

# SUPER INTERESSANTE



CANHÕES  
HUMANOS

## CAOS

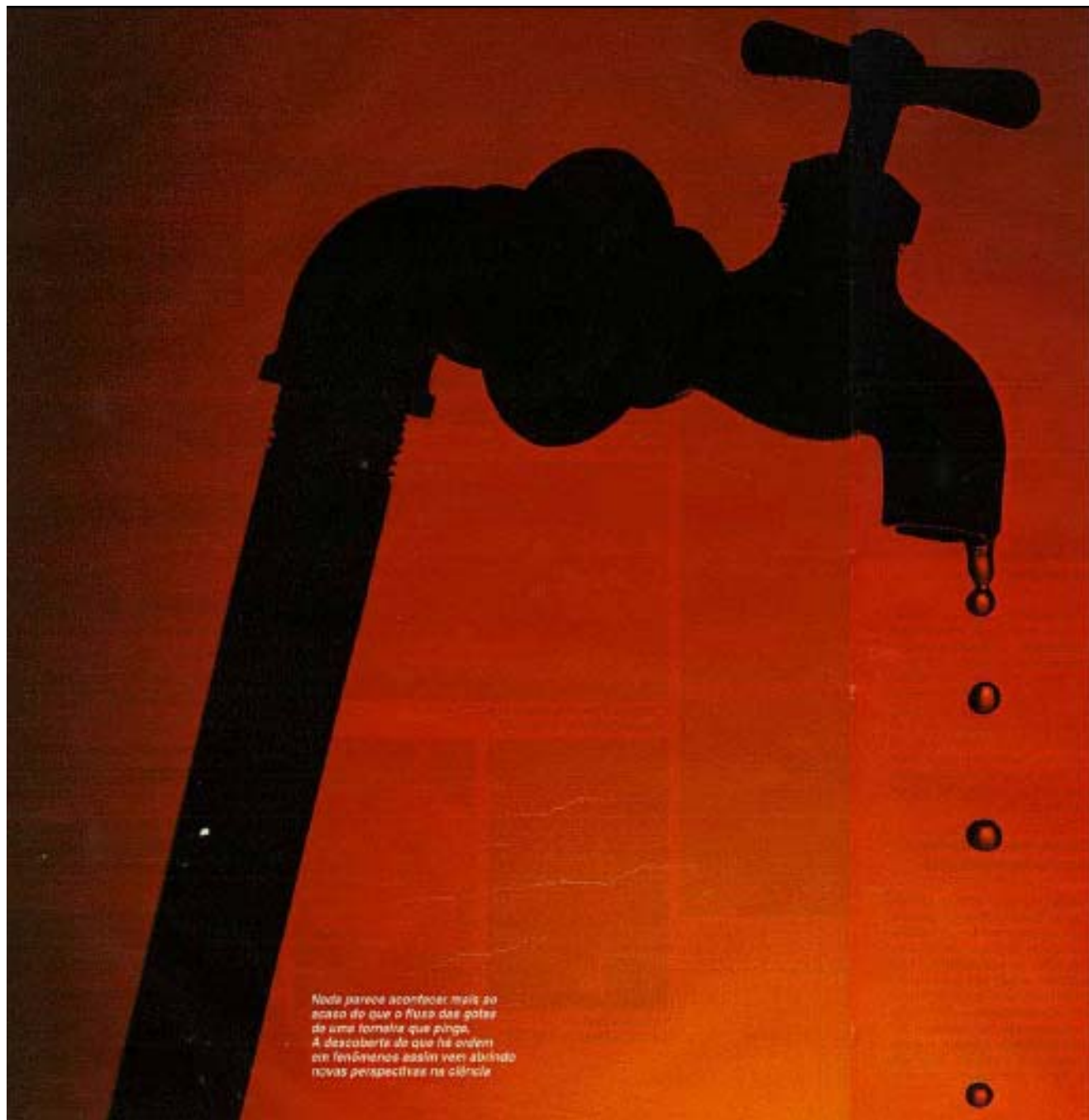
A CIÊNCIA DESCOBRE ORDEM  
NA DESORDEM

O que os  
cometas  
ensinam

A delicada  
função dos  
reflexos



**ESPECIAL**  
A arte de imprimir



Nada parece acontecer mais ao acaso do que o fluxo das gotas de uma torneira que pinga. A descoberta de que há ordem em fenômenos assim vem abrindo novas perspectivas na ciência.

# FISICA

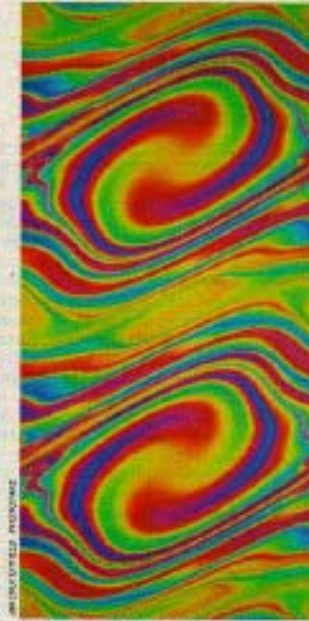
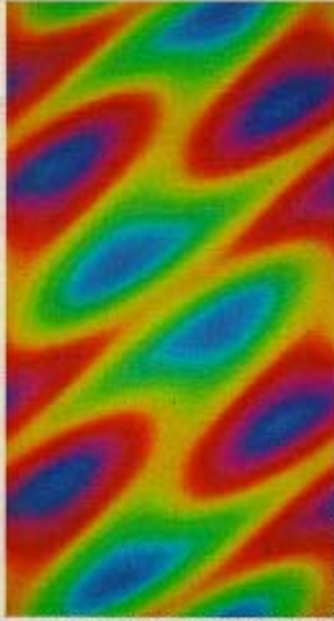
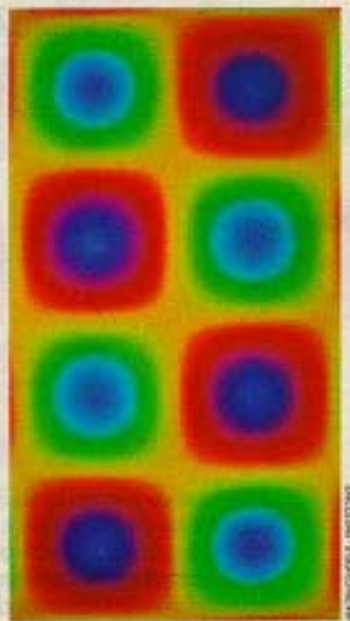
# A FACE OCULTA DO CAOS

Um grupo de jovens pesquisadores rebeldes arma-se de equações e computadores para desencadear a revolução científica que vê um dos mais estranhos segredos do mundo material: existe ordem onde menos poderia parecer. Como numa torneira que pinga

Por James Gleick

**S**anta Cruz era o mais novo campus da Universidade da Califórnia, esculpido num cenário de livro de histórias, uma hora ao sul de São Francisco. As pessoas às vezes diziam que mais parecia uma reserva florestal do que uma faculdade. Os prédios ficavam aninhados entre sequóias e, bem ao espírito da década de 60, seus planejadores fizeram questão de conservar todas as árvores. Como outros departamentos, o de Física teve de ser criado "do nada", começando com um corpo docente de aproximadamente quinze físicos, todos muito ativos e, na maioria, jovens. Sua diversidade de interesses convinha a um corpo de alunos brilhantes e inconformistas. Pelo menos os professores pensavam assim. No final da década de 70, o departamento deparou-se com uma mini-revolução, um levante entre os estudantes graduados. O que estes queriam aprender ninguém podia ensinar — uma disciplina recém-criada e mal definida chamada caos. Dez anos depois, o caos tornou-se um dos campos da ciência que mais rápido cresce, oferecendo uma nova maneira de encontrar ordem em sistemas que aparentemente não têm ordem alguma. Médicos descobrem uma ordem surpreen-

James Gleick é jornalista do The New York Times. O presente artigo é uma adaptação do livro *Chaos: making a new science, do our world*, o qual pode ser lido em outubro, sob o título *Caos: a criação do novo mundo*, pela Editora Companhia.



Na mistura de três cores de tinta, padrões invisíveis tornam-se aparentes em modelos computadorizados, baseados na matemática do caos. A seqüência compara três fases da mistura com seus respectivos modelos

Gotas vermelhas e azuis aparecem no modelo como pontos separados. Com a mistura de tinta, os pontos vão se expandindo. No fim, a aparente confusão das cores se revela no modelo como um padrão sempre em ordem

## No começo, os estudantes estavam sós

dente na fatal desordem capaz de vencer o coração humano, um tremor espasmódico que é a causa primeira de uma morte súbita e inexplicável. Economistas estão desenvolvendo velhas cotações de bolsas de valores para tentar um novo tipo de análise. Percepções que começaram com Física e Matemática puros remeteram diretamente ao mundo natural — as formas das nuvens, o comportamento dos relâmpagos, o entrelaçamento microscópico dos vasos sanguíneos, a aglomeração galáctica de estrelas. Cientistas estão encontrando padrões universais no comportamento do tempo, no comportamento dos carros congestionando vias expressas, no comportamento do petróleo fluindo nos oleodutos subterâneos. A nova ciência começou a modificar a maneira pela qual executivos tomam decisões sobre seguros, a maneira pela

qual astrônomos olham o sistema solar, a maneira pela qual teóricos políticos falam das razões que levam a conflitos armados.

Novas idéias podem ser difíceis de ser concebidas e a inexperiente ciência do caos colidia com algumas tradições firmemente enraizadas — por exemplo, a crença de que sistemas simples devem produzir comportamentos simples e ordenados. Quando um punhado de estudantes da Santa Cruz se enredou nos primeiros fios enovelados da nova ciência, perceberam-se totalmente sozinhos. Por ali, em diversos laboratórios e departamentos de Física, alguns cientistas apaixonadamente iconoclastas estavam criando uma nova disciplina. Um meteorologista, Edward Lorenz, tinha descoberto um formato misterioso, mais tarde denominado estranho atrator, que iluminava a caótica imprevisibilidade do tempo que faz na Terra.

Um matemático, Benoit Mandelbrot, havia descoberto uma família de padrões que se tornou o fundamento da Geometria fractal. Um físico, Mitchell Feigenbaum, descobriu ligações insuspeitadas entre famílias

inteiras dos sistemas caóticos, desenvolvendo uma teoria que relacionaria fluidos turbulentos a circuitos eletrônicos flutuantes aos ritmos da própria vida. Todos eles estavam reexaminando muitos sistemas físicos aparentemente fortuitos ou caóticos, descobrindo novas maneiras de formular equações para descrevê-los e daí usando computadores para criar padrões visuais a partir das equações — padrões que não eram óbvios de nenhum outro modo.

### La embaixo, brincando com um computador analógico

Os estudantes, que apenas se iniciavam nessas descobertas intrigantes, não sabiam como proceder. A educação de um físico depende do sistema de orientadores e orientandos. Um bom orientador ajuda seu aluno a escolher problemas que serão ao mesmo tempo administráveis e fecundos. Se o relacionamento der certo, a influência do professor ajudará o estudante a conseguir emprego. Mas em 1977 não havia orientadores na área

do caos. Não havia aulas de caos, nem manuais sobre caos, nem sequer uma publicação dedicada ao caos. Os estudantes tinham de inventar eles próprios o campo de estudos — e, ao fazê-lo, eles conseguiram desenvolver o assunto para todo mundo.

Em Santa Cruz, o caos começou com um estudante barbudo, natural de Boston e formado pela Universidade de Harvard, chamado Robert Steison Shaw, que em 1977 estava para completar 31 anos. Isso fazia dele praticamente o mais velho da turma. Sua carreira em Harvard havia sido interrompida diversas vezes, primeiro pelo serviço militar, depois pela decisão de viver numa comunidade e ainda por outras experiências improvisadas. Shaw era quieto, tímido, mas de forte presença. Ele estava a poucos meses de completar sua tese de doutorado em supercondutividade, então um assunto respeitável, embora de certa forma estagnado. Ninguém estava particularmente preocupado com o fato de ele perder seu tempo lá embaixo no prédio de Física brincando com um computador analógico. Na evolução dos computa-

dores, os analógicos representavam um beco sem saída. Computadores digitais, construídos a partir de circuitos que podiam ser ligados ou desligados, zero ou um, sim ou não, davam respostas precisas às perguntas feitas pelos programadores. Computadores analógicos, por sua própria concepção, eram muito vagos.

### Surge um padrão peculiar, infinitamente complicado

Em sua estrutura não havia interruptores do tipo sim-não, mas circuitos eletrônicos como resistências e condensadores, facilmente reconhecidos por qualquer pessoa que tivesse lidado com rádios, antes que a miniaturização de aparelhos eletrônicos solid-state impelisse que amadores desmontassem tais equipamentos. O computador analógico de Santa Cruz era uma coisa pesada e empoeirada, com um painel de madeira na fachada, como aqueles usados antigamente em mesas telefônicas. Programar um computador analógico era questão de conectar e desconectar fios.

Ao conhecer diversas combinações de circuitos, um programador simula sistemas de equações de modo a fazê-los adaptar-se perfeitamente a problemas de engenharia. Digamos que alguém queira projetar uma suspensão de automóvel capaz de proporcionar a viagem mais suave possível. Um condensador substitui a mola, indutores representam a massa e assim por diante. Obtém-se um modelo feito de metal e elétrons, bastante rápido e — o que é melhor — facilmente ajustável. Simplesmente girando-se botões, pode-se tornar as molas mais fortes ou a fricção mais fraca. E podem-se observar os resultados sob a forma de padrões delineados na tela de um osciloscópio.

Um belo dia, um amigo astrofísico, William Burke, entregou a Shaw uma folha de papel com três equações rabiscadas e pediu-lhe que as colocasse em seu computador. As equações pareciam simples. Edward Lorenz as havia escolhido como um método despojado para calcular um processo conhecido em Meteorologia, os movimentos ascendentes e descendentes do ar ou da água, cha-

## Para a bolinha de gude, um ponto na tela

mado convecção. Shaw levava apenas poucas horas para conectar os fios adequados e ajustar os botões. Alguns minutos mais tarde, ele viu aparecer na tela um padrão peculiar, cambiante e infinitamente complicado — e soube então que nunca terminaria sua tese sobre supercondutividade.

A tela de Shaw proporcionava uma maneira de criar diagramas abstratos de comportamento dinâmico de longo prazo de qualquer sistema físico — uma bolinha de gude imóvel no fundo de um buraco, um relógio de pêndulo balançando monotonicamente ou o tumulto imprevisível do tempo na Terra. Para a bolinha de gude em repouso, o diagrama seria simplesmente um ponto. Para um sistema periodicamente rítmico como o relógio de pêndulo, o diagrama teria a forma de uma laçada. Para o sistema enganadoramente simples das três equações da convecção, o diagrama era algo completamente diferente. Esse sistema de fluidos ascendentes e descendentes comportava-se caoticamente como a própria atmosfera, um sistema muito mais complicado, embora relacionado a ele. Um sistema caótico nunca se repete de uma maneira periódica e o diagrama que Shaw começava a estudar nunca girava em torno de si do mesmo modo.

### O estranho atrator era sinônimo de desordem

Em vez disso, tinha uma forma intrincada e recorrente, uma espécie de dupla espiral, enrolando-se primeiro numa direção, depois em outra. Shaw sabia que Edward Lorenz, do MIT (Massachusetts Institute of Technology), havia descoberto esse tipo de padrão em 1963. Lorenz reconheceu sua importância quando tentava fazer previsões do tempo no computador. Mas a natureza caótica do atrator significava que previsões de longo prazo seriam impossíveis.

Ao mesmo tempo, o estranho atrator revelava padrões inesperados. Era sinônimo de desordem e imprevisibilidade mas, ainda assim, significava um novo tipo de ordem

no tumulto. Dois cientistas franceses, David Ruelle e Floris Takens, mais tarde dariam a esses padrões seu nome provocativo: estranhos atratores. Shaw conhecia a nova linguagem da Geometria fractal. No entanto, muito tempo havia passado antes que ele, assim como outros envolvidos em trabalhos do mesmo gênero, reconhecesse que a forma diante de seus olhos era um fractal, o que significa que revelava novas complexidades em escalas cada vez menores.

Assim, ele passou várias noites no laboratório observando o ponto verde do osciloscópio percorrendo a tela, trazendo sem parar seu roteiro caótico e nunca exatamente do mesmo modo.

O percurso da forma permaneceu na retina, oscilante e vibrante, diferente de qualquer objeto que Shaw conhecesse em suas pesquisas. Parecia ter vida própria. Prendia a mente como uma chama que se move em padrões que nunca se repetem. Em criança, Shaw tinha tido ilusões a respeito do que seria a ciência — uma disparada romântica ao desconhecido. Isso, finalmente, era alguma coisa à altura de suas ilusões. E ele estava atraindo atenções. Ouvia que a entrada do Departamento de Física era bem do outro lado do corredor e muita gente passava por ali.

Um dos que começaram a aparecer por lá foi Ralph Abraham, professor de Matemática. "Tudo o que tem a fazer é colocar suas mãos nesses botões e, de repente, estará explorando esse novo mundo no qual você é um dos primeiros viajantes e não vai querer sair para tomar um pouco de ar", diz Abraham. "Shaw teve a experiência espontânea em que apenas um pouco de exploração revela todos os segredos." Logo

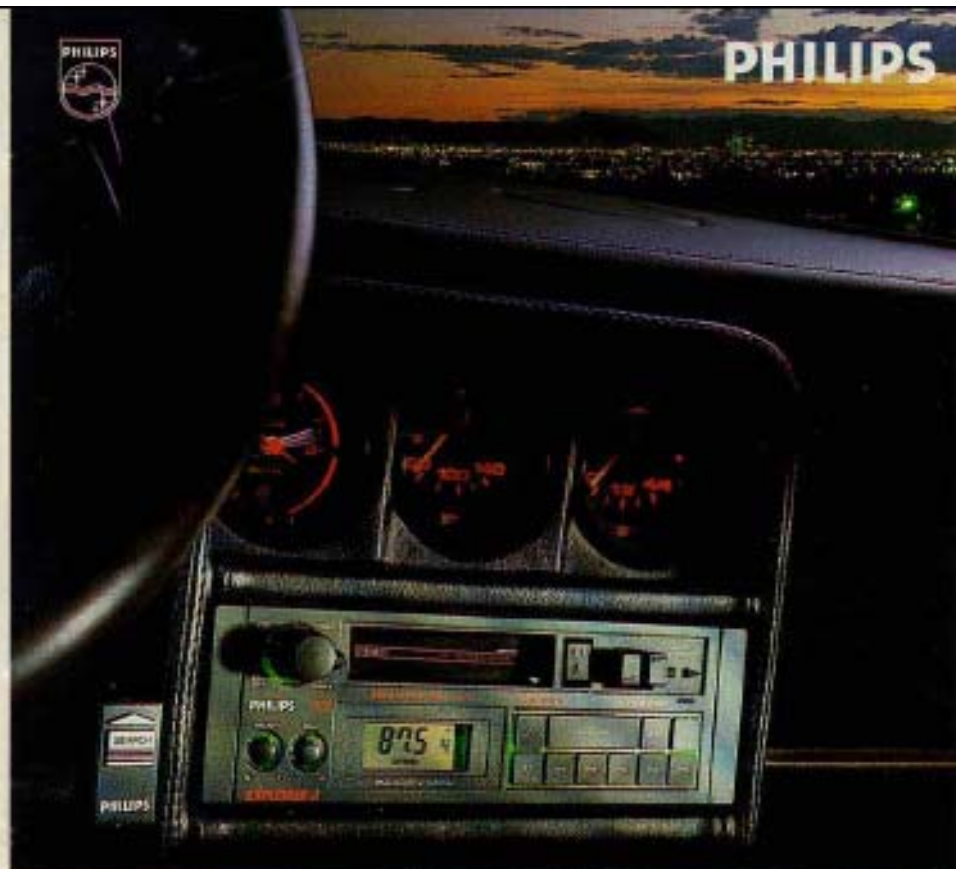


Jim Crutchfield (em primeiro plano), Robert Shaw (esquerda), Norman Packard (alto) e Doyle Farmer descobriram como achar ordem em sistemas caóticos

Shaw começou a ter colegas. Doyle Farmer, natural do Novo México, alto, magro, cabelos cor de areia, tornou-se o porta-voz mais articulado do grupo que veio a se autodenominar Coletivo dos Sistemas Dinâmicos (outros, às vezes, chamavam-no De Conspiradores do Caos).

Em 1977, Doyle tinha 24 anos, era todo energia e entusiasmo, uma máquina de idéias. O membro mais jovem do grupo era James Crutchfield, pequeno e atarracado, um estilista do windsurf e, o que era mais importante para o coletivo, um mestre nato em computação. Norman Packard, amigo de infância de Farmer, criado na mesma cidade de Silver City, no Novo México, chegou à Santa Cruz naquele outono, bem quando Farmer começava um ano de licença, disposto a dedicar toda sua energia ao plano de aplicar as leis do movimento ao jogo da roleta.

O empreendimento da roleta era tão sério quanto forçado. Durante mais de uma década, Farmer e Packard, junto com um grupo mutável de colegas físicos e alguns químicos,



## PHILIPS CAR STEREO. O SOM COM MAIOR VOLUME DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS.

O Philips Car Stereo reduz ao mínimo o trabalho do motorista que quer ouvir e ouvir bem, proporcionando mais separação e mais conforto ao dirigir.

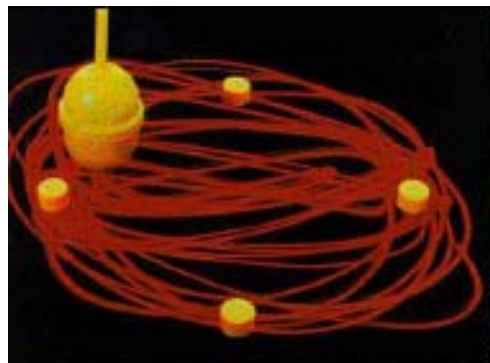
Tem o exclusivo AUTOSTORE, que, a um único toque, faz auto-seleção, sintoniza e memoriza automaticamente as estações com melhor sinal da região onde você estiver.

É o Controle Remoto, que também a um único toque sintoniza a estação seguinte.

Tem também o PLL digital de até 20 memórias, 60 watts de potência, além de outros recursos e uma completa linha de acessórios. Entre para o mundo exclusivo de Philips Car Stereo. E conheça a diferença.

**Philips Car Stereo**

O SOM QUE FAZ A DIFERENÇA.



O pêndulo magnético exibe um padrão de comportamento caótico desordenado



O atrator de Lorenz representa um sistema cíclico flutuando ao redor de dois pontos

adotaram-no. Eles calcularam inclinações e trajetórias, escreveram e reescreveram programas, adaptaram computadores especiais nos sagetos e fizeram nervosas incursões a cassinos. Deve ser dito que o projeto proporcionou um treinamento incomum em análises rápidas de sistemas dinâmicos, mas fez pouco para tranquilizar os professores de Física de Santa Cruz. Tampouco eles entenderam por que Shaw abandonara sua tese sobre supercondutividade.

#### Destinado ao ferro-velho, foi parar no laboratório

Por mais que estivesse entediado, raciocinavam, ele sempre poderia passar correndo pelas formalidades, acabar seu domador e entrar no mundo real. Quanto ao caos, havia questões de adequação acadêmica. Ninguém em Santa Cruz estava qualificado para supervisionar um curso

neste campo-tema. E certamente não havia empregos para graduados com este tipo de especialidade. Mesmo assim, o coletivo tomou forma. Quando alguns equipamentos eletrônicos começaram a desaparecer de noite, tornou-se aconselhável procurá-los no antigo laboratório de Shaw, de Física de baixas temperaturas. Traçado nos de gráficos, conversores e filtros eletrônicos começavam a se acumular. Um grupo de físicos de partículas que trabalhava no mesmo corredor tinha um pequeno computador digital destinado ao ferro-velho. Foi parar no laboratório de Shaw.

A antipática sensibilidade do grupo ajudava muito. Shaw tinha crescido brincando com engrenagens eletrônicas. Packard conservava aparelhos de TV. Crutchfield pertencia à primeira geração de matemáticos que considerava a lógica dos computadores uma linguagem natural. O prédio de Física em si era como o de qualquer lugar, com pisos de cimento e paredes sempre pintando uma nova demão de pintura, mas a sala ocupada pelo grupo do caos criou sua própria atmosfera, com pilhas de escritos, fotografias de nativos do Tuti nas paredes e, como não poderia deixar de ser, impressos de computadores de estranhos atratores.

Praticamente a qualquer hora um visitante podia ver membros do grupo reorganizando circuitos, arrancando fios remendados, discutindo sobre consciência ou evolução, ajustando o painel de um osciloscópio, ou apenas observando um brilhante ponto verde traçar uma curva de luz, sua órbita vibrando e agitada como algo vivo. A educação tradicional na dinâmica dos sistemas físicos nunca revelara o potencial de

tal complexidade porque se concentrava em sistemas lineares. Um sistema linear obedece às leis da proporção — quanto mais depressa se vai, mais longe se chega. A linearidade torna os cálculos fáceis ou, no menos, manejáveis. Infelizmente, a maioria dos sistemas do mundo real não é linear.

Eles contêm uma certa torção, como a fração, que não varia puramente como uma função de outras variáveis. A não-linearidade exige cálculos mais difíceis. Era a moeda na sopa previsível da Mecânica clássica. Poucos consideraram a não-linearidade uma força criativa; essa foi a não-linearidade que criou os padrões misteriosamente belos dos estranhos atratores. "Não-linear era uma palavra que você só encontrava no final do livro", diz Farmer. "Um estudante de Física fazia um curso de Matemática e o último capítulo tratava de equações não-lineares. Geralmente essa parte era deixada de lado." Shaw e seus colegas tiveram de canalizar seu entusiasmo natural para um programa científico. Eles precisavam fazer perguntas que pudessem ser respondidas e que valessem a pena ser respondidas. Eles buscaram meios de interligar teoria e pesquisa — aí, pensavam, estava o vazio a ser preenchido. Antes mesmo de começar, foram obrigados a aprender o que era sabido e o que não era, e isso em si foi um desafio formidável.

#### Não sabiam se estavam em território conhecido

Eles não tinham noção disso, mas seus problemas simbolizavam as barreiras que os pioneiros em caos enfrentavam nas mais diversas instituições — um punhado de pesquisadores, acidentalmente trabalhando por conta própria, recessos de discutir suas ideias não ortodoxas com os colegas. Os estudantes de Santa Cruz eram impedidos pela tendência de avançar aos poucos em ciência, particularmente quando um novo tema se atravessava em subdisciplinas estabelecidas. Frequentemente, eles não tinham ideia se estavam em território novo ou conhecido e, na verdade, parte de seu trabalho seguia paralelo a descobertas feitas por matemáticos soviéticos. Logo perceberam que muitos tipos de questões poderiam ser levantados sobre os possíveis

*Taste the Good Life*

The more you know about Scotch, the more you like the taste of

**Ballantine's**

Ballantine's  
FINEST SCOTCH WHISKY

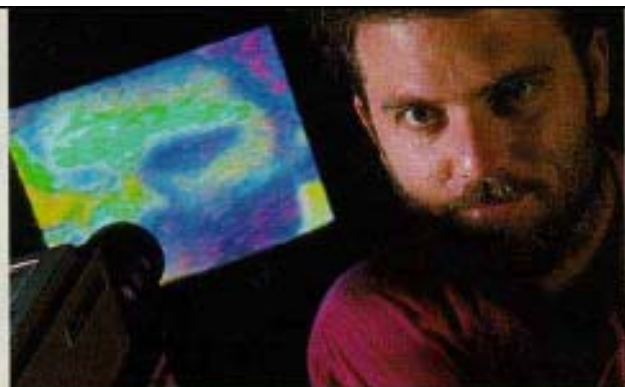
## No pára-choque, na folha ou na bandeira?

comportamentos de sistemas físicos simples e os estranhos atratores que eles produzem. Quais os seus padrões característicos? O que a Geometria revela sobre a física dos sistemas físicos correlatos? Um físico sempre quer calcular medidas. O que havia para ser medido nessas fantasmagóricas imagens em movimento?

Shaw e os outros tentaram isolar as qualidades especiais que tornavam os estranhos atratores tão encantadores. A imprevisibilidade era uma delas — mas onde encontrar os padrões para medir tal qualidade? A essa altura, o coletivo reunia-se com frequência em um velho casarão não longe da praia. Nela se amontoavam móveis de segunda mão e equipamentos de computador destinados ao problema da roleta e à pesquisa dos estranhos atratores. Convendo com esses estranhos atratores dia e noite, os jovens físicos começavam a reconhecê-los (ou a pensar que o faziam) nos fenômenos que sucediam, batiam e oscilavam na vida cotidiana. Eles tinham de jogar esse jogo. Perguntavam-se: onde fica o mais próximo estranho atrator? Estaria no pára-choque barulhento do carro? Na bandeira tremulando a esmo na brisa? Na uma folha que flutuava? "Você não ensaia algo até descobrir a melhora correta que lhe faz percebê-lo", diz Shaw. Não tardou que seu amigo astrofísico Burke ficasse perfeitamente convencido de que o velocímetro de seu carro oscilava do modo não-linear típico do estranho atrator.

### As vantajosas qualidades de uma torneira pingando

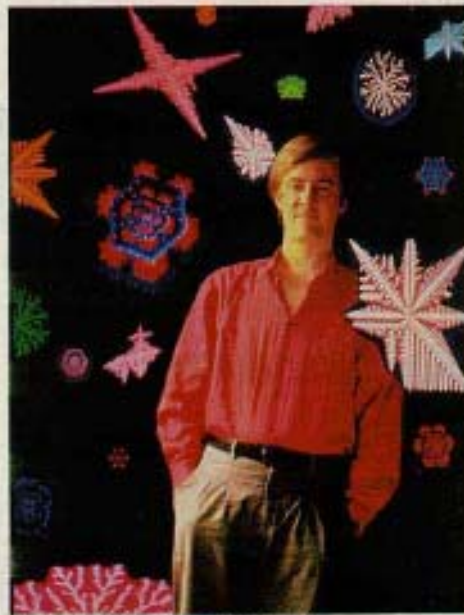
Shaw, ocupando-se de um projeto experimental que iria mantê-lo entediado por anos, adotou um sistema dinâmico do caseiro quanto algum físico pudesse imaginar: uma torneira pingando. Como gerador de organização, uma torneira pingando oferece pouco para se trabalhar. Mas, para um investigador iniciante do caos, a torneira pingando provou ter certas vantagens. Todo mundo tem dela uma imagem mental. O fluxo de dados é o mais unidimensional possível:



Craitchfield posa para um robô de vídeo que converte imagens em caos

uma banda ritmada de pontos isolados mensuráveis no tempo. Nenhuma dessas qualidades poderia ser encontrada em sistemas que o grupo de Santa Cruz iria explorar mais tarde — o sistema imitológico humano, por exemplo, ou o perturbador efeito da interação de feixes que prejudicava interpicavelmente o desempenho de partículas em colisão do Acelerador Linear de Stanford, ao norte de Santa Cruz.

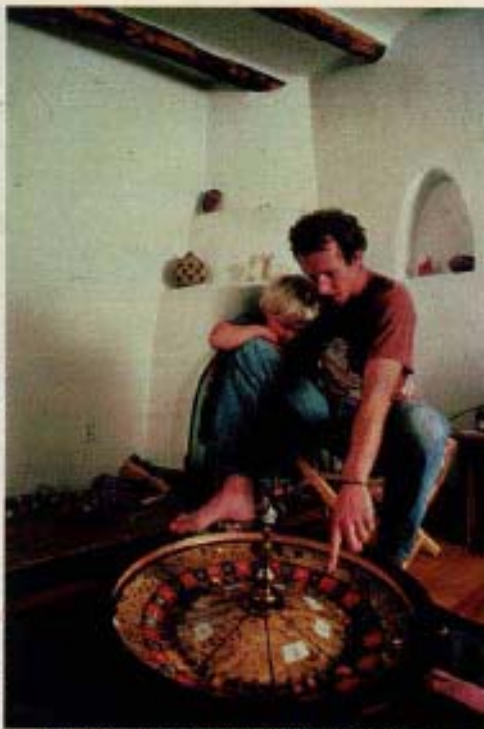
Na torneira pingando, tudo que existe é a solitária linha de dados. E não é nem uma variação contínua de velocidade ou temperatura — apenas uma lista dos tempos de gotejamento. Os pingos podem ser regulares. Ou, como qualquer um descobre ao ajustar uma torneira, podem tornar-se irregulares e aparentemente imprevisíveis. Solicitado a organizar um ataque a um sistema como esse, um físico tradicional começaria por montar um modelo físico o mais completo possível. Os processos que norteiam a formação e a ruptura das gotas são compreensíveis, ainda que não sejam tão simples como podem parecer. Uma variável importante é o ritmo do fluxo. (Este deve ser lento, comparado à maioria dos siste-



Norman Packard usa floco de neve gerados por computador, ou fractais, para entender os padrões de crescimento dos cristais

mas hidrodinâmicos. Normalmente, Shaw observava o ritmo de uma a dez gotas por segundo.) Outras variáveis incluem a viscosidade do fluido e a tensão de superfície.

Uma gota de água pendendo de uma torneira, à espera do momento de se romper, assume uma forma tridimensional complicada e apenas o cálculo dessa forma era, como diz Shaw, "o es-



Doyle Farmer mostra a seu filho como o minúsculo computador sob seu pé direito é usado para prever o resultado da roleta — aproximadamente

tado de arte em matéria de cálculo por computador". Uma gota enchendo-se de água é como um pequeno saco elástico de tensão superficial, oscilando para lá e para cá, aumentando a massa e expandindo as paredes até a ruptura.

### Uma espécie de caricatura de um modelo físico

Um físico que tentasse construir um modelo completo do problema da gota, formulando um conjunto de equações para depois tentar resolvê-las, acabaria no mar sem caminho. Uma alternativa seria esquecer a Física e observar apenas os dados, como se estivessem saindo de uma caixa-preta. Dada uma lista de números representando intervalos entre as gotas, será que um especialista em dinâmica caótica encontraria algo útil para dizer? Na

verdade, como foi comprovado mais tarde, podem-se conceber métodos para organizar esses dados dentro da Física e esses métodos se mostram decisivos no que diz respeito à aplicação do caos a problemas do mundo real. Shaw começou a meio caminho entre esses dois extremos, fazendo uma espécie de caricatura de um modelo físico completo. Ele fez um resumo rudimentar da Física das gotas, imaginando um peso que pendesse de uma mola. O peso aumentava constantemente. A mola estica e o peso desce cada vez mais. A certa altura, uma porção do peso se rompe. A quantidade que se desprende, Shaw supôs arbitrariamente, dependia apenas da velocidade da queda do peso descendente quando atingisse o ponto de ruptura.

Então, naturalmente, o peso restante voltaria para a posição anterior, como fazem as molas, com oscilações que estudantes aprendem a delinear usando equações normais. A característica interessante do modelo — era a torção não-linear que possibilita o comportamento caótico. O tempo preciso de uma gota dependia do ritmo do fluxo, é claro, mas dependia também de como a elasticidade desse saco de tensão superficial interagia com o peso que aumentava constantemente. Se uma gota iniciasse sua vida já em queda, ela se romperia mais cedo. Se acaso se formasse quando sua superfície inferior estivesse subindo, poderia escher-se com um pouco mais de água antes de romper-se.

Será que o modelo de Shaw geraria tanta complexidade como uma torneira de verdade? E essa complexidade

seria da mesma espécie? Shaw instalou-se em um laboratório no prédio de Física, com uma grade fina de plástico de água sobre a cabeça. Quando uma gota caía, interrompia um feixe de luz e saía ao lado um microcomputador marcava o tempo. Enquanto isso, Shaw fazia suas equações e operava o computador analógico, produzindo uma torrente de dados imaginários, muito parecidos às gotas da torneira real. Mas, para ir além, Shaw necessitava de um modo de colher dados puros de qualquer experiência e trabalhar com equações e estranhos atratores que pudessem revelar padrões ocultos.

### Trabalhando à noite, com menos gente no corredor

Com um sistema mais complicado, uma variável poderia ser graficamente relacionada a outra, correlacionando mudanças na temperatura ou na velocidade com o passar do tempo. Mas a torneira pingando proporcionava apenas uma série de tempos. Shaw tentou, então, uma técnica desenvolvida pelo grupo de Santa Cruz, que foi talvez sua contribuição prática mais esperta e duradoura ao progresso do caos — um método de reconstruir um estranho atrator invisível que poderia ser aplicado a qualquer série de dados. Para os dados da torneira pingando, Shaw construiu um gráfico no qual o eixo horizontal representava um intervalo de tempo entre duas gotas e o eixo vertical representava o intervalo de tempo entre as duas seguintes.

Se entre a gota número um e a gota número dois decorressem 150 milésimos de segundo, e depois 150 milésimos de segundo decorressem entre a gota número dois e a gota número três, ele marcava um ponto na posição (150,150). Era tudo que havia a fazer. Se o gotejamento fosse regular, o gráfico seria apropriadamente inerte. Cada ponto cairia no mesmo lugar. O gráfico seria um simples ponto. Ou quase — na verdade, a primeira diferença entre a torneira pingando no computador e a torneira real era que esta estava sujeita a distúrbios, ou "ruído", sendo extremamente sensível. Shaw acabou fazendo a maior parte de seu trabalho à noite, quando o tráfego de pessoas no corredor era mínimo. O barulho significava que, em vez do simples ponto previsto pela teoria, ele veria uma mancha ligeiramente indistinta.

A medida que o fluxo aumentasse, o sistema passaria por uma mudança re-

## Um novo modo de enxergar a realidade

penha nas suas características. Então as gotas caíam em pares repetidos. Um intervalo poderia ser de 150 milésimos de segundo e o próximo, de 80. Assim, o gráfico mostraria duas manchas distintas, uma centrada em 150-80 e outra em 80-150 e assim por diante. O verdadeiro teste ocorreu no momento em que o padrão se tornou caótico, quando o ritmo do fluxo foi novamente modificado. Se fosse mesmo forçado, haveria pontos dispersos por todo o gráfico. Mas, se um estranho atrator estivesse oculto nos dados, poderia se revelar como um padrão vago mas perceptível.

Muitas vezes acontecia serem necessárias três dimensões para se ver a estrutura, mas isso não era problema. Em vez de assinalar cada intervalo em relação ao próximo, os cientistas assinalavam cada intervalo em relação a cada um dos dois subsequentes. Era um truque, um artifício. Normalmente, um gráfico tridimensional requer o conhecimento de três variáveis independentes em um sistema. O truque possibilitava três variáveis pelo preço de uma. Refletiu a crença desses cientistas de que a ordem está tão profundamente contida na aparente desordem que encontraria um modo de se expressar, mesmo a pesquisadores que não sobressaem como variáveis físicas medir.

### "Ainda estamos aqui. Até onde isso irá?"

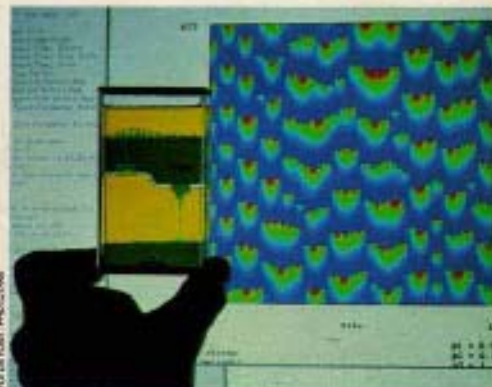
No caso da torneira de Shaw, as imagens ilustram o fato. Em três dimensões, sobretudo, os padrões apareciam como rastros de fumaça saindo de um arido, desse que escrevem no céu, descontrolado. Shaw poderia combater sinais gráficos dos dados experimentais com os dados produzidos pelo modelo computacionalizado, sendo a principal diferença o fato de os dados reais aparecerem sempre mais indistintos, manchados pelo ruído. Mas a estrutura era inconfundível. A medida que os meses passavam, a transição de rebeldes para físicos era lenta. De vez em quando, sentados em um café ou trabalhando em seu laboratório, em ou outro estudante tinha de conter o es-

panto que sua fantasia científica ainda não tinha eliminado. "Meu Deus, ainda estamos fazendo isso e ainda faz sentido", dizia Crutchfield. "Ainda estamos aqui. Até onde isso irá?"

A maioria dos professores de Física via-se numa posição difícil. "Não tínhamos orientador, ninguém para nos dizer o que fazer", diz Shaw. "Durante anos ficamos numa situação à parte e isso persiste até hoje. Nunca tivemos recursos financeiros em Santa Cruz. Cada um de nós trabalhou períodos consideráveis sem receber nada e o tempo todo era uma operação de fundo de quintal, sem orientação intelectual ou de qualquer outro tipo." Cada membro do coletivo era chamado de lado de tempos em tempos para conversas tranças. Eles eram advertidos de que, mesmo se de alguma forma fosse encontrada uma maneira de justificar um doutorado, ninguém seria capaz de ajudar os estudantes a conseguir um emprego em um campo incógnita.

Isso podia ser uma moda passageira, diziam os professores, e depois como é que vocês vão ficar? Na verdade, fora do abrigo de segunhos nas colinas de Santa Cruz, o caos estava criando seu próprio estabelecimento científico e o Coletivo dos Sistemas Dinâmicos deveria se juntar a ele. O ponto de inflexão foi uma aparição surpresa em um encontro sobre Física de matéria condensada realizado em Laguna Beach em 1978. O coletivo não foi convidado, mas apareceu assim mesmo, amontoando-se na caminhonete Ford 1959 de Shaw, apelidada por eles "Sinhão Cremoso". Por via das dúvidas, o grupo levou equipamentos, incluindo um enorme monitor de TV e um videoclipe. Quando um orador convidado cancelou sua presença à última hora, Shaw avançou e tomou seu lugar.

A ocasião foi perfeita. O caos já ostentava a fama de ser mencionado a meio voz, mas poucos dos físicos presentes à conferência sabiam do que se tratava. Shaw começou então explicando os diferentes tipos de atratores, dos comuns aos estranhos; a princípio, os



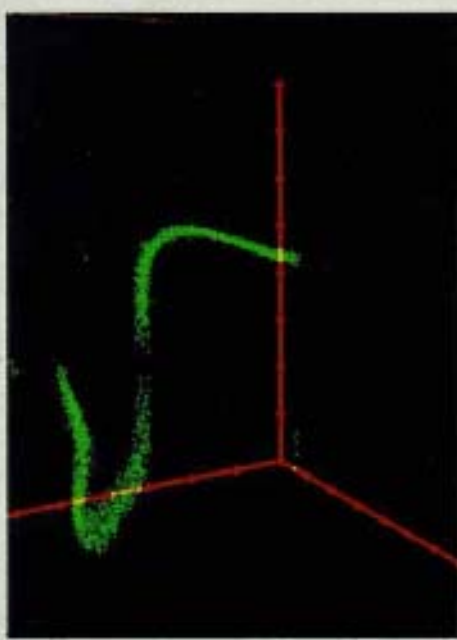
Gotas caindo (ao natural), à esquerda, e no modelo computacionalizado, à direita) têm padrões similares

estados inertes (quando tudo fica imóvel); depois, ciclos periódicos (quando tudo oscila); e, por fim, estranhos atratores caóticos (o restante). Ele demonstrou sua teoria com gráficos computacionalizados em videoclipe. ("Os meios audiovisuais nos dão uma vantagem", diz Shaw. "Podíamos hipnotizá-los com flashes de luz.") Ele ilustrou o atrator de Lorenz e a torneira que pinga. A palestra foi um triunfo popular e vários professores de Santa Cruz estiveram no auditório, vendo o caos pela primeira vez através dos olhos de seus colegas.

### O todo pode ser maior que a soma das partes

Mas o coletivo não podia durar para sempre. Quanto mais se aproximava do mundo real da ciência, mais perto da separação se encontrava. Seus membros começaram a pensar no futuro individual e passaram a colaborar com físicos e matemáticos estabelecidos em outros lugares. Tendo aprendido a procurar estranhos atratores em bandeiras tremulantes e em velocímetros defeituosos, os cientistas fizeram questão de detectar os sinais do caos em toda a Física atual. Peculiaridades outrora desprezadas como ruído — flutuações surpreendentes, regularidades misturadas a irregularidades — eram explicadas agora nos termos da nova ciência. Tais efeitos pipocaram de repente em escritos a respeito de tudo, desde lasers até circuitos eletrônicos.

Quando o coletivo se dissolveu —



Um gráfico do tempo entre um pingo e outro de uma torneira mostra uma ordem normalmente despercebida

seus membros se dirigindo às mais importantes instituições de Física, do Laboratório Nacional de Los Alamos ao Instituto de Estudos Avançados de Princeton e à Universidade da Califórnia em Berkeley —, alguns professores de Santa Cruz também já haviam aderido ao caos. Eles estavam se associando a um movimento: químicos, ecologistas, economistas, climatologistas tentam atualmente reconstruir estranhos atratores a partir de dados brutos, assim como Shaw fizera em seus estudos com a torneira gotejante.

Especialistas em finanças usam as técnicas desenvolvidas pelo grupo de Santa Cruz para analisar décadas de cotações diárias de bolsas de valores, buscando padrões que acreditam existir ali. Muitos fisiólogos acreditam agora que o caos proporciona um modo de prever — o talvez de tratar — ritmos irregulares no processo que governa a vida, desde a respiração até os batimentos cardíacos e até a função do cérebro. No MIT, médicos comparam eletrocardiogramas humanos com dados de um modelo de computador de contrações cardíacas caóticas,

numa tentativa de prever com bastante antecedência quando o órgão sofrerá um espasmo fatal.

Ecologistas usam a Matemática do caos para descobrir como, na ausência de mudanças ambientais fortuitas, populações de espécies podem crescer ou diminuir desordenadamente por conta própria. Packard estuda a tendência de processos caóticos de criar padrões complexos em fenômenos como flocos de neve, cuja forma delicada incorpora uma mistura de estabilidade e instabilidade que só agora começa a ser compreendida. Ele e Farmer utilizam a Física dos sistemas dinâmicos para estudar o sistema imunológico humano, com seus

bilhões de componentes e sua capacidade de aprender, memorizar e reconhecer padrões. Para esses cientistas e seus colegas, o caos tornou-se um conjunto de instrumentos capaz de elucidar fatos aparentemente casuais.

Mas é também uma série de atitudes em relação à complexidade — uma nova maneira de ver. Eles sentem que estão revertendo uma tendência científica de analisar sistemas em termos de suas partes constituintes — quarks, cromossomos ou átomos. "A tendência científica, particularmente em Física, tem sido pelo reducionismo, uma constante fragmentação das coisas em minúsculos pedacinhos", diz Farmer. "O que as pessoas estão finalmente percebendo é que esse processo é um beco sem saída. Os cientistas estão muito mais interessados na idéia de que o todo pode ser maior que a soma das partes."

### Para saber mais

Caos, a criação de uma nova ciência, James Gleick, Editora Companhia, Rio de Janeiro, 1989

## AVISO AOS ASSINANTES

SE VOCÊ NECESSITA DE ALGUMA INFORMAÇÃO SOBRE SUA ASSINATURA, ESCREVA PARA EDITORA ABRIL - ASSINATURAS, RUA DO CURTUME, 799, LAPA, CEP 05065, SÃO PAULO, SP.

OU, SE PREFERIR, UTILIZE ESTES TELEFONES:

**SÃO PAULO TEL. (011) 821-9222**  
DAS 8H ÀS 18H (INTERRUPTO)  
**RIO DE JANEIRO TEL. (021) 295-5344**  
DAS 8H ÀS 18H (INTERRUPTO)  
**RECIFE TEL. (081) 224-0655**  
DAS 8H ÀS 12H E DAS 14H ÀS 18H  
**SALVADOR TEL. (071) 247-1022**  
DAS 8H ÀS 12H E DAS 14H ÀS 18H  
**BELO HORIZONTE TEL. (051) 275-2255**  
DAS 8H ÀS 12H E DAS 13H ÀS 18H  
**PORTO ALEGRE TEL. (0512) 33-9034**  
DAS 8H ÀS 12H E DAS 14H ÀS 18H  
**BRASÍLIA TEL. (061) 236-6963**  
DAS 8H ÀS 12H E DAS 13H ÀS 18H  
**CURITIBA TEL. (041) 263-5013**  
DAS 8H ÀS 12H E DAS 14H ÀS 18H  
**FLORIANÓPOLIS TEL. (0482) 23-7998**  
DAS 8H ÀS 12H E DAS 14 ÀS 18H

SE VOCÊ MUDOU DE ENDEREÇO, PRESENÇA O PEDIDO DE ALTERAÇÃO ABAIXO, COLOQUE-O NUM ENVELOPE E ENVIE-O PARA

**EDITORA ABRIL ASSINATURAS**  
RUA DO CURTUME, 799, CEP 05065, LAPA, SÃO PAULO, SP.

PEDIDO DE ALTERAÇÃO DE ENDEREÇO

COLE AQUI SUA ETIQUETA DE ENDEÇAMENTO ANTERIOR.

ATENÇÃO: O RESERVADEIRO DA SUA CIRCULAR EM SEU NOVO ENDEREÇO DEVE SER ATUALIZADO APÓS RECEBERMOS O SEU PEDIDO.

NOVO ENDEREÇO

CEP

CIDADE

ESTADO TELEFONE

RECIBO Nº