilha tão elementar não teria êxito se a máquina tivesse sido um nadinha mais «previdente».

Pelo contrário, a máquina americana IBM-704 conseguiu a sua desforra na partida contra um jogador principiante.

Branças — IBM-704, pretas — jogador principiante, 1. e2-e4 e e7-e5 2. Ff1-b5 Cg8-f6 3. d2-d4 Cf6-g4? O cavalo do jogador principiante está ameaçado! A máquina não tarda em tomar peça. 4. Dd1xg4 c7-c6. 5. Fb5-c4 jogada infeliz, depois d5 com o peão as pretas podem reconquistar uma peça. 5... Dd8-a5+? Jogada absolutamente inútil 6. Fc1-d2 Da5-a4?? 7. Fc4-d3? Avançado o peão em b3 pode «tomar» a rainha das pretas. 7... Da4xd4 8. Cb1-c3 g7-g6 9. f2-f4 Ff8-h6 10. f4xe5 Fh6xd2+ 11. Re1xd2 Dd4xe5 12. Cg1-f3 De5-e6 13. Dg4xe6+d7xe6 14. e4-e5 0-0 15. h2-h4 Cb8-d7 16. h2-h4. A posição das pretas não tem saída.

A máquina é pois da força dum jogador principiante, de modo que está longe de pretender o título de campeão do mundo. Não se pode, realmente, esperar que no curso dos próximos anos venha a ser da força dum mestre. Para o jogo de xadrez uma simples avaliação quantitativa é insuficiente. Parece ser necessário, neste caso, ter em conta leis muito mais subtis.

O homem aperfeiçoa progressivamente o seu jogo. Não é possível construir uma máquina capaz de aprender? Pode-se educar a máquina?





## VI

### O QUE É A LETRA «A»?

#### *Conta ou problema técnico?*

Se até aqui o leitor tiver lido atentamente este livro, saberá responder por si próprio à última pergunta do capítulo anterior. Sim, a máquina é capaz de aprender.

Os animais cibernéticos: a tartaruga Cora, o rato Teseu, a máquina vencedora do desafio do jogo das «duas moedas», demonstraram-no duma maneira conveniente e clara.

Se a máquina é capaz de aprender, não será possível construir máquinas que possam elaborar por si mesmas os programas das suas próprias acções? Ou então máquinas de tal espécie que os construtores não tenham que quebrar a cabeça para os elaborar desde que elas mesmas se encarreguem de aperfeiçoar a sua construção e eliminarem os seus defeitos do decurso da exploração?



À primeira vista estas perspectivas parecem mais próximas do conto de fadas que do domínio da técnica.

Na realidade, temos que lidar todos os dias com sistemas «auto-organizados». É de nós mesmos que se trata: todos os seres vivos realizam a sua «auto-programação» e a sua «auto-organização».

Quanto aos contos de fadas, é certo que o funcionamento das máquinas cibernéticas «independentes» oferece à nossa técnica perspectivas verdadeiramente fantásticas.

### *Uma máquina «cabeçuda»*

A primeira tentativa para criar um sistema artificial auto-organizado é devida ao ciberneticista-biologista inglês U. R. Ashby que construiu um dispositivo chamado «homeostato».

Em primeiro lugar que significado tem esta expressão? Muito antes do nascimento da cibernética, os fisiologistas tinham introduzido a noção científica de «homeostasia». Dizia respeito à actividade dos órgãos dos animais.

A homeostasia é a adaptação de cada órgão do animal a um fim determinado visando a manter um certo equilíbrio no organismo. Por exemplo, a manutenção duma certa temperatura interna do corpo e das outras actividades automáticas do organismo constituem fenómenos da homeostase.

O dispositivo construído por Ashby mantinha igualmente um certo equilíbrio, não só no interior

dum organismo vivo, mas entre os núcleos de quatro electroímans.

O número de estados possíveis abrangidos pelo dispositivo era bastante elevado, cerca de quatrocentos mil. Mas o dispositivo não se encontrava em estado de equilíbrio senão num número de estados muito restrito. O homeostato era aferido ao acaso num dos seus quatrocentos mil estados possíveis e então iniciava a sua actividade independente. O dispositivo encarregava-se de encontrar por si próprio o seu estado de repouso, de equilíbrio...

Passava com perseverança e método dum estado ao outro, mudava a direcção e a ordem de sucessão das suas tentativas até alcançar o fim desejado, o estado de equilíbrio. Assim como o escrevia um ciberneticista conhecido: «O dispositivo comportava-se como um gato adormecido que é despertado bruscamente, e que, tendo retomado uma posição mais cómoda, volta a dormir».

### *Como diferenciar «A» de «B»?*

Porque é que é muito mais fácil criar um autopiloto que um autómato-motorista?

Não será possível criar um dispositivo para automóvel que conduzisse o carro nas ruas da cidade do mesmo modo que os autómatos modernos pilotam os aviões?

Verifica-se que não é fácil. No céu não se encontram cruzamentos, nem luzes vermelhas, nem peões indisciplinados, de modo que se se confiasse a um motorista cibernético o cuidado de conduzir um au-



tomóvel, este, mantendo um «rumo» fixo de ante-mão produziria inevitavelmente uma catástrofe.

A solução é clara. É preciso ensinar o motorista-autómato a distinguir os sinais de trânsito. É necessário ensiná-lo a reduzir a velocidade nas encruzilhadas, a não esmagar os transeuntes distraídos que se dirigem cegamente em direcção à «luz verde». Noutros termos, é necessário ensinar a máquina a distinguir as formas: distinguir os homens dos objectos em redor, as casas dos outros objectos.

Mas como poderá isso ser feito?

Teremos que recorrer de novo a uma analogia com o cérebro humano.

Porque somos obrigados a distinguir Pedro de João? Como distinguimos a letra «a» da letra «b», independentemente dos caracteres com os quais elas são escritas? Quais são os índices que permitem ao homem distinguir as formas? Com efeito, nem as dimensões da forma nem os pormenores desempenham um papel determinante. Uma vaca pode ser grande ou pequena, ter ou não ter chifres, mas não a confundimos com uma cabra ou um cavalo. Porquê?

A psicologia moderna não pode dar uma resposta exacta a esta pergunta. A distinção das formas constitui ainda um dos múltiplos segredos do nosso cérebro.

Como poderíamos dar à máquina um programa que lhe permita distinguir as formas uma da outra quando nós próprios não sabemos de que modo o fazemos!

## *Segundo o abecedário*

O computador electrónico encontra-se ligado ao ecrã do «autómato-leitor que lhe serve de «olho» e de «memória». Mostra-se-lhe como a um aluno da primeira classe a letra «a» e diz-se-lhe premindo um botão: «Fixa bem! A letra que vês é a letra «a». A linguagem da máquina é a linguagem dos números. E a máquina traduz nesta língua a quantidade de linhas de que se compõe a letra, a sua curvatura, etc.

Na sua memória-ecrã, um sector especial fica ligado a isso: «Domínio da letra «a».

Mostra-se em seguida à máquina a mesma letra «a», mas escrita com um outro tipo e «pergunta-se»: «Que letra é esta? É ou não a letra «a»?

Se a máquina se engana, é corrigida, obrigando-a a lembrar-se: esta letra é também a letra «a». A máquina reorganiza a sua memória de modo a incluir o novo carácter no domínio da letra «a».

À medida que se prossegue a aprendizagem, a representação da máquina relativa à letra «a» e às formas da sua escrita torna-se mais precisa.

Como qualquer aluno, a máquina aprende as suas próprias faltas. A sua capacidade de distinguir as letras depende da sua própria «inteligência», da sua «memória» e da perícia do seu educador.

Até hoje as máquinas modernas aprenderam a decifrar com êxito as letras e os números de diversas escritas. Os ciberneticistas põem a estas máquinas um problema mais difícil: a decifração de letras



e números, mesmo quando a sua grafia é muito má. É frequente o próprio homem hesitar a pronunciar-se: será isto um «a» ou «o», um «t» ou um «d»? Quantas dificuldades não encontramos nós para decifrar uma caligrafia «de gato»!

### *O «olho» da máquina*

Comecemos pelo caso mais simples. Já existe uma máquina capaz de «ler» os números escritos à mão nos cheques.

No futuro as máquinas, tendo tido uma aprendizagem adequada, poderão decifrar, sem risco de errar, qualquer escrita, mesmo a mais difícil.

O homem poderá assim dar as suas ordens à máquina sob uma forma escrita; ela fará então por si mesma a decifração e a tradução das palavras em linguagem de máquina.

Mas não é somente sob uma forma manuscrita que se pode transmitir ordens à máquina? Não se pode ensinar-lhe também a linguagem oral? Verifica-se que também isso é possível.

Do mesmo modo que cada pessoa tem uma caligrafia própria, há milhões de pronúncias diferentes para a linguagem oral. E no entanto apesar de todas as variações de pronúncia, compreendemos a linguagem falada tão bem como a escrita. Na conversação, bem como nas letras escritas, existem sons constantes, os fonemas. E se se ensina a

máquina a distingui-los, ela saberá compreender a linguagem falada, não obstante todas as diferenças individuais que comporta.

A primeira máquina chamada «Andrey» distinguia os algarismos de zero a nove quando pronunciados por uma voz de homem, mas fazia-se surda às vozes de mulher e de criança.

Contudo as formas não se limitam unicamente às letras e aos números. A nossa vista, o nosso cérebro recebem do mundo uma concepção figurada.

Nós vemos a mão e não o contorno da palma, do punho e dos dedos. Vemos o dedo e não uma combinação formada por unhas e falanges. Essa é a faculdade da percepção humana: ver os objectos como entidade, como imagem e não como soma de pormenores isolados.

Mas, escreve o ciberneticista Y. Sokolovski, «se a máquina pode aprender a distinguir a letra «a» da letra «e» qualquer que seja a escrita em causa, será possível em princípio ensiná-la a distinguir um cão dum gato, a despeito da grande variedade de raças e de pelagens. Se isso for possível, por que não se poderia ensinar uma máquina dotada dum «olho fotoeléctrico a dar a descrição do que ela «vê» diante de si?»

Numa palavra, a máquina poderia ser dotada duma «vista» não mecânica mas figurada, humana. Ela possuiria neste caso não só um simples órgão de visão contemplando passivamente o quadro do mundo que se lhe oferece, mas conseguiria igualmente perceber este mundo.



## *O crítico mais objectivo*

O homem recebe do mundo não só uma percepção objectiva mas também uma percepção subjectiva, emocional, ponderada. A arte pictural do homem é uma excelente amostra desta avaliação. Uma mesma paisagem, um campo ou um bosque toma na tela de Cézanne, de Monet, de Poussin, de Matisse, de Lorrain, de Picasso, de Derain, de Manessier, de Robert, um reflexo muito diferente! Os artistas dum outro país, da Holanda ou da Alemanha, dariam a esta mesma paisagem um «tratamento» artístico ainda mais diverso. Entretanto a paisagem objectiva, «fotográfica», será absolutamente a mesma!

Não se poderá ensinar a máquina a distinguir as formas duma grande beleza das formas feias, não artísticas?

À primeira vista isso parece ser uma tarefa fantástica: imaginem com efeito uma máquina no papel de crítico de arte, um dispositivo cibernético sem alma, embora auto-organizado.

E contudo... A máquina distingue a letra «a» das outras letras do alfabeto. Na sua memória ela armazenou uma certa noção geral relativa a todas as letras «a» independentemente do seu tipo.

Não se poderá ensiná-la da mesma maneira a distinguir as letras caligrafadas das letras garatu-  
jadas?

Não pudemos formular exactamente os índices que permitem distinguir a letra «a» das outras letras do alfabeto. Com mais forte razão, não podere-

mos dar uma descrição exacta das letras caligrafadas.

No entanto poderemos educar neste sentido a máquina! É verdade que a máquina terá neste caso necessidade não dum só mestre mas de vários. A noção do belo é diferente nas diversas pessoas, como recorda aliás o adágio bem conhecido: «os gostos e as cores não se discutem».

Quanto maior for o número de mestres encarregados de educar o gosto da máquina, menor será a margem de subjectividade que subsistirá nas suas apreciações independentes, de modo que ela se aproximará o máximo dum julgamento objectivo.

Os gostos de cada pessoa são necessariamente «individuais». São duma maneira ou doutra influenciados pela educação e a instrução que recebe o «avaliador». Pelo contrário, a apreciação estética da máquina, que terá sido educada durante um período de tempo suficientemente longo, exprimirá uma verdadeira opinião pública porque ela será elaborada com o concurso de centenas de pessoas.

Um exemplo ainda mais espantoso de máquinas «independentes» é o da máquina de decifrar o sentido.

### *Na via da elaboração duma máquina automática*

Numa das suas comunicações científicas o director do instituto de cibernética de Kiev, Victor Gluchkov, avançou a ideia da programação da indução matemática. Para traduzir este pensamento em linguagem vulgar, pode-se afirmar que se tratava de criar uma máquina-matemática. Uma máquina assim



deveria encarregar-se sòzinha de examinar os teoremas, os exercícios e os problemas matemáticos e de encontrar-lhes a solução.

É extremamente difícil consegui-lo. Para isso é necessário resolver uma imensidade de problemas, os mais diversos, lógicos, linguísticos, matemáticos. Um deles, por exemplo, apresentava-se assim: criar uma máquina capaz de distinguir uma frase com sentido duma frase desprovida dele. À primeira vista o problema parece insolúvel: como se poderia obrigar uma máquina desprovida de consciência a compreender o sentido das palavras e das frases?

No entanto os ciberneticistas de Kiev sob a direcção de Anatoli Stogni conseguiram ensinar a máquina a decifrar o sentido das frases. Vejamos como o fizeram.

Tomava-se primeiramente um grupo de palavras de significado muito diverso: marinheiro, kolkoziano, areia, madeira, água, estaleiro. Do mesmo modo escolhia-se um grupo também heterogéneo de verbos: pensar, fluir, cozer, ter, etc. Tomava-se além disso um grupo de palavras acompanhadas de preposições (à, no, etc.). Em seguida construía-se frases com essas palavras. O sujeito era escolhido entre as palavras do primeiro grupo, os verbos no segundo grupo, e o complemento no terceiro.

Dava-se a «ler» à máquina várias frases deste género, indicando-lhe sempre as que dentre elas tinham um sentido, e as que estavam desprovidas dele.

Por exemplo a frase «o marinheiro pensa no barco» é sensata, ao passo que «A areia faz cozer na tábua» não o é.

A máquina «lia» várias dezenas de frases deste género e distribuía ela própria as palavras em «classes» particulares.

Isolou deste modo a classe dos homens: o marinheiro, o estudante, o camponês podiam pensar e andar. Uma outra classe, a dos objectos fluídos, podia escorrer, fluir, vazar mas não andar ou pensar. Depois propôs-se à máquina que distinguisse quando uma frase dada possuía ou não um sentido. Se ela se enganasse, era corrigida. Os erros eram devidos geralmente ao facto de a máquina não ter efectuado correctamente a classificação das palavras. Por exemplo, obstinava-se em julgar desprovida de sentido a proposição «o engenheiro faz cozer», porque ela não tinha incluído a palavra «engenheiro» na classe das pessoas!

Esta experiência tinha sido conduzida com uma cinquentena de substantivos e dezasseis verbos. Espera-se aumentar na experiência seguinte o número de palavras até 256. Será bastante interessante ver se a máquina poderá distinguir os homens dos animais que não figuravam na primeira lista. Porque certos actos duns e doutros podem coincidir, por exemplo: pensar, falar, contar, escrever.

No futuro, a máquina poderá alargar o seu vocabulário graças aos conhecimentos adquiridos num domínio particular.

Por exemplo, uma máquina poderá penetrar as subtilezas do pensamento matemático, mas confundir uma ave e um avião, incluindo ambos na classe dos «seres voadores». Ao contrário, uma outra máquina, especializada em biologia, saberá distinguir uma ra-



tazana do campo dum ratinho doméstico ou duma rata, mas confundirá a aritmética e a cibernética englobando-as nas matemáticas. Não há nada de surpreendente nisso, pois que é muito frequente os próprios homens cometerem erros semelhantes. Só com uma grande experiência, adquirida após um longo período de aprendizagem, é que a máquina poderá repartir justamente as palavras em classes segundo o seu sentido.

Quando a máquina puder executar estas operações tornar-se-á num auxílio precioso do tradutor e uma maravilhosa ajuda para a memória.

### *A Torre de Babel*

Outrora, há longo, longo tempo, diz uma velha lenda, todos os povos do mundo podiam entender-se. Existia na Terra apenas uma língua. Os homens tomaram consciência da sua força e ousaram lançar um desafio a Deus. Resolveram construir uma torre tão alta que alcançaria o céu. Deus inquietou-se: «Se os homens dispuserem dum idioma comum, pensou, ser-lhes-á possível realizar tudo o que quiserem».

Descendo à terra, Deus teria anulado estes esforços insensatos pela confusão das línguas. A construção da torre não pôde ser levada a cabo porque as forças dos homens encontraram-se divididas.

Conquanto esta antiga lenda seja demasiado ingénua, o seu sentido principal é profundamente

justo. Quando os homens se compreenderem, podem realizar milagres.

Ninguém tentaria actualmente construir uma torre para atingir o céu. A exploração da abóbada celeste é enèrgicamente levada a efeito hoje pelos cosmonautas. Contudo não existe ainda um idioma comum a todos os homens. Parece mais fácil alcançar o céu do que criar uma língua universal.

Ora, a necessidade duma tal língua universal faz-se sentir imperiosamente. O número total de trabalhos impressos que a humanidade acumulou durante séculos eleva-se hoje a cem milhões de títulos. Publicam-se por ano no mundo cerca de sessenta milhões de páginas de literatura técnica. Para as arrumar seriam necessários trezentos quilómetros de prateleiras de bibliotecas!

Antes da invenção da imprensa os homens sofriam devido à falta de livros. Hoje já não é possível ler todos os livros mesmo no domínio dum só ramo da ciência. E eis ao que conduz a ignorância mútua do que se faz algures. Nos Estados Unidos demoraram cinco anos para elaborar um projecto dum dispositivo especial que absorveu duzentos mil dólares... E só depois vieram a saber que um dispositivo análogo tinha já sido realizado na U.R.S.S. mesmo antes de os americanos iniciarem os seus trabalhos. O artigo que relatava a construção deste dispositivo tinha sido publicado numa revista soviética e não fora traduzido em inglês. Uma ignorância que resulta muito cara!

Por isso é que «as pessoas que estudam as línguas, os lógicos, os engenheiros que projectam e



fabricam os calculadores electrónicos estão hoje empenhados em construir uma nova torre. Esta torre não deve atingir o céu, mas pode-se esperar que nos ajudará a reencontrar o império da força e da simplicidade no qual a livre comunicação entre os homens lhes é tão proveitosa para alcançar o fim comum»; esta nova torre, é a tradução mecânica. As palavras que acabámos de citar pertencem a um dos pioneiros do domínio da tradução mecânica, Warren Weaver.

### *As etapas da tradução*

Uma máquina de traduzir! Verifica-se que os ordenadores podem ser úteis ao homem num domínio tão subtil como o da tradução duma língua para outra.

Podem consegui-lo?

Mas de que maneira?

Abordemos estes problemas por considerações de princípio. Que desejamos nós saber quando traduzimos um texto estrangeiro?

Sem dúvida alguma, pretendemos estabelecer o sentido do texto. Isso significa que podemos considerar o texto em língua estrangeira como um texto na língua original escrito em código. Sendo assim, por que não utilizar a máquina para decifrar o código? Com efeito, sabe-se que durante a segunda guerra mundial os ordenadores electrónicos eram utilizados para decifrar as mensagens em código do inimigo!

O homem como a máquina não efectua a tradução espontânea. A primeira etapa da tradução é encontrar as equivalentes das palavras estrangeiras na língua materna. Os tradutores experientes fazem-no quase instantâneamente e poderia crer-se que traduzem directamente o sentido de cada frase. Com efeito, a diferença entre Pedro, o aluno da sexta classe, folheando febrilmente o seu dicionário para encontrar o significado em francês da palavra inglesa «one» e o tradutor profissional que tem de memória milhares de palavras e, em alguns centésimos de segundo pode encontrar o equivalente francês duma palavra inglesa, é apenas uma questão de tempo.

O ordenador pode efectuar este trabalho muito mais rapidamente que o tradutor mais experiente.

Contudo, a tradução não se limita a isso. Encontrar as palavras correspondentes, no dicionário, constitui apenas a primeira etapa.

Tomemos o exemplo da tragédia de Shakespeare «Henrique VI». Eis em primeiro lugar a tradução de Pierre Leyris e Henri Evans (a súplica de Rutland antes de morrer):

*Mas foi antes de eu ter nascido!*

*Tu tens um filho; por amor dele tem piedade de*  
[mim,

*Por temor de que por vingança da justiça divina,*  
*Ele seja assassinado tão miseravelmente como eu.*  
*Ah, deixa-me viver na prisão o resto dos meus*

[dias,

*E se porventura eu vier a ofender-te,*

*Manda-me então matar — porque agora não tens*  
[nenhum motivo.



Ao contrário, uma tradução literal teria dado:

*Mas foi antes eu nascido  
Tu tens um filho por seu amor piedade mim  
Por temor que na vingança Deus é justo  
Ele é como miserável morto como eu  
Ah deixa-me viver na prisão todos meus dias  
E quando eu dou ocasião de ofensa  
Então deixa-me morrer por agora tu tens não  
[razão.*

Vêem que a diferença é notável!

As palavras da língua estrangeira podem apresentar-se sob as formas gramaticais mais diversas. Podem mesmo exprimir-se por formas gramaticais inexistentes na língua materna. Por exemplo, em inglês a categoria gramatical do género dos substantivos não existe.

Uma única palavra pode ter muito sentidos diferentes. Tal é, por exemplo, a palavra «point».

Cada língua tem as suas expressões idiomáticas, intraduzíveis noutra língua. Por exemplo a expressão inglesa «a red herring» significa literalmente «um arenque vermelho». Na realidade, o sentido desta estranha combinação de palavras é bem outro. Significa muito simplesmente um «pato» (no sentido pejorativo).

Na selva das línguas estrangeiras, o sentido da frase pode servir-nos de guia. Permite-nos decifrar as complexidades gramaticais. Permite-nos também escolher, entre os inúmeros significados duma palavra, aquele que convém. Leva-nos a duvidar da existência dum «arenque vermelho» e a consultar

minuciosamente o dicionário para descobrir o seu verdadeiro significado.

Como ensinar tudo isto à máquina?

Os linguistas especializados no domínio da tradução mecânica têm de inventar os mais complexos algoritmos a fim de ter em conta todas as subtilidades da língua estrangeira. (Um algoritmo é um princípio de acção para resolver problemas de um determinado tipo. Por exemplo o algoritmo da elevação dum número ao quadrado consiste em multiplicar esse número por ele próprio. Existem algoritmos de investigação, de aprendizagem, de jogo. Toda a actividade intelectual para a qual se pode encontrar um algoritmo, pode ser resolvida pela calculadora electrónica.)

Mas existirá porventura uma outra via, mais simples e mais natural? Não será possível criar uma linguagem na qual se poderia traduzir directamente o sentido de qualquer frase de qualquer língua? «Talvez traduzir o chinês para o árabe, o russo para o português, signifique, não avançar pela via directa, mas andar às voltas, escreve Warren Weaver, eminente especialista de tradução mecânica. Talvez seja necessário descer de cada língua até à base comum da comunicação humana, até uma língua universal, ignorada até então, para voltar em seguida pela via mais cómoda».

### *À procura duma língua universal*

Os sábios dedicam-se, por diferentes vias, a criar uma tal língua. Os linguistas esforçam-se por criar uma «linguagem mecânica intermediária», na qual



e a partir da qual se poderia traduzir qualquer língua. Os filósofos e os lógicos sonham com uma «linguagem universal da ciência», graças à qual se poderia traduzir os dados dum ramo da ciência. Contudo, uma tal linguagem ainda não foi criada e as matemáticas só imperfeitamente a substituem. São elas certamente que servirão de base à elaboração da linguagem universal da ciência do futuro.

Afastámo-nos um pouco do nosso objecto. Voltemos à tradução mecânica e esforcemo-nos por elucidar de que maneira se pode transcrever o sentido.

Escolhamos uma frase simples: «O João vê um buldogue». Nas diversas línguas do mundo ela será interpretada diferentemente. Mas o sentido ficará inalterado, qualquer que seja a língua em que nos tenhamos exprimido. A criatura humana relacionando-se à classe dos homens, à categoria das crianças, sendo do sexo masculino e respondendo pelo nome de João, vê uma criatura viva da classe dos animais domésticos, da subclasse dos cães, da espécie buldogue.

São precisamente estas categorias de sentido e estas classes que se podem transcrever na «linguagem do sentido». Basta simplesmente para isso dotar cada classe, cada categoria, com um número de ordem determinado ou com um sinal.

Uma tal linguagem não é uma utopia falaciosa, nem uma invenção. Nos E. U. A., uma calculadora electrónica da Universidade de Massachusetts funciona à base desta linguagem. Bem entendido, não é possível fazer entrar aí a língua inteira, com todos os seus cambiantes, as suas subtilezas de sentido,

de que a nossa língua é tão rica, e ainda mais a dos poetas. A «linguagem do sentido» só é elaborada para a técnica.

### *A «Língua dos Marcianos»*

Eis como se exprime a palavra «telefone» na «linguagem do sentido» da Universidade de Massachusetts: DWcMLQcTMACHTURN.

Porquê? Muito simplesmente porque a palavra «telefone» significa: instrumento para a transmissão da informação por meio da electricidade. Noutros termos, ela é construída a partir de quatro noções simples: instrumento, transmissão, informação, electricidade. Estas noções simples são chamadas «cofactores de sentido». Estes não são numerosos e cada um de entre eles é assinalado com uma designação especial: instrumento M-ch, transmissão T-Rn, informação D-cM, electricidade L-cT.

Basta preencher agora os intervalos entre estas letras com os «sinais de relação» e a palavra telefone será escrita na linguagem do sentido. A letra A que se intercala entre M-ch significa a pertença do telefone à classe dos instrumentos. A letra U entre T-Rn significa que o telefone efectua uma acção. A letra W quer dizer que o telefone efectua uma acção sobre D-cM, isto é a informação, e enfim a letra Q significa que o telefone funciona por meio de electricidade. É assim que se obtém uma frase que parece provir da língua dos Marcianos. DWcMLQcTMACHTURN, instrumento para a transmissão da



informação, funcionando por meio de electricidade.

Os ordenadores funcionando à base de uma tal «linguagem do sentido» são chamados lógico-informadores. A sua principal tarefa não consiste em efectuar uma tradução mecânica, pois é muito mais criadora: eles elaboram críticas de livros ou de artigos, curtas anotações semelhantes às que se podem ler em certos cartões bibliográficos nas bibliotecas. Pois só no domínio da química imprime-se uma tal quantidade de artigos e de resumos, que seriam necessárias duas grandes malas para transportar as publicações aparecidas no decurso de um só dia.

### *Uma fonte ilimitada de conhecimento*

Pode ensinar-se à máquina não somente a «resumir» o conteúdo dos artigos, mas também a lembrá-los. À medida do desenvolvimento da técnica, da precisão e da «matematização» dos conhecimentos humanos, poderá introduzir-se na memória dum tal ordenador lógico-informador todos os teoremas, as fórmulas conhecidas e todos os outros dados, por outras palavras, conhecimentos enciclopédicos.

Tudo o que é do conhecimento dos homens, todas as informações que eles acumulam, será armazenado na memória da máquina e então ela poderá distinguir os conhecimentos verdadeiramente inéditos das repetições e das combinações de factos já conhecidos, sob uma forma nova.

Graças à máquina enciclopédica de conhecimento universal, os sábios poderão obter novas exactidões,

estabelecer novas analogias nos diversos processos da natureza, nas fórmulas, nas leis, etc.

A máquina não será somente um escritório de informações. Tornar-se-á também um consultor consciencioso, que não conhece a fadiga, não confunde nada e nunca se engana.

Os nossos sábios disporão então duma fonte de conhecimentos praticamente ilimitada. Isso traduzir-se-á antes de mais, numa imensa economia de trabalho intelectual.

Eis um exemplo desta economia. Os cálculos dos estatísticos estabeleceram que o número de empregados cresce muito mais rapidamente que o dos operários. Nos Estados Unidos o número de operários aumentou em trinta anos 53 % e o dos empregados 150 %!

A causa desta «décalage» de crescimento é simples. No decurso dos últimos cem anos a produtividade dos operários aumentou 14 vezes, a dos empregados de escritório, vez e meia.

Um verdadeiro exército de estatísticos, contabilistas, especialistas do «planning» estão empregados no tratamento da informação, cujas fontes são as mais diversas: desde os dados meteorológicos até aos relatórios dos Bancos de Estado.

As calculadoras electrónicas modernas permitiram a automatização dos trabalhos de escritório, que antes eram revolvidos de maneira inteiramente mecânica. Isso fez com que o pessoal de certas empresas pudesse ser reduzido de 10 a 15 vezes.

Contudo, isso é do domínio dos ordenadores simples. As máquinas lógico-informadoras ajudarão



a tratar a informação não somente com vista a facilitar o trabalho dos empregados de escritório, mas também em medicina, em geologia, em meteorologia, e no campo militar.

Já se construíram máquinas que efectuam previsões meteorológicas. É mais fácil diagnosticar as doenças. Se a previsão do tempo só é baseada numa quinzena de indícios, os sintomas, os sinais das doenças podem ser muito numerosos, até vários milhares.

A «memória» das calculadoras electrónicas actuais é ainda demasiado fraca para ter em conta todos. Isso não impede que em numerosos países do mundo, cibernetistas se dediquem febrilmente a elaborar um médico electrónico que saiba estabelecer o diagnóstico rapidamente e sem erro.

Contudo, uma profissão ainda mais surpreendente que a de médico, abre-se às máquinas cibernéticas.

Os ordenadores electrónicos tomam lugar entre os «artistas independentes», aos quais é devolvida uma função criadora.

## VII

### ARTE E CIBERNÉTICA

#### *Um violoncelo no congresso de... matemáticas*

Uma pessoa que por acaso se encontrasse no IV Congresso Nacional dos Matemáticos Soviéticos, que teve lugar em Leninegrado no mês de Julho do ano de 1961, teria verificado com estupefacção, que os matemáticos apresentavam relatórios sobre as tabelas de taxis, sobre a organização das estações de máquinas-ferramentas, sobre os problemas de tradução e sobre a estratégia do jogo de xadrez. Contudo, o assombro deste participante neófito atingiria o cúmulo ao ouvir sons melodiosos dum violoncelo ressoando sobre as cúpulas do Instituto de Minas. O doutor em ciências físico-matemáticas, R. Zaripov, apresentava uma amostra de melodia composta pela... calculadora electrónica «Ural»! É verdade, a mais comum calculadora electrónica, de resto pouco rápida (100 operações por segundo), compôs diversas melodias e até algumas peças musicais em três partes. No mesmo dia, no congresso, no



edifício da filial de Leninegrado da Academia das Ciências da U.R.S.S. calorosas polémicas se levantaram para decidir se se podia «confiar» à máquina o cuidado de compor poesias e a que ponto a criação da futura máquina-poeta está distante de nós.

Arte e cibernética... Uma tal combinação não poderia surpreender, desde que soubemos da existência das «máquinas-jogadoras de xadrez», das «máquinas-tradutores», das máquinas-economistas» e das «máquinas de decifrar o sentido».

### *A «Arte cibernética»*

Nos primeiros anos das investigações empreendidas no domínio da tradução mecânica, os ciberneticistas fizeram-se a seguinte pergunta: «Se a máquina pode traduzir, não poderia criar?» A «arte cibernética» não se fez esperar...

A «poetisa» electrónica Calliope, criada pelos ciberneticistas franceses, já escreveu diversas narrativas e poesias. A calculadora electrónica da Universidade de Harvard, nos Estados Unidos, já compôs perto de seiscentos hinos novos. As máquinas cibernéticas elaboraram vários cenários de filmes e de peças de teatro. Em 1956, a execução da «Suite Illiak» (para quarteto de cordas), composta por uma calculadora electrónica, teve um grande sucesso. As alegres cançonetas «A bela comandada por botões» e «carreguem no botão de Berta», cujos autores electrónicos figuravam no título destas canções, fo-

ram mesmo difundidas na rádio. É verdade que só a música tinha sido composta pela máquina, as palavras foram escolhidas em função desta.

Resultava assim que diante das calculadoras electrónicas se abria um vasto campo de acção, numa esfera de actividade tão intimamente humana como a criação artística.

### *Pastiche ou incoerência*

Quando a primeira sensação de surpresa, aliás muito compreensível, que o homem sente ao ler os versos ou ouvir a música composta por um ordenador se dissipa, a comparação entre a arte da máquina e a arte do homem está longe de ser a favor das calculadoras electrónicas. Duvido muito que a leitura deste trecho, composto por Calliope, em prosa, vos encante: «Meu horizonte compõe-se apenas duma portinhola vermelha de onde sobe em lufadas um calor asfixiante. Só se distingue com dificuldade a silhueta mística duma mulher, orgulhosa e terrível: deve ser uma senhora de categoria, uma das estações. Parece que faz as suas despedidas. Não vejo mais nada e dirijo-me para as cortinas que os meus dedos afastam úmidamente.»

Não se poderia, bem entendido, comparar semelhantes obras às dos escritores célebres.

A música primitiva, composta pelas máquinas, não resiste a qualquer comparação com a música dos compositores célebres. Os cenários dos filmes de «cow-boys» escritos pelas calculadoras electrónicas



estão longe dos de «Dolce Vita» ou de «A Balada do soldado».

Tudo que foi realizado pelas máquinas electrónicas no domínio da criação artística não se relaciona na verdade, com a arte. Não passa dum pastiche, uma cópia cega ou, o que ainda é pior, uma acumulação de incoerências.

«A máquina-criadora é extraordinariamente obtusa e primitiva e não poderia ser capaz senão de imitação ou de criação incoerente», pensam regra geral as pessoas que tiveram conhecimento da produção «artística» das máquinas electrónicas. Mas será assim?

### *Actividade criadora e cibernética*

Trata-se não sòmente do que existe, mas também do que é possível: em todos os planos possíveis na economia, em todas as estratégias possíveis na teoria dos jogos. Naturalmente pode-se muito bem sustentar que todas as obras de arte, todas as sinfonias geniais ou banais, todos os versos talentosos ou mediócrs, todos os quadros realistas ou abstractos, todos os romances apaixonantes ou mortalmente enfadonhos estão já... escritos!

A arte para o homem é tanto a sua tomada de conhecimento do mundo, como um meio de exprimir a sua individualidade própria ou os sentimentos e os desejos dos outros.

Por outro lado, dum ponto de vista físico, as obras de arte: poesia, canção, quadro ou filme, só existem como combinações de cores, de sons,

de letras, de sequências. O número destas combinações, ainda que muito grande, não é infinito.

Escolhamos o exemplo da arte musical. Os materiais de que se serve o compositor na sua actividade criadora são os sons, e o ouvido humano possui um diapasão determinado de audibilidade. Não distinguindo nem os ultra-sons nem os infra-sons. Como não existem obras musicais de comprimento infinito (as mais longas de entre elas duram apenas algumas horas), pode-se concluir que o número de todas as obras musicais, e, por analogia, o de todas as obras de arte, é finito.

Assim, do ponto de vista da cibernética, a actividade criadora está ligada a um problema de escolha entre as combinações de sons, de palavras, de cores, entre a quantidade colossal, mas no entanto finita, de todas as combinações possíveis. Eis porque, em definitivo, o importante não é saber quem efectua esta escolha, o homem ou a máquina, mas sim *o que foi escolhido*, qual a combinação concreta.

Não pensem que isso seja simples. O número de todas as obras de arte possíveis é excessivamente grande. Por exemplo, o número de poesias escritas em língua russa, utilizando quatrocentas letras (umas dezasseis linhas apenas) não é da ordem do milhão ou do bilião, mas exprime-se por uma cifra astronómica: a unidade seguida de cem zeros.

Se mesmo a humanidade inteira se dedicasse a escrever poesias à velocidade de uma por segundo, seriam necessários milhões de biliões de anos para esgotar esta quantidade inconcebível de versos possíveis.



## *O critério de qualidade na arte*

Mas esta situação não lhes lembra qualquer coisa, assim como a monstruosa grandeza desta cifra? Com efeito, o número de todos os planos económicos possíveis, como o número de variantes do jogo de xadrez é desta ordem de grandeza superastronómica. Aqui, no domínio da arte, como no domínio do jogo de xadrez ou da economia, trata-se de encontrar certos métodos de investigação, certos processos de escolha apropriados. Se adoptássemos o método da enumeração cega de todas as variantes, correríamos o risco de atingir biliões e centenas de biliões de anos antes que a máquina descobrisse qualquer coisa de razoável.

Existem na economia tais métodos de escolha. No jogo de xadrez, o problema do «melhor lance» só foi resolvido pela metade: a máquina calcula o melhor lance considerando todas as possibilidades com antecipação de dois ou três lances, enquanto que os jogadores de xadrez experientes são capazes de prever as consequências eventuais dez jogadas antes. Eis porque o computador electrónico é hoje um economista perfeito, mas um jogador de xadrez medíocre.

No domínio da arte, a máquina é totalmente desprovida de talento. E eis porquê: nós sabemos formular «valorações» em economia (por exemplo, pode avaliar-se a qualidade do traçado futuro duma via férrea segundo o volume dos trabalhos de terraplanagem que será necessário realizar). No jogo de xadrez é muito mais difícil avaliar a qualidade duma posição: um peão tem por vezes mais valor do que

a Rainha. Ora, o jogo de xadrez não é senão um jogo limitado pelas 64 casas do tabuleiro.

Quão complexas são as formas de valoração utilizadas pelos poetas, os compositores, os pintores!

Estas valorações da qualidade, graças às quais o autor escolhe precisamente uma obra de arte *determinada* no conjunto colossal de todas as obras de arte *possíveis*, existem indubitavelmente. Sem isso nós não saberíamos distinguir os versos insípidos das poesias geniais, os quadros de mestre das borradelas desajeitadas.

A arte como arte não poderia existir, se qualquer combinação de palavras, de cores ou de sons, constituísse uma obra de arte!

### *Poeta, escolar e... calculador electrónico*

Do ponto de vista do cibernetista, ocupando-se não de casos reais mas de casos possíveis, o autêntico poeta, o verzejador de calções Joaquim e a calculadora electrónica são iguais. Todos os três escolhem uma poesia entre o conjunto colossal de todas as poesias possíveis. Contudo, o poeta soube escolher versos que provocam unânimemente um profundo sentimento de satisfação estética. Os versos de Joaquim, o poeta imberbe, se bem que muito apreciados pelos seus amigos, não sensibilizam um auditório mais vasto. Quanto aos versos da calculadora electrónica, mostram-se completamente desprovidos de sentido, ainda que as regras da versificação sejam escrupulosamente observadas.



Porque se verifica uma tal desigualdade em presença de possibilidades iguais?

É evidente que cada um deles possui o seu próprio critério de qualidade da poesia, o seu «programa de acção próprio».

A bagagem de palavras do poeta comporta várias centenas de milhar de palavras. O de Joaquim é bem menor, alguns milhares no máximo (na nossa conversação usual empregamos apenas algumas centenas de palavras). A calculadora electrónica, essa, registou nas células da sua «memória» um número de palavras muito inferior ao do escolar.

O «programa de escolha» do poeta laureado é baseado nas tradições seculares da poesia nacional e mundial, na compreensão e «percepção» da sua época e da sua cultura nacional, na sua intuição exaltada da língua materna. Esta «intuição da língua», como aliás as outras qualidades, está muito menos desenvolvida em Joaquim. Além disso, a sua experiência da vida é absolutamente irrisória.

O poeta electrónico é inteiramente desprovido duma tal experiência, assim como da intuição da língua e da compreensão do sentido da poesia que compôs. Com efeito, o programa da sua actividade criadora reduz-se às ordens do tipo «tomar a palavra da célula 00101 da memória e colocá-la a seguir à palavra da célula 00100».

O «poeta electrónico» está muito longe do verdadeiro poeta, e mesmo o nosso amigo Joaquim, o versejador, lhe é ainda inacessível.

## *A «Canção muda da alma»*

É muito mais fácil para a máquina compor música: com efeito, ela não comporta frases e possui um sentido determinado, que toda a gente compreende duma maneira unívoca. Não se poderia afirmar com segurança que uma dada combinação de sons exprime o amor da pátria e que uma outra condena os elementos parasitas da sociedade. O «sentido» da música encontra-se na sua acção emocional, sentimental sobre o homem, e não na decifração dos sons pela substituição das palavras correspondentes. Não é por acaso que Leon Tolstoi chamou à música a «canção muda da Alma». É muito pouco verosímil que os compositores compreendam da mesma maneira a sua própria música durante uma semana ou mesmo um dia. Que dizer então dos seus auditores!

No entanto ninguém pensaria em dançar ao som duma marcha fúnebre ou em chorar ao ouvir um trecho exuberante de música de jazz. A música provoca em quase todos sentimentos semelhantes.

Em tal caso, poder-se-ia, «aprofundando o processo de conhecimento da natureza humana, desvendando as leis da acção da música sobre o psiquismo do homem, ensinar a máquina a compor uma ária correspondente a um dado texto. Este trabalho é realizável em princípio», escreve R. Zaripov num artigo consagrado à «experiência de programação da música, com o auxílio do computador «Ural».



Com efeito, quando dispusermos de critérios de escolha adequados, a máquina poderá compor música alegre ou triste, sem sentir por isso alegria ou tristeza. Pelo contrário, os seus auditores humanos experimentarão esses sentimentos! E quanto mais profundas e severas forem as nossas exigências, mais profundo será o conteúdo da música elaborada pelo compositor electrónico.

### *A máquina-compositor*

É verdade que hoje essas exigências são ainda excessivamente modestas. Nós podemos exigir da máquina que ela escreva num dado tom e utilize diversas formas de notas tão frequentes como são utilizadas no género de música que desejamos.

Eis o mais simples exemplo deste tipo de actividade criadora da máquina.

O calculador electrónico avaliou quantas vezes se encontrava nos 37 hinos de certos países, compostos em diversas épocas, por diferentes compositores, as notas da gama «dó, ré, mi», etc. interpretando as notas de duração diversa como sendo notas diferentes. Depois perguntou-se à máquina de calcular (isso não é difícil para um calculador que efectua milhares de operações por segundo) quantas vezes aí se encontrariam as combinações de duas, três, quatro, cinco, seis, sete e oito notas diferentes.

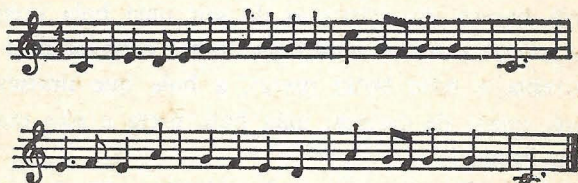
Após ter estudado a estrutura dos hinos, a máquina pôs-se a compor os seus próprios hinos, auxi-



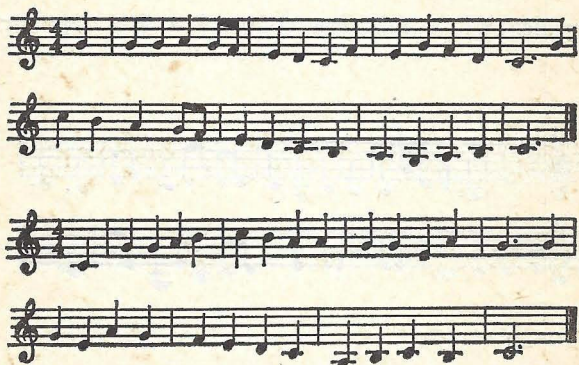


O número de combinações não naturais, não harmônicas é aqui muito elevado e isso não é surpreendente. Para compor música, conhecer a frequência das diversas notas, é pouquíssimo.

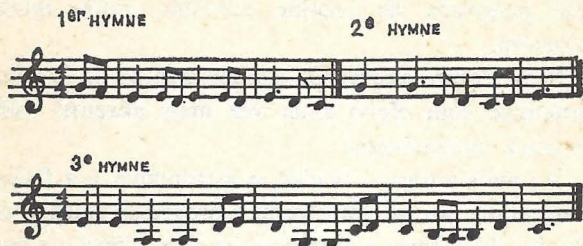
Quando se tem em conta os laços entre duas notas vizinhas, a música torna-se muito mais harmônica:



Quando se tem em conta as correlações entre quatro e seis notas, obtêm-se hinos absolutamente conformes aos hinos verdadeiros:



E quando se tem em conta as ligações entre oito notas vizinhas, a actividade criadora da máquina transforma-se em... imitação:



Melodias deste género são inteiramente idênticas a certas partes dos hinos «verdadeiros». No entanto, isso explica-se não por uma inclinação do computador electrónico para plagiar as celebridades, mas simplesmente pelo facto de numerosas combinações de oito notas não se encontrarem senão uma única vez nos hinos verdadeiros. Naturalmente, a máquina repete-as na suas «obras».

### *A «Medida da Arte»*

Já dissemos que a música composta pelo computador electrónico não suporta de maneira alguma a comparação com a que é criada pelo compositor. A máquina pode, no entanto, a partir de hoje, imitar as obras escritas segundo os cânones determinados. Com efeito, da mesma maneira que ela não precisa



conhecer as matemáticas superiores para resolver as equações diferenciais, também não precisa de «sentir» a realidade para compor obras de arte. Basta dotar a máquina dum programa de escolha da obra *desejada*, de entre o conjunto das obras possíveis. Este programa de escolha continua ainda muito primitivo.

Será sempre assim? Os conhecimentos do homem tornam-se com efeito cada vez mais exactos, cada vez mais matemáticos.

As mais antigas ciências, a astronomia e a física, começaram por se transformar progressivamente de ciências descritivas e aproximativas em ciências exactas; depois, sobretudo no decurso do nosso século, a biologia, a psicologia, a economia e a linguística, enveredaram para a matematização.

A ciência da arte seguiu igualmente esta via: no decurso destes últimos anos, os métodos matemáticos encontraram aplicação em estética. A «apreciação» da arte com a ajuda de critérios quantitativos é por vezes chamada *estetometria*.

Quanto mais profundo for o nosso conhecimento da arte, maiores serão as exigências que formularemos relativamente à actividade criadora das calculadoras electrónicas e mais a arte que elas criam possuirá um conteúdo estético elevado.

### *Nas fronteiras da ficção*

Imaginem uma máquina de autoprogramação, semelhante às de que falámos no capítulo precedente. Ela não tem necessidade dum programa de acção

detalhado. Basta formular-lhe as exigências impostas e ela própria encontrará a solução. Com efeito, se conseguirmos formular na linguagem exacta da máquina as exigências que formulámos a respeito das futuras obras de arte, a própria máquina procurará a maneira de satisfazer essas exigências. Por outras palavras, ela criará uma obra de arte.

Nenhum artista humano poderá jamais criar tudo aquilo que ela *teria podido*. Quantas maravilhosas obras de arte deixaram de nascer devido a insuficiência de tempo ou outras causas «humanas». Pelo contrário, uma máquina de autoprogramação poderá funcionar vinte e quatro horas por dia e milhões de vezes mais rapidamente que o cérebro humano.

Claro, uma máquina deste género pertence actualmente ainda ao domínio da ficção. Não é senão no futuro que se poderá descobrir o que se pode e o que não se pode ligar à «linguagem do Universo», as matemáticas.

Não deixa de ser menos verdade que actualmente as máquinas, ainda que insuficientemente «inteligentes» para realizar um trabalho criador independente, podem servir de auxiliares do homem, libertando-o da servidão dos trabalhos mecânicos e insalubres.

Os calculadores electrónicos podem ser não somente «matemáticos», mas também perfeitos «economistas», bastante bons «jogadores» (recordemos o jogo das «duas moedas»), tradutores, sem falar das funções de navegador, de «dispatcher», de contabilista e de piloto, de que se desempenham de maneira honrosa.



Qualquer forma de actividade humana pode ser executada com sucesso pelo computador electrónico, bastando que saibamos traduzir as nossas exigências na linguagem das cifras da máquina.

Mas será possível traduzir tudo nessa linguagem?

Serão todas as manifestações do pensamento humano susceptíveis de ser formalizadas e ligadas a certas regras de acção determinadas, a algoritmos?

E se o homem transmite com a sua perseverança de ano para ano as suas funções, mesmo as mais complexas à máquina, não se poderá criar um dia uma máquina inteligente capaz de pensar?

Onde está pois a fronteira entre o homem e a máquina?

## VIII

### SERÁ A MÁQUINA CAPAZ DE PENSAR?

#### *Perguntas difíceis*

A humanidade não cessou, desde sempre, de acalentar sonhos. Muitos dentre eles já estão realizados: ligações milagrosas de mares e montanhas, viagens nas profundezas dos oceanos, voos no cosmos.

Há contudo problemas e descobertas científicas que jamais ocorreram e nem teriam podido ocorrer ao espírito dos nossos ancestrais. Teriam parecido demasiado fantásticos e até ridículos aos homens do passado.

Citemos por exemplo...

O vasto anfiteatro da Universidade de Moscovo registava nessa clara manhã de 6 de Abril de 1961, uma afluência considerável. Um homem enérgico, de estatura média e cabelos prateados, declarava na tribuna:



«Conhece-se o interesse que apresenta a pergunta: será que as máquinas podem reproduzir-se e aperfeiçoar-se no decurso deste processo de auto-reprodução? Será que as máquinas podem sentir emoções? Será que as máquinas podem desejar qualquer coisa e pôr-se novos problemas que não lhes foram postos pelos seus construtores?»

Sim, foi assim que foi formulada a pergunta: Poderá a máquina pensar?

Mas se vocês lerem atentamente os capítulos precedentes, esta pergunta não deve ser inesperada para vocês. Seguindo as etapas do desenvolvimento das máquinas cibernéticas, aproximámo-nos delas. Com efeito, se o homem e a máquina agem segundo o princípio da acumulação, da transmissão e do tratamento da informação, por que esta última não efectuaria este tratamento da informação da mesma maneira que o cérebro humano?

Não existe aqui nenhum tabu, nenhuma incoerência e nada que se oponha às leis da natureza. Basta que ponhamos o problema: poderá a máquina pensar, para que deparemos imediatamente com as perguntas seguintes:

O que é o pensamento?

O que é a máquina?

A estas perguntas, a ciência contemporânea não pode dar resposta exaustiva. Eis porque voltamos a este anfiteatro da Universidade de Moscovo, onde um dos maiores matemáticos soviéticos, o académico Andrei Kolmogorov, prossegue o seu relatório «Os autómatos e a vida».

*Pode-se criar artificialmente uma criatura inteligente?*

Esta pergunta põe-se sob uma forma muito mais simples e tradicional: pode-se criar criaturas artificiais capazes de se reproduzirem, de evoluírem progressivamente para as formas superiores, de sentirem emoções, de possuírem uma vontade e uma faculdade de pensamento que se manifeste em todas as subtilezas possíveis?

...A elaboração de criaturas vivas altamente organizadas ultrapassa as possibilidades técnicas de hoje... No entanto, é importante compreender claramente que no quadro da ideologia materialista não existe qualquer argumento de princípio que exclua uma resposta positiva à nossa pergunta...

Com efeito, a natureza, sem ter qualquer objetivo determinado, por uma combinação puramente aleatória dos hidrocarbonetos e de outros elementos, criou a vida. Durante a evolução da vida, sem a intervenção de qualquer força estranha ou do além, apareceu o homem, a única criatura pensante no nosso planeta.

Porque não admitir que esta criatura pensante saberá criar artificialmente «irmãos racionais»? «Estamos profundamente convencidos de que a matéria... com a mesma imperiosa necessidade com que destruirá na terra a sua flor mais bela, a alma pensante, deverá recriá-la num outro lugar e numa outra época», escrevia Friedrich Engels há uma centena de anos.

Mas porque deveria o homem esperar passivamente a época em que a natureza criará outras cria-



turas pensantes? Isso implicará milhões e talvez até biliões de anos. Porque é que o homem, o senhor incontestado do planeta, que em regra não se contenta com os favores que lhe concede a natureza, não criaria com as suas próprias mãos, graças à sua razão, criaturas artificiais pensantes? Que causas, que forças, que argumentos lho poderiam impedir?

### *Os cépticos incorrigíveis*

As pessoas inclinadas a duvidar de tudo, a negar as possibilidades do conhecimento do mundo pelo homem, replicam mais ou menos da seguinte maneira: Não digam asneiras! O homem é um homem e a máquina é uma máquina. Foi sempre assim e será sempre assim. Nenhum construtor, por muito hábil que seja, poderia criar artificialmente uma criatura viva e muito menos pensante. Isso não pode ser porque... porque nunca poderá ser.»

Que este estranho argumento não vos surpreenda. Não é de hoje nem de ontem nem de há um século, mas de há muitos milénios...

«Não procurem penetrar as leis da natureza, é um terrível segredo dos Deuses», tal era a forma deste argumento nos alvares da humanidade.

«Podemos conhecer as leis físicas, mas não sabermos jamais os segredos da vida. Ela é movida pela «força vital», imaterial, invisível, inacessível ao homem», foi assim que se transformou este argumento até que Galileu, Copérnico, Newton, Lomonossov penetraram numerosos segredos das «estrelas, das águas, dos movimentos, do fogo».

Passaram séculos. Darwin descobriu as leis da evolução. Mendel penetrou o segredo da hereditariedade, Timiriazev desvendou o enigma da clorofila. Muito recentemente, em 1960, os químicos sintetizaram a clorofila. E parece que não está longe o dia em que se obterá em laboratório as primeiras combinações da vida e, talvez até, as criaturas vivas mais simples.

«Que os sábios descubram os segredos da vida, seja, mas jamais penetrarão o enigma do pensamento, porque só o homem dispõe da razão, só ele recebeu uma alma imortal, imaterial», tal é a forma que recebeu este argumento na sua última redacção.

Ora, os trabalhos do grande fisiologista I. Pavlov marcaram os primeiros passos na via que permite refutar definitivamente este argumento secular, o argumento da impotência, do cepticismo perante a ciência, o argumento da impossibilidade do conhecimento e da «santidade» do mundo, da vida e do pensamento do homem.

Toda a história da ciência, toda a evolução do pensamento humano vêm progressivamente refutá-lo. Não existem enigmas eternos, misteriosa «coisa em si» que desapareceria sem deixar traço quando submetida à análise científica.

*Não estamos sós no Universo*

A razão pode tudo, mesmo elaborar uma outra razão, artificial mas semelhante a ela própria!

Os ciberneticistas do futuro que realizarão isso, infligirão ao idealismo um golpe terrível e decisivo.



Com efeito, a cibernética é, de certo modo, uma espécie de manual de materialismo. Ela demonstra, para além do plano teórico, com exemplos concretos muito significativos, que um fenómeno tão complexo e espantoso como o pensamento, não comporta em si nada de sobrenatural, de misterioso e cujo conhecimento nos seja inacessível.

A faculdade de pensar é uma das propriedades da matéria altamente organizada. E se a matéria se pôde organizar espontâneamente no decurso dum processo que durou milhões de anos, a organização consciente da matéria, a elaboração de criaturas pensantes artificiais é *a fortiori* possível.

Quanto às objecções dos ignorantes, elas são, como muito bem notou o matemático inglês Turing, as objecções do avestruz que esconde a cabeça sob a asa.

É inegável que o homem ocupa o lugar mais elevado na natureza.

Mas sejamos modestos. O nosso planeta não é privilegiado.

O nosso Sol não é mais que uma estrela vulgar, das mais comuns, entre biliões de estrelas que conta a Galáxia.

A própria Galáxia não é qualquer coisa de excepcional, mas um fenómeno vulgar na Metagaláxia, que compreende uma quantidade incontável de aglomerações de estrelas deste género.

Pensar que o homem é o coroamento da criação, a criatura mais inteligente e mais avançada do Universo, é pura e simplesmente absurdo.

E porque este ponto de vista do avestruz se assemelha à convicção ingénua de certos habitantes das longínquas ilhas da Oceania que, não tendo nunca encontrado outros seres humanos, pensavam que a sua tribo constituía toda a humanidade e que eles próprios eram os únicos seres humanos na Terra e no Universo.

Admitimos que na imensidade do cosmos possam habitar criaturas inteligentes. No entanto, é muito possível que o primeiro contacto com as criaturas dotadas de razão, não pertencendo à espécie humana, tenha lugar não no cosmos mas no nosso planeta. Travaremos conhecimento com as criaturas pensantes artificiais cujo criador será o homem.

#### *A máquina está longe de poder fazer tudo*

Os matemáticos vieram participar nesta discussão. «A máquina não pode fazer tudo, dizem eles. Para resolver numerosas tarefas não se podem encontrar «regras de acção», algoritmos para a máquina». Eles citam o seguinte exemplo: o matemático soviético P. Novikov demonstrou que era impossível resolver por algoritmos o problema chamado da «identidade de certas palavras», o que lhe valeu o Prémio Lenine.

Admitamos. Mas se a máquina não pode resolver o problema com a ajuda de algoritmos, também o homem não o pode fazer desta maneira! É inegável que as possibilidades da máquina são limitadas. Bem, mas por outro lado, as possibilidades humanas não



são sem limites, se se tem em conta as possibilidades de cada indivíduo e de cada máquina, tomados em separado.

Não se pode afirmar categòricamente que o homem não pode correr 100 metros em menos de nove segundos ou saltar uma barra colocada a uma altura de dois metros e meio. Mas não deixa de ser verdade que nenhum habitante da Terra pôde fazê-lo até hoje. Contudo, a elevação contínua do nível dos records mundiais em atletismo é uma prova convincente de que no futuro os mais velozes atletas poderão correr os cem metros em menos de nove segundos e os mais lestos saltadores mais de dois metros e meio.

As máquinas modernas estão longe de poder pensar, mas a cibernética só existe há duas dezenas de anos. Se num lapso de tempo tão reduzido o homem soube ensinar a máquina a ler e a escrever, a planificar e a traduzir, que perspectivas aliciantes não nos abre num futuro próximo!

### *Liberdade e necessidade*

As máquinas funcionam segundo um programa, enquanto que o homem é livre nas suas acções. Isso será assim?

Primo, existem máquinas que elaboram elas próprias o seu programa de acção (lembrem-se do «homeostato»).

Segundo, a diferença de princípio entre as acções do homem e da máquina não é muito grande. O ho-

mem e a máquina estão submetidos, ambos, às leis do mundo material. Hegel exprimiu muito bem o que é a liberdade: o conhecimento da necessidade. No comportamento do homem, nem tudo pode ser submetido a uma análise. Contudo, não se pode sempre prever integralmente as actividades de numerosas máquinas cibernéticas.

A maioria das máquinas modernas funciona segundo um programa «rígido», que prevê todas as eventualidades possíveis e as respostas correspondentes.

Presentemente, o objectivo primordial da cibernética é precisamente criar máquinas de autoprogramação que, como os homens, baseariam as suas decisões em certas noções gerais. Lembrem-se por exemplo da distinção das formas: a máquina distingue as letras, seja qual for o tipo empregado, guiando-se unicamente pelas noções gerais da escrita. Se se engana, tomará em conta este engano para a letra seguinte e modificará a sua «representação» deste sinal. Quanto mais longo for o período de aprendizagem, mais exacta será esta representação.

As máquinas que distinguem as formas e os outros sistemas de auto-aperfeiçoamento vêm desmentir a ideia de que a máquina não pode aprender nem aperfeiçoar-se, que ela não sabe nada além do que o programador lhe deu. As máquinas podem não somente aprender, mas também encontrar por si próprias as regras de acção. Assim, em 1958, o calculador IBM.704 encontrou sozinho a solução dum problema, segundo um programa especial, tendo feito alguns milhares de tentativas infrutuosas, depois



prosseguiu na solução de problemas análogos, baseando-se unicamente no método que tinha descoberto.

*Será a máquina capaz de actividade criadora?*

Que podemos dizer a respeito da faculdade de «actividade criadora» da máquina? O homem é capaz de sonhar, de inventar, de formular problemas e de os resolver. A máquina será capaz disso?

Albert Einstein, o mais ilustre físico do século XX, respondia da seguinte maneira: «Faça o que fizer a máquina, sejam quais forem os problemas que possa resolver, ela não poderá jamais formular um único».

Este argumento parece à primeira vista irrefutável.

E no entanto... não é bem assim! Se a máquina pode resolver qualquer problema, poderá igualmente resolver o problema que consiste em formular problemas. As máquinas cibernéticas actuais não formulam problemas, em grande parte pela simples razão de que o homem tem bastante que fazer com os que ele próprio põe, mesmo no que respeita aos problemas de importância capital.

Mas que dizer então da fantasia, do espírito de invenção, deste filão criador, que todo o indivíduo possui em maior ou menor grau? Será possível que a máquina também o possua?

Por estranho que isso possa parecer, sim! Nenhuma actividade criadora pode sair do nada. O

mundo onde vivemos é material e toda a actividade criadora é transformação da matéria e não sua criação. Molière não elaborou a língua francesa e Fídias não criou o mármore de Paros. Mas estes geniais criadores souberam escolher uma tal sequência de palavras, uma tal combinação de volumes que inúmeras gerações de homens consideraram e consideram ainda como obras-primas imortais da arte. A máquina teria podido igualmente efectuar esta escolha; teria bastado para isso encontrar o respectivo programa. Ora, nós não o conhecemos, não só para a máquina, mas também para o homem. Bastaria descobrir o «algoritmo do génio», os programas de acção aos quais obedecem consciente ou inconscientemente os criadores de génio, e todos os homens se poderiam tornar um.

Incrível?

Impossível?

Mas de facto, porque é que João tem génio e Pedro não? A causa residiria nas diferenças biológicas da estrutura do cérebro? Um tal argumento deve ser imediatamente rejeitado: o cérebro de Turgueniev pesava mais de dois quilos, o de Anatole France duas vezes menos. A bagagem de palavras de todos os poetas do século XX era aproximadamente a mesma e no entanto não existiu um poeta tão original como Maiakovski. E todas as tentativas para escrever «à Maiakovski» abortaram. Apesar de o grande poeta ter composto um artigo intitulado «Como escrever poesias», ele levou para o túmulo o segredo da sua arte.

A fantasia, a arte criadora, é a combinação de



elementos conhecidos, seguindo uma ordem que ainda desconhecemos. A máquina e o homem são igualmente capazes disso.

No Egipto antigo o nível das matemáticas era tão baixo, que a adição das fracções simples era, por assim dizer, uma tarefa de génio. Nos nossos dias, qualquer aluno da 6. classe pode fazê-lo. Talvez no futuro a maior parte dos homens atinja, graças a uma psicologia exacta e à «ciência do homem», as alturas da actividade criadora, acessível hoje unicamente a alguns privilegiados entre biliões de seres humanos.

*Poderá a máquina generalizar?*

Antes de ensinar a máquina a inventar, é preciso primeiro verificar-se se ela é ou não capaz de generalizar. Poderá operar com noções abstractas?

Já vos contámos como a máquina consegue imaginar a forma abstracta duma letra ou dum algarismo. Basta acrescentar que não somente os homens e as máquinas «inteligentes» mas também os ratos, possuem a faculdade de abstracção na sua forma mais simples. Podem acreditar, os ratos mais vulgares!

Fez-se uma curiosa experiência. Pôs-se o rato diante dum écran com duas aberturas, que eram fechadas com folhas de cartão, nas quais estavam desenhadas diversas figuras geométricas. O alimento do rato encontrava-se atrás dum triângulo cujo vértice era virado para cima. O rato aprendeu a distinguir

este triângulo, apesar de lhe modificarem de todas as maneiras os lados e a cor. Aprendeu assim a distinguir-os não só dos quadrados, dos losangos e dos trapézios, mas até mesmo dos triângulos cujo vértice estava virado de lado e para baixo.

Mas voltemos à máquina. Poderá ela elaborar hipóteses?

A esta pergunta podemos resolutamente responder pela afirmativa! A melhor prova disso é a existência duma máquina-médico, que estabelece o diagnóstico. Compulsando todos os dados relativos às diversas manifestações da doença, a máquina determina-lhe o carácter provável, o que lhe permite fazer o seu diagnóstico.

Quando um médico estabelece o diagnóstico duma doença, ele esforça-se por esclarecer todas as circunstâncias e todos os sinais dessa doença. Depois, comparando os dados obtidos, determina qual a doença que aflige o paciente.

Com efeito, a máquina-médico procede do mesmo modo. O médico electrónico da Exposição das Realizações da economia nacional de Moscovo determinava 96 doenças, segundo diversos indícios e recomendava os remédios apropriados.

Eis um outro facto curioso. O cibernetista francês François Péchat organizou uma competição original entre um homem-médico e uma máquina-médico, que conhecia 800 sinais duma afecção da córnea.

Segundo as declarações do doente, o médico tinha avançado uma hipótese quanto à doença de



que o paciente sofria. A máquina, essa, tinha avan-  
çado cinco hipóteses verosímeis. Quatro dentre elas  
não tinham sido observadas pelo médico.

Todos estes exemplos mostram que as máquinas  
cibernéticas são capazes de generalizar factos, de  
avançar hipóteses.

### *Que pensar das emoções?*

Poderão as máquinas sentir emoções?

Antes de responder a esta pergunta, comecemos  
por precisá-la. Existem emoções puramente huma-  
nas, ligadas à consciência: o desdém, o ciúme, a  
 piedade, a ira, etc. Mas há também outras emoções  
que quase todos os representantes do mundo animal  
sentem: o medo, a cólera, a inquietação. Bem enten-  
dido, não é difícil dotar a máquina de emoções  
deste género. Os animais cibernéticos, mesmo os mais  
primitivos, possuíam-nas numa certa medida.

Assim, a máquina pode em princípio criar e  
sentir emoções (ainda que primitivas), aprender, es-  
colher independentemente o seu próprio programa  
de acção e compreender o sentido das frases (de  
que falámos no capítulo consagrado aos sistemas  
de auto-aprendizagem). Mas poderá concluir-se que  
a máquina possui uma consciência?

Claro que não!

As abelhas constroem os seus favos com tanta  
economia, que fariam inveja a qualquer architecto.

E no entanto, quem ousaria contestar as palavras de Karl Marx estabelecendo a infinita superioridade do pior arquitecto sobre as mais hábeis abelhas? O facto é que o homem, antes de empreender a construção seja do que for, começa por imaginar o que quer construir, para elaborar mentalmente o respectivo projecto, ao passo que as abelhas só são guiadas por um instinto inconsciente. O mesmo acontece com as calculadoras: elas só resolvem problemas quantitativos, numéricos, sem manifestar qualquer traço de tomada de consciência da sua actividade própria.

### *O processo de pensamento e a máquina*

Já dissemos que o processo do pensamento é uma propriedade específica da matéria altamente organizada. A estrutura da calculadora mais complexa é milhares e centenas de milhares de vezes mais primitiva do que a estrutura do cérebro humano. Não é sem razão que os ciberneticistas dizem que a complexidade das calculadoras é a complexidade dos escaravelhos. Nem mais. Ora seria pelo menos absurdo pedir a um escaravelho que pense.

Mas isto não é tudo. Além das diferenças quantitativas na complexidade de estrutura do cérebro e da máquina, existem também diferenças qualitativas. Não se pode suplantá-las por um simples cálculo técnico. Poderia parecer que nada se opõe a que se construa uma máquina que comporte uma dezena ou uma centena de milhar de elementos. Lem-



bremos que estas cifras exprimem o número de neurões do cérebro humano e que a maioria dos sábios calcula que o primeiro destes números (uma dezena de milhar) é o mais exacto. A criação duma tal máquina exigiria muito tempo. Mas, no fim de contas, é sempre realizável. A máquina pensante estaria então pronta?

Na realidade isso não é tão simples. Não se pode resolver esta tarefa como um problema puramente técnico.

A consciência não é somente a «função dum mecanismo extremamente complexo», o cérebro. Ela é sempre uma função social e depende da sociedade humana, das condições de vida, do meio ambiente.

Eis porque, se se encarar seriamente a construção de uma «máquina pensante», ela deverá não apenas possuir uma estrutura tremendamente complexa, mas também constituir um ser social, quer dizer, estar ligada intimamente à sociedade humana, pois consciência e sociedade são indissolúveis.

Mas poderemos nós traduzir exactamente na língua da máquina as leis da sociedade humana, as leis do pensamento?

Como dizia Karl Marx, a ciência não atinge a perfeição senão quando pode utilizar as matemáticas, a linguagem dos números e das fórmulas.

Na nossa actividade habitual não nos servimos dela com frequência quando temos de visitar um amigo ou escolher o filme que ocupará a nossa «soirée», não calculamos as respectivas vantagens.

Parece pouco provável que se possa traduzir, com a ajuda dos meios modernos da fisiologia e da psicologia, na linguagem das fórmulas exactas e das reacções químicas, os sentimentos de que o nosso organismo é a sede, tais como o amor pela arte, a paixão de coleccionar selos ou as emoções dum fanático de futebol.

Por outro lado, além do facto de não se prestar ao cálculo, a actividade consciente do homem está intimamente ligada às «zonas-sombra» do cérebro humano, ao inconsciente. Assim, o escritor, ao elaborar o seu livro, é guiado não apenas por conclusões lógicas, mas também por uma intuição das noções e *a fortiori* na linguagem dos números.

Este aspecto da actividade do cérebro só há pouco foi objecto dum estudo científico. De resto, a «ciência da alma», a psicologia, é relativamente recente. O cérebro do homem continua a constituir um enigma, em parte descoberto, em parte inviolado. É assim que as biocorrentes do cérebro não foram descobertas senão nos anos 20 do nosso século, e mesmo hoje não sabemos ainda decifrar todos os entrelaçamentos, os mais subtis e os mais complexos, formados pelos diferentes impulsos, cuja intensidade é da ordem de alguns milionésimos de ampere.

Apesar disso, virá o tempo em que este enigma extremamente complexo será desvendado, em que o nosso conhecimento do cérebro atingirá o nível das ciências exactas. Os homens poderão então traduzi-los na linguagem dos números, a linguagem das máquinas cibernéticas.



## *Quais serão as máquinas do futuro?*

O homem impõe-se decididamente uma tarefa verdadeiramente grandiosa, cuja solução precisará de várias dezenas de anos, talvez mesmo um século.

O problema é difícil, mas...

Mas também aqui o fiel amigo do homem, a máquina, vem em seu auxílio. Os sábios já se ocupam actualmente em criar dispositivos cibernéticos capazes de se reproduzir. E não só de se reproduzir, mas de criar máquinas de construção muito mais complexa que elas próprias.

Já se demonstrou matematicamente que não há nada de impossível nesta ideia. Se assim for, as máquinas cibernéticas, funcionando milhares de vezes mais rapidamente que o homem, ajudarão a aproximar de maneira notável esse tempo. Nos nossos dias, a técnica moderna ainda não é capaz disso. As nossas máquinas cibernéticas não são suficientemente complexas e inteligentes. Mas já nos é permitido sonhar com as futuras máquinas construtoras de máquinas.

É muito pouco provável que os seus elementos sejam lâmpadas electrónicas: já hoje elas são substituídas por semi-condutores muito mais compactos. Os sábios esperam mesmo poder utilizar como elementos de máquinas cibernéticas as células vivas! Elas reagem com efeito segundo o princípio cibernético «sim-não»: ou reagem a uma excitação, ou não reagem.

Quantos outros materiais ainda desconhecidos nos farão descobrir a ciência e a técnica do futuro!

Hoje, que a cibernética ainda não atingiu o seu 20.º ano, é difícil prever quais serão as máquinas cibernéticas do futuro. Foi o que muito bem sublinhou Igor Poletaev, autor do primeiro livro soviético consagrado à cibernética («Le signal»).

«Se se tivesse perguntado ao homem das cavernas, polindo machados de pedra, que instrumentos seriam utilizados no futuro, é muito duvidoso que o mestre, o mais habilidoso no fabrico desses machados, pudesse evocar o martelo a vapor, a prensa hidráulica e os outros instrumentos e máquinas da nossa época. A culpa não é dele. Ele não dispunha de informação suficiente para conceber uma extrapolação tão longínqua».

Podemos também hoje perguntar-nos: «O que nos darão, a nós e aos nossos descendentes, as máquinas cibernéticas?» É preciso reconhecer que a esta pergunta não saberemos responder melhor que o homem das cavernas...





## IX

### A CIBERNÉTICA EM ACÇÃO

#### *Ficção e realidade*

O futuro das máquinas cibernéticas é, com efeito, fantástico. Mas é precisamente hoje que se realizam os sonhos, mesmo os mais audaciosos, dos homens dos séculos passados.

Um século é de resto um lapso de tempo demasiado grande. Os habitantes de Moscovo ou de São Petersburgo não teriam acreditado, certamente, em 1913 (há cerca de cinquenta anos), nas aquisições futuras da cibernética... Com efeito, as máquinas, essas fiéis auxiliares do homem, não nos vieram directamente do mundo dos nossos sonhos? Quantas profissões elas não assimilaram: navegador, marceneiro, tradutor, poeta, jogador de xadrez, piloto, controlador.

A máquina tornou-se um auxiliar fiel e seguro em mil e uma tarefas, as mais diversas... Esta ajuda exprime-se em primeiro lugar que tudo na automatização da produção. A energética e a extracção mi-



neira, as construções mecânicas e a metalurgia, a indústria leve e alimentar, aproximam-se todas gradualmente da criação da fábrica automatizada, onde a escolha e manutenção da variante óptima do processo de produção, as operações principais e auxiliares, a deslocação dos materiais e dos produtos semi-manufacturados, a montagem e o controlo são efectuados por máquinas, sem intervenção do homem. O automático permite dirigir um transporte por caminho de ferro carregando apenas dois botões, à partida e à chegada do comboio. Os «dispatchers» automáticos começam a familiarizar-se com a direcção das fábricas de produtos químicos, pois as condições de trabalho, representando um perigo para o organismo humano, não têm nenhuma influência na sua «saúde de ferro».

Já hoje os pilotos automáticos guiam aviões. Mais alguns anos e os timoneiros e os condutores automáticos substituirão os homens ao leme dos barcos e ao volante dos automóveis. Não se poderá certamente passar sem eles quando do lançamento de foguetões para as estrelas. Durante os voos extra-terrestres o cosmonauta será ajudado pelos seus auxiliares fiéis e infatigáveis, os autómatos, que controlarão ininterruptamente as indicações dos instrumentos e a justeza da trajectória da nave cósmica.

*«O doutor em blusa de aço»*

Que inestimável ajuda dá e dará no futuro, a cibernética, à biologia e à medicina!

O estudo da vida foi sempre para o homem excessivamente difícil. Os biólogos, os fisiólogos, os psicólogos não estudam a «natureza morta» com a qual se pode realizar qualquer experiência. É muito mais difícil fazer experiências com os organismos vivos.

As maiores dificuldades são experimentadas pelos psicólogos: com efeito, o cérebro, órgão do pensamento, esforça-se por conhecer o mecanismo do seu próprio funcionamento.

O cérebro humano é muito mais inacessível às investigações que o monte Chomolungma. A parte do cérebro humano que efectua o pensamento encontra-se no interior da caixa craniana, numa penumbra impenetrável, em meio a uma massa de nervos, de tecidos e de vasos sanguíneos; ela deixa imediatamente de funcionar desde que nos esforcemos por estudá-la, por isolá-la, por fazer experiências com ela, por a observar fisicamente e ninguém saberia depois reconstituí-la. Com efeito, estabelecemos certamente muito mais depressa como se desenrola o processo do pensamento no nosso cérebro construindo modelos de máquinas inteligentes a partir de elementos físicos, do que estudando directamente as diferentes secções do cérebro.

Hoje os ciberneticistas criam modelos mais simples de criaturas vivas. (A notar: estas afirmações são de Edmund Berkeley, o criador do esquilo cibernético, de que já falámos no capítulo III).

Mas não vem longe o tempo em que os sábios empreenderão a elaboração de modelos mais complexos. Eles permitirão precisar a compreensão dos



fenómenos da vida, inclusive o mais complexo, do pensamento humano. E quando os nossos conhecimentos da vida e do processo de pensamento se tornarem exactos e matemáticos, a medicina poderá então operar verdadeiros milagres.

Para dizer a verdade, a cibernética vem já hoje em auxílio da medicina. Já falámos do «Doutor em blusa de aço», a máquina para estabelecer o diagnóstico. É verdade que as máquinas já construídas estão longe de ter atingido a perfeição e de poder substituir um médico experiente.

Não deixa por isso de ser verdade que a cibernética dá uma ajuda ainda mais concreta aos médicos. Assim, os sábios soviéticos construíram em 1960 um dispositivo electrónico que escuta o ritmo do coração e apresenta sinais «médicos». Se as batidas do coração são normais, o diagnóstico do instrumento é também «normal». Se há falhas de ritmo, o dispositivo regista-as. Na presença de batidas espasmódicas, descontínuas, o dispositivo dá os sinais de alarme e recorre imediatamente à «ambulância»: a vida do doente está em perigo! Uma tarefa não menos humana se põe ao ciberneticista médico: a instalação de próteses para substituir os órgãos perdidos, a substituição dos nervos.

### *O olho cibernético*

Durante muitos anos o homem dedicou-se a reforçar o poder dos seus órgãos dos sentidos: a acuidade visual tornou-se milhares de vezes mais

forte, a audibilidade melhorou centenas de vezes graças à técnica acústica; as instalações de radar permitem ao homem ver no escuro, e, graças à televisão, observar o que se passa a centenas de quilómetros do lugar onde se encontra. Contudo, estes órgãos artificiais continuavam exteriores ao homem, de modo que o cego não podia ver e o surdo não podia ouvir, mesmo com a ajuda dos mais potentes destes instrumentos. Pelo contrário, as aquisições da cibernética, permitem dar ao homem um ouvido artificial, uma vista artificial!

É verdade que actualmente estes órgãos artificiais ainda não pertencem aos homens e são apenas autómatos (autómatos leitores, tradutores da linguagem falada). São demasiado primitivos, grosseiros e difíceis de manobrar. No entanto, num futuro próximo, os esforços conjugados dos médicos e dos ciberneticistas permitirão criar ouvidos e olhos artificiais em nada inferiores aos órgãos verdadeiros.

É mais fácil elaborar uma prótese do ouvido, do que construir um dispositivo artificial da vista (um aparelho «compreendendo» a linguagem oral poderia transcrevê-la para que fosse lida por uma pessoa atacada de surdez). No entanto, as tarefas da cibernética não se limitam à criação de dispositivos artificiais para substituir os órgãos dos sentidos perdidos. Diante dela apresenta-se uma tarefa muito mais árdua: criar novos órgãos dos sentidos. Com efeito, as máquinas cibernéticas, mesmo as mais simples, podem ser dotadas de «sentidos», que nenhuma criatura viva possui (por exemplo, elas podem distinguir a temperatura, a humidade, a pressão, ana-



lisar os processos das reacções químicas, etc.). Que progresso realizaria o conhecimento humano, e a que ponto ficaria modificado o nosso grau de percepção do mundo, se os homens pudessem ver à vontade os raios ultra-violetas ou as ondas rádio, ouvir os ultra-sons, sentir as reacções químicas!

Em 1959, podia-se ver, no pavilhão soviético da Exposição Universal de Bruxelas, um maravilhoso braço cibernético. Todo o visitante podia sentir-se parente desses «génios» que encantavam os nossos contos de infância. Bastava pensar e o braço movia-se à vontade. O braço era dirigido pelas biocorrentes dos músculos do próprio braço da pessoa que experimentava o dispositivo.

A investigação mostrou que não apenas os músculos, mas também os nervos e o cérebro são electricamente activos!

O piloto do futuro poderá dirigir o avião ou o foguetão sem tocar no leme. O escritor será liberto da servidão da máquina de escrever ou da caneta, poderá ditar pelo pensamento as suas obras a um aparelho de registo. Numa palavra, este domínio da cibernética tornará possível aquilo que há uma dezena de anos diziam os escritores de ficção científica.

De resto, os trabalhos dos ciberneticistas de Kiev, Kolesnikov e Kiï, pertencem ao domínio da realidade e não da ficção. Eles querem «voltar a pôr de pé» os poliomiélicos. Os doentes poderão dirigir o corpo paralisado com a ajuda das biocorrentes do cérebro!

Existe ainda um domínio importante, no qual a cibernética vem em auxílio da medicina. Os médicos

perdem uma boa parte do seu tempo a executar um trabalho de secretária: preenchimento do ficheiro, execução de análises, exame do pulso, etc. Os ciberneticistas esforçam-se por mecanizar inteiramente este trabalho não criador e fatigante para o clínico e para o doente, o que permitirá ao médico consultar o dobro de pacientes.

### *A poesia das matemáticas*

Os progressos da cibernética caminham lado a lado com os sucessos obtidos noutros domínios da ciência. Isso não é devido ao acaso. Com efeito, qualquer problema pode ser resolvido pela máquina, qualquer actividade humana pode ser executada por um autómato coadjuvando o homem, basta para isso encontrar as regras de acção, os algoritmos aos quais se submete o homem.

Todas as ciências passam necessariamente por duas etapas. A primeira é a etapa descritiva, a segunda a da «matematização», da transformação da ciência descritiva em ciência exacta. Assim aconteceu com os ramos antigos da ciência: a geometria, a astronomia, a física. O mesmo ocorre nos nossos dias com a biologia, a linguística, a geologia e mesmo a ciência da arte, a estética. As matemáticas cimentam de certo modo as ciências, ligando-as num todo único. As calculadoras electrónicas facilitam a aplicação prática deste «conhecimento matematizado».



É com efeito propositadamente que usamos as expressões «agrónomo electrónico», ou «jogador de xadrez electrónico», ou «compositor electrónico» entre aspas. O computador electrónico executa apenas as operações aritméticas simples e só obtemos os planos económicos, os lances do jogo de xadrez, as melodias musicais, porque soubemos traduzir as exigências da economia, do jogo de xadrez e da arte musical na «linguagem dos números».

Já falámos da máquina de traduzir, da máquina-médico e da máquina-técnico de «planning». A cibernética começa igualmente a vir em auxílio das outras ciências: a lógica, a história, a arqueologia e a estética.

Muito recentemente o lógico americano Hao Van conseguiu ensinar a máquina a demonstrar teorias matemáticas. Em menos de três minutos a máquina obteve a demonstração de 220 teoremas enunciados numa das obras fundamentais de lógica matemática.

Eis um outro exemplo, não menos surpreendente, da universalidade da aplicação dos computadores electrónicos: os colaboradores do Instituto de matemáticas de Novosibirsk utilizaram-nos para decifrar os textos dos Mayas antigos.

Muito recentemente os especialistas soviéticos puderam, graças às máquinas electrónicas, penetrar o segredo da língua dos antigos habitantes do Hindustão, os construtores das cidades de Mohendjo-Daro e Kharappe.

Foi o que permitiu ao académico Sobolev, director do Instituto de matemáticas de Novosibirsk, declarar: «Temos razões para esperar que, se um dia as estações de rádio da Terra captarem sinais provenientes das profundezas do Universo, enviados por criaturas inteligentes, os métodos análogos aos empregados hoje pelos matemáticos para decifrar os textos antigos, ajudarão a descobrir-lhes o sentido».

Os calculadores electrónicos podem não só ajudar a decifrar textos, mas permitem também estabelecer-lhes o autor. Cada autor, seja compositor, escritor, poeta dramaturgo, tem os seus métodos, as suas vias preferidas, as suas particularidades características de língua e de estilo. É possível tomá-los em conta e exprimir as características do estilo na linguagem dos números. Actualmente os peritos determinam os autores das obras de arte anónimas, baseando-se na sua intuição pessoal. Num futuro próximo os «peritos electrónicos» poderão estabelecer com exactidão se a obra em questão pertence verdadeiramente ao autor suposto. As máquinas lógico-informadoras de conhecimentos universais, aumentarão indefinidamente a memória humana; o sábio, o construtor, o poeta, o engenheiro, poderão, quando quiserem, obter os dados desejados que as máquinas enciclopédicas tiverem armazenado na memória.

Isso permitirá a todos «saber tudo», com a condição expressa, bem entendido, de serem capazes de compreender a informação que a máquina lhes



fornecerá. Com efeito, esta informação não será um «aide-mémoire», mas antes um caderno de notas, ou mais exactamente um dicionário enciclopédico.

É difícil prever todas as possibilidades que a aplicação dos sistemas cibernéticos auto-organizados abrirá aos homens.

Uma máquina-matemático e uma máquina-jogador de xadrez, uma máquina-construtor que estabelece o projecto, calcula e efectua a montagem de máquinas mais complexas do que ela própria; gerações cada vez mais aperfeiçoadas de máquinas «auto-reproduzíveis» e «auto-aperfeiçoáveis»; uma máquina inteligente, capaz de aprender, de distinguir as formas e, por consequência, de ler; enfim, uma máquina que tenha atingido um tal grau de complexidade que a função máxima da matéria, o pensamento, se lhe tornou possível...

A máquina tornar-se-á o irmão mais novo do homem, pela inteligência. Criando máquinas que aumentem as suas faculdades, não apenas físicas, mas também intelectuais, o homem conservará sempre o direito de controlo sobre estas máquinas. Por fantástica e distante que pareça a perspectiva de poder ensinar a máquina a pensar, não deixaremos por isso nós próprios de pensar...

É muito difícil para nós hoje, quando a cibernética apenas começa, ter uma visão de todas as perspectivas verdadeiramente fantásticas de desenvolvimento desta ciência maravilhosa. Ela começa a dar os primeiros passos! Uma única coisa não deixa dúvidas: de ano para ano ela não cessará de alargar o seu campo de actividade.

## *Para a frente, cibernética!*

O académico Axel Berg, presidente do Conselho científico de cibernética da Academia das Ciências da U.R.S.S., declarou numa das suas alocações, que o nosso século é verdadeiramente o século da técnica, o século da mecanização integral do trabalho físico.

Hoje, sobre a Terra, 99 % do trabalho útil é realizado pelas máquinas e somente 1 % pelos homens. Há um século o relatório era bem diferente: as máquinas executavam 4 % do trabalho e os homens 96 %!

Graças à cibernética, empreende-se a mecanização, não só do trabalho físico, mas também do trabalho intelectual. Sim, precisamente a mecanização, pois o homem conserva para si as alegrias da actividade criadora, a sede inextinguível de criar, de elaborar novas vias.

O homem não pede à máquina que o deixe repousar sobre os louros, aproveitando-se do trabalho dos escravos-robots mecânicos e electrónicos.

A cibernética está ao serviço dos trabalhadores, dos sábios e dos construtores, mas não dos parasitas, dos preguiçosos que sonham com manjares que lhes viessem cair dentro da boca (graças apenas ao trabalho dos «escravos» cibernéticos em lugar dos «encantamentos», como no conto de Gogol).

O homem confia às máquinas as «tarefas trabalhosas» não por preguiça, mas unicamente para poder consagrar-se plenamente a uma actividade criadora.



Já hoje existem na U.R.S.S., em Kiev, em Tbilissi, institutos de cibernética. Foi fundado em Moscovo um instituto nacional de informação técnica e científica, um instituto dos problemas da transmissão da informação. Virá o dia em que serão criados institutos especializados para diversos ramos da cibernética: instituto de esteticometria, instituto de biocibernética, instituto de economia matemática, etc. A construção de máquinas electrónicas aumenta todos os anos. Dentro de cinco/seis anos não sòmente os sábios, mas também os engenheiros, os técnicos do «planning», os economistas, os construtores, poderão utilizar os conselhos das máquinas «inteligentes»...

A nossa narrativa chegou ao fim... E se depois da leitura deste pequeno livro você sente o desejo de aprofundar os seus conhecimentos de cibernética e, eventualmente, de vir a ser um criador de máquinas inteligentes, o autor dará como plenamente cumprida a sua tarefa.

## ÍNDICE DAS MATÉRIAS

INTRODUÇÃO _____	7
------------------	---

### I

#### A PROBABILIDADE DOS MILAGRES

Nem cara, nem... coroa!_____	13
Por que não voam as cadeiras?_____	16
O inimigo da entropia, a vida _____	19
O macaco dactilógrafo _____	22
Os milagres à nossa volta _____	23

### II

#### OS BITS MEDEM A INFORMAÇÃO

Que é a informação?_____	25
Pode medir-se o conhecimento!_____	26
Probabilidade e informação _____	28
Que é um <i>bit</i> ?_____	31
A lei mantém-se válida _____	33
Informação e entropia _____	34
A vida é o movimento _____	35
Qualidade e quantidade _____	37
As bases da cibernética _____	39



Informação e linguagem _____	40
Qual é a melhor linguagem? _____	41
Uma «vida de ferro» _____	43

### III

## OS AUTÓMATOS E A VIDA

«Modelo de evolução» _____	47
Quadros de conduta _____	49
Porque tem a garça as patas compridas? _____	50
Os «insectos» electrónicos _____	53
As tartarugas de Walter _____	54
Reflexo aprendido _____	57
A bicharada da cibernética _____	58
«Teseu» no labirinto _____	60
A «cliente» electrónica _____	61
Cérebro electrónico e cérebro humano _____	64
Os três «trunfos» do computador electrónico _____	66

### IV

## AS FÓRMULAS DO SUCESSO

O homem e as máquinas _____	69
Primeiro os matemáticos _____	71
O autómato «regulador» _____	72
Fábricas automáticas _____	74
Que significa «optimal»? _____	75

Grupo de pesquisa operacional _____	76
A programação linear _____	80
Passo a passo _____	83
É longo o caminho de <i>A</i> a <i>B</i> _____	84

## V

### JOGOS E SOLUÇÕES

Uma «História de peixes» _____	87
A teoria dos jogos _____	88
Adivinha _____	90
Um desafio sensacional _____	92
A classificação dos jogos _____	94
O «Dicionário do jogo» _____	95
Uma carreira pouco vulgar _____	97
Os Robots-Jogadores de xadrez _____	98
O quadro das preferências _____	101
Análise de duas partidas _____	103

## VI

### O QUE É A LETRA «A»?

Conta ou problema técnico? _____	107
Uma máquina «cabecuda» _____	108
Como diferenciar «A» de «B»? _____	109
Segundo o abecedário _____	111
O «olho» da máquina _____	112



O crítico mais objectivo _____	114
Na via automática da elaboração duma máquina _____	115
A torre de Babel _____	118
As etapas da tradução _____	120
A procura duma língua universal _____	123
A «língua dos Marcianos» _____	125
Uma fonte ilimitada de conhecimento _____	126

## VII

### ARTE E CIBERNÉTICA

Um violoncelo no congresso de matemáticas _____	129
A «arte cibernética» _____	130
Pastiche ou incoerência _____	131
Actividade criadora e cibernética _____	132
O critério de qualidade na arte _____	134
Poeta, escolar e... calculador electrónico _____	135
A «canção muda da alma» _____	137
A máquina-compositor _____	138
A «medida da arte» _____	141
Nas fronteiras da ficção _____	142

## VIII

### SERÁ A MÁQUINA CAPAZ DE PENSAR?

Perguntas difíceis _____	145
Pode-se criar artificialmente uma criatura inteligente? _____	147

Os cépticos incorrigíveis _____	148
Não estamos sós no Universo _____	149
A máquina está longe de poder fazer tudo _____	151
Liberdade e necessidade _____	152
Será a máquina capaz de actividade criadora? _____	154
Poderá a máquina generalizar? _____	156
Que pensar das emoções? _____	158
O processo de pensamento e a máquina _____	159
Quais serão as máquinas do futuro? _____	162

## IX

### A CIBERNÉTICA EM ACÇÃO

Ficção e realidade _____	165
O «doutor em blusa de aço» _____	166
O olho cibernético _____	168
A poesia das matemáticas _____	171
Para a frente, cibernética! _____	175





Composto e impresso  
na  
Tipografia Nunes  
R. D. João IV, 590  
Porto



THE UNIVERSITY OF CHICAGO

LIBRARY

540 EAST 57TH STREET

CHICAGO, ILL.

**uma ampla perspectiva  
dos problemas culturais  
do nosso tempo**

editoria presença