

Capítulo VIII

os grandes paradoxos da teoria quântica

Roberto Leon Ponczek

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

PONCZEK, RL. *Deus ou seja a natureza: Spinoza e os novos paradigmas da física* [online]. Salvador: EDUFBA, 2009. 352 p. ISBN 978-85-232-0608-6. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org>>.



All the contents of this chapter, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial-ShareAlike 3.0 Unported.

Todo o conteúdo deste capítulo, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição - Uso Não Comercial - Partilha nos Mesmos Termos 3.0 Não adaptada.

Todo el contenido de este capítulo, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported.

CAPÍTULO VIII

OS GRANDES PARADOXOS DA TEORIA QUÂNTICA

A incerteza quântica é epistemológica ou ontológica?

Neste capítulo será feita uma reflexão sobre dois grandes paradoxos da Teoria Quântica: paradoxo do gato e paradoxo EPR. Estes paradoxos nos conduzirão a relevantes questões acerca do indeterminismo e incompletude dessa teoria. Será o indeterminismo da TQ próprio da natureza ou das limitações do nosso conhecimento sobre ela? Será então consequência de uma descrição humana incompleta do microcosmos? A incompletude pode ou não ser superada por outras teorias? Ou será ainda que Einstein extrapolou o necessitarismo de Spinoza, impondo condições adicionais como a localidade dos processos da natureza?

Será apresentada uma proposta de entendimento da TQ, na qual estes questionamentos longe de desviarem a atenção dos aprendizes, levando-os a especulações estéreis, como vociferam os pragmatistas do ensino, constituirão a matéria-prima para ricos diálogos que certamente abrirão extensos campos de reflexão nas mentes do mestre e seus aprendizes.

Começarei refletindo acerca de quatro proposições da Ética que são lemas em prol da autodeterminação e da necessidade da natureza de ser exatamente como ela é:

- 1^a. Uma coisa que é determinada por Deus a qualquer ação não pode tornar-se a si própria indeterminada¹.
- 2^a. Na natureza nada existe de contingente, antes, tudo é determinado pela necessidade da natureza divina a existir e a agir de modo certo².
- 3^a. As coisas não poderiam ter sido produzidas por Deus de maneira diversa e noutra ordem do que têm³.
- 4^a. É da natureza da razão considerar as coisas necessárias e não contingentes, no entanto, imaginamos as coisas como contingentes somente em razão da insuficiência do nosso conhecimento⁴.

Esta última responde claramente à primeira das questões formuladas ao considerar a contingência ou indeterminismo científico como “insuficiência de nosso conhecimento” acerca da multiplicidade de causas que determinam uma coisa a ser exatamente como de fato é. Einstein, em suas contumazes críticas à TQ, se aproximará muito desta ideia. Quanto às segunda e terceira, Spinoza demonstra pelo método do absurdo que a contingência só é compatível com a existência de várias substâncias distintas, ou seja, a unicidade da substância, e se ela é Deus, o monoteísmo, só é compatível com a necessidade das coisas de serem exatamente como são e não de outra forma.

Mas o que dizer do indeterminismo reinante no universo microscópico dos átomos e das partículas subatômicas, expresso pelo princípio de incerteza de Heisenberg, que acabamos de ver? E a respeito do princípio de complementaridade de Bohr pelos quais os corpos que habitam a microfísica, a depender de como são montados os experimentos, nos aparecem ora como ondas, ora como partículas? Será a realidade reduzida apenas àquilo que um ser humano observa? Isto não tornaria a racionalidade e o realismo spinozistas, ultrapassados anacronismos? E novas indagações nos passam a desafiar. Vimos anteriormente que o que é conhecido pelos sentidos (a experiência sensorial) traz consigo a incompletude causada pela necessidade de impregnar os objetos do conhecimento com o método e ação implícitos e irrevogáveis da observação. Teriam assim o conhecimento racional e o conhecimento empírico em comum a indeterminação, incompletude e o paradoxo? A metáfora do livro nos revela que é necessário rasgar a natureza para poder conhecê-la parcialmente. Assim, o conhecimento de um estado dinâmico (posição e velocidade ou *momentum*) de um sistema é sempre incompleto para um observador humano, pois só uma delas pode ser medida com precisão. Por

outro lado, o que é conhecido apenas pela razão (como os objetos da matemática) também é limitado pela incompletude, e a lógica não pode criar um sistema axiomático ao mesmo tempo completo e desprovido de paradoxos. Terão estas incompletudes uma mesma essência?

Decorre também da 4^a proposição acima citada outro argumento spinozista a favor da racionalidade e do determinismo, qual seja, que a desordem e o acaso reinantes na natureza não lhe seriam ontológicos, mas sim epistemológicos. Seriam decorrentes do fato de que todo processo de conhecimento resulta de uma ação humana sobre os minúsculos corpos subatômicos, e que embora ainda não saibamos fazê-lo será possível calcular e descontar os *quanta* trocados com esses objetos microscópicos. É como se no exemplo dado no capítulo anterior, o livro da sabedoria que o rabino legou aos seus discípulos, ainda que rasgado, pudesse ser recomposto e lido em sua totalidade. Mais uma vez, no entanto, cabe questionar qual é o sentido do mundo sem um sujeito que quer conhecê-lo. Não será um pseudoproblema perguntar como é o mundo sem um sujeito que faça a pergunta? Spinoza constrói seu sistema a partir da natureza, e não a partir do homem, pois este é apenas um de seus modos, e, embora o filósofo não tenha militado no campo específico da ciência, seu pensamento influenciou Einstein levando-o a defender ideias de ordem, realismo e causalidade da natureza. Isto o levaria a entrar em rota de colisão com Bohr e a interpretação probabilística e não causal da TQ, a chamada Escola de Copenhague. O pensamento científico desde o século XX encontra-se, na verdade, irremediavelmente dividido entre essas duas escolas. De um lado, o realismo monista einsteiniano e, de outro, a irreduzível indeterminação proposta pelos físicos quânticos da Escola de Copenhague, liderados por Bohr, Heisenberg e Born, dentre outros. Para o primeiro, herdeiro da tradição realista, todo fato tem uma causa que o antecede e o determina necessariamente, seja ela oculta ou não. Nada pode ser diferente do que realmente é, e nada ocorre acidentalmente ou de forma contingente. Somente a ocultação de uma ou mais causas se nos apresenta na forma de contingências, como reza a quarta proposição de Spinoza acima citada. Já para os últimos, provavelmente influenciados por uma visão ora neo-empirista ora pragmatista, ou talvez por um racionalismo de inspiração leibniziana — quem poderá determinar ao certo de onde vêm as influências do pensamento? — o acaso e a contingência seriam essenciais a todo processo de conhecimento e uma coisa pode ser e não ser, ou ocorrer ou não, de forma imprevisível ou

dependendo de como é percebida. Contrariando as quatro proposições da Ética, acima expostas, nada podemos afirmar ou prever com certeza, e assim uma causa pode desencadear um efeito apenas provável, e, reciprocamente, um efeito pode ter uma causa apenas provável. Aliás nada garante que haja um processo de produção ou gênese de fatos. Para Einstein, essas ideias de contingência do universo, soavam como um perigoso conformismo com o desconhecimento e a magia. De fato, toda mágica consiste na ocultação proposital de uma ou mais causas que a produzem, ao se descobri-las cessa a magia e seus efeitos ilusórios. Assim, para ele, se um coelho foi tirado de uma cartola, ele já estava lá, oculto num fundo falso. Já para Bohr, o coelho é o colapso de uma realidade múltipla, ou a atualização de uma existência em potência na qual estão superpostos estados “coelhos” e “pombas”, e somente depois de consumado o ato de observação, surgem coelhos ou pombas, a depender do tipo de cartola utilizada...

Por trás das concepções antagônicas de Einstein e Bohr, ocultam-se visões culturais francamente distintas. Se Einstein é um herdeiro do substancialismo realista do séc. XVII, onde há uma ordem, imanente à natureza, que segue seu curso independentemente da vontade e das representações humanas, Bohr, e seus seguidores, parecem preferir trilhar por um instrumentalismo pós-metafísico, devolvendo ao homem o papel de protagonista ontologicamente central do processo de aquisição do conhecimento. Resultam daí o acaso e a contingência como conseqüências desse processo onde o homem é sujeito de seu livre-arbítrio, tendo o poder da escolha final, pois, a depender de como constrói seu experimento, seu objeto atualizar-se-á de formas distintas, ocultando sempre alguns aspectos da realidade física. Se em Einstein, via Spinoza, o homem é apenas um elo da cadeia substancial infinita, em Bohr ele é o sujeito central do conhecimento, ainda que não possa determinar, com absoluta certeza, o que irá observar. Em suma, enquanto Einstein menospreza os dados, Bohr convive com eles muito bem.

O gato morto-vivo do Sr. Schrödinger

Erwin Schrödinger (1887-1961), físico austríaco, nascido em Viena, foi um dos pais da Física contemporânea graças ao seu estudo referente à mecânica ondulatória como parte da teoria quântica (TQ)⁵. Adepto de uma

interpretação realista da TQ ficou profundamente incomodado pela interpretação probabilística e indeterminista da função de onda, proposta por Max Born (1882–1970)⁶, utilizando, de forma bem humorada, o paradoxo do gato contra tal interpretação. Em 1935, na *Naturwissenschaften*, publicou um artigo em três partes, com o título *A situação atual em mecânica quântica*, em que aparece pela primeira vez o famoso paradoxo⁷. Ele é bem ilustrativo e caracteriza a diferença de interpretação entre realistas e os indeterministas de Copenhague (Bohr, Born, Heisenberg, dentre outros). Apesar de amplamente exposto na literatura disponível, à guisa de clareza, vale a pena formular novamente o paradoxo ou experimento mental proposto por Schrödinger.

Imaginemos um gato preso em uma caixa preta indevassável. Imaginemos um átomo capaz de emitir uma partícula β de carga negativa ou uma partícula α de carga positiva, com a mesma probabilidade de 50%. Se o átomo emitir uma partícula β , um campo magnético intenso a desviará colidindo, sem maiores consequências, com um anteparo. No entanto, se for ejetada uma partícula α de carga positiva, ela será desviada em outra direção, percorrendo uma trajetória, em rota de colisão com um mecanismo elétrico que dispara um martelo que, por sua vez, quebra uma ampola de gás letal, matando o pobre animal recluso. Como, no interior da caixa selada, não se sabe qual das partículas foi emitida, não se pode saber, antes de abri-la, o estado final do gato, se morto, ou vivo. Todos concordarão que se existirem 1000 gatos trancados em 1000 caixas, no final da experiência, abrindo-as, constatarão, sob veementes protestos da sociedade protetora dos animais, que em média 500 gatos permanecerão vivos e 500 morrerão! Até aí todos parecem concordar, a discordância entre as duas escolas ocorre para a interpretação sobre o que sucede a um único gato, em uma única caixa, cujo gás foi liberado por uma única partícula α ou β . Para Einstein e Schrödinger, esse gato singular estará, a depender da partícula emitida pelo átomo, *ou* no estado morto m *ou* no estado vivo v , e nada mais poderá ser inferido além de que existe uma chance de 1/2 para cada uma das possibilidades, e que elas são mutuamente excludentes. Os quânticos têm, no entanto, outra interpretação para o pobre gato solitário: como a partícula emitida poderá ser β ou α , o átomo estará, após a sua emissão, num estado quântico:

$$\Psi_a = \sqrt{1/2} (\Psi_a + \Psi_b),$$

que representa o estado superposto do átomo com emissão α e emissão β . Antes de abrirmos a caixa, o gato estará em um estado análogo, que pode ser escrito pelo símbolo:

$$\psi_{\text{felino}} = \sqrt{1/2} (|m \rangle + |v \rangle),$$

que representa o fato de o gato ser um morto-vivo, o que também significa que ele antes de revelar seu estado é potencialmente morto e vivo, *ao mesmo tempo!* Só no ato de medida (abertura da caixa), o gato revelará seu estado atual de existência, mas antes disso este poderá estar potencialmente superposto em dois estados distintos⁹. No citado artigo de 1935, Schrödinger manifesta claramente seu desagrado frente a essa interpretação:

A função-psi do sistema inteiro expressaria isto tendo nela o gato vivo e o gato morto misturados ou **borrados** (perdão pela expressão) em partes iguais. É típico nestes casos que uma indeterminação originalmente restrita ao domínio atômico seja transformada em indeterminação macroscópica que pode então ser resolvida pela observação direta. Isso nos impede assim de tão ingenuamente aceitar como válido um “modelo” borrado para representar a realidade¹⁰.

Nos últimos cinquenta anos, tem-se matado o gato das mais diversas e cruéis formas. Além do método, provavelmente de inspiração nazista, por asfixia em câmaras de gás, exposto acima, armas de fogo, armas bacteriológicas e até armas nucleares têm sido imaginadas para a execução do indefeso animal¹¹... Versões mais modernas do paradoxo, por questões humanitárias, substituem o felino por sistemas clássicos como campos eletromagnéticos em cavidades. Pela interpretação de Copenhague, é o observador que mata ou não o gato, a depender da maneira como o observa. Como então uma superposição de dois estados quânticos microscópicos poderá produzir uma superposição de dois estados macroscópicos excludentes de nossa indefesa cobaia? — questiona Schrödinger que considera esta superposição como um “um modelo borrado¹² para representar a realidade”. Se a indeterminação reinante no microcosmo já era inaceitável, transferi-la ao nosso bem comportado mundo newtoniano, povoado por gatos e caixas, era um absurdo para Schrödinger, que adoeceu de desgosto depois de ter criado o formalismo da Mecânica Quântica ondulatória! Afinal, segundo ele, se antes de abrir a caixa o observador não sabia qual foi o destino do gato, este já sabia muito bem o que lhe acontecera... A propagação do indeterminismo do micro ao

macro pode ser mais drama-ticamente imaginada como um dominó de indeterminações no qual o gato ao morrer cai comprimindo outro botão que aciona um artefato nuclear, com consequências catastróficas não só para gatos, mas para todos nós... Desta forma, as ideias centrais do paradoxo são que:

- (a) não pode haver indeterminismo no varejo (pequenos número quânticos de partículas subatômicas) e determinismo no atacado (grandes números quânticos dos sistemas clássicos), pois o primeiro se propaga ao segundo de forma incontrolável.
- (b) um observador humano não pode ter a primazia de decidir, apenas com seu ato de observação, qual é o estado do gato ou de qualquer outro ente da natureza.

A polêmica entre realistas como Einstein, Schrödinger e os quânticos reacende as antigas questões metafísicas do séc. XVII acerca da precedência ontológica entre existência e percepção. Afinal já dizia Berkeley¹³ que *esse est percipi* (ser é ser percebido). Leibniz¹⁴, por outro lado, opondo-se ao determinismo spinozista, já construíra um complexo sistema metafísico no qual havia lugar para as contingências, e este mundo seria tão-somente um dos inúmeros “mundos possíveis”. Neste mundo, César, depois de proferir triunfalmente “*vim, vi, venci!*”, atravessou o Rubicão, enquanto que, em outros, César refugou. Este nosso mundo seria apenas um dos inúmeros “mundos possíveis”, tendo Deus o discernimento de criar o “melhor deles”. Podemos, então, sem muitas dificuldades, imaginar que César atravessou o Rubicão e o gato que estava atrás dele permaneceu vivo, enquanto num outro mundo César refugou, voltou e pisou no gato que morreu esmagado! Várias indagações poderão ser feitas. Poder-se-ia então, já no séc. XVII, falar num paradoxo do gato de Leibniz?

Interpretações mais modernas da Teoria Quântica como a Teoria dos Estados Relativos de Hugh Everett¹⁵, depois denominada de “Mundos Possíveis”, por De Witt, se não eliminam o indeterminismo pelo menos diminuem a importância que o observador tem na interpretação de Copenhague. Segundo Everett, qualquer fato observado pode ser interpretado como a evolução contínua e temporal de uma grande função de onda do universo. Quando um sistema interage irreversivelmente com o restante do mundo (*environment*) no qual se inclui o aparato de observação, a grande

função se desmembra podendo então ser subdividida em estados decompostos do sistema e de quem o observa. O observador e todo seu aparato não estão fora do mundo físico, mas a ele pertencem tal qual o sistema que se observa. Neste ato, a grande função do universo se decompõe num processo irreversível chamado de descoerência, e cada ramo da grande função passa a representar um possível mundo. Haveria assim tantos mundos (ou histórias) quanto descoerências da grande função do universo. No paradoxo do gato, a interação irreversível deste com o ampola de gás faria a grande função sofrer uma primeira descoerência, decompondo-a em dois mundos distintos e independentes: *mundo 1* = $|\text{gato morto}\rangle = |m\rangle$ e *mundo 2* = $|\text{gato vivo}\rangle = |v\rangle$. Depois de aberta a caixa, o universo se subdividiria novamente em outros dois mundos: *mundo 3* = *observador-vendo-um gato-morto* = $|o-v-g-m\rangle$ e *mundo 4* = *observador-vendo-um-gato-vivo* = $|o-v-g-v\rangle$. Essa teoria é realista, pois a grande função de onda é real e sua evolução temporal é única e bem definida. O observador passa a fazer parte do sistema físico que observa, deixando de ser um ente fantasmagórico e supramaterial, como na interpretação de Copenhague. Teriam essas novas interpretações da TQ, reeditado a metafísica leibniziana, compatível com uma realidade superposta colapsada (através de descoerência), de formas distintas, em cada um dos mundos possíveis? César e sua passagem (ou não) pelo Rubicão não seriam ramificações descoerentes da grande função de onda do universo? Será que Einstein gostaria desta teoria? Não creio, pois apesar de ser realista como a Teoria da Relatividade, esta interpretação é tão indeterminista quanto a interpretação Teoria Quântica de Copenhague.

Podemos ainda perguntar se a Escola de Copenhague, inspirada em Berkeley, resgata a identidade entre observação e existência, sendo esta última colapsada somente *após* a observação do fenômeno, à maneira de “*esse est percipi*”? (reveja capítulo VII)

Na contramão dessas concepções, querem os realistas, à moda einsteiniana, que a existência seja univocamente determinada por sua gênese, independente da observação, e então, nosso gato já estaria morto antes mesmo da caixa ser aberta, a depender de como a átomo emitiu a partícula.

Abraham Pais¹⁶ relata que acompanhava Einstein em uma de suas costumeiras caminhadas de volta à casa, quando o pai da TR perguntou-lhe certa vez “*se a Lua continuaria existindo mesmo para quem não estivesse mais olhando para ela*”. Einstein jamais se conformou com a interpretação quântica de que algo possa existir, acontecer ou se manifestar de acordo de como é

observado ou de que, de uma a causa dada, poderiam resultar efeitos contraditórios. As proposições da *Ética* de Spinoza citadas no cabeçalho deste capítulo apontam para essa direção. Teria então a leitura atenta da *Ética* a força de persuadir um Einstein já consagrado, a jamais se conformar com a ideia de que algo possa existir, acontecer ou se manifestar de acordo apenas de como é observado? Os puxões de orelha que o então renomado Einstein deu no jovem Heisenberg¹⁷, quando este, em 1925, lhe comunicara a criação recente de sua mecânica matricial, construída a partir de operadores observáveis, demonstram a antipatia que o autor da Teoria da Relatividade tinha pela redução do real à observação. A interpretação da escola de Copenhague parece mais próxima de uma filosofia do sujeito, de cunho pós-metafísico (neo-kantiana), na qual a observação e a descrição humanas desempenham um papel preponderante. A citação abaixo parece sinalizar para esta aproximação:

Na ciência, o objeto da investigação não é mais a natureza em si, mas a natureza submetida à interrogação dos homens (...) na mecânica quântica era necessário encontrar fórmulas matemáticas que expressassem, não a natureza, mas sim o seu conhecimento (...) A incidência do método modifica o seu objeto e o transforma até o ponto em que o método não pode mais se distinguir do objeto¹⁸.

O realismo, o determinismo e a causalidade local têm ainda sérias dificuldades para explicar vários outros fenômenos, que puderam ser observados depois da morte de Einstein, e que as tornam uma opção longe de ser unânime no meio científico contemporâneo. A comunidade científica parece ter aderido às ideias de indeterminação, à não divisibilidade de um todo em partes interagentes e a um crescente pragmatismo em que as teorias científicas nada mais devem ser do que descrições convenientes do mundo visto como mera representação humana. Ao passo que os realistas preferem perceber o homem como uma minúscula porção de um universo regido por leis invariantes e imutáveis de causalidade local.

Dito isto de outra forma, enquanto Einstein prefere buscar a natureza que vige em sua realidade soberana nas próprias coisas, independentemente da observação humana; Bohr e os quânticos preferem ver o homem como o mais eloqüente intérprete da natureza que se desdobra frente ao seu olhar, como convém ao eloqüente sujeito pós-kantiano.

Deixo ao leitor a iniciativa de exercitar seu livre arbítrio — se bem que para Spinoza e Einstein também este último é uma ilusão — com o intuito de decidir entre visões de mundo tão radicalmente distintas e irreduzíveis.

O paradoxo EPR: realismo, completude e localidade

Os principais argumentos de Einstein contrários à indeterminação e contingência da Teoria Quântica estão ligados ao assim chamado paradoxo de Einstein, Podolsky e Rosen — conhecido pela sigla EPR. Einstein já tinha expressado, em cartas remetidas a seus amigos, muitas das ideias contidas neste famoso artigo escrito a seis mãos, mas elas vieram à tona de maneira mais clara, a partir de sua publicação em 1935. É importante salientar que Einstein jamais contestou a Teoria Quântica como um todo. De fato, ele estava bem atento ao seu poder de prever os resultados de várias experiências, e estava tentando mostrar apenas que a TQ não poderia ser uma teoria completa da natureza, e que alguma outra teoria teria de ser invocada para descrever a natureza completamente.

Os três físicos imaginaram um hipotético experimento (*geddanken experiment*) para refutar a interpretação do princípio de incerteza como perturbação imprevisível e incontrolável que o observador, ao tentar medir certa grandeza, lança sobre outra grandeza, também necessária para descrever seu objeto, impossibilitando uma descrição completa da evolução de um sistema físico, abrindo as portas para o indeterminismo e ao anti-realismo¹⁹. Paradoxalmente, uma cuidadosa interpretação deste paradoxo EPR, do físico John S. Bell, se voltou contra a possibilidade de um realismo através do qual um sistema possa sempre ser analisado através de uma causalidade local mútua das partes que o constituem²⁰.

O EPR com momentum linear nulo

Imaginemos inicialmente uma forma mais simples de EPR em que uma molécula de *momentum* total zero se divide em dois átomos iguais que se desprendem com *momenta* iguais e contrários. Um dos átomos será a imagem refletida do outro seguindo por trajetórias simétricas, com *momenta* simétricos em qualquer instante. Transcorrido certo tempo, os dois átomos estarão afastados de Δx e não poderão se influenciar mutuamente num tempo Δt

menor que $\Delta x/c$. Isto significa que não poderá haver nenhuma influência entre eles, antes do intervalo de tempo Δt , em que um sinal luminoso leva para chegar de um ao outro. (ver **Figura VIII-1**)

Um dos átomos será observado por João e outro por Maria. Vamos supor que num determinado instante João resolva medir o momentum de seu átomo, encontrando um valor bem definido p . Na TQ um estado de momentum bem definido é uma onda plana que representaremos como $|p\rangle_1$. Como o sistema todo tem momentum $P=0$, seu estado será $|p\rangle_1 | -p\rangle_2$, se Maria fizer uma medida em seu átomo deverá encontrar um valor preciso $-p$. Imaginemos agora que João mude de ideia e queira medir com precisão a posição x de seu átomo, fazendo para tal um outro tipo de experimento que fará a função de onda de seu átomo colapsar num estado $|\delta x\rangle_1$ que representa uma partícula com posição bem definida x . Pelo princípio de incerteza que vimos no capítulo anterior o momentum de seu átomo passa a flutuar numa faixa $\delta p = h/\delta x$, onde δx é a precisão com que ele queira localizar o seu átomo. Como o sistema foi criado com momentum total nulo, a função de onda do sistema completo deverá sempre ter momentum total zero. Desta forma, Maria, que nada fez, verá o *momentum* de seu átomo flutuar simetricamente ao de João e o estado quântico de seu átomo não será mais um auto-estado do momentum do tipo $|p\rangle_2$, que representam estados de *momentum* bem definidos, passando a ser instantaneamente um estado do tipo $|\delta x\rangle_2$ (aqueles que têm posição bem definida). O sistema todo estará num estado composto $|\delta x\rangle_1 \cdot |\delta x\rangle_2$. Ora, como a mudança na forma de observar de João pode ter influenciado instantaneamente as medidas de Maria? Como as ações de João sobre seu átomo podem se propagar imediatamente ao átomo de Maria? **Assim, os átomos lhes aparecem a depender da forma de como um deles é observado.** Segundo o paradoxo, isto possibilitaria uma comunicação imediata e a distância entre João e Maria, violando os princípios da TR, pois toda vez que Maria vir seu momentum flutuar saberá que João fez a grande distância uma medida de posição em seu átomo. Esses fatos violam dois princípios importantes da realidade física: a localidade e a separabilidade. Enquanto a localidade proíbe ações telepáticas à distância, a separabilidade nos garante que a evolução de um sistema depende apenas de suas próprias variáveis, ainda que anteriormente ele fizesse parte de um sistema maior. Assim o que acontece ao átomo de Maria não pode depender das variáveis ou das ações de

João. A violação destes princípios fazem da TQ um teoria anti-realista no sentido definido por Einstein, que veremos adiante.

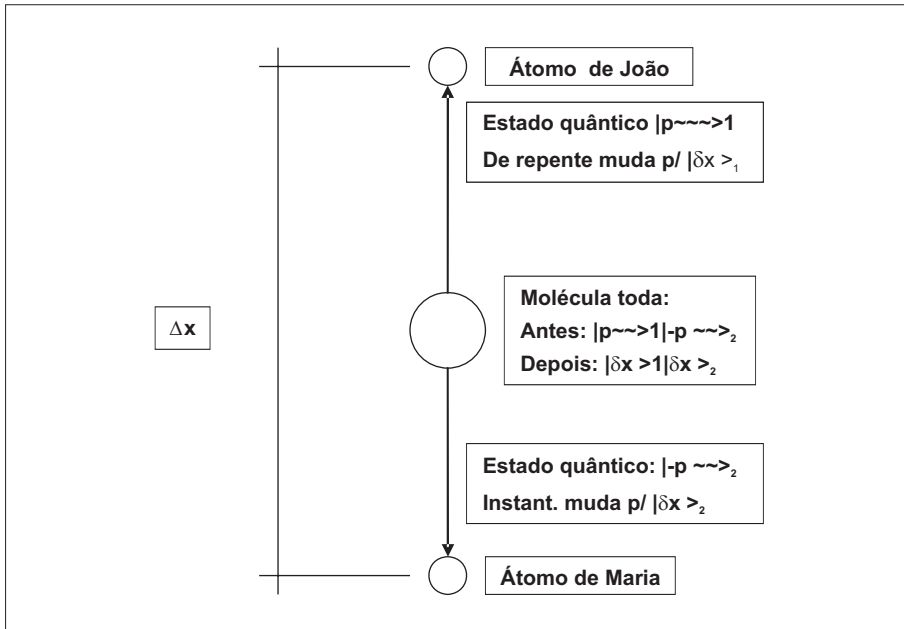


Figura VIII -1

Vejamos o porquê, utilizando uma espécie de *more* geométrico à moda de Spinoza.

Def. 1: Os objetos físicos reais não dependem da forma como são observados.

Trata-se de uma definição muito semelhante à de um realismo filosófico: a realidade independe de um sujeito que a pense ou que a perceba.

Def. 2: Uma teoria é local quando as influências de um corpo sobre outro não podem ocorrer em um tempo menor que a luz levaria para percorrer a distância entre eles.

PROPOSIÇÕES:

1 - A Teoria Quântica é anti-realista.

Demo: isto decorre, imediatamente, da definição 1, pois os objetos da TQ dependem de como são observados.

2 - A TQ não é uma teoria local,

Demo: ela permite correlações a longa distância, violando a TR que impõe um limite de velocidade para a propagação de qualquer interação. Segundo a TR, dois corpos só poderão se influenciar mutuamente se $\Delta x/c \leq \Delta t$. Isto significa que eles não poderão se influenciar antes do intervalo de tempo Δt , que um sinal luminoso leva para percorrer a distância Δx que os separa. Portanto a TQ...

Assim pelas def.1 e def. 2 de realismo físico e localidade:

Proposição 3: ANTI-REALISMO implica em NÃO LOCALIDADE

Corolário: O *modus tollens*²¹ desta sentença é

LOCALIDADE implica em REALISMO

Def. 3- Uma grandeza física é um elemento de realidade de uma teoria se sua medida puder ser feita com a precisão que se queira, sem com isso perturbar o sistema.

Reparemos que essa definição é compatível com a def. 1 de realismo filosófico, pois, se a medida de um grandeza não afeta o sistema, este existirá independentemente da medição desta grandeza.

Assim a TQ contém apenas 1 elemento de realidade x ou p , pois a medida precisa de uma delas perturba a outra, enquanto que a TR e a Física Clássica contém 2 elementos de realidade x e p , pois a medida de uma delas não perturba a outra, e ambas podem ser medidas simultaneamente. Quanto mais elementos de realidade contiver uma teoria mais completa e, portanto, mais real será. Podemos então concluir que:

Proposição 4: COMPLETUDE implica em REALISMO

Corolário: O *modus tollens* desta última sentença é:

ANTI-REALISMO DA TQ implica em INCOMPLETUDE, que é uma das mais importantes críticas de Einstein à Teoria Quântica.

O EPR com spin total nulo

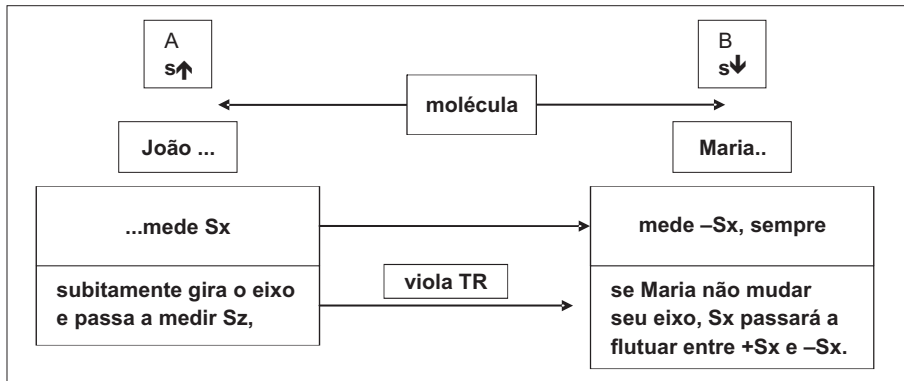
Imaginemos agora uma forma mais complexa de EPR²², sendo o sistema constituído por uma molécula de spin²³ zero, formada por dois átomos de spins contrários: $s\uparrow$ e $s\downarrow$, isto é, que “giram” em sentidos contrários. Se a molécula for desintegrada, seu spin total permanecerá nulo mesmo que os seus dois átomos estejam afastados o suficiente para não haver nenhuma interação

considerável entre eles. Se Maria medir qualquer uma das componentes do spin do átomo A (digamos a componente S_x do spin) saberá imediatamente que João medirá no átomo B uma componente igual e contrária $-S_x$, sem que com isso precise interagir em absoluto nem com João nem com o átomo B. Se subitamente ela girasse o aparelho para o eixo z, medindo S_z , classicamente saberia instantaneamente que João mediu $-S_z$, e não haveria nenhum problema de violação da causalidade, pois a quantidade de rotação (momentum angular) de um sistema macroscópico é sempre bem definida, podendo suas três componentes espaciais ser medidas simultaneamente²⁴. Como vimos, neste famoso artigo, Einstein, Podolsky e Rosen definiram que variáveis previsíveis com precisão, e cuja medida não afeta as demais, contêm um elemento de realidade. Definiram também que uma teoria é tanto mais completa quanto maior for o número de variáveis independentes “que contêm elementos de realidade”. Assim, a teoria clássica teria três elementos de realidade: S_x , S_z e S_y .

Na TQ, devido ao princípio da incerteza (ver capítulo anterior), o aparelho orientado para medir uma das componentes do spin, introduz uma perturbação que faz com que as outras duas flutuem de forma indeterminada, assim, a depender da orientação do aparelho, só se pode conhecer uma componente de cada vez. Assim, apenas uma das componentes do spin contém “elemento de realidade”. Ora, se João, interagindo apenas com o átomo A, girar os eixos de seu aparelho de medição de spin, medindo agora S_z , perturbará a componente S_x que passará a flutuar. Sem uma ação instantânea, como poderá Maria, situada a longa distância, saber quando e em que direção deve ou não flutuar o spin de seu átomo? Da mesma forma que no exemplo anterior, segundo Einstein, essa propriedade quântica poderia permitir que João se comunicasse telepaticamente com Maria: se ele não mudar seu eixo, Maria medirá sempre o mesmo valor $-S_x$. Se este começar a flutuar, Maria saberá instantaneamente que João girou o eixo de medida do seu aparelho! Tudo se passa como se João e Maria fossem gêmeos separados na maternidade, e depois levados a viver em países distantes, quando subitamente um deles fosse golpeado, o outro sentisse dor! Einstein denominou esse comportamento não causal entre os átomos A e B e a transmissão telepática de informações entre João e Maria de “*spooky action at distance*” (assustadora ação a distância), considerando-o como uma evidência da impossibilidade de interpretação do princípio de incerteza como efeito de uma perturbação incontrollável do processo de conhecimento experimental.

Teoremas mais recentes preservam a TQ contra o argumento de que esta permite comunicação telepática a distância. Um desses teoremas é o da *não-clonagem*, que proíbe a fabricação de um ensemble de cópias de átomos postos no mesmo estado quântico. Isso impede que João se comunique instantaneamente com Maria, pois, para esta se certificar de que o spin de seu átomo não flutua, teria que repetir várias vezes a medida, devendo o átomo de João ser posto todas as vezes exatamente no mesmo estado. O teorema impede a construção de aparelhos (*devices*) que possibilitem esta clonagem de estados idênticos²⁵.

A posição de Einstein era bem clara: a Teoria da Relatividade é incompatível com o princípio da incerteza, ou seja, com a ocorrência de flutuações na medida de uma grandeza, sejam elas S_x e S_z ou x e p . Portanto, aceitar a TR é acreditar que uma teoria realista e mais completa possa e deva ser tentada no lugar da TQ. Essa teoria seria mais real, pois teria mais “elementos de realidade” que a TQ (ver **Figura VIII-2**).



cadeia silogística:

indeterminação do spin → ação não local

modus tollens: (ação local) → não indeterminação do spin = determinação completa do spin = teoria mais completa = teoria mais real = realismo

Figura VIII-2: As flutuações do princípio da incerteza se propagam instantaneamente de uma parte a outra, violando a TR. As ações locais implicam em realismo.

Estaria Einstein, e seus parceiros, corretos? Uma nova teoria local mais completa, e portanto mais real, deveria ser tentada no lugar da TQ? Tudo levaria a acreditar que sim, se não fosse o físico escocês J. S. Bell, em 1965, ter inventado uma maneira genial de calcular correlações à distância de duas partículas do tipo EPR. Através de um cálculo engenhoso e relativamente

simples, no qual são feitas apenas hipóteses de localidade e separabilidade das variáveis de cada subsistema, hipóteses estas que devem ser respeitadas pelas teorias locais de variáveis ocultas, Bell²⁶ mostrou que esta família de teorias (sem ação à distância) não pode produzir correlações maiores que a TQ prevê. Isto é, a TQ prevê resultados que violam as desigualdades de Bell, que por sua vez representam o grau de correlação entre medidas feitas a distância nas experiências tipo EPR.

Na década de 80, o resultado de algumas experiências feitas, ao invés de spins, com luz polarizada, ou seja, fótons, não encontraram explicação definitiva por parte dos realistas, pois delas resultou inequivocamente que a correlação entre fótons distantes é sempre maior do que as teorias realistas prevêem. De uma forma muito simplificada, para que o leitor leigo possa entender, uma dessas experiências consiste em observar feixes de luz, provenientes de uma mesma fonte de dois pontos distintos usando filtros. Estes filtram apenas a luz polarizada (fótons), cujo plano do campo eletromagnético coincide com seu eixo de polarização. Assim, a luz que atravessa o aparelho terá uma polarização coincidente com o plano deste. Se um dos observadores girar o plano de seu aparelho, passará a ver luz polarizada com o novo eixo, e aquele que não o fez, nada verá a não ser que gire também o seu aparelho. Esse famoso experimento de 1982, realizado por A. Aspect²⁷ e colaboradores, é considerado um teste experimental para as desigualdades de Bell que, como foi dito, são violadas pela TQ que prevê correlações sempre maiores que as teorias locais e realistas. A TQ parece ter marcado um goloço contra as teorias realistas!

No mundo quântico, quando alguém gira seus óculos Polaroid, outra pessoa deixa de ver! Nessa experiência, a coisa se passa mais ou menos como se dois pescadores combinassem de usar anzóis grandes para pescar apenas peixes grandes e, de repente, sem avisar, um deles troca o seu anzol colocando um menor, passando a pescar peixes pequenos. Imediatamente, o outro, que nada fez, e que vinha pescando peixes grandes, deixa de pescar qualquer coisa, parecendo que todos os peixes do oceano tornaram-se pequenos. A ação de um dos pescadores influenciou todo o oceano instantaneamente! Como vimos acima, além de feixes de luz polarizada provenientes de uma mesma fonte, também moléculas, depois de divididas, parecem comportar-se de forma telepática. Ao efetuarmos medições numa parte, as medidas efetuadas noutra estão correlacionadas à longa distância sem que aparentemente nenhum sinal

“avise-as”, parecendo indicar uma “reminiscência” que as partes têm do todo que lhes deu origem, mesmo este tendo sido fragmentado em partes tão afastadas no espaço-tempo a ponto destas não poderem mais trocar informações entre si. O todo continua sendo formalmente o mesmo, ainda que fragmentado no espaço-tempo²⁸. Segundo Niels Bohr²⁹, o paradoxo EPR — consequentemente a experiência de Aspect — só pode ser convenientemente explicado através de um indeterminismo na TQ que implica em uma irreduzível incompletude na natureza e anti-realismo filosófico. A argumentação de Bohr se fundamenta no princípio da indivisibilidade de um *quantum* que torna impossível o procedimento de análise dos sistemas em partes interagentes. Um sistema que se fragmenta em várias partes depositará nelas uma memória do todo original, que persistirá em todas elas, ainda que estejam afastadas. Reciprocamente, quando duas entidades se combinam para formar um sistema composto, o processo de fusão conduz a um novo sistema qualitativamente distinto, que não pode ser dividido nas partes que lhe deram origem, e tampouco pode ser separado da instrumentação utilizada.

Conseqüentemente no domínio quântico, é preciso considerar aquilo que antes foi chamado de sistema combinado como uma situação experimental única, indivisível e global. O resultado da operação toda não nos informa sobre o sistema que queremos observar, mas somente sobre ele como um todo³⁰.

Para Bohr, o resultado de uma experiência depende da ação do observador sobre o objeto, que jamais poderá ser separado do aparato experimental com o qual forma o todo. Dessa forma, um objeto revelar-se-á apenas depois da medida, e como consequência desta, sendo assim um fenômeno revelado que depende da intencionalidade do sujeito-observador e todo seu aparato (lembremo-nos do gato que antes da caixa ser aberta não estava nem morto nem vivo, mas em um estado morto-vivo).

Como já vimos, no paradoxo EPR, Einstein com sua orientação filosófica muito provavelmente centrada em Spinoza foi radicalmente contrário a essas ideias. Para o grande físico, a realidade não pode depender de nossa intencionalidade nem de como a percebemos/observamos, pois que se recairia em um solipsismo do tipo “A Lua só existe quando a vejo”. Além disso, para Einstein, o espaço-tempo, determinado pela distribuição de matéria, é o cenário de relações causais pontuais que se propagam, no máximo, com a velocidade da luz (capítulo VI). Dessa forma, como vimos no EPR, não

poderia haver influências telepáticas instantâneas entre partes de um todo fragmentado e tampouco objetos que não possuam uma realidade própria, mas nos são revelados *a posteriori*, a depender da forma como foram observados:

A necessidade de tornar a teoria quântica completa nos escapa apenas se assumirmos ou que a medida de um (evento) S1 muda telepaticamente a situação real de (outro evento) S2 ou então negando uma realidade independente a coisas espacialmente afastadas uma da outra. As duas alternativas me parecem inaceitáveis. (tradução do autor)³¹.

Para Einstein, assim, a TQ com suas probabilidades, incertezas, interações telepáticas (“*spooky action at distance*”) e dualidades, era uma teoria incompleta, pois para ele o acaso é fruto da incompletude e a função de onda nada mais que uma função de distribuição de probabilidades de um conjunto de coisas semelhantes ao objeto de estudo. Estas cópias do objeto se denominam de *ensemble*³², não tendo elas nenhum significado ontológico. Já na interpretação quântica, um objeto estende a sua influência de forma instantânea muito além de suas fronteiras de corpo material como se tivesse uma invisível aura de existência potencial, ao longo de sua função de onda associada. Uma medida num ponto do espaço produz o colapso da função de onda em todo espaço, como acontece com os átomos de João e Maria... Dessa forma, se dois objetos faziam parte de um sistema mais amplo que lhes deu origem, podem interagir à distância, ainda que estejam apartados no espaço, pois parecem “reconhecer-se” como partes do sistema original. As teorias causais (locais) não conseguiram explicar esses fenômenos que mais parecem mágicas, e buscam ainda descobrir que sutil truque é esse com o qual a natureza nos ilude.

Já vimos também que, segundo Einstein, o indeterminismo irreduzível e incontrollavelmente introduzido pelo processo experimental implica em correlações não causais, fazendo da TQ uma teoria incompleta (com menos elementos de realidade) e provisória, que deveria dar lugar a outra, formulada através de variáveis ocultas que descreveriam causas até então ocultas. No caso de nosso gato, a possível variável oculta poderia ser um potencial subquântico do átomo emissor que “guiaria” as partículas α e β , com o que se poderiam saber ao certo as suas trajetórias, e, portanto, o destino do gato. Este já estaria selado antes mesmo que a ampola de gás fosse fragmentada. Enquanto para os quânticos a probabilidade é a possibilidade ontológica de cada objeto singular existir ou não em ato, para Einstein, essa contingência é

fruto do desconhecimento das causas, e a probabilidade não confere nenhum tipo de existência a um objeto individual, mas tão-somente prevê resultados que se aplicam ao *ensemble*. É dessa forma que agem as companhias de seguro para estipular o valor da apólice de seguro de um carro. Baseado em alguns dados, como idade, sexo, local de residência, marca e ano do carro e profissão do motorista, o preço é estipulado em termos de previsões médias com que ocorrem os acidentes de trânsito, nos diversos *ensembles* de motoristas com determinado perfil. Seria necessária uma teoria muito mais minuciosa e complexa para prever, ao certo, a ocorrência de uma colisão para um dado cliente. Para Einstein, a TQ seria tão incompleta quanto uma apólice de seguros... Ao se referir à descrição probabilística e contingente de Bohr e seus seguidores, o físico reitera várias vezes a sua concepção realista e determinista:

Parece difícil observar as cartas de Deus. Mas sequer por um instante posso acreditar que Ele joga dados e faz uso de meios telepáticos (como alega a Teoria Quântica)³³.

Em carta a Cooper, em outubro de 1949, ele escreve:

- (a) existe uma independência entre objetos espacialmente separados.
 - (b) A função de onda (da teoria quântica) é uma descrição completa da realidade.
- (a) e (b) são incompatíveis³⁴.

Em outra carta, de outubro de 1952, desta feita a nosso já conhecido M. Besso, ele reitera:

Um estado quântico caracterizaria um estado real completo ou apenas incompleto. Eu rejeito a primeira hipótese porque haveria ação à distância³⁵.

Esses dois documentos comprovam de forma inequívoca que a renitente postura de Einstein contra a interpretação indeterminista e probabilística da TQ persistiu até pouco antes de sua morte, ocorrida em 1955.

Não seria difícil responder que partido tomaria Spinoza no embate entre Einstein e os quânticos. A depender de sua nítida posição contrária à indeterminação e ao livre arbítrio, defendido por todas as tradições religiosas, nas questões quânticas Spinoza certamente defenderia o ponto de vista de Einstein (melhor diria que foi Einstein que defendeu os pontos de vista de Spinoza). É curioso mencionar que Bohr, sabedor do apreço que Einstein

tinha por Spinoza, cita o filósofo em uma de suas respostas às várias contestações que Einstein fez ao princípio de incerteza, especulando:

(...) através de uma nova discussão com Einstein em Princeton em 1937 nós não fomos além de uma humorística competição que concerne de que lado Spinoza teria ficado se ele estivesse vivo para ver o desenvolvimento de nossos dias (...)³⁶. (trad. do autor)

Por outro lado, o teorema de Bell de 1965, afirma que nenhuma teoria realista local pode prever as correlações previstas com extrema precisão pela TQ, e a experiência de Aspect confirmou inequivocamente esses valores. A TQ foi confirmada e contra fatos não há argumentos! Será que Einstein e seu realismo foram derrotados? Será que as ideias de Einstein não são mais viáveis? E que dizer de nosso Spinoza que já no séc. XVII exorcizara as indeterminações? Devemos desistir de Einstein e Spinoza? Ou nos resta alguma alternativa?

É quase certo que Spinoza e Einstein nesse encontro ficcional teriam em vista uma teoria completa e determinista de variáveis ocultas que suprimisse as arbitrariedades e contingências ontológicas da natureza. Vejamos como David Bohm construiu a mais viável teoria desse tipo.

D. Bohm e uma saída honrosa para o realismo: variáveis ocultas são spinozianas?

O já citado David Bohm, físico e filósofo da Ciência de grande envergadura, que trabalhou na USP e no Instituto Technion de Haifa e cujos trabalhos influenciaram decididamente a interpretação contemporânea que se faz da TQ e da TR. Bohm formulou uma teoria de variáveis ocultas determinista, mas não local, procurando uma alternativa para a interpretação indeterminista e probabilística da Escola de Copenhague. Com isto procurou devolver à Física, a causalidade e o determinismo perdidos com a TQ, atribuindo às partículas trajetórias bem definidas no espaço, ao invés de ondas de probabilidades. A ideia de Bohm foi inspirada na onda piloto de L. de Broglie e consiste numa partícula pilotada por uma onda. A partícula tem *momentum* e posição bem definidos, porém a onda piloto tem propriedades não locais. Num tempo extremamente curto, um campo mais básico da matéria oscila vertiginosamente dando em média a descrição probabilística da função de onda da TQ. A diferença conceitual entre as duas teorias é que a partir

desse campo Ψ altamente flutuante pode-se calcular a velocidade e a posição de uma partícula em cada instante, e, conseqüentemente, ao contrário da TQ, as partículas teriam trajetórias bem definidas resgatando-se assim o determinismo perdido.

Para tal, Bohm faz as seguintes hipóteses:

- 1 – A função de onda Ψ , ao invés de representar apenas probabilidades, representa “um campo objetivamente real”.
- 2 – Além do campo, uma partícula é representada por um conjunto de coordenadas, que são sempre bem definidas, e que variam de modo definido (previsível).
- 3 – A velocidade dessa partícula é: $\mathbf{v} = (\mathbf{1}/m) \nabla S$, onde S é a fase da onda, sendo a função de onda $\Psi = R e^{(i2\pi S/h)}$ com R e S reais (a velocidade de fase é semelhante à velocidade da crista da onda).
- 4 – Além do potencial clássico (cujo gradiente é a força “real”) atuará sobre a partícula uma variável oculta, chamada de potencial quântico, que transmitirá à partícula as rápidas oscilações do campo Ψ :

$$U = (\hbar/2\pi) 2 \times 1/2m \times (\nabla^2 R)/R$$
, onde R é a amplitude da onda. Este potencial é o elo causal oculto, entre a onda e a partícula, fazendo com que esta tenha um movimento extremamente irregular do tipo browniano.
- 5 – Finalmente, admitimos que o campo Ψ encontra-se num estado de flutuação aleatória muito rápida e caótica, tal que os valores de Ψ utilizados na Teoria Quântica são uma média sobre um intervalo de tempo característico³⁷.

Segundo ele:

Em nosso modelo (...) admitimos desde o início que o elétron possui mais propriedades do que podem ser descritas em termos da Teoria Quântica. Assim, ele tem uma posição, um momentum (velocidade), um campo de onda e flutuações subquânticas, todos se combinando para determinar o comportamento detalhado de cada sistema individual com a passagem do tempo³⁸.

Com essas hipóteses, Bohm devolve, ao mundo microscópico, o determinismo tido como perdido. Agora as partículas têm velocidade e posição (portanto trajetórias) bem definidas no tempo, além de que o campo

Ψ é real, oscilando muito rapidamente e dando em média a função de onda probabilística da interpretação da Escola de Copenhague. Assim, da mesma forma com que as grandezas do determinismo clássico podem ser interpretadas como médias de um ensemble probabilístico de grandezas situadas em camadas microscópicas, o indeterminismo, por sua vez, também pode ser reinterpretado como uma média de flutuações de camadas ainda mais profundas de realidade. Revezar-se-iam determinismo e indeterminismo, à medida que se aprofunda a realidade? Assim como no exemplo do gato, a microestrutura do átomo, se observada microscopicamente, selará o destino do animal. A teoria de Bohm opera com propriedades internas “atualmente ocultas” das partículas que habitam o microcosmo, podendo, grosso modo, influenciar seus comportamentos diretamente observáveis.

Bohm chega a demonstrar matematicamente que a indeterminação caracterizada pela constante de Planck diminuiria à medida que se penetra em regiões menores da matéria. No entanto, a constante de Planck é o limite de resolução do conhecimento simultâneo das variáveis que determinam a evolução temporal de um corpo, e assim, segundo Bohm, o indeterminismo, reinante nas regiões atômicas e nucleares, passa a diminuir em regiões ainda menores. Isto é, a constante de Planck, na verdade, não seria uma constante, mas dependeria da ordem de magnitude da extensão espacial observada.

Construímos uma teoria que contém as relações de Heisenberg como caso limite válida aproximadamente para campos promediados sobre certo nível de intervalos de espaço e de tempo. Não obstante, campos promediados sobre intervalos menores estão sujeitos a um grau maior de autodeterminação do que seria consistente com esse princípio³⁹

Desta forma, para Bohm, o universo seria constituído de múltiplas camadas de realidade, sendo os fenômenos ocorridos numa camada mais externa percebidos como a média de outros fenômenos que ocorrem num nível mais profundo. Assim, a teoria das variáveis ocultas seria a mais interna das camadas de realidade que reproduziria em média os resultados da TQ, sendo que esta, por sua vez, reproduziria em média os resultados da Física clássica newtoniana. E assim determinismo e indeterminismo revezar-se-iam a cada passagem de um nível a outro. (ver **Figura VIII-3**)

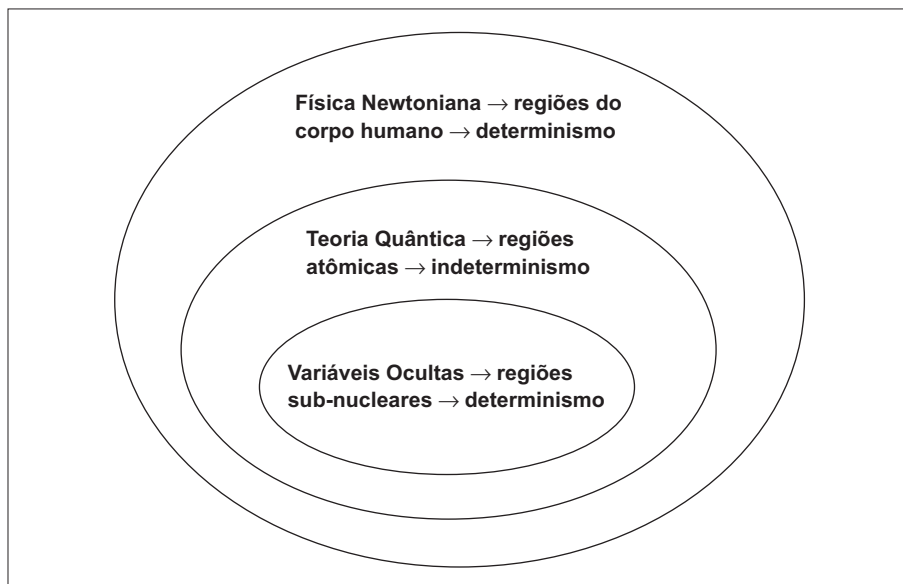


Figura VIII-3: Determinismo e indeterminismo parecem se revezar, à medida que se adentra em regiões cada vez menores.

Segundo os defensores da teoria quântica, a fraqueza principal da teoria de Bohm é que parece ter sido projetada deliberadamente para fazer previsões que são, em todos os detalhes, idênticas às da TQ convencional, e que jamais poderão dar resultados diferentes. Portanto, segundo eles, seu objetivo não era fazer uma teoria rival séria da TQ, mas simplesmente demonstrar que teorias de variáveis ocultas são possíveis. A essas críticas, Bohm responde:

Nunca consegui descobrir qualquer razão bem fundamentada para a existência de um grau tão alto de confiança nos princípios gerais da atual forma da teoria quântica. **Vários físicos têm sugerido que a tendência do século é afastar-se do determinismo**, e que um passo para trás não é muito provável. Esta, porém, é uma especulação que poderia ser feita em qualquer período em relação a teorias que até então foram bem-sucedidas (...) outros, ainda, têm apresentado **uma preferência psicológica pelas teorias indeterministas**, mas isto pode ser consequência de estarem acostumados a essas teorias. Os físicos do séc. XIX certamente teriam expressado uma propensão psicológica igualmente forte para o determinismo⁴⁰.

Finalmente precisamos entender como Bohm explica a comunicação telepática entre as partes de um sistema composto, como ocorre na experiência

de Aspect ou implícita no paradoxo EPR. Existem duas respostas dadas por Bohm em épocas ou fases distintas de seu pensamento. A primeira delas corresponde a uma fase einsteiniana, quando procura a explicação em termos de variáveis ocultas, numa tentativa de retorno ao realismo clássico no qual os corpos têm trajetórias sempre bem definidas, produzidas por causas igualmente bem definidas, não havendo lugar para contingências e correlações à distância, que são explicadas em função de rápidas flutuações de níveis subquânticos.

Para responder a essa questão, primeiro notamos que as correlações mecânico-quânticas características têm sido observadas experimentalmente com sistemas distantes somente quando as várias peças do aparelho de observação permaneceram nas proximidades por um tempo tão longo que possibilite uma profusão de oportunidades para que entrem em equilíbrio com o sistema original mediante interações subquântico-mecânicas. Por exemplo, no caso da molécula (descrita no paradoxo EPR), haveria tempo para que muitos impulsos se deslocassem de um lado para o outro entre os dispositivos medidores de spins, até mesmo antes que a molécula se desintegrasse. Desse modo, as ações da molécula poderiam ser “disparadas” por sinais vindos do aparelho, de modo que ela emitiria átomos com spins já adequadamente alinhados para o aparelho encarregado de medi-los⁴¹.

Portanto, segundo Bohm, é o aparelho em equilíbrio com a molécula original que lhe “informa” como esta deve desintegrar-se! Se porventura a orientação espacial do aparelho mudar subitamente, o próprio dispositivo mecânico encarregado de fazê-lo pode ter conexões subquânticas com todas as partes do sistema, transmitindo à molécula um sinal informando-lhe que certo observável, e não outro, será medido.

Spinoza se ouvisse Bohm, de dentro de seu túmulo, provavelmente estaria a dar risadas de felicidade e talvez dizendo: *“Estão vendo que na natureza não cabem contingências e sim determinações, pois uma coisa que é determinada por Deus a qualquer ação não pode tornar-se a si própria indeterminada”*. No que Einstein dirigindo-se a Bohr dir-lhe-ia nas alturas onde os dois se encontraram: *“você está vendo que o velho Spinoza estava certo, pois realmente Deus não joga dados!”*

Hoje já se fazem experiências com luz polarizada que permite distâncias da ordem de 500m entre os eventos correlacionados por EPR. Portanto, o tempo necessário para que um sinal leve a informação foi bastante ampliado, o que, segundo os defensores da TQ, torna inviável a explicação de Bohm em

termos de sinais emitidos pelos dispositivos mecânicos que mudam a orientação dos aparelhos. De maneira que os indeterministas viraram o jogo novamente, e é Bohr e Heisenberg que continuam a dar gargalhadas...

Embora a teoria de Bohm (TVO) não seja epistemologicamente superior, pois até agora não previu fatos novos, mas apenas corroborou fatos já previstos pela TQ, ela é ontologicamente muito distinta de sua rival, resgatando um realismo científico que suprime do observador seu papel central de precipitador do real. Nada, no entanto, impede que a TVO futuramente possa vir a ser progressiva, isto é, prever resultados experimentais ainda não previstos pela TQ. Seria, portanto, a TVO a consumação do sonho spinoziano-einsteiniano da possibilidade de uma grande geometria filosófica que reflete um mundo ordenado, racional, inteligível e eterno, livre de incertezas, contingências e complementaridades?

É importante realçar, no entanto, que não se pode confundir o realismo spinoziano com o mecanicismo, levado às últimas conseqüências por Newton, Laplace e até mesmo por Einstein, que, em certos aspectos, são filosoficamente opostos. O mecanicismo cartesiano entende o universo como um grande relógio constituído por engrenagens que se engatam mecanicamente e estas, por sua vez, sendo analisadas por partes menores autônomas que interagem mantendo a sua independência, nitidamente separadas umas das outras no espaço. Segundo o determinismo laplaciano, o universo seria constituído por blocos de construção autônomos, cujas condições iniciais (posições e velocidades) determinariam univocamente qualquer estado futuro.

O realismo spinoziano, por outro lado, parte de um ponto diametralmente oposto: a substância una, indivisa, infinita e atemporal. Todos os entes do universo são acidentes ou manifestações singulares de uma substância indivisível e univocamente determinada por si própria, sendo apenas neste sentido, e nesta dimensão infinita, que se pode falar em um determinismo absoluto. As partes ou modos, como as denomina Spinoza, pelo contrário, têm de si um conhecimento apenas contingente e inadequado. Lembremos do cantor solitário, do capítulo II, que canta a sua parte musical sem conhecer a partitura toda e sequer a parte de seu vizinho de coral. Enquanto, pois, o mecanicismo constrói o universo com blocos de construção e condições iniciais de repouso e movimento, o monismo substancial de Spinoza começa pela modificação de uma substância una, infinita e indivisa, que se modifica por uma necessidade única e universal. Deste modo, o mundo material e do

pensamento, longe de serem distintos, nada mais seriam, entretanto, que projeções em nosso corpo e intelecto finitos, de uma realidade infinitamente mais ampla e absolutamente racional. Acredito, desta forma, que teorias não-locais de variáveis ocultas, em nada contrariam o realismo spinoziano, pois sua essência não é localidade dos processos da natureza, mas sim a independência e invariância destes em relação ao ponto de vista do observador, que nada mais é do que um modo entre modos da natureza.

As palavras de Bohm acerca da necessidade de um novo paradigma na Física, em que as teorias e os fatos descritos são aspectos de uma mesma e mais ampla realidade, e se relacionam segundo o profético “*ordo e conexio idearum...*”, remetem à Ética, sendo os atributos divinos projeções de uma substância infinita. Se Bohm estiver certo, fará o filósofo de Amsterdã parecer um visionário na história do pensamento:

Assim como A está para B na estrutura do nosso pensamento, o mesmo acontece com os fatos (...) Fato e teoria são, assim, vistos como aspectos distintos de um todo em que a análise em partes separadas não é relevante⁴².

Surpreendentes também são as palavras do físico sobre a isonomia entre corpo e mente:

Não dizemos que a mente e o corpo afetam de modo causal um ao outro, mas sim, que os movimentos de ambos são o resultado de projeções relacionadas de uma base comum de dimensão mais elevada⁴³.

O *insight* spinoziano continua manifestando-se de outras formas em Bohm, talvez até sem seu conhecimento, quando este propõe que a realidade tridimensional composta de objetos finitos, que se movem no espaço de forma independente ou *autônoma* (o atributo extensão para Spinoza), pode ser entendida como uma projeção de uma realidade multidimensional mais ampla que se move de forma *holônoma*.

No capítulo II, propus que os atributos divinos fossem projeções da substância infinita no espaço restrito de nosso entendimento. Assim, não só o universo material como também o das ideias seriam projeções correlacionadas de uma realidade una e indivisa. Quando propus essa interpretação geométrica para a filosofia de Spinoza (veja capítulo II) ainda não tinha concluído a leitura do livro *Totalidade e Ordem Implícada*, sendo uma grata surpresa quando li os seguintes textos:

Podemos ver cada uma das partículas como uma projeção de uma realidade de “dimensão mais elevada”, e não como uma partícula separada, existindo conjuntamente com todas as outras em um espaço comum tridimensional (...). Desse modo, (como de fato pode ser demonstrado graças a uma consideração mais cuidadosa da forma matemática das leis quânticas aqui envolvidas) cada elétron age como se fosse uma projeção de uma realidade de dimensão mais elevada⁴⁴.

Desse modo será, em última instância, enganoso, e sem dúvida errado supor que cada ser humano é uma realidade independente que interage com os demais seres humanos e com a natureza. Pelo contrário todos eles são projeções de uma totalidade única (...) Nosso método global estabelece questões acerca da natureza do cosmos, da natureza em geral, da vida e da consciência. Todas elas foram consideradas, em nosso método como projeções de um fundamento comum. A este podemos chamar de fundamento de tudo que existe (...) ⁴⁵.

Os textos acima citados revelam uma fase menos mecanicista e mais holística, na qual o físico norte-americano procura desvincular-se da restrita causalidade local einsteiniana, porém sem se afastar do substancialismo de Spinoza.

O que foi dito acima por um dos mais importantes físicos da era pós einsteiniana parece ser uma versão moderna da Ética na qual a substância aqui aparece como “realidade de dimensão mais elevada”, seus atributos, como projeções e os modos como elétrons ou partículas aparentemente separadas. Não fui, entretanto, o único a perceber a convergência das ideias de Bohm com a metafísica spinoziana. Se a academia sempre tão zelosa em fazer cumprir o rigor metodológico me acusasse de especular de forma pouca científica, teria na Dra. Nise da Silveira um forte álibi, pois que em *Cartas a Spinoza*, ela consegue também vislumbrar entre a ordem implicada e a substância, “encontros”, “muitas afinidades” conceituais, bem como “aproximações de visão de universo”:

Só recentemente alguns físicos estão vindo ao seu (de Spinoza) **encontro**, sem dúvida usando um outro vocabulário. Assim David Bohm, físico contemporâneo, parece-me **ter muitas afinidades** com você. Existiria uma dimensão oculta de infinita profundidade, que Bohm denomina de ordem implícita. Da ordem implícita originar-se-ia a ordem explícita, correspondendo ao nosso mundo dos objetos, que se movem no espaço e no tempo. A totalidade da ordem implícita, oceano de energia, não é manifesta para nós; apenas nos apercebemos de alguns de seus aspectos, pois é condição de nosso pensamento não conseguir apreender a totalidade em seu completo esplendor. Vejo em David Bohm **aproximações com a sua visão de universo**⁴⁶.

Se grandes personalidades de outras áreas de conhecimento, como Nise da Silveira, podem se aperceber que uma multidisciplinaridade unificadora começa a permear extensas áreas do conhecimento contemporâneo, estabelecendo entre elas profundas relações de correspondência, por que a visão de grande parte dos físicos, e o conseqüente ensino que se pratica nas academias, continuam a ser ensimesmados e apresentados como isoladas construções internas da Física, que se bastam e se sustentam a si próprias? Por que nas academias é quase uma heresia estabelecer afinidades ou até mesmo analogias entre teorias científicas e sistemas metafísicos?

Se o leitor deste texto for um professor de Física moderna, sugiro que possa revelar a seus aprendizes, em toda a sua extensão e magnitude, uma questão essencial para a história do pensamento científico moderno: a centralidade ou não da observação humana da natureza. É este, a meu ver, o núcleo duro da mais importante polêmica da Ciência do séc. XX que foi exposta, qual seja, a de se repensar a posição existencial de um sujeito frente ao “seu” fenômeno, ou como de um eloqüente precipitador da realidade física ou singelamente apenas um de seus constituintes, posição esta que será defendida no próximo capítulo. A proposta pedagógica para a Física moderna, aqui apresentada, consiste peremptoriamente em não deixar passar em brancas nuvens as questões ontológicas, nem apenas reduzi-las às construções da Física e às suas anomalias internas. É relevante, pois, explicitá-las, desdobrá-las, fazê-las aparecer em palestras ou nas salas de aula através de um diálogo que gere tensões e relaxamentos, e que instigue os aprendizes a vislumbrar desdobramentos filosóficos, sem medo de que estas questões sejam consideradas, pelos segmentos acadêmicos mais ortodoxos, como anticientíficas ou de cunho especulativo ou metafísico.

Vontade, fenomenologia e as rodas da fortuna da Teoria Quântica

“A probabilidade de algo acontecer está na razão inversa do quanto é desejada”. (17ª lei de Murphy)

Vontade e observação

Vimos no capítulo VII que na Teoria Quântica (TQ) o fenômeno é a precipitação de uma realidade física sobre um observador através de um aparato

de medida que ele deliberadamente interpõe no percurso dos objetos microscópicos que visa conhecer. Desta forma, coerentemente com a proposta de pensar, fazer e ensinar Física com um olhar disposto a captar-lhe sua essência filosófica, refletirei sobre a vontade humana como força motriz do conhecimento. Acredito que um ensino de Física que vise formar pensadores críticos, e não meros técnicos operadores de paradigmas vigentes (e hoje a TQ é comprovadamente uma teoria vigente), não deve se omitir diante desta questão.

Refletimos também no capítulo anterior que na TQ, observador, aparato e objeto estão inextricavelmente ligados através do ato de observação, pois o último se revela como fenômeno, *acrescido* da ação de observação⁴⁷. O sujeito não poderá mais separar o que é próprio do objeto (a coisa em si) do que foi a ele acrescido pela vontade e ação de conhecê-lo. Para Bohr⁴⁸, um elétron é mais que um conceito lógico que deixa rastros na consciência: ele é também a própria experiência de observação.

Ao montar experimentos para detectar uma partícula qualquer, o observador impregna o espaço físico com ideias, métodos e com sua vontade que precedem ao ato de detecção⁴⁹. É esclarecedor o que nos diz W. Heisenberg, um dos criadores da TQ, além do descobridor do princípio de incerteza:

A noção da realidade objetiva das partículas elementares se dissolveu de forma muito significativa, não numa nova noção de realidade, obscura ou ainda não compreendida, porém na transparente claridade de uma matemática que descreve, menos o comportamento das partículas elementares, que do nosso conhecimento acerca do referido comportamento. Vemos-nos obrigados a considerar como único objeto da ciência o nosso próprio conhecimento daquelas partículas (...) As vulgares divisões do universo em sujeito e objeto, mundo interior e mundo exterior, corpo e alma não servem para mais nada a não ser suscitar equívocos (...) **Na ciência, o objeto da investigação não é mais a natureza em si, mas a natureza submetida à interrogação dos homens** (...) na mecânica quântica era necessário encontrar fórmulas matemáticas que expressassem, não a natureza, mas sim o seu conhecimento (...) **A incidência do método modifica o seu objeto e o transforma até o ponto em que o método não pode mais se distinguir do objeto**⁵⁰.

Na fenomenologia da TQ, o ato pelo qual o sujeito visa conhecer seu objeto é uma intervenção tão intensa que aquele não pode distinguir mais a realidade daquilo que é o fruto da ação em busca do conhecimento desta realidade. Inclusive, como vimos no paradoxo EPR, essas ações (que visam o conhecimento)

propagam-se de forma não-local de uma parte a outra do sistema. Deseja-se assim conhecer uma realidade que só ganha uma existência concreta, segundo a interpretação de Copenhague, através da observação que, por sua vez, está condicionada à vontade do observador. Vimos no EPR que se João, por ato de sua vontade, decidir medir a posição, ao invés do *momentum*, de seu átomo, não só o seu, mas também o átomo de Maria será observado com flutuações em seu *momentum*. Assim, é impossível saber no microcosmo onde termina o mundo da matéria e começa a mente pensante, a vontade e a linguagem. A interpretação de Copenhague revoga as fronteiras entre a intencionalidade do sujeito, seu aparato e o real. Como ilustra o esquema abaixo:

Percepção = Realidade (em si) + Ato de observação
(Ao, irreduzível a uma lei causal)

$$P = R + Ao$$

Realismo: é possível separar o ato de observação Ao dos
“objetos em si”:

$$P = R + Ao \rightarrow R = P - Ao:$$

As coisas em si (R) podem ser conhecidas descontada a ação de observação.

Anti-realismo (idealismo): não é possível a separação: $\rightarrow R = P$

O Real é aquilo que é percebido por um humano no contexto experimental visto como um todo.

(Esse est percipi)

Vigora no meio científico contemporâneo duas alternativas mutuamente excludentes: o materialismo, no qual tudo é matéria, inclusive o pensamento, e o idealismo, no qual tudo é a consciência do sujeito que reflete o mundo na forma de suas representações. Mas uma terceira via é possível, um monismo panteísta no qual pensamento e matéria são atributos de uma mesma substância material e pensante da qual o sujeito humano, objeto e toda a natureza são seus modos (singularidades).

A primeira das alternativas é um materialismo objetivo no qual a mente não passa de um epifenômeno da matéria, isto é, o mais refinado de seus estados, sendo assim o conhecimento, uma relação causal entre sistemas materiais: um objeto real espalha agentes causais (radiações eletromagnéticas, sons etc.) que são captados pelos nossos sentidos, estes também vistos como aparatos da sensibilidade que os enviam através do sistema nervoso ao cérebro, onde se completa o processo de conhecimento através de um complexo sistema de ligações neuronais, criando-se um mapa do mundo externo. Este realismo radical que parece ser cômodo para o cientista, tem, no entanto, limitações. A primeira delas é que sujeito e objeto, como entidades materiais, ficam separadas no espaço-tempo influenciando-se causalmente. Como vimos, vários fenômenos quânticos não podem ser explicados através da localidade causal. As desigualdades de Bell, que não deveriam ser violadas por teorias de causalidade local, são sistematicamente violadas nas experiências de Aspect, parecendo indicar uma estranha ação à distância, quase que telepática, através da qual as partes relacionam-se com o todo. Dito de forma mais precisa, no reino do microcosmo, os *quanta* de um sistema composto não podem ser espacialmente divididos em partes constitutivas, pois que o todo é formalmente indivisível. Se um sujeito (João) interage com uma das partes, um outro sujeito (Maria) percebe imediatamente à distância os efeitos dessa interação, pois que as partes jamais podem ser formalmente separadas do todo original. As coisas se passam como no exemplo dado dos dois pescadores que combinassem de usar anzóis grandes e, de repente, sem avisar, um deles troca o seu anzol, afetando a pescaria do outro. O materialismo não pode dar conta destes fenômenos.

Já no idealismo (anti-realismo) o universo orbita, como representação, em torno de um sujeito humano soberano e central que precipita a realidade, no ato de observação, de acordo com sua intencionalidade. O sujeito-observador torna-se um ente supramaterial colocado à margem das leis da natureza. Acredito ser este um solipsismo também difícil de sustentar, e sobre o qual farei uma reflexão crítica no próximo capítulo.

Finalmente, chego à opção panteísta de Spinoza, que me parece a mais adequada solução metafísica para a essência do problema do conhecimento, à luz do indeterminismo do microcosmos. Sem violar nenhum dos princípios da Física, pois convive bem com a TR (ver capítulo VI) e com teorias de

variáveis ocultas deterministas, sejam elas locais ou não, ela funde sujeito e objeto na substância universal que a todos engloba, eliminando o dualismo entre matéria e pensamento na forma da já citada EII prop. VII: *Ordo e conexio idearum idem est ac ordo et conexio rerum*. (“A ordem e a conexão das ideias é o mesmo que a ordem e a conexão das coisas”). À verdade assim de uma proposição impõem-se, ao mesmo tempo, coerência com outra proposição, bem como, correspondência destas com os “estados de mundo” a que se reportam. Obedecendo à regra já suficientemente discutida no capítulo II: se I é uma ideia acerca de um estado de mundo E, e I* é uma ideia acerca de E*, então se o estado E causa E*, então I implica em I*.

Resumidamente, como já vimos algumas vezes antes: se $E \rightarrow E^*$ então $I \supset I^*$.

Como havia sugerido no capítulo II, antes de ter lido as ideias de Bohm aqui expostas, a realidade é simultaneamente matéria e pensamento que refletem a substância única, infinita e causa de si, como projeções em dois planos. As imagens (ideias e objetos) “movimentam-se” em planos distintos e parecem ser independentes, mas são tão-somente reflexos dessa mesma substância. No plano material, os objetos se causam (ou não), uns aos outros e concomitantemente no plano das ideias estas se deduzem (ou não) umas das outras. A coerência entre estas é assim uma consequência da correspondência que têm com os objetos ou estados de mundo. As proposições ou crenças não são verdadeiras porque coerentes, mas sim coerentes porque verdadeiras. Os domínios da matéria e do pensamento, embora distintos, não podem mais ser separados em entidades autônomas, pois são apenas atributos de uma mesma essência: pensar é refletir algo material que obedece a leis análogas às da razão. Poderíamos até especular que as limitações que impedem o conhecimento completo dos sistemas microscópicos, permitindo que se conheça apenas a nossa própria intervenção no processo, corresponderiam limitações no próprio sistema de pensamento lógico-axiomático. Não seria o *ordo e conexio idearum* spinoziano uma premonição dos teoremas da indecibilidade e incompletude de Gödel? Estes teoremas que exprimem limitações cognitivas de alguns sistemas lógicos (por exemplo, os da aritmética) poderiam ser as contrapartidas do princípio da incerteza que exprime, por sua vez, a incompletude do conhecimento empírico⁵¹. Deixo esta indagação em aberto para os lógicos matemáticos.

Convivendo com a probabilidade e as rodas da fortuna

Na TQ e no mundo microscópico, como consequência da incerteza com os quais são os objetos localizáveis, joga-se numa loteria de possibilidades, o chamado acaso⁵². Discutiu-se no capítulo VII que um acontecimento quântico é o colapso da função de onda do sistema, provocado pelo observador, na interpretação de Copenhague (ou uma descoerência da função de onda do Universo, provocada por um processo irreversível, na interpretação de Everett), de um espectro de outras possibilidades superpostas. Um dado *antes* de ser lançado ao espaço tem a potencialidade de exibir as suas seis faces simultaneamente. Só depois será revelada a única face possível, depois de consumado seu movimento. De forma análoga, na TQ a medida de um certo observável corresponde a um colapso do espectro de suas possibilidades de existência. Um objeto é então descrito por uma função de onda, cuja interpretação probabilística lhe confere apenas possibilidades de ser encontrado numa certa posição. Isto dilui a sua existência no espaço, transformando-o numa nuvem probabilística, conferindo-lhe uma *potentia* (no sentido aristotélico, uma potencialidade latente de existência ainda não consumada) de múltiplas possibilidades existenciais simultâneas em pontos distintos do espaço-tempo⁵³. Medir um determinado valor de alguma das grandezas que descreve um objeto no espaço é atualizar algo que existia apenas em *potentia*, tornando-o existente, assim como sortear uma carta de um vasto baralho é torná-la real frente a todas as outras que jazem inertes e não reveladas na mesa de jogo. Numa loteria, sabe-se de antemão que as possibilidades de ganhar são reduzidas e as paixões anteriores ao sorteio, bem como a frustração posterior, é proporcional à chance de sucesso. Afinal Spinoza na prop. XI da EIV já havia previsto que as coisas contingentes ou apenas possíveis nos afetam menos que as necessárias, pois imaginar-se possuidor de livre-arbítrio é sempre mais cômodo que reduzir-se a um modo singular agindo por causas ocultas. No universo quântico, todos os eventos, como um simples spin de um elétron, são apenas possibilidades, tornando a ânsia pelo conhecimento diluída entre as várias probabilidades. O cassino quântico superpõe coerentemente no plano da *potentia* não só os spins de elétrons, mas todos os objetos microscópicos, antes de desvelar-se-nos, como objetos separados, enquanto existência precipitada. “Deus não joga dados”, dizia Einstein, mas nós seres (modos) finitos e limitados, sim, pois não temos do mundo

microscópico mais que um conhecimento parcial. O mundo se nos apresenta assim como uma onipresente rede de possibilidades, sendo o acaso, o asilo de nossa provisória, ou quiçá definitiva ignorância. Prováveis, pois, são todos os estados, mas só um, de cada vez, revelar-se-á aos nossos sentidos, como um dos mundos possíveis com existência real. O objeto precipita sua existência no espaço-tempo, mas só é existente, a cada colapso de onda, em um único estado dinâmico. Vimos ainda no capítulo VII, que se quisermos saber a trajetória de um corpúsculo (*which way*) só poderemos interpor-lhe obstáculos que tenham dimensões muito grandes comparáveis ao seu comprimento de onda ($\lambda = h/2\pi p$). Neste caso, teremos a certeza de que o corpo atravessou o obstáculo (ou fenda), o padrão ondulatório desaparecerá, e viveremos num mundo familiar determinístico de trajetórias bem definidas e previsíveis no sentido clássico. Mas diminuindo progressivamente a dimensão dos obstáculos até que se tornem da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda do corpo, o padrão ondulatório ressurgirá, como por encanto, e não poderemos assegurar com plena certeza qual foi o caminho seguido pelo corpo nem sequer se passou pelo orifício. A dúvida gera o padrão de interferência enquanto que a certeza o apaga! Se imaginássemos um mundo no qual a constante de Planck fosse muito grande (da ordem de 1 unidade), viveríamos diuturnamente a impossibilidade de saber se nossos prosaicos objetos de uso diário, como bolas, atravessaram as metas de um campo de futebol nem se nossos carros passaram pelos túneis da cidade! A tirania da certeza de conhecer os objetos passo a passo se veria constantemente frustrada e teria de ser substituída por uma dúvida levando à enriquecedora experiência das superposições de estados possíveis que se manifestam em ricos padrões ondulatórios de interferência. Voltando ao mundo micro, a evolução de um objeto no tempo se reduz a fazê-lo transitar por seus estados dinâmicos prováveis, não dependendo mais de uma ação preestabelecida e calculada *a priori*. Em suma, no microcosmo quântico, não poderemos sempre impor trajetórias claras e distintas aos corpos materiais, mas tão-somente induzir-lhes possibilidades de trajetórias que se superpõem gerando padrões de difração em média descritos pela função de onda.

Neste ponto, o mestre e seus aprendizes poderão imaginar uma partida de futebol quântica, com uma imensa constante de Planck ($h \sim 1$). Se o comprimento de onda da bola for da ordem de grandeza da meta, os jogadores não poderão saber ao certo para onde chutaram a bola, pois a meta difratará

a bola gerando padrões de interferência na rede! Haverá pontos que a bola jamais poderá tocar e outros fora da meta que poderão ser considerados como gol! O gol pode ser tão provável quanto a bola ser chutada na bandeirinha de escanteio. A diferença, porém, é que os torcedores quânticos não se frustrariam com esta última possibilidade...

Voltando às questões inicialmente formuladas, será esse bizarro mundo quântico compatível com a racional geometria metafísica de Spinoza? Acredito que em alguns aspectos sim, e em outros não, pois o spinozismo não nega a contingência com que sobre nós se precipitam os fatos da natureza, mas a atribui não a ela, mas à precariedade de nosso conhecimento acerca dela. O que nos parece incompatível com o spinozismo é o papel central, e quase fantasmagórico, atribuído ao observador pela Escola de Copenhague.

A segunda parte da *Ética* é finalizada com esse precioso exemplo, mostrando o filósofo como conviver com as rodas da fortuna:

Resta apenas indicar quanto o conhecimento dessa doutrina é útil para a prática da vida, o que veremos facilmente pelo que se segue: (...) **Enquanto ensina como devemos conduzir-nos perante as coisas da fortuna, isto é, que não estão em nosso poder**; por outras palavras, perante as coisas que não resultam da nossa natureza, **a saber, esperar e suportar com igual ânimo as duas faces da fortuna**, uma vez que todas as coisas resultam do decreto eterno de Deus com a mesma necessidade que, da essência do triângulo, resulta que seus três ângulos sejam iguais a dois retos⁵⁴.

Finalizando este capítulo com certa dose de fantasia, acredito que se Spinoza fosse um pensador contemporâneo, manter-se-ia fiel à proposta filosófica de buscar uma teoria que fosse gradativamente se aproximando da certeza, e, portanto, de um realismo desprovido de incertezas. Tal qual o mito de Sísifo, reconhecera, no entanto, que a tarefa seria infinita, pois um tal realismo esbarraria em um limite inatingível de conhecimento absoluto. Continuando a fantasiar, acredito que Spinoza se satisfaria com uma teoria de variáveis ocultas que resgatasse o realismo perdido com a TQ, mas se renderia frente às limitações de uma causalidade local. Na sua metafísica, os modos finitos são produzidos pelos modos infinitos (as leis) e estes pela substância projetada em seus atributos (ver capítulo II). Portanto, os modos finitos não são produzidos por outros modos finitos, apartados no espaço, e assim uma teoria não-local não violaria nenhuma de suas proposições, e seria ainda corroborada pelos fatos. Creio que Einstein fez uma leitura radical de

Spinoza. Foi um discípulo mais ortodoxo que o mestre. Quis mergulhar tão a fundo na Natureza que esta se lhe apresentasse livre das incertezas e contingências que, no entanto, são irremovíveis para um ser finito. A finitude da mente e do corpo humano limita a “quantidade de certeza” que se pode ter do mundo. Spinoza não exorcizou a contingência, apenas a atribuiu a um provisório ou talvez eterno desconhecimento da totalidade das causas que movem as coisas existentes no mundo. Percebeu que somente para Deus, e sua mente infinita, a Natureza age de forma certa e determinada. Einstein quis ir além: buscou uma geometria universal que contabilizasse todas as causas e efeitos físicos macro e microscópicos, eliminando quaisquer indeterminações fossem elas ontológicas ou epistemológicas. Spinoza entendeu que Deus e os seus modos (coisas singulares como o homem) são dimensionalmente distintos, enquanto Einstein quis jogar xadrez com Deus, e com Ele aprender como são as regras do jogo do universo. Conseguiu em parte, falhou em outra.

A lição agora a ser transmitida aos estudantes é aceitar a indeterminação, as tais “faces da fortuna”, pois elas têm sido confirmadas pelos experimentos, e saber “suportar com igual ânimo as suas duas faces: cara e coroa, nota boa e nota ruim, gato morto e vivo, onda e partícula, gol e chute para fora e ... teoria quântica e variáveis ocultas!