

UNIDADES DE CONHECIMENTO NA TEORIA DA CIÊNCIA

Oswaldo Pessoa Jr.

Universidade de São Paulo
opessoa@usp.br

Resumo: Após apresentar, em linhas gerais, a abordagem dos modelos causais em história da ciência, define-se a noção de “avanço” como uma manifestação cultural de natureza cognitiva ou, na linguagem da biologia evolutiva, como um “meme” cognitivo. Discute-se até que ponto tais avanços podem ser considerados verdadeiras “unidades”, e discorre-se sobre a noção problemática de “unidades que se conservariam na passagem de uma história possível para outra”. Comentários são feitos sobre a distinção entre a definição de um avanço e seu grau de aceitação e, por fim, sobre a plausibilidade de considerar que (em primeira aproximação) o significado de um avanço não se modifica com a evolução da ciência. No apêndice, descreve-se a classificação de avanços em sessenta tipos, distribuídos em dez classes.

Palavras-chave: Mudança científica, história da ciência, modelos causais, unidade de conhecimento, avanço, meme.

1. A CRISE DAS TEORIAS DE MUDANÇA CIENTÍFICA

O tópico de Filosofia da Ciência que desperta mais interesse no “público externo” à área continua sendo as *teorias de mudança científica* (LAUDAN et al., 1993). Essas teorias tiveram seu auge na década de 1970 com os debates envolvendo Kuhn, Lakatos, Laudan, Feyerabend etc., mas hoje em dia têm recebido pouca atenção (uma exceção é a excelente coletânea organizada por DONOVAN et al., 1988). No Brasil, essa euforia estimulou inclusive a criação de um celebrado programa de pós-graduação em Lógica e Filosofia da Ciência, na Unicamp, mas, depois de dez anos de intensas atividades, a área de Filosofia da Ciência foi praticamente abandonada e mais

recentemente o programa (com bastante ênfase em Lógica) foi oficialmente extinto. A ascensão e a queda desse programa refletem uma crise que se abateu sobre os diferentes programas de pesquisa que se dedicavam às teorias de mudança científica em todo o mundo. Qual a razão dessa crise? Por que o trabalho de reformulação das teorias de mudança científica deixou de ser feito?

Uma razão que não pode ser apontada é que teria havido poucos dados históricos para testar as metateorias (isto é, as teorias sobre teorias científicas). Nas décadas de 1960 e 1970, a História da Ciência estava em franca expansão, em parte estimulada pelo seu “casamento” com a Filosofia da Ciência, união esta que se manifestava nos diversos Departamentos de História e Filosofia da Ciência que floresciam pelo mundo afora. Praticamente todos os campos científicos e todos os períodos se submeteram ao escrutínio do historiador, que tipicamente se aprofunda em episódios muito restritos. Assim, não foi por falta de dados empíricos (históricos) que as metateorias não avançaram.

Uma outra hipótese seria a de que os responsáveis pela crise foram os teóricos da mudança científica. Segundo essa alternativa, as metateorias teriam sido muito gerais, de forma que sempre era possível encontrar exemplos históricos que satisfizessem uma metateoria em particular. Essas metateorias estariam incorrendo no pecado capital apontado por Popper nas teorias pseudocientíficas: o de não serem falseáveis, não explicitando sob que condições poderiam ser mostradas falsas.

Creio que essa acusação poderia ser rebatida pelos teóricos da mudança científica (voltarei a esse ponto na seção seguinte), mas o fato é que houve uma separação entre historiadores e filósofos da ciência. Os historiadores começaram a se sentir traídos ao verem os filósofos simplificar e distorcer seus estudos documentais com a finalidade de enquadrar a riqueza da realidade em tíbios esquemas teóricos. E os filósofos começaram a perceber que o objetivo de descrever a ciência requer procedimentos que vão além das técnicas próprias da área de Filosofia da Ciência (técnicas essas que incluem

o conhecimento de uma área científica e de sua história, o uso de instrumentos lógicos e procedimentos de análise e exegese de textos). Um sinal disto foi a entrada em cena da nova Sociologia da Ciência, bastante influenciada por Kuhn, com diversas propostas de estudo empírico da atividade científica, geralmente fundamentadas na tese de que o conhecimento científico é muito mais uma atividade de construção e negociação social do que de revelação da verdade sobre a natureza. Uma nova macroárea, os Estudos da Ciência e Tecnologia (*Science and Technology Studies*), passou a englobar o que antes era História e Filosofia da Ciência, e a incluir a Sociologia da Ciência e a Política Científica e Tecnológica.

Com isso, observou-se um deslocamento de interesse dos filósofos da ciência, que abandonaram as teorias de mudança científica e se voltaram para o estudo conceitual e lógico de áreas particulares da ciência e para questões epistemológicas mais gerais, em especial os debates sobre o realismo científico (que, por sua vez, envolveram também os sociólogos da ciência). Na tradição das antigas teorias de mudança científica, apenas algumas abordagens foram exploradas nas décadas de 1980 e 1990, como a revalorização da ciência experimental, a epistemologia evolutiva, o uso de modelos da ciência cognitiva na filosofia da ciência e a visão semântica de axiomatização de teorias científicas.

2. UMA ABORDAGEM EMPÍRICA E COMPUTACIONAL SOBRE A TEORIA DA CIÊNCIA

Voltemos agora às causas da crise das teorias de mudança científica. Como já afirmei, a crise não aconteceu por falta de pesquisa histórica e nem, acredito, por uma característica de não-falseabilidade das metateorias. O problema, na minha opinião, teria sido a dificuldade prática de efetuar uma comparação detalhada das teses das metateorias com os dados históricos. E hoje em dia, trinta anos depois do auge das teorias de mudança científica, creio que tal dificuldade pode ser superada através do uso de compu-

tadores. Teríamos não só de construir um banco de informações históricas, mas também de exprimir as teses das teorias de mudança científica em linguagem computacional. Uma vez feito isso, poder-se-ia passar a comparar as previsões das teorias com os dados empíricos (históricos), fazendo-se uma avaliação estatística dos méritos de cada metateoria. A expressão em linguagem computacional forçaria também um esclarecimento e detalhamento das teses de cada metateoria, permitindo que essas teses fossem sistematicamente modificadas e testadas, o que permitiria a evolução de cada programa de pesquisa metateórico.

A tese que acabamos de exprimir caracteriza um projeto possível dentro da chamada “filosofia da ciência computacional” (THAGARD, 1988). Nesse contexto, o primeiro problema que se coloca é como descrever a ciência de uma maneira computacional. Deveríamos partir de uma representação lógico-conjuntista das teorias científicas? Ou deveríamos partir de uma descrição dos cientistas e de suas interações sociais? Ou apelar para modelos cognitivos da mente humana? Ou enfocar processos mecânicos de indução de leis a partir de dados positivos?

A abordagem sugerida neste artigo é a de que se faça uma descrição da ciência bem próxima dos relatos feitos em livros de história internalista da ciência. Tipicamente, em tais relatos, descreve-se como certos cientistas utilizaram as idéias e teorias de seus antecessores para desenvolver novas idéias e teorias. O trabalho do cientista, porém, não se resume à produção de idéias: ele também desenvolve aparelhos experimentais, obtém dados, faz perguntas, dá explicações, faz uma nova derivação teórica etc. A todos esses produtos da atividade científica chamaremos “avanços científicos”. Tomaremos esses avanços como o ponto de partida da descrição da ciência.

Nossa abordagem à teoria da ciência é bastante empírica, no sentido de que tentamos minimizar nossas pré-concepções teóricas a respeito da natureza da ciência e observar o que o cientista faz, segundo o relato do historiador. Assim, tudo que o cientista faz,

que é divulgado para os outros cientistas e que contribui para a mudança de uma área científica, é caracterizado como um avanço. Em nosso primeiro estudo de caso (PESSOA, 2000), ao definirmos em torno de 350 avanços que ocorreram no surgimento da Física Quântica, encontramos dezenas de “tipos” de avanços, que podem ser enquadrados em uma dezena de “classes” de tipos de avanços.

3. CARACTERIZAÇÃO DE “AVANÇOS”

A noção de avanço está de certa forma presente na abordagem à teoria da ciência conhecida como epistemologia evolutiva, que utiliza mecanismos da evolução biológica (incluindo a seleção natural) para descrever a evolução da ciência e do conhecimento. Concebe-se que *idéias* sejam propostas por cientistas, e que estas sofram um processo de seleção, podendo sobreviver ou ser extintas durante o processo de negociação da comunidade científica (TOULMIN, 1972; CAMPBELL, 1974; HULL, 1988, p. 434). Essa concepção considera as idéias como “unidades de conhecimento” que são passadas de cientista para cientista, assim como os genes são passados de organismos biológicos para seus descendentes.

Uma limitação dessa abordagem é que, ao olharmos para os artigos publicados em um campo científico, percebemos que muitas vezes o conhecimento que é passado não envolve apenas idéias, mas também dados experimentais, procedimentos laboratoriais, perguntas, descrições etc. Assim, é interessante cunhar um termo que englobe todos esses tipos de conhecimento, e o termo que pareceu mais adequado foi o de avanço.

Há avanços teóricos, como idéias, formulações de problemas, leis e explicações, constatações de semelhanças e de distinções, reconhecimento de motivações, comparação entre dados e teoria etc. E há também avanços mais experimentais, como a obtenção de dados, o desenvolvimento de técnicas experimentais etc. Os avanços seriam as unidades que são passadas de cientista para cientista, os elementos que são adicionados ao conjunto de idéias,

dados, leis, informações, conhecimentos tácitos etc., disponíveis para um certo cientista em uma época específica. Cada cientista assimila um conjunto de avanços, seleciona alguns, rejeita temporariamente outros, combina dois ou mais etc. Segundo essa visão, a ciência evolui a partir desses avanços disponíveis e dos novos avanços imaginados ou descobertos pelos cientistas teóricos e experimentais.

Na Figura 1, representamos alguns avanços teóricos da Física do século XIX, juntamente com o tipo de avanço. Diagramas desse tipo são ocasionalmente usados para exprimir o desenvolvimento de uma área científica, como os diagramas da década de 1950 que aparecem em Holton (1973, p. 416-420). Esse autor chama os avanços de “contribuições”, mas não se detém em sua análise.



Figura 1. Alguns exemplos de avanços, com a indicação dos tipos.

Nessa figura, os avanços estão conectados por meio de setas, que representam a influência de um sobre o outro. Por exemplo, Planck só pôde derivar a “entropia de osciladores para a lei de Wien” porque a “lei de radiação de Wien” já havia sido proposta e porque havia “métodos termodinâmicos” disponíveis na literatura. Utilizando diagramas como o da Figura 1, é possível descrever o desenvolvimento histórico de um campo científico. Ao fazermos tal descrição para diversos campos científicos, podemos observar certas regularidades na concatenação de tipos de avanços,

regularidades estas que são de interesse para a teoria de mudança científica. Por outro lado, munidos desses termos descritivos, é possível observar como diferentes campos (em diferentes épocas) evoluem de maneiras diferentes.

A abordagem empírico-computacional baseada em avanços não só aproveita o trabalho dos historiadores da ciência, como também reúne estudos de diferentes áreas da filosofia da ciência. Apresentamos no apêndice, logo após “conclusões e perspectivas”, uma classificação dos avanços que está ainda num estágio bastante preliminar. Para melhorar essa classificação, será necessário considerar em detalhe os estudos já feitos sobre diferentes tipos de avanços, como, por exemplo, os trabalhos clássicos sobre a explicação científica, ou os estudos mais recentes sobre modelos.

4. CONCEITOS ANÁLOGOS A “AVANÇO” NA LITERATURA

Como se compara o conceito de “avanço” com outros termos semelhantes propostos na literatura? O protótipo de avanço é uma “idéia”, e muito tem sido escrito sobre a história das idéias, o impacto de idéias na sociedade etc. A generalização do conceito de idéia, que consiste em uma unidade de pensamento ou linguagem, para outras manifestações culturais, também é moeda corrente nas ciências humanas que tratam da transmissão de “costumes”, “hábitos”, “práticas”, “mores” etc. O conjunto de idéias e práticas humanas pode ser classificado como “manifestações culturais”. Um avanço científico pode, assim, ser considerado uma unidade de cultura repartida por cientistas. No entanto, incluímos na definição de avanço apenas as manifestações culturais de natureza epistêmica, deixando de lado traços de retórica, estilo de trabalho etc.

Kuhn (1970, p. 169) considera que “a unidade de realização [*achievement*] científica é o problema resolvido”. As unidades que estamos considerando neste trabalho são mais “microscópicas” do que as consideradas por Kuhn. Até que ponto nossos “avanços”

podem se organizar na forma de “problemas resolvidos” é uma questão a ser avaliada posteriormente. Unidades de conhecimento ainda mais microscópicas do que os avanços aqui considerados são descritos por Gooding (1990), ao estudar os “caminhos de descoberta”, no dia-a-dia das investigações eletromagnéticas de Michael Faraday.

A palavra “avanço” tem a desvantagem de sugerir a idéia de progresso, o que nem sempre ocorre com uma unidade de conhecimento proposta. Talvez o termo “realização” (*achievement*) usado por Kuhn fosse melhor, ou mesmo o termo “contribuição” de Holton. Outra termo, usado por Toulmin (1972, p. 122), é “novidade” ou “inovação”.

No contexto da biologia evolutiva, surgiu há algumas décadas o conceito de “meme”, que é definido como “uma idéia, comportamento, estilo ou uso que se espalha de pessoa para pessoa dentro de uma cultura” (DAWKINS, 1976; BLACKMORE, 1999). Ele seria uma unidade de cultura que evoluiria de acordo com a seleção natural, de maneira análoga ao que acontece com o gene. Genes e memes seriam “replicadores”, que são copiados entre indivíduos, podem sofrer variação ao longo dessa transmissão e são selecionados em função do meio ambiente. Não precisamos entrar no mérito da questão sobre o papel dos memes na evolução humana. Aceitando a definição de memes, podemos dizer que os avanços são memes cognitivos transmitidos entre cientistas.

5. RELAÇÕES ENTRE AVANÇOS

Quando um avanço é obtido, ele passa a influenciar o surgimento de novos avanços, tanto para o cientista que o obteve quanto para outros cientistas, após a sua divulgação. Ao olharmos para esse processo com olhos de metacientista (ou seja, de cientista da ciência), o que percebemos é que um avanço em geral contribui causalmente para o surgimento de outro avanço. Por exemplo, Planck só derivou a entropia de osciladores (Fig. 1) porque Wien

derivara previamente sua lei de radiação, e porque Planck tinha ao seu dispor métodos termodinâmicos clássicos. Os avanços ulteriores na lei da radiação só foram possíveis porque técnicas experimentais adequadas estavam sendo desenvolvidas por Rubens e outros.

Como estamos no domínio das ciências humanas, teremos sempre um número imenso de eventos influenciando causalmente o surgimento de um avanço. A arte do historiador da ciência está em desprezar causas “fracas” e apontar quais são as causas históricas “fortes”. Para isto, apontará causas internalistas, que são o que chamamos de avanços, e causas externalistas, oriundas do ambiente social do cientista. É inegável que as causas sociais são importantes para explicar o progresso da ciência, mas escolhemos deixar de lado tais causas, por enquanto, por facilitar nosso estudo. Assim, não incluiremos condicionantes sociais entre os tipos de avanços relacionados no apêndice, apesar de tal inclusão ser plausível e interessante em um trabalho futuro.

Por exemplo, a decisão do governo alemão, no século XIX, de estimular o crescimento das universidades de maneira descentralizada (ao contrário do modelo francês) teve um papel positivo na transformação da atividade científica em um trabalho em equipe. Tal condicionante social poderia ser expresso em termos de “avanços” na área de política científica e educacional (isto, porém, nos levaria muito longe do nosso objetivo atual).

Outra questão importante a ser salientada é se as relações entre os avanços não seriam relações lógicas, ao invés de relações causais materiais. Com isto, tocamos na velha distinção entre contexto da descoberta e contexto da justificação. Como metacientistas, estamos preocupados com as causas para o surgimento de avanços (o que envolve todo o ambiente social e psicológico dos cientistas), com o contexto da descoberta. No entanto, os cientistas são seres razoavelmente racionais, que após suas descobertas costumam elaborar um contexto de justificação. Esse contexto envolve a conversão das causas materiais (a que estamos nos referindo neste trabalho) em relações lógicas ou teóricas. Dessa

forma, a ordem dos fatos se transforma, com certas modificações, na ordem das razões.

6. AVANÇOS EM HISTÓRIAS CONTRAFACULTAIS

Nosso interesse nos avanços científicos surgiu ao tentarmos desenvolver um método para postular “histórias contrafactuais” da ciência, ou seja, histórias possíveis que não se realizaram. O estudo de caso examinado foi o surgimento da física quântica velha (PESSOA, 2000, 2001), e foi deste estudo que tiramos os exemplos e figuras apresentados no presente artigo.

A relevância das histórias contrafactuais é um tema controvertido, e assim, neste artigo, até aqui, apresentamos os avanços sem fazer referências às histórias contrafactuais. Nesta seção, porém, salientamos um traço adicional dos avanços que os tornam importantes para as histórias contrafactuais. Uma maneira de construir uma história contrafactual é estabelecer a rede de influências causais entre avanços para a história factual de uma área científica, e aí postular um reordenamento dos mesmos avanços. Por exemplo, pode-se supor que um avanço de técnica experimental, como a construção do “bolômetro”, tivesse ocorrido dez anos antes, ou dez anos depois, e então imaginar que conseqüências isso teria para o surgimento de outros avanços.

O que esse tipo de exercício intelectual toma como pressuposto é que os avanços mantêm-se mais ou menos os mesmos de uma história contrafactual para outra. Ou seja, se Langley não tivesse construído o bolômetro em 1881, mas tivesse se interessado já nessa época pela construção de máquinas voadoras, é bem possível que um outro cientista experimental tivesse montado tiras de platina em uma ponte de Wheatstone e melhorado a sensibilidade de detecção de radiação térmica em dez vezes. Esse bolômetro contrafactual poderia ter algumas diferenças em relação àquele de fato construído por Langley, mas ele seria “mais ou menos” o mesmo avanço.

Na análise de histórias contrafactuais, os avanços seriam as unidades que se conservariam na passagem de uma história possível para outra. Naturalmente, novos avanços também devem ser postulados para diferentes histórias, como é exemplificado em Pessoa (2000, seção 6d).

Dois problemas que afligem a noção de avanço em histórias factuais tornam-se mais agudas com histórias contrafactuais.

O primeiro problema é a distinção entre definição de um avanço e seu grau de aceitação. Tomemos como exemplo um avanço teórico que consiste em uma asserção sobre a realidade. O fato de esse avanço ser uma especulação, uma hipótese ou uma tese confirmada não deve afetar a definição do avanço (ou seu valor de verdade, ou seu potencial de aplicação prática). O avanço que chamamos “hipótese da quantização de energia” deveria se chamar “a energia dos osciladores microscópicos é quantizada”. Essa separação entre a definição de um avanço e seu grau de confirmação (ou aceitação) é mais importante quando supomos que os avanços se conservam na passagem de uma história possível para outra, pois o que é uma hipótese em uma história pode ser uma tese deduzida em outra.

Um segundo ponto delicado na maneira como definimos os avanços é que supomos que um avanço permanece inalterado com o passar do tempo, à medida que a ciência se desenvolve. Mas muitos autores têm salientado a tese holista de que a definição de um conceito muda com alterações nos outros conceitos da teoria. Com efeito, a leitura que um cientista faz de um avanço muitas vezes é bastante distinta das leituras de outros cientistas. Tocamos aqui no clássico problema filosófico de como definir termos que variam de maneira contínua. A solução provisória que adotamos é supor que, numa “primeira aproximação”, a definição de um avanço permanece a mesma, a não ser que ocorra alguma ruptura epistemológica (por exemplo, em uma revolução científica), e tenhamos assim de definir um outro avanço. Tal solução se adequa bem também a avanços

experimentais, como a construção, mencionada anteriormente, do bolômetro, cuja definição é menos sensível a seu contexto.

7. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Partimos de uma avaliação um tanto desanimadora da situação atual das metateorias de mudança científica. No entanto, propusemos que uma análise detalhada dos episódios históricos, sob a perspectiva de avanços ligados por relações causais e auxiliados pela computação, possa fornecer uma nova maneira de reanimar a área.

Nosso enfoque neste artigo foi o conceito de *unidade de conhecimento*, que chamamos de “avanço” (ou realização, contribuição, inovação, meme cognitivo). Trata-se de um conceito bastante simples, mas que não tem sido explorado na literatura em filosofia da ciência. Ele é uma generalização do conceito de “idéia”, este sim bastante usado na literatura, por exemplo na epistemologia evolutiva. Levantamos alguns problemas relacionados com essa conceituação, mas defendemos sua utilidade prática na abordagem da teoria da ciência que pode ser chamada de “modelos causais na história da ciência”. O estudo mais completo dessa abordagem envolve uma análise das relações causais entre avanços, o que é feito em outro artigo (PESSOA, 2004).

No apêndice, apresentamos vários tipos de avanços, que foram identificados de maneira mais ou menos empírica e deverão posteriormente ser articulados, à medida que a teoria da ciência baseada em modelos causais for sendo construída.

APÊNDICE: CLASSES DE TIPOS DE AVANÇOS

Num estudo inicial sobre os tipos de avanços (PESSOA, 2000), destacamos cerca de 60 tipos de avanços, que foram agrupados em dez “classes” de tipos. Não queremos aqui repetir o que já foi escrito, então remetemos o leitor a esse outro artigo, que inclui uma figura didática representando as dez classes e faz considerações sobre o

que chamamos de “eixo realidade–teoria”. O que faremos aqui é apresentar as dez classes, discorrendo um pouco sobre os tipos contidos em cada uma (em itálico).

1) TÉCNICA EXPERIMENTAL. Essa classe congrega os desenvolvimentos de novos instrumentos experimentais (*fontes, detectores, analisadores* ou *outros*) e também de *métodos* experimentais (incluindo aqui também a *variação experimental*, ou seja, a medição de um efeito conhecido de maneira nova).

2) DADOS EXPERIMENTAIS. A tomada de dados experimentais pode ser *exploratória, sistemática* ou dirigida especificamente para *reconfirmar* uma lei em condições experimentais mais controladas. Um tipo bastante marcante pode ser chamado de *dados negativos*, que indicam a ausência de um fenômeno procurado.

3) DESENVOLVIMENTO DA TEORIA. Essa classe descreve as mudanças que ocorrem em um programa de pesquisa teórica. Um programa usualmente começa com uma *teoria rudimentar*, que se desenvolve em uma *teoria geral*, consistindo de um corpo organizado de leis gerais, leis empíricas e métodos teóricos. Pelo menos três alterações são facilmente identificadas em uma teoria: a *extensão da teoria* ocorre, por exemplo, pela introdução de novas entidades no escopo da teoria (como o elétron na teoria eletromagnética); a *ampliação de domínio* ocorre quando se percebe que o domínio de aplicação de uma teoria pode ser ampliado; a *restrição de domínio* é o contrário. Essa classe é o objeto preferido das teorias de mudança científica mencionadas na seção 1.

4) TRABALHO TEÓRICO. Essa classe consiste nas diferentes atividades do cientista teórico, enquanto aplica métodos formais para a derivação de resultados e previsões. Partindo de definições, princípios, leis e *suposições teóricas*, utilizando *métodos teóricos*, o cientista muitas vezes faz uma *derivação* de um teorema ou resultado teórico, ou, numa teoria mais rudimentar, faz uma *exploração teórica*. Ao comparar duas teorias, o cientista pode perceber *semelhanças matemáticas* entre expressões formais, pode estabelecer uma *analogia*

teórica entre duas áreas anteriormente distintas, e pode exibir uma concordância interteórica para os valores calculados por duas teorias.

5) CONCEITOS E DEFINIÇÕES. Essa é a classe dos objetos teóricos que são trabalhados pelos cientistas. Inclui-se aqui uma *definição de objeto* (como “radiação de cavidade”), uma *concepção teórica* formulada de maneira intuitiva e não muito precisa, um *modelo para análise* (geralmente envolvendo imagens espaço-temporais), e um *enunciado de paradigma* mais geral. Diferentes objetos teóricos podem ser comparados, gerando uma *identificação teórica* (a identificação de dois objetos separados como sendo um e o mesmo) ou uma *distinção teórica* (o desdobramento de um conceito confuso em dois conceitos bem definidos distintos).

6) LEIS E FATOS. Essa classe se coloca no campo entre teoria e dados experimentais, e envolve avanços que fazem uma descrição do mundo, podendo também ser considerados objetos da teoria. Um novo campo de pesquisa muitas vezes se abre com um *fato observado* ou um *fato inferido* a partir da teoria ou de dados indiretos. A observação do fato conduz a uma *exploração do fenômeno* por vias experimentais, podendo levar ao estabelecimento de uma *regularidade* (constância de comportamento sob circunstâncias variadas). Esta pode surgir também a partir de uma *semelhança observacional* entre dois fatos que anteriormente pareciam desconectados. Uma *lei correlativa* envolve uma proporcionalidade entre duas grandezas, a qual pode levar a um *princípio empírico* (formulado qualitativamente) ou uma *lei empírica* (formulada quantitativamente). Um *princípio teórico*, uma *lei matemática* ou uma lei empírica podem levar a uma *lei teórica* e, por fim, a um *princípio geral* (por exemplo, a conservação de energia).

7) COMPARAÇÃO ENTRE DADOS E TEORIA. Essa envolve a atividade de comparação entre teoria e experimento. Pode-se descobrir que os *dados concordam com a teoria*, ou *discordam dela*. Em física, muito esforço é dedicado ao *cálculo de constantes*, e também ao *cálculo de fenômenos*, que consiste numa previsão quantitativa através de cálculo teórico. Entre dados e duas teorias (ou modelos) podemos encontrar

testes cruciais, se bem que a expressão “crucial” não significa necessariamente “definitivo”. Por fim, a *implementação experimental* é a realização prática de uma definição ou concepção teóricas (ver exemplo na Figura 1).

8) EXPLICAÇÕES. Um fenômeno pode receber uma explicação de mecanismo ou uma *explicação de natureza* (fornecimento da ontologia dos constituintes subjacentes). Um *modelo representacional* é uma *explicação de mecanismo* que usa imagens e é considerada simplificada. Há também *explicação de lei* e *explicação de anomalia* teórica. Quando uma teoria feita para explicar certos dados também explica dados em um outro domínio, pode-se falar numa *explicação não-ad hoc*.

9) PROBLEMAS E CRÍTICAS. Boa parte dos avanços consiste no reconhecimento de problemas, que podem surgir em qualquer uma das classes mencionadas. Há assim *problema experimental*, *problema teórico*, *problema nomológico* (“qual é a lei?”) e *problema de explicação* (“qual é a explicação?”). Uma *anomalia teórica* é um problema que é reconhecido como relativo à capacidade explicativa da teoria, e não como um problema de construção de um modelo adequado ou de uma explicação. Juntamos aos problemas também tipos de avanços que consistem de críticas. Encontramos *crítica teórica* e *crítica experimental*.

10) MOTIVAÇÕES E VALORES. Esses avanços permeiam toda a atividade científica. Um exemplo de *motivação* é a constatação, feita em torno de 1911, de que a teoria quântica era importante.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apresentado no III Simpósio Internacional Principia, realizado em Florianópolis, em setembro de 2003. Vários colegas contribuíram causalmente para sua elaboração, dentre eles Hugh Lacey, Pablo Mariconda, Sofia Stein e Valter Bezerra. O trabalho faz parte do Projeto Temático nº 01/07650-3 da Fapesp.

UNITS OF KNOWLEDGE IN THE THEORY OF SCIENCE

Abstract: After presenting an overview of the approach based on causal models in the history of science, the notion of “advance” is defined as a cultural manifestation of cognitive nature or, in the language of evolutionary biology, as a cognitive “meme”. One discusses to what extent such advances may be considered true “units”, and the problematic notion of “units that would be conserved in the passage from one possible history to another”. Comments are made concerning the distinction between the definition of an advance and its degree of acceptance, and concerning the plausibility of considering that (in first approximation) the meaning of an advance does not change with the evolution of science. In the appendix, one gives a classification of advances in sixty types, distributed in ten classes.

Key words: Scientific change, history of science, causal models, unit of knowledge, advance, meme.

Referências

BLACKMORE, S. *The meme machine*. Oxford: Oxford University Press, 1999.

CAMPBELL, D. T. Evolutionary epistemology. In: SCHILPP, P. A. (Org.). *The philosophy of Karl Popper*. v. 1. La Salle: Open Court, p. 413-463, 1974.

DAWKINS, R. *The selfish gene*. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 1989 [1976].

DONOVAN, A.; LAUDAN, L. & LAUDAN, R. (Orgs.). *Scrutinizing science: empirical studies of scientific change*. Dordrecht: Kluwer, 1988. (Synthese Library 193).

GOODING, D. Mapping experiment as a learning process: how the first electromagnetic motor was invented. *Science, Tecnology & Human Values*, v. 15, p. 165-201, 1990.

HOLTON, G. Models for understanding the growth of research. In: HOLTON (Org.). *Thematic origins of scientific thought*. Cambridge: Harvard University Press, p. 397-430, 1973. [Versão original publicada na *Daedalus*, 1962].

HULL, D. *Science as process*. Chicago: University of Chicago Press, 1988.

KUHN, T. S. *The structure of scientific revolutions*. 2. ed. Chicago: University of Chicago Press, 1970.

LAUDAN, L.; DONOVAN, A.; LAUDAN, R.; BARKER, P.; BROWN, H.; LEPLIN, J.; THAGARD, P. & WYKSTRA, S. Mudança científica: modelos filosóficos e pesquisa histórica. *Estudos Avançados*, v. 19, p. 7-90. [Original em inglês publicado em *Synthese*, v. 69, p. 141-223, 1986].

PESSOA JR., O. Histórias contrafactuais: o surgimento da física quântica. *Estudos Avançados*, v. 14, n. 39, p. 175-204, 2000.

_____. Counterfactual histories: the beginning of quantum physics. *Philosophy of science*, v. 68 (Proceedings), p. S519-S530, 2001.

_____. Causal models in the history of science. *Croatian Journal of Philosophy*, 2004. [No prelo].

THAGARD, P. *Computational philosophy of science*. Cambridge: MIT Press, 1988.

TOULMIN, S. *Human understanding: the collective use and evolution of concepts*. Princeton: Princeton University Press, 1972.