

Uma Digressão sobre a Lógica Difusa

Os axiomas e as leis da matemática são muito úteis para certas atividades. Sabemos com absoluta certeza, por exemplo, que $2+2=4$ e que os ângulos de um triângulo somam 180° - isso é o que necessariamente se deduz dos axiomas. A matemática também é útil quando aplicada a grandezas físicas constantes. Einstein usou a matemática para mostrar que nada pode ser mais rápido que a velocidade da luz, que é uma grandeza constante. Apostadores como Blaise Pascal inventaram a estatística para calcular as probabilidades de resultados precisos - que um dado, digamos, venha a cair mostrando o quatro. Os meteorologistas na TV usam números para prever se vai, ou não, chover amanhã.

Você poderia rotular todos esses cálculos como um produto da "lógica exata" que, em última análise, deve sua metodologia a Aristóteles. Recentemente, entretanto, um pequena comissão de engenheiros e físicos puseram a lógica exata de lado, em favor do que chamam "lógica imprecisa", a ciência das quantidades indeterminadas. Segundo os lógicos da imprecisão, é correto dizer que existe uma probabilidade de sessenta por cento de chuva, na medida em que se possa definir o que se considera "chuva". Para os meteorologistas existem duas opções: ou chove ou não chove.

Mas, de fato, o próprio conceito de "chuva" é difuso. Se dois pingos de água caem do céu, isso é chuva? E o que dizer de cinquenta pingos? E de mil? Suponhamos que a neblina esteja espessa e baixa, e você sinta gotas de água em seu rosto. Isso é chuva? Onde passa a linha divisória? -perguntam os lógicos difusos. Quando a não-chuva se torna chuva?

Se isso soa para você como um enigma Zen, você não está sozinho. Realmente, os teóricos do pensar difuso, como o professor **Bart Kosko**, promovem sua nova ciência como se fosse uma síntese do tipo "Oriente encontra-se com Ocidente". E embora nos Estados Unidos a lógica difusa seja mais ridicularizada que festejada, ela virou uma verdadeira mania na indústria japonesa. Você já deve ter ouvido sobre as "máquinas inteligentes" que chegam do Japão: máquinas de lavar inteligentes, máquinas inteligentes de vender refrigerantes, microondas inteligentes, câmeras de vídeo inteligentes. São aparelhos programados para lidar com estados intermediários entre "Liga" e "Desliga", com quantidades que se podem graduar de forma mais sutil

que o simples "alto", "médio" ou "baixo", com respostas que não são apenas "sim" ou "não", mas também um meio-termo.

Se a "lógica difusa" tem uma origem, esta reside na tentativa da Lógica de se adaptar aos paradoxos de Russel e à incerteza de Heisenberg. O lógico polonês Jan Lukasiewicz desenvolveu uma lógica "multivalente" nos anos de 1920, refinando a lógica binária do sim-não, da física newtoniana, para permitir estados indeterminados. Em 1965, o matemático Lotfi Zadeh, de Berkeley, aplicou essa nova lógica à teoria dos conjuntos, em seu artigo "Conjuntos Difusos", que depois emprestou seu nome à lógica.

Os conjuntos que você aprendeu no colégio eram bem definidos. Ou uma coisa pertencia a um conjunto ou não pertencia. O número 2 pertence ao conjunto de números pares e não ao conjunto de números ímpares, e os dois conjuntos têm uma "intersecção vazia" - ou seja, nenhum número é ao mesmo tempo par e ímpar. (Por convenção, o número 0 não é nem par nem ímpar, ou pode ser sim considerado par se um número par for da forma " $2.n$ ", onde n é um número Inteiro: $0 = 2.0$. e um número ímpar da forma " $2.n+1$ "). Os conjuntos de Zadeh, entretanto, são indefinidos, são...como dizer? - difusos. Algumas coisas pertencem a estes conjuntos e outras não pertencem, mas existe uma terceira classe de coisas que pertencem *até certo ponto*.

O conjunto de números pares e o conjunto de números ímpares são conjuntos precisos. O conjunto de homens e o conjunto de mulheres são virtualmente precisos - existe uma ligeira indefinição sobre hermafroditas e transexuais. Mas o que dizer da série de pessoas altas? Ninguém chamaria um homem com 1,50m de "alto", mas qualquer um chamaria uma mulher de 1,80m de "alta". Onde você traçaria o limite? Um homem de 1,70m de altura estaria na série de homens altos, ou não? Um asiático iria concordar, nesse ponto, com um europeu, ou um italiano com um sueco? Altura é algo subjetivo e contínuo, então é impossível fixar um determinado padrão de altura e excluir as demais pessoas que estejam fora dele. Se 1,80m é alto, 1,79m o que é? Uma vez que começamos a pensar sobre essas questões, sobre questões de gradação, nosso pensamento começa a ficar difuso.

Tomando outro exemplo: o conjunto de pessoas felizes é difuso, porque muitos de nós somos felizes em um certo grau - talvez em um grau maior ou em um grau menor, mas quase nunca absolutamente felizes ou absolutamente infelizes. Uma pesquisa de opinião com perguntas do tipo: "você está satisfeito com a atuação do presidente?" é falha, já que muitas pessoas estão satisfeitas ou insatisfeitas somente até certo ponto. Usar uma escala de 1 a 10 apenas ajuda um pouco, mas ainda estamos lidando com uma faixa de números precisos

para definir uma gama de opiniões. Nem todas as notas "cinco" vão ser iguais.

Os conjuntos difusos são a chave para as máquinas difusas. A maioria dos artefatos com os quais você está familiarizado são "burros" - isto é, rigidamente programados. Sua televisão ou está ligada ou não está; o brilho está em 6 e o contraste em 3. Um sistema de aquecimento controlado por termostato é o exemplo clássico da máquina burra. Quando a temperatura cai abaixo de determinado ponto, o calor é ligado; quando ela ultrapassa essa temperatura, o calor é desligado. O mecanismo é binário: o calor está "ligado" ou "desligado", e quando está ligado, está sempre no mesmo grau.

As máquinas difusas, por outro lado, usam conjuntos difusos para produzir respostas mais flexíveis. Os termostatos "pensam" apenas que está quente ou frio e, em resposta, mandam instruções para desligar ou ligar. Instruções difusas, entretanto, permitem que se estabeleça um determinado grau de quente ou frio. Se decidimos que 20° é a temperatura perfeita, podemos dizer a um "aquecedor/condicionador de ar para modular seu comportamento, dependendo de quanto a temperatura atual difere de 20°. O aparelho nunca estaria só ligado ou desligado - ele estaria sempre ligado em um grau variável, misturando e combinando instruções.

A famosa máquina de lavar difusa trabalha no mesmo princípio, mantendo um olho eletrônico em uma gama de variáveis, calculando médias ponderadas e ajustando suas instruções em resposta. Que tipo de tecidos nós temos aqui? Estão muito ou pouco sujos? Estamos lidando com graxa, ketchup, café, barro, suor? A carga é grande? Todas essas variáveis se expressam de forma gradativa e a máquina de lavar inteligente calibra suas respostas interativamente. De maneira semelhante, câmeras de vídeo inteligentes ajustam com precisão seu foco e sua abertura; aparelhos de TV inteligentes acompanham e ajustam o brilho e o contraste de uma imagem instável.

Segundo os lógicos difusos, todo o universo dos fatos - como a altura das pessoas ou as imagens de TV - é difuso. Para David Hume, as proposições se classificam como "relações de idéias" ou "fatos positivos". As primeiras são necessariamente verdadeiras, enquanto os últimos podem ser verdadeiros ou falsos. Segundo o modo difuso de pensar, *nada* empírico é absolutamente verdadeiro ou absolutamente falso, mas simplesmente verdadeiro ou falso até certo ponto. Os cientistas modernos reconhecem que suas teorias e deduções nunca são absolutamente certas, são apenas altamente prováveis. A resposta da lógica difusa para isso é que a probabilidade ainda se baseia em suposições injustificáveis como, por exemplo, a de que uma partícula está ou não está onde a probabilidade prevê que ela estará. Os cientistas não dizem que uma partícula está 70% aqui e 30% ali, mas

apenas que existe 70% de probabilidade de que ela esteja 100 % aqui. Isso não é difuso.

Difuso é isso: o mundo é cinza. Nada é totalmente preto e nada é totalmente branco. Quando aplicamos um raciocínio preto-no-branco para explicar um mundo cinzento, temos que tratar algo que é verdadeiro em certa medida (por exemplo, que um copo está um tanto cheio) como se fosse ou inteiramente verdadeiro (o copo está cheio), ou inteiramente falso (o copo está vazio). Cada passo em um processo racional requer uma simplificação desse tipo e, portanto, adiciona outra camada de arbitrariedade e erro. Quanto mais raciocínio você usar a respeito de alguma coisa, mais você se afastará do caso real, em vez de se aproximar.

A que leva tudo isso, depende de a quem você pergunta. No mínimo, no mínimo, a lógica difusa, de fato, constrói máquinas melhores; a pergunta é se ela realmente chega a ser uma revolução matemática. Os proponentes dessa lógica se vangloriam com uma veemência que pode chegar a ser irritante, especialmente porque a lógica difusa ainda apela para a álgebra e a geometria convencional, e as máquinas difusas ainda usam os *chips* de computador que processam dados digitais binários. Por essas e outras razões, muitos matemáticos e engenheiros ocidentais consideram a *lógica* difusa apenas como palavrrório dos anos noventa, vinho velho em garrafa nova.