
A IDÉIA DE CAUSALIDADE NA FÍSICA CLÁSSICA⁺*

Roberto Leon Ponczek
Instituto de Física – UFBA
Salvador – BA

Resumo

Procura-se extrair um conceito de causalidade, através das histórias da Filosofia e da Física, caracterizando a sua evolução. Enfatiza-se a transformação desse conceito com a mecânica newtoniana no qual a força é causa transcendente e não mais imanente como julgavam, ainda sob influência escolástica, Leibniz e Descartes, e seu efeito não mais o movimento em si, mas sim a sua mudança. Com alguns exemplos simples, apresenta-se a célebre polêmica entre racionalistas e empiristas acerca da prioridade ou posterioridade do conceito de causalidade e, finalmente, questiona-se a possibilidade de as leis da mecânica newtoniana, que estabelecem um vínculo causal entre força e aceleração, poderem ser imediatamente estabelecidas pelos sentidos, reforçando-se a tese kantiana de que a causalidade é uma categoria a priori do entendimento ou segundo Spinoza, um princípio ontológico da natureza.

Palavras-chave: *Causalidade, sincronização, racionalismo, categorias do entendimento, empirismo.*

Abstract

We intend to extract a concept of causality through the history and Philosophy of Physics and also to describe its evolution. We emphasize the transformation of this concept which occurs with the Newtonian Mechanics where the force is the transcendent and not immanent cause, like Descartes and Leibniz used to think influenced by escolastics. Also the effect is not the movement but its change. With some simple examples the famous debate among rationalist and empiricists concerning priority or posteriority of causality is

⁺ The idea of causality in classical physics

* *Recebido: julho de 2001.*
Aceito: dezembro de 2002.

presented. Finally we discuss the possibility of the laws of mechanics, which establish a causal constraint among force and acceleration, could be immediately perceived by the senses. We reinforce the concept of Kant that causality is an a priori category of the understanding or accordingly to Spinoza, an ontological principle of nature.

Keywords: *Causality, synchronization, rationalism, categories of the understanding, rationalism, empiricism.*

I. A causalidade nos pré-socráticos e na Física aristotélica

O termo ‘causa’ etimologicamente provém das questões jurídicas. Mover uma causa contra alguém é imputar-lhe uma acusação ou responsabilidade, ou seja, atribuir a alguém ou algo, a produção de um efeito ou consequência –em geral, danosa. Em grego, causa se escreve $\alpha\iota\tau\ \iota\alpha$ (aitia) e acusado, réu ou responsável, $\alpha\iota\tau\ \iota\omicron\sigma$ (aitiós). Esse princípio jurídico generalizou-se posteriormente para outras áreas do saber para designar a produção, razão, motivo ou gênese de um fato ou objeto¹. Em português, a uma pergunta do tipo “*Por que você não veio?*”, pode-se responder: “*Por causa da chuva*”. Em inglês, *porque* quando empregado na resposta é *because*, cuja tradução literal é “*ser causa*”.

Nos filósofos pré-socráticos, já se pode divisar o embrião do conceito de causalidade. Empédocles (séc.V a.C.) atribuía a produção de todas as coisas existentes a duas forças antagônicas, amor e ódio, e a quatro elementos: terra, ar, fogo e água, que se movimentavam sob a ação dessas duas forças. Para Pitágoras (séc.V a.C.), todas as coisas do mundo deveriam produzir-se de acordo com um modelo matemático baseado em números inteiros e figuras geométricas perfeitas. Para os atomistas, tudo que existe provém de algo preexistente, pois “nada surge do nada”, e as transformações do universo se dão pela combinação e recombinação de átomos.

Segundo Aristóteles (384, 322 a.C.), existem quatro formas de causalidade: a causa material, a eficiente, a formal e a final. A causa material é a matéria com a qual o objeto mutante é constituído, sendo, pois, condição necessária para que um objeto seja causa ou efeito, é que seja material. A causa eficiente é o motivo de mudança ou de transformação de um objeto e a que normalmente chamamos de causa *strictu sensu*. A causa formal, a mais sutil delas, é um conjunto de qualidades que formam o objeto de maneira una, completa e indivisível. Sem uma dessas qualidades, o objeto perde o seu ser. Um prato circular de porcelana, por

¹ MORA, J. F. **Dicionário de Filosofia** (verbetes causa). Trad. R.L. Ferreira e A. Cabral, São Paulo: Martins Fontes, 1998.

exemplo, só o continuará sendo enquanto todas as suas partes constitutivas permanecerem solidariamente coesas formando o prato e a sua circularidade. Se o estilhaçarmos, a soma de seus fragmentos não constituirá mais o prato, e se o colarmos, basta que desapareça um mínimo fragmento para que o prato perca assim a sua forma e com ela a sua existência.

Ao contrário do que ocorre com a causa eficiente em que as partes interagem entre si determinando causalmente o todo, a causa formal faz com que seja o todo que determine as partes e que seja assim mais do que a simples adição destas. A *causa final* é de natureza teleológica, isto é, o que vem finalmente determina o início do processo causal. Há, assim, uma inversão entre causa e efeito, este determina aquela. A causa final é portanto um desígnio ou destino *aprioristicamente* determinado, pela sua finalidade, por um ser ou uma causa transcendente. A pergunta básica da causa final será “*Para que isto acontece ?*” ao invés de “*Por que isto acontece?*”.

À guisa de exemplo, em uma escultura de mármore, este último é a sua causa material, o escultor e suas ferramentas são as suas causas eficientes primária e secundária, a maquete e sua forma serão a causa formal e a finalidade artística ou decorativa da escultura será a causa final. Enquanto as cosmologias de Empédocles e dos atomistas são regidas pelas causas eficientes e materiais, para Pitágoras, os números inteiros e figuras geométricas são as causas formais, enquanto que na física aristotélica as causas finais têm posição preponderante. Segundo Aristóteles, havia dois tipos distintos de movimento: os naturais, produzidos por causas finais, que visam levar o corpo ao seu lugar natural no universo, e os violentos, produzidos por causas eficientes externas que se opõem aos movimentos naturais, retirando o corpo de seu lugar natural. Somente depois de cessada a ação ou causa eficiente violenta, começa a agir a causa final ou natural. A questão para Aristóteles, não era portanto saber **porque** um corpo se move, mas, sim, **para que**. A resposta é: para ocupar o seu lugar natural no universo. As causas de todos os movimentos naturais são finais e não eficientes e visam (re)estabelecer a ordem universal. Essa cosmo-visão ficaria praticamente inalterada até meados do séc. XV quando Giordano Bruno e Copérnico tiraram a Terra e o homem do centro do universo atribuindo-lhes um ponto móvel e periférico. No séc. XVII, depois de Copérnico, Kepler e Galileu, não haveria mais sentido dizer que um corpo cai *para* ocupar o centro do universo e a pergunta teve então que ser mudada: *Por que um corpo cai?*

II. O Racionalismo

A partir do Renascimento, com a obra de Copérnico (1473, 1543), Kepler (1571, 1630) e Galileu (1564, 1642), o homem deixa de perceber o universo

como produto de uma evolução teleológica e finalista, devida a um criador com vistas a conduzir o universo a um estado final de perfeição. Na nova visão de mundo pós-renascentista, o universo é entendido como cenário de leis universais da natureza, expressas matematicamente, e que são as representações de um universo regido por processos causais de produção das coisas materiais que devem a sua existência a outras preexistentes. Estas, por sua vez, são determinadas a existir por outras e, assim, indefinidamente. No entanto, Galileu e posteriormente Newton (1642, 1727) não se preocuparam em seguir essa cadeia causal infinita. Enquanto o físico italiano propôs-se a descrever os corpos cadentes através de uma lei matemática, Newton atribuiu-lhes uma causa eficiente –a atração universal– omitindo-se porém de atribuir a esta última outra causa mais fundamental, como se depreende desse seu famoso texto:

"É certo que ela (a gravidade) deve provir de uma causa que penetra nos centros exatos do Sol e dos planetas(...) e ao afastar-se do Sol diminui com exatidão na proporção do quadrado inverso das distâncias(...) Mas até aqui não fui capaz de descobrir a causa destas propriedades da gravidade a partir dos fenômenos, e não construo nenhuma hipótese; pois tudo que não é deduzido dos fenômenos deve ser chamado uma hipótese; e as hipóteses quer físicas quer metafísicas, quer de qualidades ocultas ou mecânicas não têm lugar na filosofia experimental(...) É para nós suficiente que a gravidade realmente exista, aja de acordo com as leis que explicamos e sirva abundantemente para considerar todos os movimentos dos corpos celestiais e de nosso mar" (grifo nosso).²

Para Newton, portanto, a cadeia causal era curta: um *porquê* pertence à física (filosofia experimental), mas dois *porquês* sucessivos já fazem a pergunta recair no reino ontológico que "*não têm lugar na filosofia experimental*".

Com o racionalismo do séc. XVII, e principalmente depois da consolidação da mecânica newtoniana, como teoria aceita da realidade física, as causas formal e final foram relegadas a um segundo plano e a causalidade ficou praticamente restrita apenas às causas material e eficiente. A evolução de um objeto no espaço-tempo poderia ser prevista a partir da sua matéria constituinte e das ações

² NEWTON, I. Princípios Matemáticos da Filosofia Natural. In: **Os Pensadores**. Trad. Barraco, H. São Paulo: Nova Cultural, 1987.

que este objeto sofre dos demais. Algumas décadas antes dos *Principia* de Newton, Spinoza³ (1632, 1677) enunciava na *Ética*⁴:

Lema III: Um corpo, quer em movimento, quer em repouso, deve ser determinado ou ao movimento ou ao repouso por outro corpo, o qual, por sua vez, foi também determinado ao movimento ou ao repouso por um outro(...) assim até o infinito.

Corolário: Daí segue-se que um corpo em movimento se moverá até que seja determinado ao repouso por um outro e que um corpo em repouso assim permanecerá até que outro corpo o determine a mover-se.

E antes mesmo de Spinoza, Descartes (1596, 1650) enunciava nos *Princípios de Filosofia*⁵:

“Cada coisa permanece no mesmo estado o tempo que puder e não muda este estado senão pela ação das outras”(...)

Estava assim abolida a causa final e instituída a causa eficiente como motivo e razão para o repouso ou o movimento de todos os corpos, inclusive planetas, cometas ou corpos em queda livre.

Durante os séc. XVII e XVIII as noções de causalidade foram abundantemente discutidas. A tendência mais generalizada entre os racionalistas foi a equivalência completa entre causa e razão segundo o lema “*causa sive ratio*” (causa, ou seja, razão). Por esse princípio, a relação objetiva entre causa e efeito é idêntica a existente entre princípio e consequência. Spinoza deu a esse ponto de vista uma versão extremamente concisa expressando-se da seguinte forma⁶:

“Ordo e conexio idearum idem est ac ordo et conexio rerum”.
(“A ordem e a conexão das idéias é o mesmo que a ordem e a conexão das coisas”).

³ Além de ser considerada internacionalmente aceita, é com esta grafia que o filósofo assinava seu nome, no entanto, como o sobrenome é de origem luso-ibérica, a grafia original, *Espinosa*, é largamente utilizada em países de língua portuguesa e espanhola.

⁴ ESPINOSA, B. *Ética*. In: **Os Pensadores**. Trad. de Carvalho, J. 2^a ed., São Paulo: Abril Cultural, 1979.

⁵ DESCARTES R. *Princípios de Filosofia*. In: **Obras Escolhidas**. Trad. S. Milliet, São Paulo: Difel.

⁶ ESPINOSA, B. *Ética*, (prop. VII, *Ética II*), op. cit.

Isto significa que se A é causa de B então a idéia de A implicaria necessariamente na idéia de B. Tudo que se passa no domínio do mundo material tem uma representação lógica, análoga no domínio do mundo das idéias.⁷

$$C \rightarrow E$$

$$I_C \rightarrow I_E$$

(O esquema de Spinoza)

Se uma causa C produz um efeito E então I_C , a idéia da causa C deve implicar logicamente em I_E , a idéia do efeito E. À causalidade no mundo das coisas corresponde à lógica no mundo das idéias.

O princípio acima estabelece assim um princípio ontológico de *causação* de coisas materiais correspondente a uma cadeia paralela de idéias que se implicam necessariamente. Trata-se, portanto, de um princípio realista de causalidade.

Leibniz (1646, 1716) –considerado o maior dos racionalistas– juntamente com Spinoza e Descartes, expressou o mesmo princípio de forma um pouco distinta. O novo racionalismo matemático galileano-cartesiano levou-o a formular um sistema filosófico baseado em quatro princípios de conhecimento. O primeiro deles é o *princípio da razão* que se subdivide no *princípio da razão necessária* e da *razão suficiente*. A razão necessária exige que qualquer explicação submetta-se à condição de não contradição, isto é, uma idéia não pode conviver jamais com a sua negação. Se concluo que $S \rightarrow P$, não poderei, ao longo de minhas demonstrações, deduzir ou induzir que $S \rightarrow \text{não } P$. A razão suficiente exige que, além de uma idéia ser consistente consigo mesma e com todas as demais, a coisa pensada exista realmente, ou seja, que tenha uma causa que a faça existir. Portanto, se concluo que um fenômeno A é causa de outro B, não posso concluir que A seja causa também do desaparecimento de B (Princípio que pode também ser colocado na sua forma original: *posita causa positur effectus* e *sublata causa, tollitur effectus*, posta a causa, posto o efeito; cessada a causa, cessado o efeito). Isto é, nenhum efeito poderia ocorrer ou permanecer existente sem a correspondente causa que o precede, como também toda causa produz necessariamente seu efeito.

⁷ Os matemáticos denominam de *biunívoca* a uma correspondência entre elementos de dois conjuntos de tal sorte que a um elemento de um dos conjuntos corresponde um, e somente um, elemento do outro. Os dois conjuntos são denominados de *isomórficos*. Assim, para Spinoza, o mundo dos objetos físicos e o mundo das idéias seriam isomórficos.

III. A causa imanente e causa transcendente

Segundo Descartes, Spinoza e Leibniz, a causa do movimento de um corpo situa-se em outro corpo. Porém, para que este entre em movimento, é necessário que a causa deva transferir-se e adentrar no corpo em questão. Reciprocamente, este corpo pára em virtude de ter “cedido a sua força” a outro(s) corpo(s). No séc. XVII, é desenvolvido assim um conceito metafísico de causa imanente presente em praticamente todos os sistemas filosóficos racionalistas da época, que se expressa, *causa aequat effectum*⁸, ou seja, uma identidade completa entre a causa e seu efeito que neste se manifesta, exprime e esgota⁹. Leibniz enuncia: “a causa transforma-se em seu efeito total.”¹⁰ A causa para que se exprima e esgote em seu efeito deve ser assim algo transferível de um corpo a outro, por contato. Por esse motivo, Descartes e Leibniz acreditavam ser a força (vis) algo que em uma colisão deva transferir-se integral ou parcialmente de um corpo a outro –deve emanar de um corpo a outro– e pelo mesmo motivo o primeiro defendia a quantidade de movimento ao passo que Leibniz defendia a “força viva” mv^2 como melhor representação das forças ou causas do movimento de um corpo¹¹. William Hamilton (1788, 1856), filósofo e matemático escocês, (o criador do formalismo hamiltoniano da mecânica analítica) expressa a identidade metafísica entre causa e efeito da seguinte forma: “*Tudo que se nos apresenta sob um novo aspecto, já teve antes outra forma, de sorte que, entre causa e efeito, existe uma tautologia*”.¹² Segundo essa corrente de pensamento, a causa produz um objeto ou um efeito, interiormente.

⁸ MORA, J. F. Op. Cit.

⁹ Spinoza levou o princípio da causa imanente às últimas conseqüências teológicas ao postular que Deus seria a causa imanente do universo, sendo este a sua manifestação e expressão através da natureza e de suas leis. “Deus sive natura.” (Deus ou seja a natureza) é a frase que melhor caracteriza a metafísica de Spinoza.

¹⁰ O princípio leibniziano de conversão da causa em efeito, tem como exemplo histórico a queda de um corpo de uma certa altura que tem como efeito o impacto no solo que, por sua vez, converte-se integralmente em novo efeito, qual seja, o corpo erguer-se novamente à sua altura original. Assim, a *vis* (força) descendente, o impacto e a nova *vis* ascendente formariam uma tríplice cadeia de causas imanentes e efeitos.

Cf. PONCZEK, R. L. A Polemica entre Leibniz e os cartesianos. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 17, n. 3, 2000.

¹¹ A quantidade de movimento de Descartes era escalar pois só considerava a velocidade em módulo. Cf. PONCZEK, R. L., op. cit.

¹² Cf. LALANDE, A. Verbete causa, Dicionário Técnico e Crítico da Filosofia.

A mecânica do séc. XVII, até o advento dos *Principia* de Newton, operava segundo o princípio escolástico “*tudo que se move, assim o faz devido a outro*”, do qual deriva a teoria do *impetus* do filósofo francês do séc. XIV, Jean Buridan, segundo a qual a causa que faz um corpo, inicialmente em repouso, mover-se, é o *impetus* que lhe é comunicado por outro corpo e que, uma vez esgotado, faz com que o corpo volte ao repouso.

Somente com a formulação completa das três leis de movimento de Newton é que a força, isto é, a causa do movimento, começou a ser percebida como algo *extrínseco* ao corpo que lhe é comunicado por outros corpos que estão em sua vizinhança e que faz mudar o seu estado, não necessariamente por contato, transferência ou transformação. Por outro lado, como a Terra não era mais o centro imóvel do Universo, o repouso não poderia continuar sendo a referência. A mudança de estado de um corpo passou, então, a ser entendida não mais como passagem do repouso ao movimento e vice-versa, mas como mudança do próprio movimento que, permanecendo constante, é exatamente equivalente ao repouso. O conceito newtoniano de força –e de causa, portanto– é filosoficamente bem distinto do *impetus* escolástico, da *vis viva* de Leibniz ou da quantidade de movimento de Descartes. Em Newton, a força, ao contrário da *vis* do filósofo alemão, é *causa transcendente* da mudança do movimento de um corpo uma vez que nele não se origina nem se esgota e mantém-se separada e distinta de seu efeito, pois que provém de sua vizinhança (outros corpos) que, às vezes, como na força gravitacional, podem estar distantes. A causa imanente leibniziana, transferível de um corpo a outro por contato, foi assim substituída pela causa transcendente, intransferível e agindo à distância como agente de mudança do movimento sendo esta a sua medida. O movimento e a causa de sua mudança foram assim separados por Newton e postos em corpos distintos.

IV. Causalidade como categoria *a priori* do entendimento

Segundo Kant (1724, 1804), a causalidade é uma das sub-categorias de entendimento que relaciona dois fatos exteriores, que ocorrem em sucessão temporal, como ligados por um processo de produção do segundo (efeito) pelo primeiro (causa), isto é, uma intuição fundamental e *apriorística* do entendimento para organizar os fenômenos segundo leis de necessidade no cenário espaço-temporal. Para Kant, portanto a causalidade dá forma, unidade e conexão à própria experiência e portanto a precede.

Os juízos que se podem fazer acerca de um sujeito são de duas naturezas: sintéticos e analíticos. Enquanto os primeiros são sentenças nas quais o predicado acrescenta algo de empírico ao sujeito como “*no vácuo, todos os corpos caem com a*

mesma aceleração” ou “este círculo tem 4cm de raio”, nos juízos *a priori*, o predicado apenas define o que é o sujeito ou lhe dá um atributo como “o círculo é lugar geométrico dos pontos do plano eqüidistantes de um ponto”, ou seja, está se denominando de “círculo” algo que possui o atributo de ser o conjunto de pontos do plano que eqüidista de um ponto. Nos exemplos acima, os juízos sintéticos são *a posteriori* enquanto que o analítico é *a priori* da experiência. Kant define a causalidade como um outro tipo de juízo que não se enquadra em nenhum dos casos anteriores, ao qual denominou de *juízo sintético a priori*. Quando dizemos, por exemplo: “um círculo é a figura gerada por um segmento de reta que gira em torno de uma de suas extremidades”, definimos agora o círculo não por um de seus atributos geométricos, mas pela sua gênese causal, dando-lhe assim um juízo sintético que relaciona necessariamente a existência de algo (o círculo) a alguma outra coisa distinta que a precede (o segmento em rotação), segundo uma regra invariante de produção (a rotação por uma de suas extremidades).

Da mesma forma, as equações da física podem expressar ora juízos analíticos ora sintéticos. Quando escrevemos, por exemplo, que $\mathbf{a} = \mathbf{F}/\mathbf{m}$, estamos associando a aceleração de um objeto a uma configuração de forças que procede de sua vizinhança sendo-lhe externa e transcendente, constituindo-se, assim, um juízo sintético. No entanto, quando escrevemos que $\mathbf{a} = d\mathbf{v}/dt$, trata-se de uma definição de aceleração, ou o nome com que designamos a derivada temporal da velocidade, o que nenhuma informação acrescenta ao nosso entendimento.

Vejamos um marcante exemplo dado pelo próprio Kant, acerca da causalidade¹³:

*“Tomemos a seguinte proposição: **tudo o que acontece tem uma causa**. No conceito de algo que acontece, penso, na verdade, em uma existência, diante da qual há passado tempo e de onde posso deduzir juízos analíticos. Mas o conceito de causa está completamente fora daqueles, indicando algo fora do acontecimento(...) Como, então atribuir ao que acontece algo que lhe é completamente estranho? E como conhecer que o conceito de causa ainda que não compreendido no de acontecer, a ele se refere e até lhe pertence necessariamente? O que é essa incógnita X em que se apóia o entendimento quando crê descobrir fora do conceito A um predicado que lhe é alheio e, no entanto, unido a ele? Não pode ser a experiência (grifo nosso), posto que a referida proposição reúne as duas idéias (o que*

¹³ KANT, I. **Crítica de la razón pura**. Editorial Lozada, tradução do autor, 7^a ed. p. 156.

acontece e algo que lhe antecede) não só de um modo geral como também com o caráter de necessidade, ou seja, a priori”.

O filósofo A. Schopenhauer (1788, 1860) que em muitos pontos discorda de Kant, a respeito da causalidade, no entanto, lhe faz coro defendendo a sua prioridade¹⁴:

A forma mais generalizada e mais essencial de nosso intelecto é o princípio da causalidade; é somente em virtude de tal princípio, sempre presente em nosso espírito, que o espetáculo do mundo real pode oferecer-se às nossas objetivas como um conjunto harmônico, dado que ele nos faz conceber imediatamente como efeitos as afecções e as modificações sobrevindas aos órgãos da nossa sensibilidade. Apenas experimentada a sensação sem que haja necessidade de alguma educação ou experiência preliminares (o grifo é nosso), passamos imediatamente dessas modificações às suas causas, as quais (pelo próprio efeito dessa operação da inteligência) se nos apresentam como objetos situados no espaço. Disso resulta, incontestavelmente, que o princípio de causalidade nos é conhecido a priori, isto é, como um princípio necessário relativamente à possibilidade de qualquer experiência em geral.(...) O princípio de causalidade está solidamente estabelecido a priori, como a regra geral a que estão submetidos, sem exceção, todos os objetos reais do mundo exterior. O caráter absoluto desse princípio é uma consequência própria de sua prioridade.

V. Empirismo: causalidade como mera experiência repetida

Enquanto os principais filósofos europeus do continente, tais como Leibniz, Spinoza Descartes, Malebranche e Wolff, dentre outros, eram racionalistas, unânimes em defender o princípio “causa sive natura”, bem como a prioridade da razão sobre a experiência, para os empiristas –em sua maioria, britânicos como F. Bacon (1561, 1626), Hobbes (1588, 1679), Locke (1632, 1704), Hume (1711, 1776), Berkeley (1685, 1753)– a causalidade era tão-somente uma idéia desenvolvida a partir da experiência de percepção repetida, sincrônica e regular de dois fenômenos sucessivos. As idéias assim decorrem uma das outras como princípio e consequência,

¹⁴ SCHOPENHAUER, A. **O Livre arbítrio** (Über den Willen in der Natur) Trad. Oliveira, L. Rio de Janeiro: Ediouro.

porém nada garante que, no mundo real, os fenômenos decorram uns dos outros. A conexão é sempre entre idéias associadas às sensações e não das coisas em si existentes no mundo, ao qual não atribuíam qualquer independência ou inteligibilidade. Era o começo da famosa contenda entre a filosofia continental racionalista e a filosofia insular empirista que alguns historiadores bem humorados denominaram de “guerra dos 100 anos”.

O filósofo, político e historiador inglês John Locke, um contemporâneo de Newton, em 1689, no seu mais famoso livro *Ensaio sobre o entendimento humano*, sugere que todo o conhecimento surge da experiência e das sensações monitoradas pela razão, e não diretamente desta, como havia proposto Descartes e como defendia Leibniz. Discordando ainda do filósofo francês, não haveria segundo Locke idéias inatas e nem inspirações divinas. A base para o conhecimento se dá através da experiência e não da razão, sendo esta precedida por aquela. Tornaram-se célebres suas citações “*todas as crianças nascem como telas em branco*”, e “*não há nada na mente, a não ser o que estava antes nos sentidos*”: é a experiência advinda dos sentidos que escreve a lousa do espírito humano.

O filósofo escocês David Hume leva mais adiante as idéias de Locke abolindo completamente a existência independente de um “mundo real”. Para Hume, tudo o que se pode conhecer surge das sensações e das percepções sensoriais, as quais denomina de impressões, e estas geram, por sua vez, idéias na consciência. O que não é percebido pelos sentidos e depois representado por idéias, simplesmente não existe. Para alguém que nunca viu a Lua ela simplesmente nunca existiu, ou seja, *esse est percipi (ser é ser percebido)*.

Locke e Hume chegam até a negar a causalidade, isto é, uma cadeia de causas e efeitos sucessivos no tempo e separados no espaço. Eles acreditam que o que consideramos como causalidade é, na verdade, puro hábito sensorial. Vejamos o que tem Locke a nos dizer:

“Algumas de nossas idéias tem correspondência e conexões naturais entre si; é função e primazia de nossa razão traçá-las e mantê-las juntas naquela união e correspondência que são fundadas nos seus seres particulares. Além disso, existe outra conexão de idéias totalmente devidas ao acaso ou ao hábito; idéias que por elas próprias não tem afinidade são de tal forma unidas nos espíritos de alguns homens que se torna difícil separá-las permanecendo elas juntas e tão logo uma, a qualquer tempo, é entendida, sua associada surge... Que existam estas associações de idéias promovidas pelo hábito na mente da maioria dos homens, creio que ninguém que tenha se examinado, poderá questionar(...) as quais atuam de modo tão forte e

produzem efeitos tão regulares que parecem naturais; e são, por isso, assim chamadas, embora de início não tivessem nenhuma idéia original, mas tão-somente a conexão accidental de duas idéias”¹⁵.

Se num vilarejo o sino toca pouco depois do Sol nascer, consumado o hábito de ver a luz do Sol e a seguir ouvir o repicar dos sinos, para os empiristas, as pessoas acreditarão que é a luz do Sol que faz os sinos dobrarem. Para Hume, a causalidade não pertence ao mundo objetivo mas é tão somente uma associação de idéias conexas. Segundo um exemplo clássico do próprio filósofo escocês, de tanto vermos uma pedra estilhaçar uma vidraça, toda vez que virmos uma pedra aproximar-se da vidraça, associaremos, por hábito, a idéia de sua ruptura, não havendo implicação causal entre o movimento da pedra e a conseqüente ruptura da vidraça. Para os empiristas, não há, portanto, conexões causais fatuais, mas associações de idéias extraídas da experiência sensorial; notadamente para Hume, só há inteligibilidade na esfera situada dos “sentidos para dentro” (a esfera anímica das percepções e idéias) e não dos “sentidos para fora”, sendo assim a “esfera real”, ou seja “o mundo objetivo”, incognoscível. Neste sentido, o empirismo pode ser considerado um idealismo¹⁶.

VI. Quem afinal está certo: empiristas ou racionalistas?

Será a causalidade como defendem Kant, Schopenhauer e antes destes, Leibniz, uma operação necessária do intelecto que precede a experiência atribuindo a gênese de um fenômeno a outro que o precede? Será ainda um princípio ontológico da natureza em si, como defende Spinoza? Ou, pelo contrário, será a causalidade, segundo Locke e Hume, uma mera percepção sensorial repetida de eventos que entre si objetivamente nada têm em comum? A causalidade existe no mundo, de fato, ou apenas em nossa consciência?

Para os racionalistas, a razão opera pois com princípios inatos, atemporais e de validade universal que precedem a experiência. Leibniz rejeita o empirismo de Locke pois para ele a experiência advinda dos sentidos só cria a ocasião para o conhecimento dos princípios inatos. Parodiando Locke, diz Leibniz: “Nada há no intelecto que não tenha passado primeiro pelos sentidos ... a não ser o

¹⁵ LOCKE, J. Ensaio sobre o entendimento humano. In: **Os Pensadores**. 2ª ed., São Paulo: Abril Cultural, 1979.

¹⁶ Para alguns epistemólogos, o empirismo influenciou, em certos sentidos, a interpretação da Mecânica Quântica, feita por alguns representantes idealistas da escola de Copenhagen.

próprio intelecto”. –e acrescenta no prefácio de sua famosa obra *Novos Ensaios sobre o Entendimento Humano*¹⁷:

“Os sentidos, se bem que necessários para todos os nossos conhecimentos atuais, não são suficientes para dar-no-los todos, visto que eles só fornecem exemplos, ou seja, verdades particulares ou individuais. Ora, todos os exemplos que confirmam uma verdade de ordem geral, qualquer que seja o seu número, não são suficientes para estabelecer a necessidade universal desta mesma verdade, pois não segue que aquilo que aconteceu uma vez tornará a acontecer da mesma forma (...) A lógica, a metafísica e a moral, estão repletas de verdades necessárias, e por conseguinte a sua demonstração não pode provir senão de princípios internos que se denominam inatos. É verdade que não se pode imaginar que possamos ler na alma estas leis eternas da razão a livro aberto (...) basta, porém, que possamos descobrir em nós em virtude da atenção, sendo que a ocasião é fornecida pelos sentidos e a seqüência das experiências serve ainda como confirmação à razão (...) É possível que a nossa alma seja em si tão vazia, que não é nada sem as imagens que recebe de fora ? Estou certo que o nosso autor (Leibniz refere-se a Locke) não poderia aprovar tal consequência. Aliás, onde não se encontram lousas que não se diversifiquem em algo”?

“Só a razão é capaz de encontrar finalmente conexões certas na força das consequências necessárias, o que dá muitas vezes a possibilidade de prever o acontecimento sem ter necessidade de experimentar as conexões sensíveis das imagens (...)”

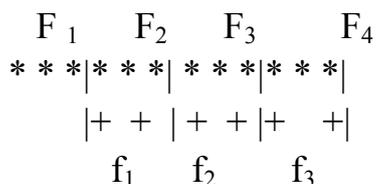
VII. Causalidade e racionalidade numérica

A partir deste ponto, vamos nos permitir fazer uma crítica mais quantitativa acerca da polêmica entre racionalistas e empiristas. Empregaremos para tal algumas propriedades matemáticas de dois ou mais fenômenos periódicos sincronizados e, na seção seguinte, iremos além, extraíndo, da física newtoniana, exemplos e contra-exemplos simples de fenômenos periódicos sincronizados e outros

¹⁷ LEIBNIZ G. W. *Novos Ensaios Sobre Entendimento Humano*. In: *Os Pensadores*. Trad. L. J. Baraúna, São Paulo: Nova Cultural, 1992. p. 4-5

que, embora completamente dessincronizados, podem estar vinculados causalmente. Com esse procedimento, acreditamos poder questionar até que ponto a causalidade pode ser considerada como mera experiência de repetição (empiristas) ou, se pelo contrário, é uma operação necessária da natureza (Spinoza) ou ainda do entendimento (Kant). Questionaremos também os limites de validade filosófica deste procedimento.

Imaginemos dois fenômenos intermitentes e periódicos, ou seja, que se repetem em tempos regulares T_1 e T_2 , como por exemplo, o piscar de luzes de um farol. Se existirem dois números inteiros n_1 e n_2 , tais que $n_1.T_1 = n_2.T_2$ (eq.1), o que é o mesmo que afirmar que a razão T_1/T_2 é um número racional, os dois fenômenos ocorrerão simultaneamente, sempre após n_1 repetições do primeiro ou n_2 do segundo, estando em nítida correlação e embora podendo ser independentes entre si, darão a quem os observa uma sensação de vínculo, assim como dois instrumentos musicais tocando juntos “no mesmo ritmo”. No entanto, se a razão entre os períodos é um número irracional (que não pode ser escrito na forma n_1/n_2), jamais os fenômenos voltarão a ser simultâneos, pulsando sem sincronia, como dois faróis piscando fora de fase ou como dois músicos tocando “fora de ritmo”. O observador terá uma forte sensação de independência e desvinculação entre os dois fenômenos.



*Fig.1- Correlação entre dois fenômenos F e f que pulsam em sincronia. A cada três pulsos de * ocorrem dois pulsos de +. Os períodos estão na razão de 2/3. F e f poderiam ser os sons de dois instrumentos musicais que a cada compasso | | emitem, respectivamente, 3 e 2 notas. No primeiro compasso, f permanece em pausa.*

Na Fig. 1 acima, a um grupo de 3 pulsações * corresponde um outro grupo de 2 pulsações +. Neste exemplo, a racionalidade numérica implica, em uma indiscernibilidade entre causalidade e sincronia. O primeiro pulso * de F_{n+1} será sempre simultâneo ao primeiro pulso + de f_n , o que produzirá a quem os percebe um hábito de correlação e/ou vinculação entre os dois fenômenos. Em outras palavras, é impossível saber apenas através das sensações se entre F e f existe uma relação causal ou uma mera sincronia.

À guisa de um melhor entendimento, poderíamos imaginar que nesse exemplo, F e f são dois instrumentos musicais que tocam uma partitura na qual está escrito que a cada compasso (representado pelo símbolo |...|), F executa 3 notas musicais enquanto que f, 2 notas. A partitura também indica que o primeiro compasso

cabe a F, com f em pausa. O ouvinte poderia supor que são os sons de F que causam os de f.

Consideremos agora uma causa A, que se repete intermitentemente com período T_A , produzindo desta feita dois efeitos B e C, com períodos T_B e T_C , de tal sorte que $n_A T_A = n_B T_B = n_C T_C$ (eq. 2), os efeitos B e C têm períodos que obedecem também à condição de racionalidade e estarão a causa e seus dois efeitos em sincronia ocorrendo simultaneamente após o tempo finito $n_a T_a$.

```

A:  * * *|* * *|* * *|
B:      |+  |+  |+  |+
C:      |- - -|- - -|- - -|

```

Fig. 2- A causa A produz dois efeitos B e C nas razões de 3/2 e 3/4 Existe uma relação causal $A \rightarrow B$ e $A \rightarrow C$ mas apenas uma sincronia entre B e C. Neste exemplo, A pode ser o maestro; B e C, dois instrumentos musicais.

De tanto percebermos a sincronia entre os 3 fenômenos, acabaremos por acreditar que não há diferença alguma entre a produção de **B** por **A** e a sincronia entre **B** e **C**. O argumento manteria ainda que a causa A cessasse. Neste caso, **B** e **C** também cessariam, dando a impressão que se produzem e, se A voltasse a atuar, produziria mais uma vez seus efeitos **B** e **C**, reforçando a impressão de que estes se produzem.

No exemplo musical dado anteriormente, **A** poderia ser um regente que a cada 3 movimentos com a mão indicaria a duração de um compasso, **B** seria um instrumento que deve tocar duas notas a cada compasso enquanto que **C**, 4 notas. Um ouvinte que não estivesse vendo o regente (em uma gravação, por exemplo), poderia pensar que é o instrumento B que induz C a tocar, o que não é verdadeiro. O fato ocorre realmente nas orquestras.

Para os empiristas, portanto, não se pode saber se os três fenômenos A(*), B(+) e C(-) são vinculados diretamente por uma condição causal ou se meramente repetem-se sincronicamente *ad infinitum*, por terem seus períodos relacionados racionalmente, entre si¹⁸.

¹⁸ Em português, a palavra razão significa tanto divisão entre dois números quanto capacidade de dedução e discernimento entre o falso e o verdadeiro.

VIII. Causalidade e sincronia em um oscilador forçado

Analisemos mais detalhadamente a questão acima levantada acerca da sincronia entre causa e efeito em um dos sistemas mecânicos mais simples que é o oscilador de massa m e constante elástica k , forçado por uma força periódica

$$F = F_0 \text{ sen } \omega t,$$

e com atrito desprezível.

A equação que descreve o fenômeno se escreve:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx = F_0 \text{ sen}(\omega t)$$

Consideraremos a causa como sendo a força oscilante $F_0 \text{ sen}(\omega t)$ e o seu efeito mais imediato a aceleração $a(t)$ do corpo de massa m . A solução dessa equação, para o corpo inicialmente em repouso na origem é:

$$a(t) = \frac{F_0 \omega}{m(\omega_0^2 - \omega^2)} [\omega_0 \text{ sen}(\omega_0 t) - \omega \text{ sen}(\omega t)]$$

onde: $\omega_0 = (k/m)^{1/2}$, é a frequência natural¹⁹ do oscilador harmônico e ω , a frequência da força oscilante.

Vemos assim que o efeito $a(t)$ é a soma algébrica de duas senóides de frequências distintas cuja relação determinará de forma marcante as características da função. Analisemos as várias possibilidades:

a) $\omega_0 = \omega$

No caso das frequências natural e forçada serem iguais, o numerador e o denominador são nulos e a função $a(t)$ torna-se indeterminada. Expandindo-se a função em série de Taylor até os termos de segunda ordem em $\delta\omega = \omega - \omega_0$, pode-se mostrar que $a(t) \cong A t \cos(\omega_0 t) + B \text{ sen}(\omega_0 t)$. O primeiro termo é um cosseno cuja amplitude cresce linearmente com o tempo e acaba mascarando o segundo termo, o que significa que o corpo oscilará com a frequência ω_0 natural do oscilador, atingindo amplitudes cada vez maiores, podendo teoricamente chegar –na ausência completa de atrito– ao infinito. Acontece o chamado fenômeno da ressonância no qual a causa F e seu efeito $a(t)$ oscilarão isocronamente em uma situação que remete ao princípio metafísico de Leibniz, “*causa aequat effectum*”, pois a causa converte-se em seu efeito, transferindo-lhe a sua potência.

¹⁹ A frequência é mais propriamente $\omega/2\pi$.

b) Consideremos, agora, a situação em que $\omega_o/\omega = n_o/n \neq 1$ (eq.1), isto é, a razão das frequências é um número racional diferente de 1. Neste caso, a aceleração $a(t)$ –bem como a elongação e a velocidade do corpo– será periódica com período $T_a = n_o T_o = n T$, o que é a condição de sincronia entre causa e efeito apresentada na seção anterior. A cada n oscilações da causa-força ou n_o oscilações do oscilador harmônico livre, causa e efeito estarão em fase, dando a quem os observa a sensação de estarem vinculados por algum nexos causal.

c) Consideremos, finalmente, a hipótese de que ω_o e ω são tais que não possam existir dois inteiros tais que satisfaçam a eq. 1, ou seja, há uma irracionalidade numérica entre as duas frequências. Nesse caso, a causa-força e efeito-aceleração estarão sempre fora de fase – ou fora de ritmo, como diriam os músicos – dando a quem os observa uma sensação oposta aos dois casos anteriores: *parece não haver nenhum vínculo entre as grandezas observáveis levando à crença que força e aceleração são absolutamente independentes.*

Cabe-nos agora perguntar de que concepção filosófica está mais próxima a mecânica newtoniana, do racionalismo, do empirismo ou do criticismo kantiano? A causalidade habitaria uma realidade ontológica à qual se associam idéias isomórficas de implicação lógica, como defendem Spinoza e Leibniz; será uma mera associação de idéias provocadas pelo hábito de observação repetida, como defendem os empiristas ou uma categoria necessária e *apriorística* para que intelecto possa ordenar e classificar os fenômenos de acordo com leis universais, como define Kant. Em suma, a causalidade existe realmente nas coisas materiais, é apenas uma associação de idéias de experiências passadas ou é um aparato da inteligência para ordenar fenômenos? A resposta, longe de ser unânime, ainda hoje suscita polêmica e dúvidas como a que vimos na discussão entre Einstein, assumidamente um realista causal, para quem a existência das coisas precede a observação, e Bohr, mais próximo de um idealismo empirista, para o qual a observação precede a existência²⁰.

A questão é muito complexa e várias escolas filosóficas procuram soluções que mesclam as questões acima levantadas, visando a síntese entre posições antagônicas. Não obstante a complexidade do tema, poderíamos, entretanto, extrair algumas ilações do exemplo simples do oscilador harmônico forçado.

No primeiro e segundo casos, quando uma causa externa vibra com a mesma frequência ou com frequências racionais em relação à frequência natural de um sistema, um observador pode imediatamente, através de seus sentidos, perceber a correlação entre a causa e seu efeito. A isocronia do primeiro caso e a sincronia do segundo produzem-lhe por repetição de experiências sensoriais, o hábito de associar a

²⁰ Acerca da famosa polêmica entre Bohr e Einstein, sugerimos a leitura de Abraham Pais, Einstein Viveu Aqui, Cap. 2, Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.

força à aceleração do corpo²¹. Neste caso, os empiristas parecem estar corretos: o condicionamento nos leva a associar fenômenos aos pares ao qual denominamos de causa e efeito sem que na natureza nada ocorra que os vincule de fato, levando Hume à sua famosa expressão: “*cause and effect are conjoined but not constrained*” (*causa e efeito estão juntos, mas não vinculados*). Entretanto, no caso em que causa e efeito vibram em frequências irracionais entre si, a não ser que a primeira cesse, os órgãos dos sentidos não poderão jamais estabelecer nenhum vínculo ou correlação entre os dois fenômenos. Assim, nenhum juízo sintético *a posteriori* (empírico) poderá ser estabelecido. Acreditamos, pois, que isso enfraquece a posição empirista, conduzindo-nos a um princípio de causalidade ontológico (Spinoza) ou apenas gnoseológico (Kant). Defendemos, assim, o ponto de vista spinozista no sentido de uma “causalidade forte”, isto é, ontologicamente dada nas coisas reais em associação isomórfica às idéias que delas fazemos ou no sentido kantiano em que a causalidade expressa por uma lei (no caso, a segunda lei de Newton) é um juízo *a priori*, isto é, independente de qualquer experiência, necessário para a organização do entendimento da própria experiência ou da realidade que, no entanto, para Kant, é inatingível em si. G. Pascal, ao comentar as categorias do entendimento, assim se expressa²²:

Não é a experiência que nos capacita conhecer a relação objetiva dos fenômenos. Ao contrário, é só o conceito a priori da relação de causa e efeito que pode dar unidade objetiva à experiência, permitindo-nos perceber uma ordem real. Pela causalidade percebemos na mudança, não uma seqüência qualquer, mas necessária; ela torna necessária, na percepção do que acontece, a ordem das percepções sucessivas. Não existe pois conhecimento objetivo senão pela regra que estabelece uma ligação necessária entre um acontecimento dado e outro que o precedeu, ou seja, pela causalidade. Sem esta o mundo seria como um sonho; conhecer é pois conhecer pelas causas; compreender um fenômeno é apreendê-lo como consequência necessária de outro(...) Portanto, longe de ser um conceito derivado da experiência, como julgava Hume, a causalidade é a

²¹ A força oscilante aplicada ao corpo pode ser diretamente observada através de um dinamômetro ou “balança de feirante”, presa ao corpo; ao passo que a aceleração também pode ser vista através de um “acelerômetro”, isto é, um pêndulo que pende do corpo que se defletirá com um ângulo θ dado por $\text{tg}\theta = a/g$.

²² Pascal G. **O Pensamento de Kant**. Trad. R. Vier. Petrópolis: Vozes, 7ª ed., 2001. p. 80.

própria condição da experiência. (grifo é nosso), a forma a priori que estabelece um nexó necessário na sucessão subjetiva das minhas representações (idéias) que permite referi-las a uma realidade objetiva”.

Nosso método, entretanto, não poderá decidir entre uma causalidade forte ou fraca. Assim, o fato de a causalidade ser uma categoria gnoseológica do entendimento humano ou, de fato, um princípio ontológico de causação da natureza em si, transcende os limites possíveis de nossa discussão. Acreditamos que este limite situa-se além da Física.

IX. O empirismo, a física aristotélica e o ensino de ciências

Não é novidade para os pesquisadores da área de ensino de Física que as idéias aristotélicas, que raramente são apresentadas nos livros-textos de Física, ou então expostas de maneira a parecerem quase ridículas, são, na verdade, mais intuitivas que as idéias newtonianas. De fato, observamos na prática do dia-a-dia, uma pedra cair mais rapidamente que uma bolinha de papel e jamais observamos uma carroça deslocar-se sem um cavalo na frente! Tais idéias são assim extraídas diretamente do senso comum e da experiência cotidiana, ao passo que o mesmo não se pode afirmar da física newtoniana, devendo-se isso, ao nosso ver, à prioridade das leis de causalidade em relação à experiência imediata dos sentidos. Segundo E. P. Camargo²³:

“As convicções aristotélicas de lugar natural e a de que todo movimento associa-se a uma força tem-se demonstrado característica básica da relação do pensamento e dos conceitos pré-newtonianos de movimento (Gardner, 1986). Contudo, no que se refere ao movimento de projéteis, as experiências causais dos estudantes detém analogias com a idéia de força impressa de Hiparco/Filoponos e com a teoria do impetus de Buridan e seus seguidores(...)”.

Como expõem os autores do artigo acima mencionado, os alunos de física contemporâneos, sejam eles deficientes de algum órgão sensorial, ou quer gozem da plenitude de seus sentidos, operam com conceitos muito mais próximos da mecânica aristotélica que da newtoniana, ou seja, com o senso comum diretamente

²³ Camargo, E. P. et al. Concepções Espontâneas de repouso e movimento de uma pessoa deficiente visual total, **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 17, n. 3, p. 307-327, dez.2000.

empírico. Assim, supondo que uma mente “tábula rasa” ou “tela em branco” seja igual ao longo da história, entendemos que o empirismo inglês primordial, cujos representantes mais importantes eram contemporâneos de Newton, criaram uma teoria do conhecimento mais próxima da física aristotélica que da newtoniana.

Não faltam razões históricas, portanto, para que os alunos de física básica sejam espontaneamente mais empiristas que kantianos. A passagem de uma “física do senso comum de experiências repetidas” para uma “Física de postulados e princípios *apriorísticos*” é uma árdua tarefa pedagógica que nós educadores devemos perseguir com afinco, prevendo de antemão as dificuldades com as quais iremos nos deparar pois historicamente coube a Kant, mais de um século depois dos *Principia* de Newton, romper com o empirismo primordial, no sentido que nem todas as idéias procedem diretamente da experiência sensorial, estando dentre estas a causalidade, uma das mais importantes.

Einstein, após ter desenvolvido as equações da Teoria da Relatividade Geral, expressou-se das seguintes formas, acerca do excesso de positivismo empirista que dominou a investigação científica no final do séc. XIX:

(...) Uma teoria pode ser testada pela experiência, mas não existe meio de se desenvolver uma teoria a partir da experiência. Equações de tal complexidade como as do campo gravitacional somente podem ser encontradas através da descoberta de uma condição matemática logicamente simples que determine as equações completamente. Uma vez que temos essas condições formais suficientemente fortes, precisamos apenas de um pequeno conhecimento dos fatos para a elaboração de uma teoria. (New York Times em 2 de abril de 1921)²⁴.

“O preconceito –que não desapareceu até hoje– consiste em acreditar que os fatos podem e devem fornecer, por si mesmos, conhecimento científico, sem uma construção conceitual livre. Esse modo de pensar só é possível quando não se leva em conta a livre escolha dos conceitos, os quais por meio dos resultados positivos e longo tempo de uso, parecem (grifo nosso) estar diretamente ligados ao material empírico”²⁵.

²⁴ Cf. A. Pais, p. 151, op. cit.

²⁵ Einstein A. **Notas Autobiográficas**. p. 52

Esta última citação parece-nos mais próxima da teoria kantiana de conhecimento, da qual Einstein foi um atento estudioso.

Finalizamos parodiando a famosa polêmica entre Locke e Leibniz:

“Tudo que está no intelecto, passou antes pelos sentidos” (disse, certa vez, Locke) *“... com exceção do próprio intelecto”* (completou Leibniz) *“... dos Srs. Einstein, Newton e Kant, é claro!”* (completaríamos).

X. Conclusão

A intermitência periódica acrescida à racionalidade numérica de dois ou mais fenômenos induz-nos um hábito de percepção que leva à impossibilidade de discernimento entre causalidade e correlação. Nesse sentido, Hume e os empiristas estão certos. Mostrou-se, no entanto, que certos fenômenos periódicos podem ser correlacionados mas não vinculados causalmente enquanto outros, pelo contrário, são causalmente vinculados e não correlacionados. A Física newtoniana fornece-nos muitos exemplos simples na qual isso ocorre, não existindo nenhuma possibilidade de, através de uma experiência imediata dos sentidos, estabelecer sequer correlações entre dois fenômenos e, muito menos, causalidade. Neste caso, não se poderia extrair diretamente da experiência uma lei que os relacione causalmente, ou seja, a causalidade não poderia ser inferida ou induzida da mera repetição sensorial, porquanto esta não existe, havendo, assim, necessidade de uma categoria *apriorística* para a organização dos fenômenos, em forma de leis universais e necessárias, reflitam elas uma realidade em si ou apenas o nosso entendimento acerca do mundo. Nesse sentido, a mecânica newtoniana é mais bem condizente com a teoria kantiana de conhecimento, ou dito de outra forma: depois das leis de Newton, a teoria do conhecimento teve de ser repensada, cabendo a Kant esta gigantesca tarefa. Pretendemos, em próximos artigos, mostrar que a idéia de causalidade forte é preservada por Einstein na Teoria da Relatividade, ainda que em detrimento da categoria de tempo absoluto, mas é praticamente abolida por Bohr no princípio da complementaridade da Mecânica Quântica.

Referências Bibliográficas

BLACKBAUM, S. **Dicionário Oxford de Filosofia**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1997.

CAMARGO, E. P. et al. Concepções Espontâneas de repouso e movimento de uma pessoa deficiente visual total. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 17, n.3, dez. 2000.

CHAUI, M. **Espinosa, uma filosofia da liberdade**. São Paulo: Editora Moderna, 2ª ed.

COSTABEL, P. **Leibniz and Dynamics** (The text of 1692). New York: Cornell University Press, 1973.

ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA: Macropaedia. Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1974. 30 v., v. 11.

DESCARTES, R. **Discurso sobre o Método, para bem dirigir a própria razão e procurar a verdade nas ciências**. Trad. M. Pugliesi e N. P. Lima. São Paulo: Ed. Universidade de São Paulo, 1998.

DESCARTES R. Princípios de Filosofia. In: **Obras Escolhidas**. Trad. S. Milliet. São Paulo: Difel.

EINSTEIN, A. **Notas Autobiográficas**. Trad. A. S. Rodrigues. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 5ª ed., 1982.

ESPINOSA, B. **Ética**. In: **Os Pensadores**. Trad. J de Carvalho. São Paulo: Abril Cultural, 2ª ed., 1979.

KANT, I. **Crítica de la razón pura, dialéctica trascendental e metodología trascendental**. Buenos Aires: Lozada, 1960.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. Trad. V. B Boeira., São Paulo: Perspectiva, 1982.

LALANDE, A. **Dicionário técnico e crítico da Filosofia**. São Paulo: Martins Fontes, 1990.

LEIBNIZ, W. G. Discurso de Metafísica. In: **Os Pensadores**. São Paulo: Abril Cultural, 1983.

LEIBNIZ, W. G. **Essay on Dynamics em Costabel P., Leibniz and Dynamics** (The text of 1692). New York: Cornell University Press, 1973.

LEIBNIZ, G. W. Novos ensaios sobre entendimento humano. In: **Os Pensadores**. Trad. L. J. Baraúna, São Paulo: Nova Cultural, 1992.

LOCKE, J. Ensaio sobre o entendimento humano. In: **Os Pensadores**. São Paulo: Abril Cultural, 1979.

MORA, J. F. **Dicionário de Filosofia** (verbetes causa). Trad. R. L. Ferreira e A. Cabral, São Paulo: Martins Fontes, 1998.

NEWTON, I. Princípios matemáticos da Filosofia Natural. In: **Os Pensadores**. Trad. de C. L. Mattos et al., São Paulo: Nova Cultural, 1987.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1988. v. 1.

PAIS, A. **Einstein Viveu Aqui**. Trad. C. Alfaro, Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.

PASCAL, G. **O Pensamento de Kant**. Trad. R. Vier, Petrópolis: Vozes, 7ª ed., 2001.

PONCZEK, R. L. A Polêmica entre Leibniz e os cartesianos: mv ou mv^2 ? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 17, n. 3, 2000.

PONCZEK, R. L. Spinoza e Einstein: Analogias ou Afinidades? **Cadernos da IV Semana de Filosofia**, BA, Ed. da UESC, 2002.

SCHOPENHAUER, A. **O Livre arbítrio** (Über den Willen in der Natur) Trad. L. Oliveira, Rio de Janeiro: Ediouro.

SCHURMANN, P. F. **Historia de la Física**. Tomo 1, 2ª ed., Buenos Aires: Editorial Nova.

SYMON, K. R. **Mechanics**. Addison-Wesley, 2ª ed., 1960.

VOLTAIRE **Elementos da filosofia de Newton**. Trad. M. G. S. do Nascimento, Campinas: Ed. Unicamp, 1996.

WESTFALL, R. S. **A Vida de Isaac Newton** (The Life of Isaac Newton). Trad. V. Ribeiro, Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

Agradecimentos

Ao Prof. Benedito Pepe do Instituto de Física da UFBA., pelas valiosas sugestões que muito contribuíram para o aprimoramento deste trabalho.

Aos incógnitos pareceristas, pelas várias sugestões dadas no sentido de tornar o texto mais claro.

