



# A ciência e as idas e voltas do senso comum

Michel PATY



## RESUMO

Não podemos conceber a compreensão e a comunicação de idéias sem fazer referência ao senso comum. Porém, por outro lado, todo conhecimento novo que seja importante precisa ultrapassar o senso comum e, portanto, romper com ele. Essas duas exigências, aparentemente contraditórias, podem ser conciliadas? E, se for o caso, de qual maneira? Devemos, na verdade, reconhecer que, quando conhecimentos novos são adquiridos e bem compreendidos, assimilados, completamente inteligíveis, e até ensinados; quando neles nos baseamos para avançar na direção de conhecimentos ainda mais novos, estes que foram adquiridos participam da constituição de um senso comum, modificado, diferente do precedente, mas que tem tanto direito quanto este à qualificação de “senso comum”, exatamente no mesmo sentido que o antigo. Desta maneira, o senso comum se enriquece pela assimilação dos conhecimentos científicos. Mostraremos como ele beneficia-se, de fato, das “ampliações” da racionalidade que permitem compreender de que maneira o progresso do conhecimento torna-se possível. Vários exemplos examinados na área da física contemporânea (com a teoria da relatividade e a teoria quântica) ajudarão a explicitar concretamente a tese assim resumida. Estas considerações têm implicações éticas, do ponto de vista da comunicação, pela possibilidade de compartilhar o conhecimento em termos inteligíveis com os não-especialistas, através do senso comum submetido à crítica. Uma reflexão epistemológica se faz necessária a respeito dos elementos de significação do conhecimento a serem compartilhados prioritariamente.

PALAVRAS-CHAVE • Senso comum. Popularização. Compreensão. Comunicação. Racionalidade. Inteligibilidade. Ética. Física quântica. Teoria da Relatividade.

## INTRODUÇÃO

Não podemos conceber a compreensão ou a comunicação sem fazer referência ao senso comum, que é uma espécie de terreno fértil para nosso pensamento e nossas ações. Porém, por outro lado, não existe possibilidade de aparecimento de novos conhecimentos de uma certa importância, sem ultrapassar o senso comum e, portanto, sem romper com ele. Estas duas exigências, aparentemente contraditórias, podem ser conciliadas? E, se for o caso, de qual maneira?

Sabemos, em muitos casos, que os conhecimentos realmente novos surgem ao destronar certas idéias admitidas anteriormente como evidentes em nome do senso

comum (por exemplo, na matemática ou na física, das geometrias não euclidianas até a física quântica, e também em outras disciplinas como a biologia evolucionista ou a biologia molecular etc.). Uma vez assimiladas e plenamente compreensíveis, tais idéias passam a ser ensinadas e até divulgadas, atingindo o grande público e, simultaneamente, servem de base para se avançar na direção de outros conhecimentos ainda mais inovadores. Um novo “senso comum” foi reconstituído a partir delas, diferente daquele que o precedeu, mas exercendo a mesma função para a compreensão e a comunicação. Deste modo, o senso comum é enriquecido pela assimilação dos conhecimentos científicos e, de maneira geral, pela experiência humana.

Tentaremos mostrar que ele beneficia-se, de fato, das “ampliações” (dos “alargamentos”) da racionalidade, única maneira de conceber que progressos sejam possíveis no campo do conhecimento. Vários exemplos examinados na área da física contemporânea (com a teoria da relatividade e a teoria quântica) ajudarão a explicitar concretamente a tese assim resumida. Estas considerações têm implicações éticas, do ponto de vista da comunicação, pela possibilidade de compartilhar o conhecimento em termos inteligíveis com os não-especialistas, através do senso comum submetido à crítica. Uma reflexão epistemológica se faz necessária a respeito dos elementos de significação do conhecimento a serem compartilhados prioritariamente. Concluiremos com uma evocação destas questões sobre a ética.

## 1. O SENSO COMUM

Começaremos por esclarecer o que se entende pela expressão “senso comum”. Pode-se dizer, numa primeira abordagem, que o “senso comum” é uma disposição geral de todos os seres humanos para se adaptar às circunstâncias da existência e da vida ordinária. Ele se relaciona tanto aos sentidos, por levar em conta dados dos órgãos sensoriais, quanto à capacidade de raciocínio, de reflexão sobre os elementos de uma situação. Na expressão “senso comum”, a palavra “senso” se refere a uma espécie de síntese instintiva (mas também intuitiva) imediata, enquanto o termo “comum” indica o carácter ordinário, difundido, provavelmente generalizado, desta faculdade. Todavia estes termos, *senso*, *comum* e *senso comum* são ambíguos e recobrem uma pluralidade de significações possíveis, como podemos ver nas suas mais variadas utilizações em diferentes épocas.

Para alguns, “senso comum” equivale à “opinião comum” e se relaciona com os usos de uma cultura ou de uma dada civilização, impregnado de seu imaginário e de idéias convencionais ou preconceituosas: neste caso, senso comum se opõe à razão crítica e ao espírito científico. Para outros, o “senso comum” seria um fundo de noções e

de aptidões necessárias ao exercício da capacidade de julgar partilhado por todos os homens, inscrito por toda a eternidade na natureza humana, que constituiria a base inalterável de todo pensamento racional e, portanto, de toda ciência. Tratar-se-ia de uma retomada da noção de “bom senso”, entendido como razão, segundo a conhecida afirmação de René Descartes no *Discurso do Método*: “A capacidade de bem julgar e de distinguir o verdadeiro do falso, que é propriamente o que denominamos ‘bom senso’ ou razão, é naturalmente igual em todos os homens”).<sup>1</sup>

Na realidade, a aceitação da expressão “senso comum” em sua utilização corrente variou com o tempo. Ora ela foi tomada como a base de nossos julgamentos racionais, ora (principalmente da metade do século XIX até o século XX) vista, sobretudo, como a matriz de opiniões equivocadas que constituem um obstáculo ao pensamento científico.

Entretanto, expressões familiares e bastante difundidas hoje em dia como “o senso comum o diz, rapaz”, ou “isso não tem senso comum”,<sup>2</sup> sugerem uma aceitação implícita da noção de “senso comum” pelo... senso comum, que valoriza seu lado racional e sua legitimidade “natural” como instância de julgamento. Precisamente por isso, tais expressões não suprimem a ambigüidade da noção, que lhe parece ser inerente: mesmo ao enfatizar a referência à razão, elas implicam a idéia de um julgamento médio adaptado à vida prática e social, que se deve tanto ao hábito quanto à opinião e às convenções. Ela também supõe que a razão que deve guiar o julgamento é a de que dispomos, nutrida dos conhecimentos admitidos. Mas o que é que nos dá a garantia de que esta “razão prática” seja suficiente para a constituição ou a aquisição de novos conhecimentos?

As próprias ciências e suas respectivas histórias fornecem-nos, por duas razões, dados preciosos de apreciação. Em primeiro lugar, *a ciência*, enquanto o conjunto dos conhecimentos científicos, que também compreende a evolução desses conhecimentos, constitui um fato inegável (um fato histórico, cultural, antropológico), com seus resultados verificáveis, por um lado, nas *aplicações* ao mundo real e, por outro, na *unidade do pensamento* conferida por ela (unidade parcial, mas em contínuo progresso). Essa unidade inclui a consciência da unidade da matéria e do mundo (a mesma matéria do cosmo, dos átomos, das formas orgânicas etc). A segunda razão é que o conhecimento científico coloca-se, mais explicitamente que outras formas de pensamento humano, *a questão de sua própria certeza*: ele pratica, metodicamente, a crítica permanente dos

<sup>1</sup> “La puissance de bien juger et de distinguer le vrai d’avec le faux, qui est proprement ce qu’on nomme le bon sens ou la raison, est naturellement égale en tous les hommes” (Descartes, 1996, p. 2).

<sup>2</sup> As expressões comuns em francês são: “le sens commun le dit, petit!”; “cela n’a pas de sens commun”.

conhecimentos anteriores e se interroga sobre sua legitimidade, o que implica, por sua vez, questionar *a legitimidade dessa própria legitimidade*. As ciências nos oferecem um terreno fértil para compreender como a compreensão é possível, e como uma tal possibilidade se deve às transformações do próprio senso comum.

Mas antes de recorrer às lições dos conhecimentos científicos, já podemos constatar que o próprio senso comum, apreendido de maneira reflexiva, é capaz de engendrar sua própria transformação. Pode-se dizer, a este respeito, com Henri Poincaré, Emile Meyerson, Paul Langevin, Albert Einstein e alguns outros, que o pensamento científico nada mais é do que um senso comum mais aguçado (Meyerson, 1908; 1921; 1931). Entretanto, o “gume” característico do pensamento científico leva a modificações por vezes radicais das noções e das aproximações do senso comum, como veremos mais adiante. A transformação do senso comum ocorre desde que nos propomos a compreender as formulações verbais da linguagem, os pensamentos e as ações da vida corrente. *Compreender*, isto é, *explicitar e interrogar suas significações*, o que passa necessariamente pela crítica do que é, no princípio, dado como *evidente porque comum* (comumente recebido). Tal é o primeiro sentido da filosofia e de suas contínuas interrogações.

Pode-se encontrar um exemplo extremamente significativo em uma obra de ambição à primeira vista “simples” como o *Tractatus logico-philosophicus* de Ludwig Wittgenstein,<sup>3</sup> cujas proposições são colocadas, ao mesmo tempo, como imediatamente admissíveis e apontam, sem condescendência, as primeiras evidências aparentes, começando por aquelas da linguagem. A leitura desse livro (mas o mesmo se poderá dizer de outros, como, por exemplo, a *Ética* de Baruch Spinoza<sup>4</sup>) equivale, de alguma maneira, a realizar um parto socrático que termina por instaurar novas condições para a expressão de proposições que sejam legitimamente aceitáveis. O que corresponde a uma *elaboração do senso comum enquanto crítico dele mesmo*. Essa reflexividade analítica e crítica do senso comum é o que lhe permite estar muito mais em conformidade com as idéias de significação e de verdade. A lição não é fundamentalmente diferente daquela das ciências. Mas estas últimas nos ajudam a precisá-la e a ampliá-la.

<sup>3</sup> Ludwig Wittgenstein, *Tractatus logico-philosophicus* (Wittgenstein, 1961; 1994). Ver também as observações desse mesmo autor sobre o senso comum em *Notebook 1914-1916* (1961; 1971) e também no seu *On certainty* (1969).

<sup>4</sup> Espinosa (1964). Ver o estudo de Marilena Chaui (1999).

## 2. CONFLITO E RENOVAÇÃO: O CASO DA TEORIA DA RELATIVIDADE

A história das disputas entre o pensamento científico e o senso comum é uma boa ilustração das ambivalências deste último. Gaston Bachelard mostrou, em sua obra *A formação do espírito científico* (*La formation de l'esprit scientifique*), como os conceitos das ciências clássicas se impuseram nos séculos XVII e XVIII, opondo-se a noções e concepções comuns geradas por preconceitos, por imagens de origem psicológica e por analogias mais imaginativas do que racionais (Bachelard, 1938). Podem ser constatados conflitos desse gênero em muitos capítulos da ciência contemporânea; por exemplo, tanto na resistência do público quanto na dos próprios homens de ciência aos novos conhecimentos.

A recepção à teoria da relatividade de Einstein, em suas duas formas, a restrita e a geral, constitui disso um excelente exemplo. Os que se opunham à teoria evocavam o *senso comum* ou o *bom senso*, entendidos como a simples *razão natural*, para levantar-se contra as noções abstratas, teóricas, puramente matemáticas, como a de espaço-tempo da relatividade restrita, ou a de curvatura do espaço da relatividade geral. Os partidários da teoria de Einstein replicavam evocando um *outro senso comum*, que se apóia em uma análise mais crítica dos fenômenos para justificar as novas concepções e, sobretudo, para torná-las compreensíveis.

Um exemplo notável dessa apresentação das idéias relativistas, segundo um senso comum renovado, é a que foi exposta em 1911 pelo físico Paul Langevin aos filósofos reunidos num congresso em Bolonha, na Itália. Depois de apresentar as razões da concepção relativista da física que renovava o quadro conceitual da mecânica clássica, Langevin propôs uma “experiência de pensamento”, concernente a um fenômeno físico característico da nova teoria. Trata-se da experiência de pensamento do “viajante de Langevin”, ou dos “gêmeos de Langevin”, justamente celebrada (e, também, mal entendida no início por certas pessoas), já que possibilitava a compreensão detalhada do sentido físico dos conceitos relativistas de espaço e de tempo.<sup>5</sup>

É útil explicar em poucas palavras a idéia essencial do raciocínio de Langevin,<sup>6</sup> que foi um dos primeiros físicos a adotar a teoria da relatividade de Einstein, tanto a *relatividade restrita* (que trata dos movimentos de inércia, lineares e uniformes) quanto a *relatividade geral* (que trata dos movimentos acelerados e do campo de gravitação). Ele entendeu ao mesmo tempo a forma matemática (o espaço-tempo quase-euclidiano

<sup>5</sup> Sobre a recepção da teoria da relatividade, cf. Glick (1987); Paty (1987; 1996; 1999a).

<sup>6</sup> Paul Langevin (1971-1946), físico francês. Ver a seu respeito a publicação recente: Bensaude-Vincent, Bustamante, Freire e Paty (2002).

de Minkowski no que diz respeito à primeira, a métrica espaço-temporal variável em cada ponto e os espaços não-euclidianos no que concerne à segunda) e a significação física correspondente concernente às modificações do espaço e do tempo. Excelente pedagogo, Langevin tinha o dom, como Einstein, de uma notável intuição física, que lhe permitia conceber os fenômenos físicos possíveis ilustrando mais diretamente as novas visões teóricas. Foi dessa maneira que ele imaginou as “experiências de pensamento” que possibilitavam “naturalmente” a compreensão das implicações das duas fases da teoria da relatividade (a do “viajante de Langevin” no caso da relatividade restrita; a do “obus de Júlio Verne”, no caso da relatividade geral). As idéias da primeira são as seguintes:

Suponhamos um viajante do espaço que se afastaria da Terra com velocidade bastante próxima à da luz, e que ficaria em comunicação com o planeta através da troca de sinais eletromagnéticos, retornando à Terra ao cabo de dois anos de seu tempo de relógio. (A inversão da direção, que não será considerada aqui, mas que se produziria ao final de seu primeiro ano, poderia ser feita rapidamente aproveitando o campo de gravitação de uma estrela). “Retornando à Terra, dois anos mais velho, ele sairá de seu arco e encontrará nosso globo envelhecido em duzentos anos, se sua velocidade se mantivesse somente no intervalo inferior de um vigésimo de milésimo da luz”. Essa velocidade determina o fator de dilatação do tempo do projétil com relação ao de um relógio terrestre. Apesar das dificuldades práticas consideráveis, uma tal viagem é em princípio possível. Langevin descreve minuciosamente como os terráqueos e o viajante trocariam informações sobre seus respectivos envelhecimentos através de sinais eletromagnéticos, luminosos ou rádio, o que os tornaria compreensíveis uns aos outros sem dificuldade.

Durante a viagem de ida, como eles se afastam um do outro, os sinais levariam muito tempo para chegar até eles : “Cada um deles verá o outro viver duzentas vezes mais lentamente do que normalmente”, e o viajante, durante o primeiro ano, só receberá os sinais dos dois primeiros dias terrestres. Além do mais, esses sinais serão deformados pelo efeito Doppler-Fizeau: o viajante os receberá com um comprimento de onda duzentas vezes mais longo que os emitidos pela Terra nesses dois dias. Na volta, ocorreria o inverso: os sinais recebidos pelo cosmonauta teriam um comprimento de onda duzentas vezes mais curto que os emitidos da Terra, e “cada um deles verá o outro viver uma vida particularmente acelerada (...) e o explorador, no ano que durará seu retorno, verá a Terra realizar os gestos de dois séculos”. No total, o viajante terá visto “a Terra se afastar e se aproximar dele num espaço de tempo igual, do seu ponto de vista, a um ano, enquanto que a Terra (...) vê o viajante dela se distanciar num espaço de dois séculos e voltar em dois dias, isto é, em um tempo quarenta mil vezes mais curto”. (A dissimetria entre os dois espaços de tempo, o da Terra e o do viajante,

deve-se ao fato de que o viajante foi submetido a uma inversão de direção, provocada por um movimento acelerado, que passa a considerar um referencial privilegiado) (Langevin, 1923, p. 265-300).

A descrição das circunstâncias da viagem imaginada por Langevin deixava claro que os conceitos de espaço e de tempo da relatividade restrita não são puras abstrações matemáticas e que elas têm um conteúdo preciso do ponto de vista dos fenômenos físicos: um tal conteúdo poderia tornar-se concreto relacionando-se o tempo aos relógios e as velocidades às variações de comprimento das ondas luminosas. O sentido físico dos conceitos ia desse modo, sem descontinuidade, da forma teórica e matemática à sua ação sobre nossas percepções e nossas sensações. Os novos conceitos de espaço e de tempo eram tão racionais e naturais quanto os antigos (e o eram ainda mais, pois se adaptavam melhor ao conjunto dos fenômenos físicos) e se conciliavam igualmente com aqueles do senso comum – um senso comum renovado. Mas esse novo senso comum diferia do antigo pelo fato de fazer sua uma visão crítica de noções que anteriormente foram recebidas sem análise: admitia uma crítica das “noções comuns” como as de espaço e de tempo.

### 3. COMUNICAÇÃO E UNIVERSALIDADE DO CONHECIMENTO: A LIÇÃO DE GALILEU E DE LANGEVIN

No exemplo que acabamos de evocar, o caráter “natural” dos novos conceitos, isto é, seu acordo com os fenômenos, é aceito tanto pelos homens de ciência, especialistas na área, que podem acompanhar as explicações de equações ou de experiências reais, quanto pelo público que não conhece os detalhes teóricos ou técnicos. Pelo menos este último pode doravante ter uma idéia do que está em jogo e integrar na sua própria visão do mundo, em sua cultura pessoal, as lições tiradas da relação entre os conceitos e os fenômenos e da significação da mediação teórica numa representação científica.

Esta lição tem uma importância considerável. E é a mesma já proposta por Galileu nos seus dois longos diálogos<sup>7</sup>, nos quais a argumentação, racional e com relação aos fenômenos, possibilitava a toda pessoa dotada de bom senso (e motivada por uma vontade sincera) a compreensão da maior verdade do sistema do mundo de Copérnico em detrimento do de Ptolomeu, ou das leis elementares da mecânica e da queda

<sup>7</sup> Cf. de Galileu, o *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano* (1970; 1992), recentemente traduzido em português e ricamente comentado por Pablo Rubén Mariconda (Galilei, 2001); e o *Discurso em torno de duas novas ciências* (Galilei, 1958).

dos corpos. *Toda pessoa dotada de bom senso (e de boa vontade)*: isto é, dispondo de senso comum.

Para Galileu e também para Langevin, o senso comum não se opõe ao conhecimento científico, já que, ao contrário, é graças a essa capacidade que seus leitores ou ouvintes podem começar a compreender o que antes ignoravam. Eles somente precisam apurar seu senso comum, desembaraçá-lo dos preconceitos, submeter as idéias ao crivo da dúvida e da crítica, como, aliás, Descartes o preconizava. O senso comum não só resulta mais apurado desse exercício como, ao mesmo tempo, ele se nutre dos novos conhecimentos que lhe parecem doravante evidentes, aumentando assim a potencialidade de sua razão, cujo campo se amplifica e cujas exigências são aprofundadas. Mais profundamente ainda que o senso comum, é a própria racionalidade que se amplia.

#### 4. O DESAFIO DA FÍSICA QUÂNTICA

Pode-se perguntar até que ponto os conceitos da física quântica também podem ser compreendidos, em princípio, pelo “homem da rua”, se lhe falamos de átomos, de núcleos e de partículas elementares, de difracção de elétrons ou de nêutrons, da não-separabilidade quântica, das oscilações de neutrinos, do princípio de exclusão de Pauli, do condensado de Bose-Einstein, do gato de Schrödinger e da “decoerência”. A prática da divulgação científica é mais difícil e delicada no que diz respeito à física quântica, pois esta é uma área que escapa às representações habituais. Sua relação com o mundo familiar dos objetos e dos fenômenos clássicos é necessariamente remota e indireta (Hoffmann & Paty, 1981).

Entre um “objeto” quântico no sentido próprio (diz-se de preferência um *sistema quântico*) e um objeto no sentido familiar da física clássica, tem-se a dupla barreira conceitual das pequenas dimensões e dos grandes números. Para as dimensões:  $10^{-8}$  cm (para o átomo) e  $10^{-13}$  cm (para o núcleo), quando nossos sentidos só conseguem alcançar o micron ( $10^{-4}$  cm) graças a um microscópio. E para os números: o do Avogadro,  $N = 6 \times 10^{23}$  situa-se entre a molécula-grama que se pode pesar numa balança, e a molécula-unidade, que exige para ser alcançada que se desça deste número... astronômico.

Por um lado, têm-se os objetos macroscópicos, com seus meios habituais de descrição: posição, velocidade, forma etc. Por outro, os objetos microscópicos, que nos são conhecidos somente pelos efeitos que eles produzem em certos fenômenos macroscópicos, em geral por estatística: interferências de corpúsculos sobre uma grade (microscópica) de difracção, necessidade de modificar a lei da radiação em uma cavidade, efeito fotoelétrico, supra-condutividade, efeito laser, condensação de Bose-



Einstein etc. Embora tenhamos acesso a fenômenos produzidos por sistemas quânticos individuais, como se tornou possível depois de várias décadas, é ainda através de experiências estatísticas (repetidas muitas vezes num mesmo sistema) que se pode aceder às suas leis por experiência.

É estritamente impossível representar uma “partícula quântica individual” com a ajuda de noções elementares com as quais descrevemos os objetos. Além do mais, supondo-se que possamos isolar, “descascando” sucessivamente um átomo-grama de uma dada substância de seus átomos, um ínfimo número de átomos ou um único átomo ao fim da operação (há algum tempo, isto é feito nos laboratórios, onde se sabe isolar os átomos, mesmo as partículas elementares), ele escaparia de nossa apreensão intuitiva, já que ele não é *localizável* no espaço. Seu caráter não localizável, aliás, dá origem a várias propriedades específicas dos sistemas quânticos como a interferência de uma partícula quântica consigo mesma por difração, ou a não-separabilidade (ou “*intricação*”<sup>8</sup>) de duas partículas quânticas que uma vez estiveram ligadas num mesmo sistema.

A descrição do campo quântico em termos simples e segundo conceitos usuais, ou pelo menos clássicos, que corresponderiam ao senso comum, parece então impossível à primeira vista. Toda tentativa de utilização de analogias clássicas tenderia, neste caso, ao fracasso. Ela não esclareceria nem o senso comum, nem a razão (o julgamento racional).

## 5. CONCEITOS E TEORIAS NA FÍSICA CLÁSSICA E EM FÍSICA QUÂNTICA

Esclareceremos brevemente alguns dos conceitos da física quântica, para mostrar com mais precisão como é que o problema da compreensão, nessa área, é colocado.

A física clássica descreve os sistemas físicos graças a conceitos expressos por grandezas matemáticas, em geral contínuas, como o espaço ( $x$ ), o tempo ( $t$ ), a velocidade ( $v$ ), a massa ( $m$ ), a impulsão ( $p$ ), a energia ( $E$ ), o movimento angular ( $J$ ), o campo elétrico ( $E$ ), a carga elétrica ( $e$ ) etc. As leis da física (mecânica, teoria da gravitação, eletromagnetismo, termodinâmica etc.) são transcritas por equações diferenciais entre essas grandezas (elas fazem intervir suas mudanças recíprocas instantâneas infinitesimais:  $dx$ ,  $dt$  etc.) cujas soluções (por integração) são valores de grandezas finitas, mensuráveis graças à ajuda de instrumentos. Esses instrumentos são, por sua

<sup>8</sup> Em francês “intrication”; em inglês “entanglement”. O termo foi proposto por Erwin Schrödinger em 1935. Cf. Schrödinger (1935; 1984).

vez, regidos pelas leis da física clássica. Tanto a teoria quanto a experiência permitem deste modo um “acesso direto” aos objetos e aos fenômenos considerados.

A física quântica não possibilita um “acesso direto” nesse mesmo sentido, porque os objetos (átomos, partículas elementares, radiações) escapam à percepção direta e tornam-se conhecidos através de fenômenos que não podem ser descritos da mesma maneira como os descritos acima. Esses fenômenos chegam ao nosso conhecimento através de instrumentos clássicos, ao mesmo tempo escapando à descrição clássica. Tornam-se conhecidos através dos valores das grandezas clássicas correspondentes aos conjuntos estatísticos. Entretanto, é possível caracterizar experimentalmente (depois de uns vinte anos) sistemas quânticos individuais e não apenas conjuntos estatísticos. A descrição teórica fornece a explicação disso, se admitimos que esses sistemas individuais só podem ser pensados graças unicamente aos conceitos quânticos, sem referi-los aos conceitos clássicos utilizados na medida.

A teoria quântica descreve com precisão as propriedades dos sistemas quânticos, mas através da intervenção de grandezas “abstratas”, de expressão matemática, muito diferente do que a física clássica nos havia habituado, e cujas relações são igualmente equações diferenciais, cujas soluções permitem encontrar as grandezas de tipo clássico, observadas e medidas. As regras de correspondência põem em relação as grandezas quânticas (teóricas) e as grandezas (clássicas) observadas.

As grandezas quânticas são a *função de estado* e as *variáveis dinâmicas* (chamadas “observáveis”, embora elas só o sejam indiretamente, através das quantidades clássicas). A função de estado é, matematicamente, um “vetor de espaço de Hilbert”, as variáveis dinâmicas são os “operadores” (de diferenciação, ou matrizes) agindo sobre a função de estado. As leis da física quântica são equações escritas com essas entidades, “equações de valores próprios”, cujas soluções fornecem o espectro dos valores possíveis dessas grandezas, correspondendo às obtidas através de observação. A diferença entre a fase de descrição teórica e a de observação consiste no fato de que a segunda nos fornece separada e consecutivamente cada um dos estados possíveis ( $\Psi_1, \Psi_2, \Psi_3, \dots$ ), enquanto a primeira indica globalmente o conjunto desses estados “superpostos” (trata-se do “princípio de superposição”). Com efeito, a mais geral função de estado é uma superposição linear de soluções possíveis ( $\Psi = a_1 \Psi_1 + a_2 \Psi_2 + a_3 \Psi_3 + \dots$ ). Os estados observados na aparelhagem correspondem a cada um dos elementos da superposição ( $\Psi_i$ ) afetado por uma probabilidade fornecida pelo seu módulo quadrado ( $P_i = |\Psi_i|^2$ ).

O “problema de interpretação”, na física quântica, volta a ser essencialmente o da significação da diferença e da relação por um lado, entre os estados e grandezas *teóricos*; e, por outro, os estados e grandezas *observados*, já que todas as propriedades especificamente quânticas podem ser consideradas como consequências da aplicação do princípio de superposição.

## 6. AS INTERPRETAÇÕES VOLTADAS PARA O SENSO COMUM

Foi então possível obter uma descrição teórica dos sistemas quânticos: a *teoria quântica* em suas diversas formas – *mecânica quântica*, *teoria quântica do campo* etc. – que, sob muitos pontos de vista, é incomparavelmente mais precisa e mais sujeita a condições (preditiva) que as da física clássica. Apesar disso, a teoria quântica é freqüentemente considerada como um “formalismo matemático”, cujas grandezas (função de estado, variáveis dinâmicas, operadores) não teriam uma contrapartida física direta: o vínculo com os fenômenos observados é fornecido por certas regras, como a “interpretação probabilista” da função de estado, elaborada por Max Born em 1926. A *função de estado* é uma grandeza com propriedades matemáticas definidas com precisão, cujo quadrado da amplitude fornece as probabilidades das configurações de estado observadas, ou observáveis, correspondendo aos resultados estatísticos das medidas. A função de estado (também chamada “função de onda”, mesmo se ela não representa uma onda real) é solução da equação do sistema e possibilita exprimir, graças às suas propriedades matemáticas, todas as características da descrição dos fenômenos físicos especificamente quânticos.

O conhecimento racional, teórico, do domínio quântico que escapa aos sentidos e ao senso comum é, portanto, possível e sua comunicação pelo ensino beneficia-se doravante de uma longa e rica experiência. Mas qual é, neste caso, o estatuto do senso comum? Seria tentador aqui estabelecer uma distinção radical entre uma comunicação dirigida ao público, que se tornaria praticamente impossível devido à incapacidade do senso comum de aceder a esse domínio abstrato, e uma outra, reservada aos especialistas, unicamente fundada sobre o “formalismo matemático” da teoria quântica e sobre o *savoir-faire* (ou *know-how*) experimental, o único capaz de recuperar o sentido físico.

Entretanto, pode-se considerar artificial uma tal solução, pois os especialistas da física quântica não são feitos de uma matéria diferente da do “homem da rua” que supostamente se interessaria pelos quanta. Ora, os físicos também experimentam a necessidade de compreender “intuitivamente” e de modo sintético o que eles abordam tecnicamente, através do formalismo matemático e das experiências realizadas. Nisso consiste toda a questão da “interpretação” da física quântica, principalmente da sua forma mais “simples”, a mecânica quântica, com seu aparelho teórico abstrato e suas experiências, aparentemente paradoxais.

No fundo, o cuidado com que os fundadores da física quântica abordavam a questão da *interpretação* não se dissocia da preocupação de tornar simples e intuitivamente compreensíveis a todo espírito “racional” a significação de um fenômeno quântico, às custas de um esforço de integração intelectual dos diversos elementos conceituais, te-

óricos, experimentais, para assimilá-los numa visão sintética imediata. Isso seria realmente “compreender” os fenômenos quânticos, que se tornariam completamente *inteligíveis* para nós. Uma vez que essa assimilação é feita para consigo mesmo e, em seguida, partilhada entre especialistas, deveria ser possível tornar o essencial compreensível a todo mundo dotado de razão e de um pouco de boa vontade para aprender. Se o que se acaba de dizer tem um sentido, ainda é pela expressão “senso comum”, mas entendida como capacidade universal de perceber a razão das coisas, que esse sentido seria melhor exprimido. E é isso que parece continuar pendente na área da física quântica, já que os próprios especialistas não estão certos de terem chegado a isso satisfatoriamente. Ou, pelo menos, nem todos chegaram às mesmas conclusões, porque eles não têm absolutamente a mesma concepção do que seja a racionalidade nesse domínio.

Voltemos alguns instantes à questão da interpretação na física quântica e às diferentes posições a seu respeito, consideradas nas suas grandes linhas (Jammer, 1971).

A natureza abstrata e indireta da descrição pela teoria quântica suscitou muitos problemas de compreensão dessa teoria. Os físicos manipulavam com sucesso o formalismo, mas sem poder referi-lo a entidades que pudessem ser representadas intuitivamente, como as grandezas clássicas. Esta *dificuldade para o senso comum*, inerente às próprias condições da física quântica, deu origem ao *debate sobre a interpretação* da mecânica quântica, a fim de propor uma inteligibilidade (conforme ao senso comum) dessa área do conhecimento.

A posição de Niels Bohr e da “Escola de Copenhague” respondia em termos de *procedimentos de observação*: só se deve considerar um sistema quântico no interior do dispositivo (clássico) de sua medida, adequada à nossa percepção (portanto, às nossas noções comuns); e a descrição desse conjunto é feita pelas grandezas clássicas, munidas de condições de restrição. Segundo esta concepção, a noção de *sistema físico real existente independentemente* de suas condições de observação (e mesmo *concebível independentemente* de tais condições) é desprovida de sentido. Outros físicos (Louis de Broglie, David Bohm, Jean-Pierre Vigié etc.) avançavam a necessidade de manter a idéia de uma descrição direta dos sistemas, insistindo num *determinismo*, oposto às limitações probabilistas (e necessidade para eles do senso comum): sugerindo completar a descrição quântica (estatística e indeterminista) com variáveis suplementares ocultas “deterministas”. Outros ainda, com Einstein, davam ênfase à necessidade de analisar os *sistemas físicos reais individuais*, mesmo ao admitir um grau elevado de abstração dos conceitos e das teorias, e um maior afastamento entre a representação teórica e os dados empíricos: o “senso comum”, entretanto, lhes parecia pedir a permanência da idéia de uma *localização espacial* precisa, que os sistemas quânticos não respeitavam.<sup>9</sup>

Uma concepção, um pouco diferente, do “*realismo quântico*” manteria a idéia de *sistemas físicos reais individuais*, admitindo completamente a importância do ponto de vista crítico da teoria quântica em comparação com os conceitos clássicos. O conhecimento desses sistemas refere-se à percepção só indiretamente, tomando como dado bruto os resultados da observação, dado que informa o *entendimento*, estando este livre para elaborar suas construções teóricas. O “senso comum”, como instância de julgamento, exigiria, para uma *teoria direta*, a coerência teórica e a representação mais estritamente fiel dos fenômenos em suas especificidades. Ora, uma tal representação já existe; inegavelmente trata-se da do formalismo da atual teoria quântica, já que o que dá conta desses fenômenos é sua propriedade fundamental de superposição linear das funções de estado. Tais fenômenos são produzidos experimentalmente a partir do pensamento teórico (por grandezas quânticas como a *função de estado*), que eles contribuem dessa maneira a tornar *concreto e intuitivo* apesar de seu carácter inicial abstrato (conforme a fórmula de Langevin: “O concreto é o abstrato tornado familiar pelo uso”). Esses fenômenos são predominantemente a *difracção* e a *interferência* de partículas, produzidas individualmente entre si mesmas; a interação de átomos individuais com seu próprio campo magnético; as “oscilações de neutrinos”; as propriedades dos *sistemas quânticos idênticos indiscerníveis*, com o princípio de exclusão de Pauli; e a “condensação de Bose”; e ainda a “decoerência quântica” recentemente observada.<sup>10</sup> Eles teriam sido impensáveis sem a teoria quântica e seus conceitos, fazendo-nos, por assim dizer, ver com os próprios olhos<sup>11</sup> estes últimos e a realidade do sistema quântico do qual eles são os efeitos, da *função de estado* que os descreve. Nesse sentido, uma *nova intuição* e um *novo senso comum* adequados à realidade quântica foram constituídos, dando-nos uma *inteligibilidade mais imediata* dos fenômenos quânticos.

## 7. A FORMAÇÃO DE UMA INTELIGIBILIDADE INTUITIVA

A questão da inteligibilidade, pelos homens de ciência, dos fenômenos quânticos e das leis dos sistemas físicos que nela se baseiam, relaciona-se, portanto, com a questão da assimilação pelo senso comum, na mesma medida que a ela se pode relacionar a questão

<sup>9</sup> Sobre algumas dessas posições, cf. em particular: Bohr (1958); Einstein & Born (1969; 1972); Langevin (1934); Bohm (1980); Bell (1987); Espagnat (1994). Cf. também Freire (1995); Paty (1988; 1995; no prelo).

<sup>10</sup> Cf. Zurek (1991); Griffin, Snoko & Stringari (1995); Haroche, Brune & Raimond (1997). Sobre os aspectos epistemológicos destas questões, cf. Paty (1999b; 2000a; 2000b).

<sup>11</sup> Em francês: “toucher du doigt”.

da comunicação desses conhecimentos. Consta-se que, na maior parte das *interpretações*, o senso comum deve ser modificado para assimilar tais conhecimentos.

De fato, os físicos que se consagram à física quântica são levados a transformar seu próprio senso comum de maneira mais prática do que discursiva, chegando a compreender de modo sintético e, por assim dizer, diretamente, a significação das grandezas teóricas em termos de fenômenos. O que se torna possível tanto ao analisar-se esses fenômenos, quanto ao criá-los, materializando de algum modo os elementos da teoria em fenômenos físicos que eles podem manipular. Desse modo, eles constituem para si mesmos uma *inteligibilidade intuitiva* dos conceitos quânticos que não passa mais por conceitos clássicos. E assim não se surpreendem mais diante dos fenômenos experimentados no laboratório, que chocariam o senso comum corrente, já que eles se colocam no mesmo plano do sistema de conceitos que exprime a possibilidade de tais fenômenos. A teoria física lhes terá permitido *conceber*, a partir de seus conceitos tão afastados das representações clássicas, fenômenos físicos que então é possível *ver*. Ao contrário, na fase de aprendizagem da área quântica, parecia ser necessário referir todo conhecimento a um ver imediato (o dos instrumentos de observação). Essa compreensão familiar não submissa ao *diktat* clássico resulta de uma assimilação teórico-fenômeno que precisou desfazer-se das sujeições do senso comum anterior, para aceder a uma racionalidade mais imediata. Para esta, não é necessária uma interpretação suplementar, já que ela fornece diretamente a inteligibilidade dos conceitos e dos fenômenos. E é o próprio vínculo entre os conceitos e os fenômenos que atravessa a estrutura dessa nova racionalidade ampliada (Paty, 2001a; 2001b; 2002).

## 8. NO RUMO DA QUESTÃO “INTELIGIBILIDADE E ÉTICA”

Essas considerações têm implicações éticas, sob vários pontos de vista, que não podemos analisar aqui; queremos apenas concluir com sua breve evocação. Está claro para todos que os problemas éticos apontados pelo conhecimento científico na sua relação com o senso comum dizem respeito às aplicações desses conhecimentos, e seus efeitos sobre o mundo, sobre o homem (não somente os medicamentos, a biogenética ou os meios de morte: pensemos, por exemplo, nas florestas de antenas que começaram a cobrir a superfície da Terra a partir da teoria magnética de James C. Maxwell e as experiências de Heinrich Hertz). Os problemas dessa natureza se multiplicam atualmente e sua importância é crucial para o mundo de amanhã. Eles testemunham visivelmente o vínculo que existe entre os conteúdos dos conhecimentos científicos, o pensamento científico e as outras dimensões do pensamento e das atividades humanas nas quais o senso comum ainda tem um papel mais direto. Eles mostram como o pensamento ra-

cional e que visa a objetividade é inseparável da vontade e de escolhas éticas, seja na unidade singular dos espíritos individuais ou nas coletividades sociais.

Mas a dimensão ética não diz respeito somente às aplicações técnicas e práticas do conhecimento científico. Ela concerne ao próprio conhecimento enquanto *pensamento*.

A ética reside também e sobretudo no próprio movimento que leva o pensamento científico, do qual se apropria o indivíduo, a escolher livremente a submissão à idéia de verdade, que o conduz a uma autêntica ascese intelectual e espiritual.<sup>12</sup> Uma ascese que não abra mão da exigência de racionalidade e que aceite mudar a sua concepção inicial do que é racional para tornar-se mais fiel à idéia de racionalidade, que transcende e anima, num processo imanente, seu pensamento. Uma tal ética implica ao mesmo tempo uma preocupação com o processo de comunicação, isto é, com a possibilidade de compartilhar o conhecimento em termos inteligíveis com os não-especialistas (Lopes & Silva, 1990) através do senso comum submetido à crítica. Uma reflexão epistemológica a respeito da significação e das condições de comunicação dos elementos do conhecimento a serem partilhados se faz necessária. Aqui estamos diante de outras considerações, mas convergentes com as que analisamos sobre a inteligibilidade. O que aí está em jogo é a natureza e o alcance da própria ciência: é claro que uma reflexão desse tipo é necessária para a vida da ciência, acompanhando a aparição dos seus novos conteúdos de conhecimento. Sem uma compreensão reflexiva que possa garantir que a ciência tenha consciência dela mesma nas suas diversas dimensões, corre-se o risco de asfixiá-la, por mais rica que seja. ☞

*Traduzido do original em francês por Maria Aparecida Corrêa-Paty*

Conferência proferida no I Congresso Internacional de Divulgação Científica (UNESCO/Associação Brasileira de Divulgação Científica – ABRADIC/Reitoria da USP). São Paulo, de 26 a 29 de agosto de 2002.

*Michel PATY*

Diretor científico da Equipe REHSEIS (UMR 7596),

CNRS e Université Paris 7-Denis Diderot,

Paris, França.

*paty@paris7.jussieu.fr*

<sup>12</sup> Refiro-me aqui às idéias de ascese e de ética do conhecimento científico expressadas por Jacques Monod (Monod, 1970).

### ABSTRACT

Understanding and communication cannot be conceived without referring to common sense. But, from another side, the coming out of significant new knowledge needs overrunning this common sense, which implies breaking out with it. Can these two exigencies, which appear at first sight contradictory, be conciliated? One must consider that when truly new knowledges are assimilated and have become fully intelligible, so as to be taught, and even popularized, and to serve as a basis to go further towards other, newer, knowledges, the first ones are henceforth part of a new “common sense”, modified and different from the preceding one, but still having the same function for understanding and communication. We show, by taking various examples from contemporary physics (relativity theory and quantum physics), that this renewed common sense takes profit of the widenings of rationality which allow to conceive that a progress of knowledge is possible. These considerations entail ethical implications, from the point of view of communication, concerning the sharing of knowledge with non-specialists in intelligible terms, through a common sense submitted to the requirement of criticism. Consequently, it appears necessary to think about the elements of meaning of knowledge whose sharing has priority, and about the conditions of such a sharing.

KEYWORDS • Common sense. Popularization. Understanding. Communication. Rationality. Intelligibility. Ethics. Quantum physics. Relativity theory.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BACHELARD, G. *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, Vrin, 1938.
- BELL, J. S. *Speakable and unspeakable in quantum mechanics*. Cambridge, Cambridge University Press, 1987.
- BENSAUDE-VINCENT, B.; BUSTAMANTE, M. C.; FREIRE, O. & PATY, M. (eds.). *Paul Langevin, son œuvre et sa pensée. Science et engagement*. In: *Epistémologiques*, número especial, 2, 1-2, 2002.
- BOHM, D. *Wholeness and the implicate order*. Londres, Routledge and Kegan Paul, 1980.
- BOHR, N. *Atomic physics and human knowledge*. Nova Iorque, Wiley, 1958.
- \_\_\_\_\_. *Physique atomique et connaissance humaine*. Paris, Gallimard, 1991.
- CHAUI, M. *A nervura do real. Imanência e liberdade em Espinosa*. Vol. I. São Paulo, Companhia das Letras, 1999.
- DESCARTES, R. *Discours de la méthode*. In: ADAM, Ch. & TANNER, P. (eds.). *Oeuvres de Descartes*. Vol. VI. Paris, Vrin, 1996, p. 1-78.
- EINSTEIN, A. & BORN, M. *Briefwechsel 1916-1955*. Munique, Nymphenburger Verlagshandlung, 1969.
- \_\_\_\_\_. *Correspondance 1916-1955*. Trad. de P. Leccia e notas de M. Born. Paris, Seuil, 1972.
- ESPAGNAT, B. D'. *Le réel voilé. Analyse des concepts quantiques*. Paris, Fayard, 1994.
- ESPINOSA, B. *Ethique*. Trad. de Ch. Appuhn. In: *Œuvres*. Vol. II. Paris, Garnier-Flammarion, 1964.
- ESPINOZA, M. (ed.). *De la science à la philosophie. Hommage à Jean Largeault*. Paris, L'Harmattan, 2001.
- FREIRE JR., O. *A emergência da totalidade. David Bohm e a controvérsia dos quanta*. Tese de doutorado, Departamento de História, Universidade de São Paulo, 1995.
- GALILEI, G. *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno di due nuove scienze*. Ed. de A. Carugo & L. Geymonat, Boringhieri, 1958.
- \_\_\_\_\_. *Dialogues sur deux sciences nouvelles*. Trad. de M. Clavelin. Paris, Armand Colin, 1970.
- \_\_\_\_\_. *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*. Trad. de R. Fréreau. Paris, Seuil, 1992.



- GALILEI, G. *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*. Trad., introd. e notas de P. R. Mariconda. São Paulo, Discurso Editorial e Fapesp, 2001.
- GLICK, T. (ed.). *The comparative reception of relativity*. Dordrecht, Reidel, 1987.
- GRIFFIN, A.; SNOKE, D. W. & STRINGARI, S. (eds.). *Bose-Einstein condensation*. Cambridge, Cambridge University Press, 1995.
- HAMBURGER, A. I.; DANTAS, M. A.; PATY, M. & PETITJEAN, P. (eds.). *A ciência nas relações Brasil-França (1850-1950)*. São Paulo, EDUSP, 1996.
- HAROCHE, S.; BRUNE, M. & RAIMOND, J. M. "Experiments with single atoms in a cavity: entanglement, Schrödinger's cats and decoherence". In: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 355, 1997, p. 2367-80.
- HOFFMANN, B. & PATY, M. *L'étrange histoire des quanta*. Paris, Seuil, 1981.
- JAMMER, M. *The philosophy of quantum mechanics. The interpretations of quantum mechanics in historical perspective*. Nova Iorque, Wiley and Sons, 1971.
- LANGEVIN, P. *La physique depuis vingt ans*. Paris, Doin, 1923.
- \_\_\_\_\_. *La notion de corpuscules et d'atomes*. Paris, Hermann, 1934.
- LOPES, J. A. & SILVA, F. L. (orgs.). *Filosofia da comunicação*. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1990.
- MEYERSON, E. *Identité et réalité*. Paris, Alcan, 1908.
- \_\_\_\_\_. *De l'explication dans les sciences*. 2 vols. Paris, Payot, 1921.
- \_\_\_\_\_. *Du cheminement de la pensée*. 3 vols. Paris, Alcan, 1931.
- MONOD, J. *Le hasard et la nécessité*. Paris, Seuil, 1970.
- PATY, M. "The scientific reception of relativity in France". In: GLICK, T. (ed.). *The comparative reception of relativity*. Dordrecht, Reidel, 1987, p. 113-67.
- \_\_\_\_\_. *La matière dérobée. L'appropriation critique de la physique contemporaine*. Paris, Archives Contemporaines, 1988.
- \_\_\_\_\_. *A matéria roubada. A apropriação crítica do objeto da física contemporânea*. Trad. de M. A. L. de Barros. São Paulo, EDUSP, 1995.
- \_\_\_\_\_. "A recepção da relatividade no Brasil e a influência das tradições científicas européias". Trad. de A. M. Alves. In: HAMBURGER, A. I.; DANTAS, M. A.; PATY, M. & PETITJEAN, P. (eds.). *A ciência nas relações Brasil-França (1850-1950)*. São Paulo, EDUSP, 1996, p. 143-81.
- \_\_\_\_\_. "La réception de la relativité au Brésil et l'influence des traditions scientifiques européennes". In: *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, 49, 1999a, p. 331-68.
- \_\_\_\_\_. "Are quantum systems physical objects with physical properties?" In: *European Journal of Physics*, 20, 1999b, p. 373-88.
- \_\_\_\_\_. "Interprétations et significations en physique quantique". In: *Revue Internationale de Philosophie*, 212, 2, 2000a, p. 199-242.
- \_\_\_\_\_. "The quantum and the classical domains as provisional parallel coexistents". In: *Synthese*, 125, 1-2, 2000b, p. 179-200.
- \_\_\_\_\_. "La notion de grandeur et la légitimité de la mathématisation en physique". In: ESPINOZA, M. (ed.). *De la science à la philosophie. Hommage à Jean Largeault*. Paris, L'Harmattan, 2001a, p. 247-86.
- \_\_\_\_\_. "Intelligibilité et historicité (science, rationalité, histoire)". In: SALDAÑA, J. J. (ed.). *Science and cultural diversity. Filling a gap in the history of science*. México, Cadernos de Quipu 5, 2001b, p. 59-95.
- \_\_\_\_\_. "Les concepts de la physique: contenus rationnels et constructions dans l'histoire". In: *Principia*, 2002, p. 187-218.
- \_\_\_\_\_. *Einstein, les quanta et le réel (critique et construction théorique)*. (no prelo).
- SALDAÑA, J. J. (ed.). *Science and cultural diversity. Filling a gap in the history of science*. México, Cadernos de Quipu 5, 2001.

- SCHRÖDINGER, E. “Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik”. In: *Die Naturwissenschaften*, 23, 1935, p. 807-12; 824-8; 844-9.
- SCHRÖDINGER, E. “Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik”. In: *Gesammelte Abhandlungen. Collected papers*. 4 vols. Braunschweig/Viena, Verlag der Oesterreichischen Akademie der Wissenschaften/Vieweg und Sohn, Vol. III, 1984, p. 484-501.
- WITTGENSTEIN, L. *Tractatus logico-philosophicus*. Nova Iorque, Routledge & Kegan Paul, 1961.
- \_\_\_\_\_. *Notebook, 1914-1916*. Ed. de G. H. von Wright & G. E. M. Anscombe. Trad. de G. E. M. Anscombe. Nova Iorque/Oxford, Harper and Row/Basil Blackwell, 1961.
- \_\_\_\_\_. *On certainty*. Trad. de D. Paul and G. E. M. Anscombe. Nova Iorque, Harper and Row, 1969.
- \_\_\_\_\_. *Carnet, 1914 – 1916*. Trad. e notas de G. G. Granger. Paris, Gallimard, 1971.
- \_\_\_\_\_. *Tractatus logico-philosophicus*. Trad. e introd. de L. H. dos Santos. São Paulo, Edusp, 1994.
- ZUREK, W. H. “Decoherence and the transition from quantum to classical”. In: *Physics Today*, 44, 1991, p. 36-44.