

OS ELEMENTOS APRIORÍSTICOS DOS PROCESSOS DE MEDIÇÃO

ROBERTO DE A. MARTINS

Instituto de Física "Gleb Wataghin" - UNICAMP

"Eles [os fundadores da ciência clássica] aprenderam que a razão só percebe aquilo que ela produz de acordo com seu próprio plano. Que ela não deve se contentar em seguir, por assim dizer, as trilhas da natureza, mas deve adiantar-se com princípios de julgamento de acordo com leis invariáveis, e obrigar a natureza a responder a suas questões. Pois observações acidentais, que não são feitas de acordo com um plano pré-concebido, não podem ser unidas sob uma lei necessária. Mas é isto o que a razão procura e exige. São apenas os princípios da razão que podem dar a validade de leis aos fenômenos concordantes, e é apenas quando a experiência é dirigida por estes princípios racionais que ela pode ter alguma utilidade real. A razão deve aproximar-se da natureza com o propósito, realmente, de receber dela informação; mas não como um aluno, que escuta a tudo o que seu mestre resolve dizer - lhe, e sim como um juiz que obriga as testemunhas a responder às questões que ele próprio considera adequadas a seu propósito." (I. Kant, prefácio da "Crítica da Razão Pura").

1. INTRODUÇÃO

No estudo dos processos de medição, como no de qualquer outra atividade científica, o epistemólogo deve distinguir aquilo que é dado pela natureza, daquilo que é imposto pelo cientista. Nem sempre essa tarefa é fácil. E, com a queda do positivismo lógico, nas duas últimas décadas⁽¹⁾, tornou-se necessário rever cada uma de nossas antigas concepções sobre a ciência. Um dos pontos que exige revisão é certamente a teoria dos processos de medição⁽²⁾.

O problema específico a ser aqui abordado é este: até que ponto os processos de medição são arbitrários, e até que ponto são determinados por conhecimentos empíricos ou de algum outro tipo?

Consideremos uma descrição de um processo genérico de medição: "Para se medir a grandeza g de um sistema A, toma-se o ins

trumento I, que é ligado ao sistema A, e..." . Essa descrição pode, em primeiro lugar, ser uma simples referência àquilo que os clentistas fazem, na prática. Assim considerada, ela será verdadeira ou falsa conforme corresponda ou não à prática. Mas se quisermos saber: por que motivo esse procedimento é adotado exatamente desta maneira? A resposta poderá ser: (1) é adotado arbitrariamente, por convenção, e não se pode justificá-lo; (2) é adotado porque um procedimento diferente violaria certos conhecimentos empíricos; (3) é adotado porque seguindo-se este procedimento obtêm-se resultados de um certo tipo, e os resultados desse tipo são cientificamente desejáveis.

No primeiro caso, a especificação do processo de medição é uma proposição analítica, como as definições, e estaríamos justificados ao utilizar a expressão "definição operacional", por exemplo. As normas para medição de uma grandeza não poderiam ser justificadas nem criticadas com base em conhecimentos empíricos; e não haveria qualquer motivo de ordem fatural para escolher um tipo de procedimento ou um outro diverso. No segundo caso, a descrição do processo de medição conteria, pelo menos implicitamente, certos conhecimentos fatuais, e corresponderia, pelo menos em parte, a um conhecimento sintético a posteriori. No terceiro caso, o processo de medição seria instrumental para a obtenção de certos resultados, e poderia ser decomposto, por um lado, em um conhecimento empírico (utilizando-se tal procedimento, obtêm-se tais resultados); e por outro lado, em certas especificações axiológicas (é desejável, na ciência, obter-se tais resultados).

Neste artigo, procuraremos verificar até que ponto estão presentes elementos desses três tipos nas descrições dos processos de medição. Ao realizar essa análise, vários outros aspectos dos processos de medição serão esclarecidos.

2. A TESE CONVENCIONALISTA

Consideremos primeiramente uma visão convencionalista extrema, representada pelo operacionalismo de Bridgman⁽³⁾. De acordo com essa visão não há qualquer limitação a ser imposta aos processos de medição, e pode-se dizer que medição é todo e qualquer procedimento que associe números aos sistemas medidos⁽⁴⁾. A escolha deste ou da quele procedimento é arbitrária; mas, uma vez estabelecida a escolha, deve-se mantê-la, por convenção.

De acordo com essa abordagem, não tem sentido questionar-se a veracidade de um processo de medição. Não se pode justificá-lo, nem criticá-lo. Ele é colocado, e utilizado, sem discussão. Não po

de, obviamente, ser corrigido. Qualquer mudança em um processo de medição gera um novo processo, e refere-se a uma nova grandeza, pois a grandeza é especificada ou definida pelo próprio processo de medição.

Na visão operacionalista, os números obtidos pela aplicação dos processos de medição são "dados brutos", ou seja: refletem diretamente algo da natureza, com um mínimo de interferência ou elaboração humana, e não pressupõem que a grandeza medida possua certo conjunto de propriedades. Esses dados brutos são, igualmente, inquestionáveis: se o procedimento de medição foi fielmente seguido, o dado obtido é verdadeiro. Não se pode falar em "erro de medida".

Como as leis científicas são derivadas (ou, pelo menos, testadas) a partir desses dados, elas igualmente refletem a natureza. Se os dados obtidos na medição fossem em grande parte artificiosos, ou seja, com uma grande dose de componentes racionais pressupostos na medição, então as leis estariam igualmente contaminadas por este elemento.

Muitas pessoas que lidam com medidas executam suas medições exatamente nesse espírito. Queremos medir a massa de um objeto? Basta colocá-lo sobre o prato de uma balança analítica digital, manipular um ou dois botões, de acordo com o folheto de instruções do fabricante, e esperar o surgimento do resultado em um visor. A balança analítica torna-se uma "caixa preta", cujo funcionamento não é conhecido nem interessa saber; ela proporciona dados brutos sobre a massa, livres de qualquer teoria. Essa pessoa pensa, no máximo, em possíveis "erros estatísticos", mas não se questiona se o aparelho está realmente medindo aquilo que deveria medir, nem pensa em erros sistemáticos. A estrutura da "caixa preta" não interessa.

Uma posição radicalmente convencionalista é, no entanto, inaceitável para os cientistas. Um procedimento escolhido arbitrariamente poderia, por exemplo, não apresentar repetibilidade dos resultados: efetuando-se a medição de uma grandeza de um mesmo sistema, em dois instantes bem próximos, poderia ocorrer que os resultados não apresentassem qualquer semelhança ou correlação. Se estivermos tratando com sistemas clássicos, em que esperaríamos que aquela grandeza desse tipo de sistema não mudasse bruscamente, de um instante para outro, seria melhor rejeitar o processo de medição. Mesmo um técnico de laboratório de visão estreita desconfiará de sua balança analítica, se ao colocar e tirar da mesma, repetidamente, um mesmo objeto, obtiver de cada vez uma indicação completamente diferente das anteriores. Ou seja: deseja-se que os processos de medição tenham pelo menos um certo grau de repetibilidade, sem o que seria impossível o estabelecimento de leis quantitativas para os fenômenos.

Pode-se observar o aparecimento dessa nuance anti-convenção-
nalista em um artigo de Dingle, um dos expoentes do operacionalismo.
Nesse artigo⁽⁵⁾, ele afirma claramente que qualquer procedimento de
medição é, em princípio, válido; mas que selecionamos dentre todas
as possibilidades os processos que levam a relações simples entre as
grandezas, pois esse é o tipo de lei que desejamos obter. Mas este
tipo de concessão destrói completamente o espírito inicial do opera-
cionalismo, e nos afasta da tese de um convencionalismo radical. A
atitude completamente convencionalista é inaceitável; e a tese en-
fraquecida não é mais convencionalista.

Passemos à análise de uma outra visão dos processos de medi-
ção, onde se enfatiza a existência de pressupostos teóricos nas medi-
das.

3. A TEORIA CLÁSSICA DOS PROCESSOS DE MEDIÇÃO

Embora nos meios científicos, e principalmente na física,
o operacionalismo seja a mais conhecida teoria sobre medição, há uma
outra abordagem, mais antiga, bem mais elaborada, e que é mais estu-
dada pelos filósofos e matemáticos. Trata-se da abordagem chamada
'clássica', ou 'teórica', ou 'matemática'⁽⁶⁾. Algumas de suas idéias
podem ser encontradas em Kant⁽⁷⁾, e ela foi desenvolvida por Helmholtz,
Campbell, Nagel, Hempel, Ellis e outros⁽⁸⁾.

Essa abordagem teórica dos processos de medição analisa e de-
compõe os procedimentos em várias etapas, e estabelece condições pa-
ra a validade de um processo de medição. Essas condições represen-
tam propriedades que as grandezas medidas devem possuir, e que diri-
gem a criação dos processos de medição. No caso de uma balança ana-
lítica, por exemplo, como a citada acima: ela não é nem deve ser cons-
truída arbitrariamente. Nem basta que todas as balanças analíticas
sejam construídas da mesma forma e que seus resultados concordem mu-
tuamente. Elas devem ser construídas de tal forma a que seus resul-
tados possam refletir as propriedades teóricas da grandeza correspon-
dente (massa). Se, por exemplo, tomamos um objeto A e o colocamos
sobre o prato da balança, obtendo a indicação m_A ; se, depois, toma-
mos o objeto B, e o colocamos sobre o prato da balança, obtendo a
indicação m_B ; então, se colocarmos sobre o prato da balança, ao mes-
mo tempo, os objetos A e B, devemos obter o valor $m_A + m_B$, dentro
do limite de precisão do aparelho. Se o resultado obtido for signi-
ficativamente diferente de $m_A + m_B$, a balança será considerada des-
regulada, apresentando um erro sistemático, e seus resultados não se-
rão aceitáveis.

Por trás e acima das especificações dos processos de medi-

ção, há condições impostas pela natureza da grandeza medida. E essas condições correspondem às propriedades teóricas ou matemáticas da grandeza medida. No exemplo acima, a propriedade considerada é: "As massas de dois objetos se adicionam quando os dois objetos são justapostos".

Não é nosso objetivo expor aqui todos os aspectos da abordagem teórica. Apresentaremos apenas uma rápida descrição daquilo que é mais relevante para a discussão do tema deste artigo.

3.1. TIPOS DE GRANDEZAS

A abordagem clássica distingue entre grandezas fundamentais e derivadas. As fundamentais são aquelas que podem ser medidas diretamente, sem o auxílio de outras grandezas. Incluem-se nessa categoria: massa, espaço, tempo, etc.. São derivadas as que são medidas ou calculadas indiretamente, com o auxílio de outras grandezas. Por exemplo: para se medir velocidade, é preciso medir-se espaço e tempo; para se medir densidade, é preciso medir-se volume e massa; para se medir (termodinamicamente) temperatura, é preciso medir-se energia. Essas são grandezas derivadas. A seguir, somente nos preocuparemos com as grandezas fundamentais.

3.2. CRITÉRIO ORDINAL

A especificação do processo de medição, para as grandezas fundamentais, inicia-se pelo estabelecimento de um critério ordinal: algum processo que permita comparar a grandeza relevante em dois sistemas distintos, a fim de determinar se essa grandeza é igual, maior ou menor nos mesmos. Por exemplo: para se comparar o comprimento de dois bastões, eles são colocados lado a lado, com uma das extremidades de contato (Fig. 1). Verifica-se se a outra extremidade coincide, para os dois bastões, ou se um deles ultrapassa o outro. Se houver coincidência, então eles possuem igual comprimento. Se não houver, eles possuem comprimentos diferentes, e pode-se determinar qual deles tem maior comprimento.

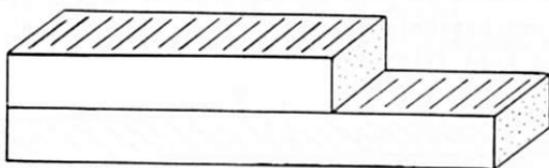


Figura 1

Para comparação de massas, utiliza-se uma balança de braços iguais. Coloca-se os dois objetos um em cada prato da balança. Se a balança não se inclina nem para um lado, nem para o outro, então as massas dos dois objetos são iguais. Se ela pende para um dos lados, o objeto deste lado tem maior massa (Fig. 2).

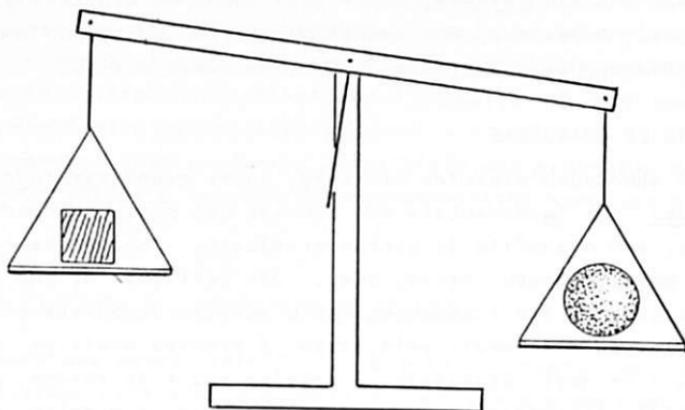


Figura 2

3.3. OPERAÇÃO DE CONCATENAÇÃO

O segundo passo na especificação de processos de medição de grandezas fundamentais é o estabelecimento de uma operação de concatenação. Essa operação permite, a partir de dois sistemas A e B, formar um terceiro sistema C, tal que o valor da grandeza relevante, em C, é a soma dos valores das grandezas em A e B. As grandezas para as quais existe um processo de concatenação são denominadas extensivas. Somente as grandezas extensivas podem ser medidas independentemente de outras. As grandezas que não possuem essa propriedade são intensivas, tais como temperatura, densidade, etc..

No caso de massas, o processo de concatenação é a simples justaposição dos dois sistemas A e B, sem qualquer limitação de ordem ou posição. No caso de comprimentos, os dois objetos devem ser colocados de tal forma que uma extremidade de um dos objetos esteja em contato com uma extremidade do outro, e que todas as extremidades estejam em linha reta (Fig. 3).

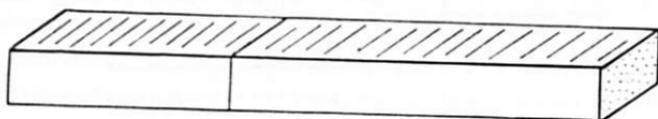


Figura 3

3.4. PADRÃO E UNIDADE

Após essas etapas, é preciso adotar-se um padrão e uma unidade, a fim de ser possível a obtenção de valores numéricos das grandezas medidas. Um padrão é um sistema físico cuja grandeza relevante seja constante. A unidade é um múltiplo ou submúltiplo do valor da grandeza do padrão. O metro, por exemplo, era definido como 1/40.000.000 da circunferência da Terra; a Terra era o padrão, para medidas de comprimento.

Uma vez que se conheça o critério ordinal, a operação de concatenação, o padrão e unidade de uma grandeza, pode-se medí-la quantitativamente⁽⁹⁾.

4. REPRESENTAÇÃO SIMBÓLICA E PROPRIEDADES DAS OPERAÇÕES DE MEDIÇÃO

Usualmente, quando se deseja indicar que a massa de um objeto A é maior do que a massa de um outro objeto B, utiliza-se a representação simbólica:

$$m_A > m_B ,$$

que é lida: "a massa de A é maior do que a massa de B". Quando se utiliza esse tipo de representação, supõe-se que os valores das duas massas estão sendo comparados. No entanto, quando se estuda os processos elementares de medida, verifica-se que a determinação de igualdade ou relação de ordem precede a determinação de valores quantitativos. Por isso, nesse caso, é mais conveniente representar a operação de comparação de uma grandeza sob a forma:

$$A \stackrel{m}{>} B ,$$

que se lê: "o objeto A é maior em massa do que o objeto B". Se dispusermos de uma balança de braços iguais, poderemos determinar se de fato essa relação é verdadeira ou falsa, mesmo sem determinarmos os valores das massas individuais de A ou B.

De forma análoga, pode-se utilizar símbolos como:

$$A \stackrel{m}{=} B ,$$

que seria lido: "o objeto A é igual em massa ao objeto B".

A operação física de concatenação pode ser igualmente representada simbolicamente de modo semelhante a uma adição:

$$C \in A \stackrel{m}{+} B .$$

Esta expressão será lida: "O sistema C é uma concatenação em massa dos sistemas A e B". Por definição, teremos:

$$(C \in A \stackrel{m}{+} B) \rightarrow (C \stackrel{m}{=} A \stackrel{m}{+} B) .$$

A partir do critério ordinal e do processo de concatenação, pode-se definir facilmente relações do tipo

$$A \stackrel{m}{=} nB ,$$

que seriam lidas: "o sistema A é igual em massa à concatenação de n sistemas iguais em massa a B", onde n é um número natural; e daí passa-se a relações mais gerais, incluindo-se qualquer fator real, da mesma forma como se constrói a aritmética. Torna-se então possível definir a razão ou valor relativo de uma grandeza em dois sistemas distintos. A determinação dos valores absolutos exige um padrão e uma unidade.

Um padrão é um sistema que, obedecidas certas condições, apresenta um valor constante da grandeza relevante:

$$C(A) \rightarrow A(t_1) \stackrel{m}{=} A(t_2) ,$$

ou seja: se o sistema A obedece às condições C, então o valor da grandeza m não varia com o tempo, nesse sistema.

Observe-se que utilizamos uma simbologia semelhante à da aritmética, mas que as expressões acima não representam comparações ou adições de números, e sim de sistemas físicos. Esta é uma diferença muito importante. Estamos tratando de operações realizadas com objetos, e não de operações aritméticas realizadas com resultados de medidas (números). Apesar de serem conceitualmente diferentes, no entanto, há um necessário isomorfismo entre as operações de medição e as operações aritméticas correspondentes. Por exemplo: o critério de igualdade de massa deve obedecer às seguintes condições:

$$(A \stackrel{m}{=} B) \rightarrow (B \stackrel{m}{=} A) \quad (\text{simetria})$$

$$\left[(A \stackrel{m}{=} B) \wedge (B \stackrel{m}{=} C) \right] \rightarrow (A \stackrel{m}{=} C) \quad (\text{transitividade})$$

$$A \stackrel{m}{=} A \quad (\text{reflexividade})$$

Essas são as mesmas propriedades da igualdade aritmética. Mas, aqui, essas propriedades traduzem proposições testáveis empiricamente, e referem-se a operações físicas com objetos físicos.

A propriedade de simetria da igualdade de massas significa que a ordem de colocação dos objetos nos pratos de uma balança não altera o seu estado de equilíbrio: se A é colocado à esquerda, e B à direita, e se eles se equilibram; o mesmo deve ocorrer se B for colocado à esquerda, e A à direita (Fig. 4). No entanto, se a balança estiver defeituosa (um dos braços um pouco mais longo, por exemplo), isso não ocorrerá. Assim, este teste empírico permite verificar se a balança está bem construída, ou se possui erros sistemáticos. As outras propriedades (transitividade e reflexividade) podem igualmente ser testadas: se A equilibra B, e B equilibra C, então A deve equilibrar C; e dois objetos construídos identicamente (A e A) devem se equilibrar.

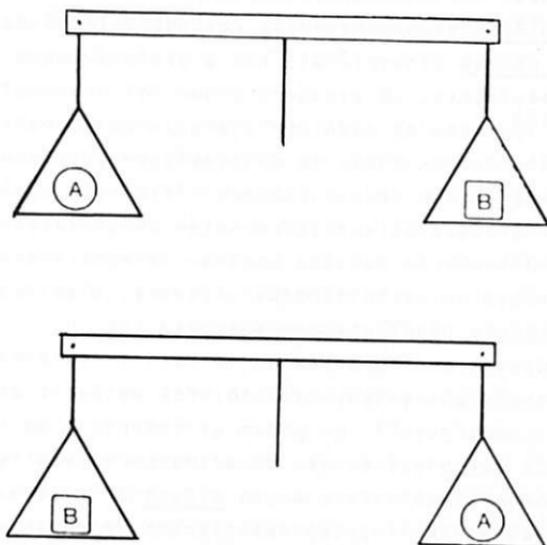


Figura 4

Portanto, o isomorfismo entre as operações de medição e as operações aritméticas correspondentes gera uma série de propriedades empiricamente testáveis. Logo, de acordo com a abordagem teórica, os processos de medição não são totalmente arbitrários: eles podem ser corretos ou falsos, e o conhecimento fático é importante para se saber se um processo de medição é válido ou não.

A abordagem teórica dos processos de medição cria, portanto,

espaço para a idéia de erros sistemáticos, e mostra inclusive como eles podem ser detectados empiricamente. É uma pena que os cientistas, em sua maioria, desconheçam essa teoria da medição.

5. HIPÓTESES DE ISOMETRIA

Embora tenha sido mostrado que alguns aspectos da especificação do processo de medição são testáveis, pode-se no entanto questionar se outros aspectos não seriam totalmente arbitrários: por exemplo, a escolha de um padrão e de uma unidade. Não será essa escolha puramente convencional?

Este é um ponto em que o operacionalismo e a abordagem teórica coincidem. Ambos aceitam que a afirmação "o tamanho da Terra é constante", ou "o quilograma padrão tem massa constante" são convencionais, e não podem ser testadas, se esses sistemas são adotados como padrões. Pessoalmente, não concordo. Embora admitindo que a escolha da unidade é convencional, defendo a idéia de que a escolha do sistema padrão (invariável) não é arbitrária, e sim guiada por hipóteses testáveis. O argumento, que foi desenvolvido em um artigo anterior⁽¹⁰⁾, será apresentado a seguir de forma resumida.

A escolha de um padrão de medidas envolve a especificação de um sistema físico em que certa grandeza física não varia em relação ao tempo, desde que certas condições sejam obedecidas. Mesmo quando não se está escolhendo um padrão, pode-se desejar afirmar a constância de uma grandeza em certo tipo de sistemas, e afirmações desse tipo recebem o nome de hipóteses de isometria.

As hipóteses de isometria podem referir-se a classes de sistemas físicos semelhantes (por exemplo: "os relógios atômicos possuem frequência constante"), ou podem se referir a um único sistema (por exemplo: "o metro padrão tem comprimento constante"). Se uma hipótese de isometria se refere a uma classe de sistemas semelhantes, ela pode ser testada facilmente, verificando-se se esses sistemas variam uns em relação aos outros. Por exemplo: toma-se um conjunto de relógios atômicos, e verifica-se se as frequências de alguns deles variam em relação às dos outros. A experiência poderia mostrar que há variações, e então a hipótese de isometria sobre a frequência dos relógios atômicos teria sido refutada, no sentido de Popper.

Em muitos casos, os padrões científicos são classes de sistemas semelhantes. O padrão de tempo físico é, desde 1967, o período da radiação emitida pelos átomos do césio-122, na transição entre os dois níveis hiperfinos do seu estado fundamental⁽¹¹⁾. Como esta especificação mostra, qualquer átomo de césio-122 é considerado um sistema padrão.

Mesmo no século XIX, os padrões de temperatura, por exemplo, eram o ponto de fusão e de ebulição da água pura, sob pressão atmosférica normal. Qualquer amostra de água pura poderia ser utilizada. E, comparando-se entre si várias amostras de água pura, poder-se-ia verificar se as temperaturas normais de fusão e ebulição da água pura são realmente constantes. Neste e em qualquer outro caso em que a escolha de um padrão recaí sobre uma classe de sistemas físicos, a afirmação da constância do padrão é testável.

Até aí, dificilmente se poderia objetar ao raciocínio apresentado. Mas a questão mais delicada é: pode a constância de um padrão único ser testada? Praticamente todos os autores respondem: não. Uma exceção curiosa é apresentada por um artigo de Graves e Roper⁽¹²⁾, onde se mostra que, se fosse possível realizar viagens no tempo (como, por exemplo, no romance "A máquina do tempo", de H.G. Wells), um objeto poderia ser comparado a ele mesmo, em instantes diferentes, e se poderia verificar se ele mudou ou não. Mas, deixando de lado possibilidades como esta, a constância de um padrão único pareceria convencional.

Consideremos, por exemplo, o antigo padrão de tempo. A unidade científica de tempo (o segundo) era definida no início do século XIX em função da rotação da Terra: um dia (sideral) terrestre tem 24 horas, cada hora tem 60 minutos, e cada minuto 60 segundos. Portanto, cada segundo é igual a um dia dividido por 86.400. Assim, a unidade de tempo (segundo) era um submúltiplo do período de rotação da Terra, e a Terra era o sistema padrão. Ao se utilizar a Terra como padrão, supunha-se que sua rotação era constante. Seria essa hipótese testável? À primeira vista, não. Se o tempo é medido por comparação com a rotação da Terra, essa rotação é necessariamente constante, por convenção.

Mas podemos perguntar: por que a Terra foi escolhida como padrão? Terá essa escolha sido cega e arbitrária? Fazendo-se a pergunta sob esta forma, todo cientista responderá: "Não. Escolheu-se a Terra porque ela gira no espaço, sem atrito, e porque não há motivo para se supor que seu período vá aumentar ou diminuir"⁽¹³⁾. Mas, se o motivo é este, então poderíamos igualmente escolher um outro planeta como padrão? "Certamente. Escolheu-se a Terra, por conveniência prática, pois vivemos nela. Mas as mesmas condições que nos levam a acreditar que a rotação da Terra não muda, aplicam-se também a Marte e a Júpiter." Então, a possibilidade de escolha da rotação da Terra como padrão de tempo vem da veracidade da seguinte hipótese de isometria: Todos os planetas (ou todos os corpos celestes) possuem período de rotação constante. Ora, esta é uma hipótese testável. Podemos comparar entre si os períodos de rotação da

Terra, de Marte e de Júpiter, e verificar se eles variam uns em relação aos outros. Se houver uma variação relativa de seus períodos, então pelo menos um deles teve sua rotação alterada. E se pelo menos um deles alterou seu período, então a hipótese de isometria acima é falsa, e devemos recusar a proposta da rotação da Terra como padrão de tempo. Ou seja: a escolha da rotação da Terra (um sistema único) como padrão de tempo não é arbitrária, mas baseia-se em uma hipótese de isometria que é testável empiricamente.

Da mesma forma, a escolha do antigo metro-padrão guardado em Paris não foi convencional. Ela foi guiada pela seguinte hipótese de isometria: Barras metálicas mantidas a uma temperatura constante e submetidas a forças externas constantes não mudam de comprimento. Essa hipótese é igualmente testável, e se fosse testada e refutada, também se tornaria inaceitável a afirmação de que o metro-constante tem comprimento constante ⁽¹⁴⁾.

Portanto, mesmo o terceiro elemento da especificação de um processo de medição (estipulação de um padrão e uma unidade) depende de certas hipóteses que podem ser testadas empiricamente.

6. O VALOR DOS PROCESSOS DESCRITOS PELA ABORDAGEM TEÓRICA

A conclusão da seção anterior pode ser reformulada da seguinte maneira: se as grandezas fundamentais forem medidas utilizando-se o procedimento especificado pela abordagem teórica (critério ordinal, operação de concatenação, padrão e unidade), e se as operações elementares forem necessariamente isomórficas às operações matemáticas correspondentes, então alguns dos aspectos da medição implicam em propriedades testáveis das operações elementares. Mas o que nos obriga a aceitar as premissas? Por que motivo mediríamos exatamente dessa forma?

Aqui, é preciso esclarecer que não há um consenso entre os autores. Alguns assumem que essas premissas são necessárias; outros admitem a validade de processos de medição que não obedecem às especificações da abordagem teórica ⁽¹⁵⁾. Novamente, apresentarei uma posição pessoal sobre o assunto, exposta mais extensamente em outro artigo ⁽¹⁶⁾, e que está em harmonia com a abordagem metodológica geral que adoto ⁽¹⁷⁾.

Não se pode proibir os cientistas de adotarem um processo de medição em desacordo com a abordagem clássica. Em primeiro lugar, essa proibição não seria obedecida; e, se fosse obedecida, poderia prejudicar o desenvolvimento científico de algumas áreas em que é impossível seguir as regras da abordagem teórica. No campo da psicologia, por exemplo, não há grandezas extensivas que possam ser medidas pe-

los processos fundamentais descritos acima. Para contornar o problema, foi criada uma sofisticada técnica, chamada "medição fundamental conjunta"⁽¹⁸⁾, que é aplicável a muitas variáveis psicológicas; mas mesmo esta técnica não é aplicável a todas as variáveis.

O grau de sofisticação e de elaboração matemática das variáveis científicas divide-se em um amplo espectro, no qual Stevens⁽¹⁹⁾ distingue várias classes, indo desde as "escalas nominais" (por exemplo, os números das placas de automóveis), até as medidas que obedecem às condições descritas pela abordagem teórica. Pensemos, por exemplo, nos testes de Q.I. utilizados pelos psicólogos. Eles são certamente inferiores, do ponto de vista científico, às medidas físicas de massa. Mas é melhor dispor dos testes de Q.I. existentes, do que proibir seu uso por não obedecerem a certas regras.

Embora, em minha opinião, não se possa proibir tipo algum de medição, pode-se estabelecer uma hierarquia, e pode-se mostrar as qualidades dos procedimentos preconizados pela abordagem teórica. Ou seja: pode-se mostrar que certos procedimentos de medição são melhores do que outros (um julgamento de valor), porque satisfazem um maior número de desiderata da ciência⁽²⁰⁾.

Começemos analisando um aspecto simples: a precisão das medidas. Os cientistas desejariam dispor de técnicas pelas quais se obtivesse sempre o mesmo resultado quando se medisse o mesmo sistema. Idealmente, desejaríamos que nossas balanças indicassem sempre a mesma massa quando fizéssemos cem medidas sucessivas do mesmo corpo. Na prática, há sempre uma certa variação nos resultados obtidos. Em um caso extremo, cada medida seria completamente diferente das anteriores.

Haverá uma distinção nítida entre o que é aceitável e o que não o é? Que tipo de variação é aceitável: será um desvio estatístico de 10% muito grande, ou não? Não há regras fixas. O que se pode dizer é que é desejável que a técnica de medição vá sendo aperfeiçoada de tal modo que a incerteza das medidas vá sendo reduzida; qualquer avanço neste sentido será considerado valioso, cientificamente. Ou seja: a redução dos desvios estatísticos é um desideratum científico. Mas não se pode proibir um processo de medição simplesmente porque seus resultados possuem grandes desvios estatísticos.

Consideremos um outro desideratum científico. Considera-se importante e valiosa a obtenção de leis científicas quantitativas, que possam ser expressas por equações. Essas leis possuem um poder preditivo e explicativo muito maior do que relações semi-quantitativas do tipo: "quando x aumenta, y diminui". Tudo o que pode ser feito por meio de relações semi-quantitativas, pode ser obtido igualmente através de leis quantitativas; e a recíproca não é verdadeira.

Nas leis quantitativas, as grandezas científicas são manipuladas como números. São comparadas, adicionadas, multiplicações, e sofrem outras operações aritméticas secundárias. Mas nem sempre uma operação aritmética realizada com um número tem significado. Tome por exemplo o número de uma placa de automóvel e multiplique por dois. O que esse resultado representa? O que pode ser feito com o número obtido? Ou então, adicione os números das placas de dois automóveis. O resultado não é significativo. Não tem sentido realizar operações aritméticas com números de placas de automóveis, ou com números de telefone, pois a relação entre esses números e os objetos a que se referem não obedece a regras aritméticas.

A situação é completamente diferente no caso de massas, por exemplo. Se sabemos que a massa de um corpo é igual a 1,3 kg, podemos multiplicar esse número por dois, e obter o resultado 2,6 kg, que tem um significado empírico bem definido: é a massa de um sistema formado por dois corpos iguais ao primeiro. Analogamente, se adicionarmos as massas de dois objetos A e B, o resultado tem um significado empírico: é igual ao valor da massa do sistema formado pela justaposição de A e B.

Conhecendo-se o modo como são atribuídos os números nas medições de massa, sabemos que as operações aritméticas realizadas com as medidas de massa possuirão um significado empírico - pois cada operação aritmética básica (comparação, adição, multiplicação) tem uma operação física correspondente, que obedece às mesmas propriedades (isomorfismo). É isso o que nos possibilita construir leis quantitativas contendo a variável massa.

Agora, podemos justificar o procedimento de medição fundamental descrito pela abordagem teórica. Se uma grandeza é medida de acordo com aquelas regras, então torna-se significativo realizar operações aritméticas com aquela grandeza; e isso possibilita a criação de leis científicas quantitativas. Como as leis científicas quantitativas são desejáveis, é igualmente desejável que, sempre que possível, as grandezas sejam medidas pelos processos descritos pela abordagem clássica. Não se proíbe, no entanto, outros tipos de procedimento.

7. CONCLUSÃO

Em princípio, os processos científicos de medição não precisariam obedecer a qualquer regra ou restrição. Eles seriam, em princípio, totalmente arbitrários. No entanto, pelo fato de serem processos de medição utilizados pelos cientistas, eles situam-se dentro de um contexto em que certos tipos de resultados são considerados mais

valiosos do que outros. É a existência desses desiderata metodológicos que dirige a atividade dos cientistas, consciente ou inconscientemente, em busca de processos de medição cada vez mais próximos das especificações da abordagem teórica ou clássica; pois nesse caso torna-se possível construir leis científicas quantitativas significativas, que são altamente valorizadas na ciência. Portanto, a base última da teoria dos processos de medição é axiológica: os processos são escolhidos, julgados ou justificados tendo em vista o valor científico de seus resultados.

O desideratum de leis científicas quantitativas é um importante móvel da ciência, desde a antiguidade. Pitágoras já buscava leis desse tipo, e Platão falava sobre elas, quando ainda praticamente não existiam. Este desideratum pode ser considerado um tipo de imposição a priori, com o qual os cientistas e filósofos sempre concordaram.

Uma vez aceito este desideratum, pode-se mostrar que os processos de medição devem possuir operações físicas elementares isomórficas às operações aritméticas básicas, e isso impõe restrições a essas operações elementares de medição. Essas restrições podem ser traduzidas sob a forma de propriedades empiricamente testáveis dos processos elementares que compõem a medição. Essa testabilidade possibilita a descoberta de erros sistemáticos, e o progressivo aperfeiçoamento dos processos de medição. Pouquíssimos aspectos significativos permanecem arbitrários. Talvez o único seja a escolha da unidade de medida.

Portanto, das três alternativas colocadas na introdução deste artigo, é a terceira a que mais se aproxima da verdade: procura-se adotar na ciência certos processos de medição, porque com eles obtêm-se resultados de um tipo cientificamente desejável. Esses processos são baseados, por um lado, em um conhecimento empírico (utilizando-se tal procedimento, obtêm-se tais resultados); e, por outro lado, em pressupostos axiológicos (os desiderata da ciência).

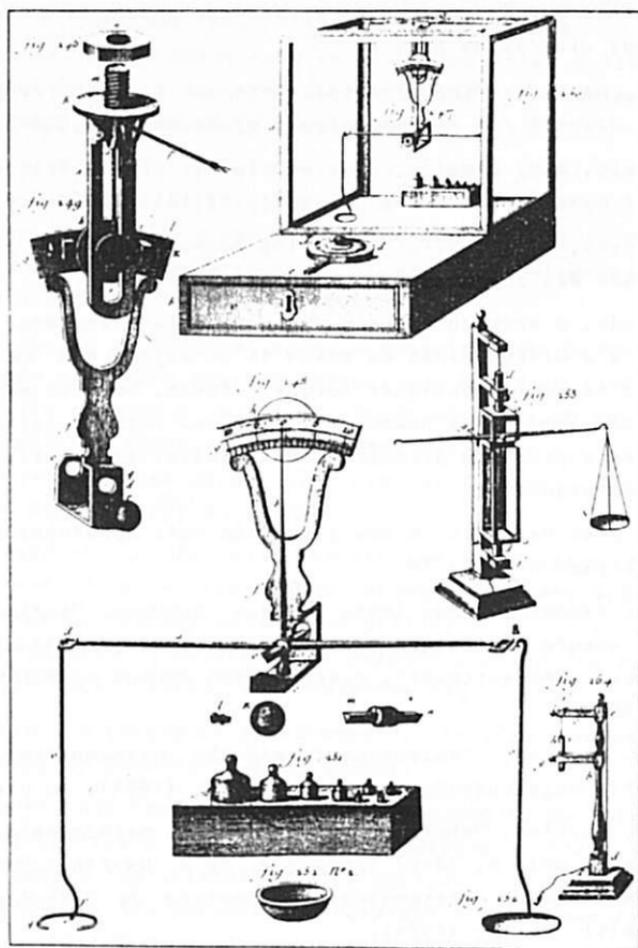
AGRADECIMENTO

Este estudo foi subvencionado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

NOTAS

- (1) S. Toulmin, "From form to function: philosophy and history of science in the 1950s and now", *Daedalus* 108, 143-162 (1977); T. Kisiel, G. Johnson, "New philosophies of science in the USA", *Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie* 5, 138-191 (1974); P. Achinstein, S.F. Baker (eds.), *The Legacy of Logical Positivism* (John Hopkins Press, Baltimore, 1969).
- (2) Alguns aspectos da antiga concepção sobre o papel das medidas na ciência foram discutidos por Kuhn em um artigo anterior à publicação de "A Estrutura das Revoluções Científicas": T. S. Kuhn, "The function of measurement in modern physical science", *Isis* 52, 161-193 (1961).
- (3) A obra básica de Bridgman sobre o operacionalismo é: P.W. Bridgman, *The Logic of Modern Physics* (Macmillan, New York, 1927). Uma bibliografia extensa e uma descrição documentada do ponto de vista operacional podem ser encontrados em: R. de A. Martins, "A visão operacional dos conceitos e medidas físicas", *Revista de Ensino de Física* 4, 57-84 (1982).
- (4) Mesmo autores que não podem ser considerados operacionalistas, como Stevens, defendem essa visão abrangente. Ver: S.S. Stevens, "Measurement, psychophysics, and utility", in C.W. Churchman, P. Ratoosh (eds.), *Measurement: Definitions and Theories* (Wiley, New York, 1959), 18-63, especialmente página 19.
- (5) H. Dingle, "A theory of measurement", *British Journal for the Philosophy of Science* 1, 5-26 (1950).
- (6) Esta teoria não tem um nome consagrado, aceito por todos. Stevens (Nota 4) utiliza o nome "abordagem clássica". Adams lhe dá o nome de "teoria representacional da medição", no artigo: E.W. Adams, "On the nature and purpose of measurement", *Synthese* 18, 125-169 (1966). Prefiro os nomes "abordagem teórica" ou "abordagem matemática".
- (7) A distinção entre grandezas intensivas e extensivas, por exemplo, é discutida claramente na "Crítica da Razão Pura": I. Kant, *The Critique of Pure Reason* (Encyclopaedia Britannica, Chicago, 1952), 67-72.
- (8) H. von Helmholtz, *Counting and Measuring* (Van Nostrand, New York, 1930); W.S. Jevons, *The Principles of Science* (Dover, New York, 1958); N.R. Campbell, *Foundations of Science* (Dover, New York, 1957); E. Nagel, "Measurement", *Erkenntnis* 2, 313-333 (1931); C. G. Hempel, *Fundamentals of Concept Formation in Empirical Science*

- (University of Chicago Press, Chicago, 1952); B. Ellis, *Basic Concepts of Measurement* (Cambridge University Press, Cambridge, 1968).
- (9) Os detalhes dos procedimentos de medição podem ser encontrados nas obras citadas na Nota 8.
 - (10) R. de A. Martins, "Experimental tests of isometry hypotheses", *British Journal for the Philosophy of Science* 33, 296-304 (1982).
 - (11) H. Hellwig, K.M. Evenson, D.J. Wineland, "Time, frequency, and physical measurement", *Physics Today* 31(12), 23-30 (1978).
 - (12) J.C. Graves, J.E. Roper, "Measuring measuring rods", *Philosophy of Science* 32, 39-56 (1965).
 - (13) Na verdade, o argumento seria um pouco mais elaborado: se as dimensões e a distribuição de massa de um objeto não se alteram, e se ele não sofre qualquer torque externo, deve-se esperar, de acordo com a mecânica newtoniana, que sua rotação seja uniforme. Mas, para a presente discussão, é aceitável essa versão simplificada do argumento.
 - (14) Para maiores detalhes, e uma discussão mais aprofundada, ver o artigo citado na Nota 10.
 - (15) Ver, por exemplo: Adams (Nota 6); W.W. Rozeboom, "Scaling theory and the nature of measurement", *Synthese* 18, 170-233 (1966); J. J.C. Smart, "Measurement", *Australasian Journal of Philosophy* 37, 1-13 (1959).
 - (16) R. de A. Martins, "Measurement and the mathematical role of scientific magnitudes", *Manuscrito* 7(2), (1984), no prelo.
 - (17) R. de A. Martins, "Abordagem axiológica da metodologia científica", *Textos SEAF* 2, 38-57 (1980); R. de A. Martins, "A situação epistemológica da epistemologia", *Revista de Ciências Humanas (UFSC)* 3(5), 85-110 (1984).
 - (18) R.D. Lucey, J.W. Tukey, "Simultaneous conjoint measurement: a new type of fundamental measurement", *Journal of Mathematical Psychology* 1, 1-27 (1964); N.H. Anderson, "Algebraic rules in psychological measurement", *American Scientist* 67, 555-563 (1979).
 - (19) S.S. Stevens, "On the theory of scales of measurement", *Science* 103, 677-680 (1946).
 - (20) Uma discussão do conceito dos desiderata da ciência pode ser encontrada em Martins, "Abordagem axiológica..." (Nota 17).



BALANÇAS DO SÉCULO XVIII

Ilustração extraída da "Enciclopédia de Diderot e d'Alembert"