

PESSOA JR., Osvaldo. Modelos causais em história da ciência. In: MARTINS, R. A.; MARTINS, L. A. C., P.; SILVA, C. C.; FERREIRA, J. M. H. (eds.). *Filosofia e história da ciência no Cone Sul: 3º Encontro*. Campinas: AFHIC, 2004. Pp. 341-346. (ISBN 85-904198-1-9)

MODELOS CAUSAIS EM HISTÓRIA DA CIÊNCIA

Oswaldo Pessoa Jr *

Resumo – Este trabalho apresenta uma abordagem à história da ciência em termos de “modelos causais entre avanços”, e sugere uma descrição precisa do que sejam causas “fortes” e “fracas”.

1 MODELOS CAUSAIS AO INVÉS DE HISTÓRIAS CONTRAFCTUAIS

O problema a ser abordado neste trabalho é o de como descrever a história da ciência em termos de relações causais. O conceito de “causas históricas” é central para a história da ciência. Quais foram as causas da decadência da ciência francesa no século XIX? Quais foram as causas do atraso da formulação do princípio de conservação de energia?

Uma maneira de abordar a causalidade é estipulando “histórias contrafactuais”, ou seja, histórias possíveis que não aconteceram. *Se* a organização da ciência francesa tivesse sido mais descentralizada, ela teria se adaptado bem às novas exigências da pesquisa científica. *Se* Sadi Carnot não tivesse morrido precocemente e tivesse publicado seu cálculo de 1926 do equivalente mecânico do calor, o princípio de conservação de energia teria sido antecipado em cerca de vinte anos.

Há uma ligação íntima entre a postulação de histórias contrafactuais e a postulação de causas históricas. Em um artigo anterior (PESSOA JR., 2000; PESSOA JR., 2001), exploramos diferentes histórias possíveis que, partindo da situação factual em 1800, chegariam aos primórdios da teoria quântica. Nossa mente é muito boa para postular cenários contrafactuais. No entanto, a proposta de se examinarem histórias contrafactuais é de difícil aceitação entre os historiadores da ciência, que já têm bastante dificuldade em desvelar a história factual.

Para contornar esta resistência, uma solução é nos concentrarmos numa descrição da história da ciência baseada em “modelos causais”. Se isto for feito de maneira adequada, a informação sobre histórias contrafactuais já estará incluída na descrição causal. Modelos causais têm sido muito estudados nos últimos quinze anos (PEARL, 2000), e o problema colocado é o de inferir relações causais a partir de uma coleção de dados (que fornecem correlações) e experimentos de “intervenção”. Em nosso estudo, não poderíamos inferir relações causais, pois a história é apenas uma (salvo em

* Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências (Universidade Federal da Bahia, Universidade Estadual de Feira de Santana). Depto. de Ciências Humanas e Filosofia – Universidade Estadual de Feira de Santana. E-mail: opessoa@ufba.br

alguns casos de descobertas independentes) e não é possível intervir nela. Assimilamos assim apenas a notação usada nos modelos causais e a análise de certas estruturas que se formam numa rede de conexões causais.

2 AVANÇOS: UNIDADES DE CONHECIMENTO

Uma conseqüência do estudo de histórias contrafactuais foi o desenvolvimento de uma teoria da ciência baseada na noção de “avanço”, que são unidades de conhecimento passadas de cientista para cientista (idéias, dados experimentais, técnicas, problemas, leis, explicações etc.). O desenvolvimento de um avanço, por parte de um cientista, é *causado* (em parte) por outros avanços que ele assimilou ao ler artigos, livros-texto, ao interagir com seus mestres e colegas ou participando de conferências. Os avanços estão assim ligados por relações causais. Estamos considerando que tais relações causais se manifestam no “contexto da descoberta”, mas há uma ligação próxima de tais relações com relações lógicas de justificação, por meio das quais um avanço é racionalmente justificado a posteriori. Notamos também que uma coisa é definir um avanço e outra é estabelecer seu grau de aceitação (se trata-se de uma especulação, uma hipótese, uma tese comprovada ou uma afirmação falseada). Deixaremos para outra oportunidade um estudo mais detalhado deste conceito de “avanço”.

O primeiro passo para analisar as relações causais entre avanços é o de olhar para a história factual e determinar, para cada avanço, todos os outros avanços que influenciaram diretamente o seu surgimento. Isso pode ser feito, numa primeira abordagem, examinando-se a literatura secundária a respeito do surgimento do avanço em questão. Um aprofundamento posterior pode ser obtido lendo-se o artigo original em que aparece o avanço e anotando todas as referências feitas pelo autor.

3 A NOÇÃO DE “INTERVENÇÃO” NA DEFINIÇÃO DE CAUSALIDADE

O conceito de “causa” tem sido um dos mais discutidos na História da Filosofia, e David Hume (1739) procurou defini-lo em situações em que duas espécies de objetos aparecem freqüentemente em “uma ordem regular de contigüidade e sucessão”. Hume salientou que as conexões causais que estabelecemos resultam de um hábito, não havendo como asseverar que uma relação de causalidade existe de fato. Kant aceitou esta conclusão, colocando a causalidade como uma “categoria do entendimento”, e não como uma coisa em si.

Este movimento bania a causalidade do mundo, mas não das nossas explicações a respeito do mundo. No final do século XIX, com a ascensão do positivismo, a causalidade passou a ser banida até das explicações científicas, sendo substituída, na nascente ciência da Estatística, pelo conceito de *correlação*. Para Karl Pearson (1911), por exemplo, as correlações entre duas variáveis contêm “a descrição científica final da relação entre duas coisas”, “a essência da concepção de associação entre causa e efeito” (PEARL, 2000, p. 340). A partir de um conjunto de observações, o que a Estatística oferece são instrumentos para analisar correlações, não causas e efeitos.

Um critério para identificar causas em Estatística foi estabelecido por Ronald Fisher (1936), com a noção adicional de “experimento randomizado”, ou seja, o método em que se estabelece um “controle”. Por exemplo, para testar a eficácia de um remédio, não se pode simplesmente dar o remédio para um grupo de pessoas doentes e observar os resultados, pois outros fatores podem estar influenciando no comportamento do grupo. É preciso estabelecer também um grupo de controle, com pessoas que não estejam doentes, e administrar para cada membro dos grupos, de maneira aleatória, ou o remédio ou um placebo (um remédio falso, que não tem nenhum efeito especial).

Judea Pearl toma este procedimento como exemplo do que ele considera o traço mais importante da análise causal: a “cirurgia” (PEARL, 2000, p. 348). Não basta observar: é preciso também *intervir*

no objeto de estudo para cortar os elos causais com outros fatores. No exemplo dado, esta intervenção consiste em obrigar pessoas saudáveis a tomar o remédio ou o placebo, e administrar o placebo também para pessoas doentes.

Esta idéia de intervenção ou manipulação *de variáveis* é uma grande novidade conceitual em teorias da causalidade contemporâneas, em comparação com a noção intuitiva que herdamos em nossas formações filosófica e científica (especialmente na Física), que pressupõe que todos os fatores causalmente relevantes sejam conhecidos de antemão. No campo da filosofia, teorias de manipulação foram sugeridas por Collingwood (1940), Gasking (1955), von Wright (1971) e Menzies & Price (1993; ver WOODWARD, 2001). Seguindo Hume, autores como Reichenbach (1956) e Good (1961) salientam acima de tudo a *precedência temporal* como critério para estabelecer ligações causais. No entanto, em sistemas complicados (como os das ciências biológicas e humanas) não conhecemos todos os fatores relevantes que influem no problema, e a informação temporal por si só não permite distinguir relações causais de correlações espúrias provocadas por fatores desconhecidos (PEARL, 2000, p. 42).

A idéia de que o ato da intervenção é essencial na definição de causalidade não é nova. Além de Fisher, Pearl cita alguns outros autores modernos que a defenderam com frases de efeito: “Não há causalidade sem manipulação” (R.A. Holland 1986); “Se não entrarem causas, não saem causas” (CARTWRIGHT, 1989). Em outras palavras: “A não ser que todos os fatores relevantes sejam conhecidos de antemão, ou que se possa manipular cuidadosamente algumas variáveis, nenhuma inferência causal genuína é possível” (PEARL, 2000, pp. 42-3).

4 CAUSAS SINGULARES, INTERVENÇÃO E A CONDIÇÃO INUS

Enunciados causais que se aplicam a um evento determinado envolvem o que é chamado de causa “singular” ou “atual”. Esta se contrapõe a uma causa “geral” ou “genérica”, que é típico de enunciados de leis.

Considerando causas singulares, uma primeira distinção clássica (Mill, 1843) é entre uma causa necessária e uma causa suficiente. Um evento *C* é *causa necessária* de um evento *E* se, na ausência de *C*, *E* não teria ocorrido. O evento *C* é *causa suficiente* de *E* se a ocorrência de *C* garantir a ocorrência de *E*. John Stuart Mill já observara que nenhuma causa é verdadeiramente suficiente ou necessária para a ocorrência de seu efeito (PEARL, 2001, p. 313).

Esta observação foi explorada em 1965 por John L. MacKie, que estabeleceu uma condição lógica que corresponderia à nossa intuição de que “*C* é causa de *E*” (MACKIE, 1965). Isto ocorreria se *C* for “uma parte *insuficiente* mas *necessária* de uma condição que é ela própria *não-necessária* mas *suficiente* para o resultado”. Juntando as iniciais dos quatro termos em itálico (e lembrando que em inglês “não-necessário” se inicia com a letra *u*), obtém-se a sigla INUS, que batiza este critério (PEARL, 2000, p. 314; CARTWRIGHT, 1989, pp. 25-7).

Uma reflexão breve basta para mostrar a sensatez desta definição. Consideremos, por exemplo, as causas que levaram Planck a formular sua lei de radiação *e*. Ele se utilizou de métodos termodinâmicos (*c*₁), da lei de Wien (*c*₂), a lei de Rayleigh (*c*₃) e dos dados de Rubens & Kurlbaum (*c*₄), entre outras coisas. O conjunto {*c*₁, *c*₂, *c*₃, *c*₄} é uma condição suficiente para *e*, mas não necessária, pois podemos imaginar cenários em que a lei de Planck teria sido derivada a partir de outras causas. Por exemplo, o cenário contrafactual que parte da descoberta da lei de calores específicos de sólidos (*c*₅), em conjunção com métodos termodinâmicos (*c*₁) (ver PESSOA JR., 2000, pp. 189-90). No entanto, considerando o conjunto mencionado, a lei de Wien (*c*₂) é uma parte necessária desta condição (pois sem ela Planck não teria chegado à sua lei), mas naturalmente não é uma parte suficiente, pois há mais três partes (*c*₁, *c*₃, *c*₄). Assim, segundo o critério INUS, a lei de Wien foi uma causa da lei de Planck. Uma outra maneira de frasear este critério é considerar a causa

um “elemento necessário de um conjunto suficiente” (PEARL, 2000, p. 314).

Na Fig. 1, representamos graficamente as relações causais do exemplo dado, por meio de diagramas estruturais (grafos acíclicos direcionados) cujos nodos representam variáveis (avanços) e cujas flechas (entre os nodos) representam dependências causais entre as variáveis. Chamamos este tipo de representação de “modelo causal”, num sentido lato. Para Pearl (PEARL, 2000, p. 203), um modelo causal é uma descrição matemática de um conjunto de variáveis v_i , por meio de um conjunto de funções f_i cujos argumentos são outras variáveis endógenas a_i e também variáveis exógenas u_i (representadas de maneira estocástica): $v_i = f_i(a_i, u_i)$. Alternativamente, pode-se utilizar uma representação probabilista que faz uso do teorema de Bayes para calcular probabilidades condicionais à luz de novas evidências (tais métodos chegam a rivalizar com a estatística clássica, gerando bastante discussão metodológica; ver HOWSON & URBACH, 1993). Este segundo tipo de modelo causal talvez seja mais promissor para os nossos propósitos.

Nota-se, na Fig. 1, o uso do operador lógico de conjunção “&”. Quando flechas apontam para um mesmo avanço sem este símbolo de conjunção, fica implícito que a operação lógica em questão é a disjunção.

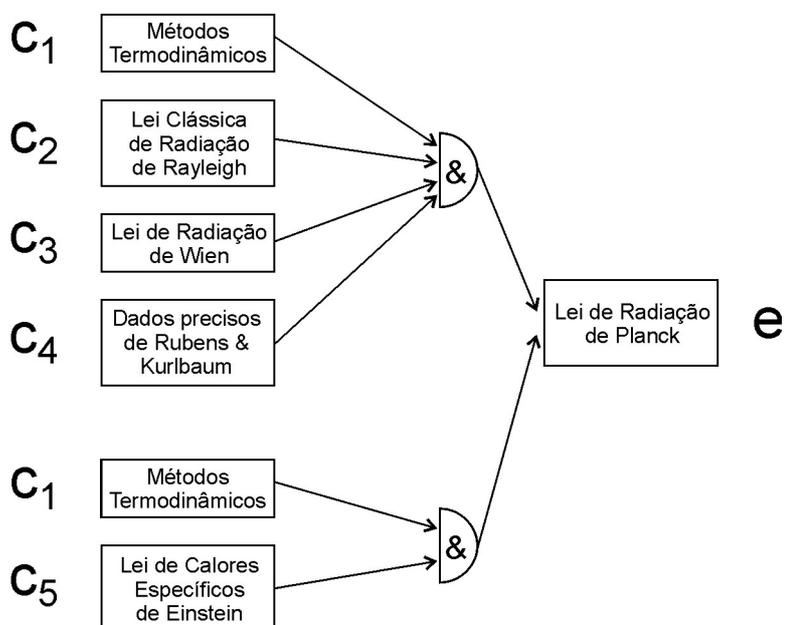


Figura 1: Situação em que há duas histórias possíveis (cada qual suficiente) para a produção de um avanço e . Uma certa causa, como c_2 , é uma causa insuficiente mas necessária de um conjunto $\{c_1, c_2, c_3, c_4\}$ que não é necessário, devido à existência do conjunto $\{c_1, c_5\}$, mas é suficiente para a produção de e . Juntando as iniciais sublinhadas (em inglês), temos a sigla INUS que nomeia esta condição.

5 COMO EXPRESSAR CAUSAS FRACAS?

Descrevemos o processo de identificação de elementos necessários de um conjunto suficiente de causas. No entanto, é usual existirem também certas influências causais “fracas”, sem as quais o efeito poderia se produzir, mas que de alguma maneira facilitam a produção do efeito. Em nosso trabalho

anterior (PESSOA JR., 2000), não fomos além desta distinção simples.

Qual seria a diferença entre as causas fortes e fracas? Seria apenas uma questão de grau? Sabemos que, na história da ciência, muitas vezes todas as condições para o aparecimento de um avanço são dadas, e mesmo assim o avanço não se produz. Isto indica que a relação entre as causas e o efeito é *probabilista*. E se aceitarmos isto, devemos levar em conta uma segunda complicação: a probabilidade $\text{prob}(e/c_1 \& c_2 \& c_3 \& c_4)$ de se produzir e , dado que as quatro condições iniciadas já existem, terá que se referir a um intervalo de tempo Δt : se o intervalo de tempo aumentar, a probabilidade de surgimento de e (supondo que ele ainda não apareceu) também irá aumentar (Fig. 2). A dependência da probabilidade com este intervalo de tempo Δt irá refletir um certo ritmo η com que a ciência se desenvolve em um certo período: quanto mais cientistas houver e quanto mais dinheiro for aplicado em uma certa área da ciência, maior será η e, conseqüentemente, maior será a probabilidade $\text{prob}_{\Delta t}(e/c_1 \& c_2 \& c_3 \& c_4)$ para um certo Δt .

Partindo desta representação para relações causais entre avanços, podemos agora caracterizar um avanço c_0 como sendo uma “causa fraca”, estipulando que sua presença aumenta a probabilidade $\text{prob}_{\Delta t}(e/c_1 \& c_2 \& c_3 \& c_4)$ de ocorrência do avanço e (Fig. 2).

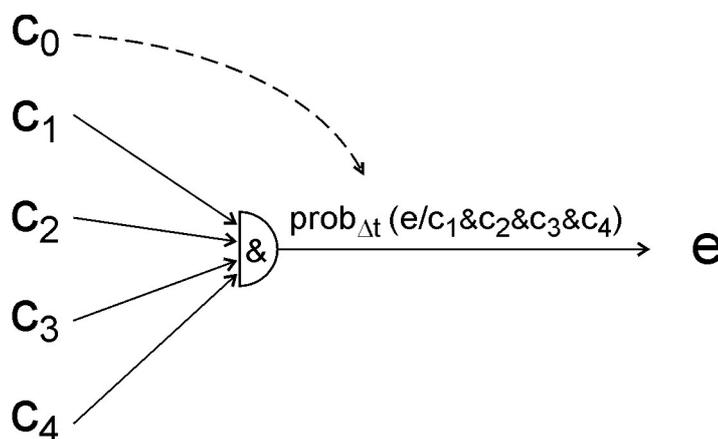


Figura 2: Versão probabilista para um conjunto suficiente $\{c_1, c_2, c_3, c_4\}$ de causas necessárias para o efeito e . A causa fraca c_0 pode ser vista como aumentando um pouco a probabilidade $\text{prob}_{\Delta t}(e/c_1 \& c_2 \& c_3 \& c_4)$.

Se não quisermos desenhar uma flecha entre um avanço c_0 e uma probabilidade (ao invés de outro avanço e), é possível desenhar um diagrama um pouco mais complicado, semelhante a condição INUS da Fig. 1. Neste diagrama, teríamos dois conjuntos suficientes para a produção de e , $\{c_1, c_2, c_3, c_4\}$ e $\{c_0, c_1, c_2, c_3, c_4\}$. A probabilidade de o primeiro conjunto causar e seria Prob_1 , e a do segundo seria Prob_2 , de tal forma que $\text{Prob}_2 > \text{Prob}_1$.

6 CONTINUAÇÃO DA PESQUISA

O passo seguinte do presente estudo é aplicar essas idéias ao banco de informações históricas (envolvendo 350 avanços no período 1800-1915) armazenadas em linguagem computacional, desenvolvido em um artigo anterior (PESSOA JR., 2000). A atribuição de probabilidades para cada caso só poderá ser feita de maneira arbitrária e grosseira, neste estágio inicial.

Em um nível conceitual, há ainda uma questão a ser examinada envolvendo a noção de “assimetria entre causa e efeito”, ou a “unidirecionalidade da causação” (BUNGE, 1979, cap. 6). Uma causa, como o movimento de um elevador, produz um efeito, como o movimento de um ponteiro no saguão do edifício, indicando o andar em que se encontra o elevador. Se alguém procurar intervir mexendo no ponteiro, ele não conseguirá controlar o movimento do elevador. O controle do efeito não altera a causa, apesar de o controle da causa alterar o efeito.

Em nosso estudo, porém, ao admitirmos a possibilidade de histórias contrafactuais, concebemos a possibilidade de um efeito produzir uma causa. Por exemplo, historicamente a lei de radiação de Planck (e) foi uma das causas da lei dos calores específicos de Einstein (c_5). No entanto, há um cenário contrafactual, representado na parte de baixo da Fig. 1, no qual esta ordem é invertida. Ou seja, ao sairmos do plano das causas singulares factuais e nos colocarmos no plano das causas possíveis, pode-se quebrar a assimetria entre causa e efeito. Tal quebra da assimetria não é incomum em exemplos da Física, por exemplo, nos quais as energias envolvidas na causa e no efeito são comparáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUNGE, Mario. *Causality and modern science*. Cambridge: Harvard University Press, 1959. 3rd ed. New York: Dover, 1979.
- CARTWRIGHT, Nancy. *Nature's capacities and their measurement*. Oxford: Clarendon, 1989.
- HOWSON, Colin; URBACH, Peter. *Scientific reasoning: the Bayesian approach*. 2nd ed. Chicago: Open Court, 1993.
- MACKIE, John L. Causes and conditions. *American Philosophical Quarterly* 2: 245-64, 1965. Reimpresso in: KIM, J.; SOSA, E. (orgs.). *Metaphysics – an anthology*. Oxford: Blackwell, 1999. Pp. 413-27.
- PEARL, Judea. *Causality – models, reasoning and inference*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- PESSOA JR., Osvaldo. Histórias contrafactuais: o surgimento da física quântica. *Estudos Avançados* 14 (39): 175-204, 2000.
- . Counterfactual histories: the beginning of quantum physics. *Philosophy of Science* 68 (Proceedings): S519-S530, 2001.
- WOODWARD, James. Causation and manipulability. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, 2001.¹

¹ Disponível em: <http://plato.stanford.edu/entries/causation-manipulability/>