

REVISITANDO O PRINCÍPIO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA E A DESCOBERTA DO NEUTRINO A PARTIR DE UMA ANÁLISE LAKATOSIANA

REVISITING THE PRINCIPLE OF CONSERVATION OF ENERGY AND THE DISCOVERY OF THE NEUTRINO FROM A LAKATOSIAN ANALYSIS

<https://doi.org/10.26512/rfmc.v12i1.52470>

Arnaldo de Souza Vasconcellos Júnior

Universidade de Brasília

<http://lattes.cnpq.br/1018334959495676>

<https://orcid.org/0000-0001-5458-3158>

arnaldo@networkcore.eti.br

Doutorando em Filosofia pela Universidade de Brasília (2022). Mestre em Filosofia pela Universidade de Brasília (2019). Graduado em Filosofia pela Universidade de Brasília (2013). Professor da Secretaria de Estado de Educação do Distrito Federal. Tem experiência na área de Filosofia, com ênfase em Epistemologia. Tem interesse em epistemologia, ontologia, metafísica, filosofia da biologia, filosofia da física, robótica educacional.

RESUMO

O presente artigo é resultado da apresentação de comunicação ocorrida no II Encontro de Pós-Graduação em Filosofia da UnB. Este artigo discorre sobre o trabalho que investigou a descoberta e o desenvolvimento do conceito da partícula chamada de neutrino. Para isto foi utilizada a filosofia de Imre Lakatos a fim de delinear uma historiografia e uma análise epistemológica sobre o processo científico que, resultou na proposta e descoberta do neutrino. Também foi efetuada uma reconstrução racional do processo de descoberta e como ocorreu a articulação do Princípio de Conservação de Energia em torno dos processos metodológicos nos possíveis programas de pesquisa científica no desenvolvimento da ciência que investiga a existência dos neutrinos. O trabalho relaciona-se constantemente com os verbetes da filosofia da ciência de Imre Lakatos e avalia sua aplicabilidade no processo da investigação de um caso específico da prática científica.

Palavras-chave: Imre Lakatos. Princípio de Conservação de Energia. Programas de Pesquisa. Reconstrução Racional e Neutrinos.

ABSTRACT

This article is the result of the communication presentation that took place at the “II Encontro de Pós-Graduação em Filosofia da UnB”. This article retells the work that investigated the discovery and development of the concept of the particle called the neutrino. For this, the philosophy of Imre Lakatos was used in order to outline a historiography and an epistemological analysis of the scientific process that resulted in the proposal and discovery of the neutrino. A rational reconstruction of the discovery process was also carried out and how the Principle of Conservation of Energy was articulated around the methodological processes in possible scientific research programs in the development of science that investigates the existence of neutrinos. The work is constantly related to the entries in Imre Lakatos’ philosophy of science and evaluates their applicability in the process of investigating a specific case of scientific practice.

Keywords: Imre Lakatos. Principle of Conservation of Energy. Research Programs. Rational Reconstruction and Neutrinos.

Introdução

Compreender a natureza, o seu funcionamento, a sua estrutura é uma tarefa bem complexa e necessita de diversas áreas, com diversas abordagens. De certa forma, se assumirmos isso como um pressuposto, iremos verificar que desde tempos mais remotos a humanidade produziu formas de explicar as coisas, com uma criatividade enorme. Para físicos, mais especificamente os físicos de partículas, explicar o mundo é explicar como ele é montado em suas mais diminutas formas. Se imaginarmos um grande jogo, onde fenômenos e coisas devem ter explicações possíveis, devemos então tentar derivar a existência desses fenômenos a determinadas coisas – é o que os físicos de partículas fazem ao exemplificar como existem tipos de partículas que podem agir de uma ou de outra forma e como certos fenômenos ocorrem.

No final do século XIX a radiação foi descoberta e em 1899 Ernest Rutherford categorizou os tipos de radiação como *alfa* e *beta* por ordem de penetrabilidade dessas emissões em determinados objetos com matérias específicas e espessuras. Em 1900 seria descoberto posteriormente a radiação gama (*cf.* Jensen et al, 2000, p. 3), que consegue penetrar ainda mais em relação as anteriores. Em 1914 James Chadwick detectou estas emissões e mensurou elétrons sendo emitidos a partir do núcleo atômico.

Em 1911 a proposta de um átomo análogo a um sistema planetário foi apresentada por Ernest Rutherford, no qual os elétrons girariam em torno de um núcleo que concentraria boa parte da massa desse átomo; neste núcleo estaria presente o próton. Por volta de 1930, portanto, a explicação atômica corrente era que os átomos, pequenos constituintes de nossa matéria, possuíam um núcleo: onde encontra-se o *próton*, com massa e carga elétrica positiva; em contrapartida orbitando esse núcleo, dentro de uma área chamada de eletrosfera, ocorrem os elétrons. Não seria, desta forma, muito intuitivo, a partir destas concepções, ver como elétrons – que deveriam não estar em um núcleo – emitidos por um determinado núcleo instável. Em 1932 os nêutrons foram descobertos por James Chadwick completando assim o modelo com mais uma par-

tícula conhecida e que estaria relacionada com a estabilidade elétrica nuclear.

A emissão *beta* passou a ser examinada teoricamente de diversas formas, pois além dessa característica que poderíamos apontar, há outros fatos que tornam essa emissão ainda mais curiosa: tal emissão não parecia apoiar-se com um princípio básico da física contemporânea que é o *Princípio da Conservação de Energia* e nem concordar com o *Princípio de Conservação do Momento Angular*.

O princípio de conservação de energia

O *Princípio de Conservação de Energia* é um dos princípios mais basilares de nossa atual física. Foi desenvolvido em grande parte dentro de um contexto da área da termodinâmica. É definido, por exemplo, pelo fato que em um determinado sistema não há criação e nem destruição de energia; apenas transformações. Desta forma, máquinas térmicas, motores, são conversores de energia. Com o *Princípio de Conservação de Energia* foi possível conceber máquinas que convertem energia térmica em movimento; foi possível compreender como estas máquinas deveriam ser mais eficientes, por exemplo. Além das possibilidades tecnológicas, com a formulação contemporânea do *princípio de conservação de energia* (como o fato que a soma de energia em determinados sistemas analisados permanece, embora com troca de tipos de energia), foi possível uma convergência entre pesquisas sobre mecânica e sobre fenômenos térmicos (*cf.* Harman, 1982, p. 4).

Portanto, com o amadurecimento do *princípio de conservação de energia*, além de novas tecnologias, áreas da física se consolidaram como é o caso da termodinâmica. As ideias de energia, calor e trabalho são conceitos que foram aperfeiçoados durante o período em que houve também o desenvolvimento no conceito de conservação; além do fato em que a ideia de conversão energética se tornou vigente (*cf.* Harman,

1982, p. 37) e permitiu, desta forma, a compreensão da relação entre fenômenos térmicos e fenômenos mecânicos.

O *princípio de conservação de energia* ganhou, desde então, uma enorme importância por firmar-se como um princípio tanto na mecânica, quanto na termodinâmica. No entanto, em relação à emissão *beta*, esse princípio não parecia funcionar adequadamente. Para alguns cientistas isso era um problema, mas para outros não parecia ser algo tão caro: no contexto do início do século XX temos historicamente o desenvolvimento de diversas novas abordagens na física, como é o caso da mecânica quântica. Neste contexto foi possível questionar e rever teorias e princípios.

Em contrapartida Wolfgang Pauli sugeriu a possibilidade da emissão de uma partícula sem massa e eletricamente neutra, o que resolveria o problema da conservação de energia na emissão beta – assim como do momento angular: Pauli foi um destes cientistas que viam com olhos desconfiados o fato que o fenômeno não parecia seguir princípios básicos como estes.

É importante lembrar que o momento angular é o produto entre momento de inércia de um corpo em movimento circular e sua velocidade angular – em outros termos momento angular sempre permanece, porque ao reduzir o momento de inércia a velocidade tende a aumentar; sendo o inverso também verdadeiro – de tal forma o momento angular é preservado. O fenômeno da emissão beta, portanto não parecia conservar o momento angular, nem a energia contida no sistema; mas com a proposta do neutrino os princípios estavam salvos. Com certa desconfiança, Pauli foi responsável por propor a existência de uma partícula que, para manter os cálculos de conservação de energia e movimento, deveria ser sem massa e sem carga. Uma partícula que não poderia ser, portanto, observada.

A possibilidade de uma partícula que inicialmente não é observável também é um problema. Pauli compreendia tal problema e isto suscitou dúvidas sobre a sua descoberta. Matematicamente, a proposta parecia ser viável e continuava a perpetuar um princípio como o *Princípio de*

Conservação de Energia; por outro lado, parecia uma proposta desesperada. Pauli e Niels Bohr entraram numa *controvérsia*, no qual durante alguns anos Bohr não concordou com a manutenção de tal *Princípio*, em decorrência dos pressupostos que estava desenvolvendo em sua nova visão científica. Somente anos mais tarde Bohr concordou com a manutenção do *Princípio* e com a possibilidade da existência de uma partícula até então não detectável. E, anos depois, essa partícula foi detectada. É importante lembrar que Bohr estava no contexto de desenvolvimento da Mecânica Quântica; sendo a sua interpretação da teoria em construção correspondente como uma possibilidade de ter um mundo que em algum nível não obedece ao *Princípio de Conservação de Energia*. Bohr era adepto de uma interpretação estatística do *Princípio de Conservação de Energia*, em alguns momentos de seu desacordo com Wolfgang Pauli.

Analisar uma história como esta, ocorrida na física, pode nos ajudar a compreender como a prática científica se dá, além de nos dar pistas de como podemos caracterizar a dinâmica da compreensão desta prática. Neste sentido, parece interessante a demonstração tanto como nasceu a proposta de tal partícula, como do surgimento do princípio que a fez ser sugerida. Como forma de trabalho adotamos a filosofia de Imre Lakatos para analisar a história em questão, assim como verificar se tais dinâmicas da prática científica são possíveis de serem explicadas dentro de uma bagagem filosófica como esta. Ao final deste processo é possível responder se há uma justificativa racional na escolha de propor uma partícula fantasma, como também se é racional negá-la em detrimento de outro contexto científico – como ocorreu no processo da controvérsia entre Pauli e Bohr.

A história, os primórdios e os programas do princípio de conservação de energia

Se por um lado temos a história do neutrino como algo recente, a história do *Princípio de Conservação de Energia* data um período ainda mais

antigo, como a unificação de teorias da física por volta de 1840 e ainda aos desenvolvimentos de teorias filosóficas como de Leibniz e Descartes que teriam contribuído de alguma forma na construção deste conceito que se tornou muito relevante para a física. É importante citar que durante o desenvolvimento de ideias de conservação nem sempre estavam associadas a uma concepção de conservação de energia, pois o conceito de energia ainda não havia sido elaborado como concebemos atualmente; sendo algumas vezes o conceito de conservação relacionado ao que poderíamos chamar de conservação de matéria, ou ainda de conservação de algo permanente entre conversões de tipos de trabalhos, como veremos a seguir. Dentre cientistas que contribuíram na construção de uma noção física sobre o *princípio de conservação de energia* podemos destacar os trabalhos de Joule, Carnot, Faraday, Watt etc.

Thomas Kuhn examinou o tema em seu artigo “*A Conservação de Energia como Descoberta Simultânea*”¹. Kuhn descreve que, embora pareçam simultâneas, houve processos pontuais que devem ser destacados: por exemplo o fato de haver disponibilidade de processos de conversão que estavam sendo estudados no período; os interesses por máquinas que ocorriam na época; e um terceiro motivo, que Kuhn supunha ser mais uma sugestão que algo de fato concreto: a influência de filosofias da natureza.

Para o historiador Peter Harman, que também analisou sobre o período em seu livro “*Energy, Force and Matter – The Conceptual Development of Nineteenth-Century Physics*” ocorreu uma unificação de áreas da física. Para Harman os trabalhos de Michael Faraday e Hans Christian Oersted que versaram sobre a transformação entre magnetismo e eletricidade ou a de Joule entre calor e movimento mecânico, foram exemplos de unificações de áreas da física. Essas unificações surgiram, para Harman, como estudos de interconversão entre formas de energia.

Para Kuhn, a disponibilidade de conversão foi o que garantiu, em alguma medida, a possibilidade de formalização teórica, enquanto também havia pressupostos metafísicos que estavam em jogo por alguns dos

¹ Presente no livro *A Tensão Essencial*.

que estavam na vanguarda da conceituação do *princípio de conservação*. Na parte metafísica há a sugestão de Kuhn que as *Naturphilosophie*, que eram as filosofias da natureza, presentes no idealismo alemão, teriam influenciado alguns dos pensadores do *princípio*. As *Naturphilosophie* no idealismo alemão visavam a unificação dentre os elementos naturais; viam, portanto, a natureza como um grande organismo e passível da visão de unicidade. Kuhn aponta que esta posição ontológica poderia ter influenciado de alguma forma pensadores como o caso de Oersted. Entretanto Kuhn deixa essa proposta como uma suspeita.

Lakatosianamente é possível suspeitar que *Programas de Pesquisas* estavam em desenvolvimento e até mesmo em concorrência durante a consolidação do *princípio de conservação de energia*. Por exemplo, o desenvolvimento de ideias de conversão entre cada um dos cientistas envolvidos e o interesse por máquinas, apontado por Kuhn, além da influência filosófica da ideia de organismo – presente no Idealismo Alemão – são elementos correlacionáveis a elementos em *programas de pesquisa*. A visão de organismo pode ser vista como um possível candidato a núcleo duro, assim como a ideia de conversibilidade entre energias como hipóteses auxiliares. Neste sentido, trata-se de uma linha possível de investigação para verificar como cada um dos pensadores chegaram a conclusões sobre energias conservadas.

Além do que expomos até aqui, houve uma série de outras pesquisas no século XVIII que também apontavam para possibilidade de algum tipo de conservação, como é o caso dos fluídos imponderáveis. A ideia de fluídos imponderáveis não trabalhavam necessariamente uma conservação de energia, mas sim da matéria. Harman, o historiador que já citamos aqui, nos informa que, no século XVIII, o desenvolvimento da noção de fluídos imponderáveis faziam esse papel, como foi o caso do flogisto – que era uma suposta substância presente durante a queima e dissipada de alguma forma depois. Tal teoria tinha várias versões e não conseguia explicar com sucesso o processo de queima. Outro fluído que também marca uma tentativa de conseguir chegar a uma noção de *conservação* foi o calórico, que era capaz de supostamente entrar em qualquer lugar e substância. A teoria do calórico caiu em descrédito jus-

tamente pelo desenvolvimento da área da física chamada de termodinâmica, que no século XIX encontrou um terreno propício.

Além destas teorias, a noção cartesiana de conservação de movimento presente em seu livro “Princípios da Filosofia” foi uma das primeiras formas de se explicar algum tipo de conservação. Nesta proposta, Descartes considerava o movimento como sucessão de efeitos (de forma mecanicista) que ordenavam os fenômenos no mundo. Ele entendia que o movimento era uma espécie de translação de matéria contígua. Com base em sua filosofia, Descartes acreditava que deveria haver uma *quantidade de movimento*. Essa quantidade de movimento seria um movimento causado por Deus e conservado dentro da ação mecânica do universo entre a movimentação de matéria contígua.

A noção de quantidade de movimento foi questionada por Leibniz pois este entendia que ela estava matematicamente inadequada. Embora Descartes não tenha colocado de forma algébrica, a sua quantidade de movimento parecia ser correlacionável na expressão de “massa vezes a velocidade”, o que para Leibniz parecia ser um erro. Leibniz era contra a ideia de um movimento se conservando eternamente, porque seria um movimento perpétuo; mas ao longo de sua obra desenvolveu uma noção que expressava haver uma parte dessa força em processo de transferência, que ele chamaria de *vis viva*. Ou seja, haveria uma parte desta força que permaneceria em transferência. E essa conservação ocorreria na expressão de “massa vezes a velocidade ao quadrado”. Leibniz tinha uma explicação para a sua *vis viva*: há uma transferência de força e não a conservação eterna de movimento. A ideia de Leibniz de certa forma foi precursora e é funcional ao pensarmos na energia cinética dentro de sistemas.

No século XX outra importante contribuição sobre a ideia de conservação, foi a proposta de Emmy Noether, matemática alemã que elaborou teoremas matemáticos que descrevem as conservações como sistemas de simetria matemática das leis científicas. Seu teorema descreve que as ideias de conservação estão associadas às simetrias nas leis da física. Ou seja, como processos de permanência: em outras palavras, de invariância (cf. Moreira, 2019, p. 2). Neste sentido a simetria, ou as invariâncias, são quando leis permanecem válidas mesmo sob aspectos dife-

rentes, ou variações. Por exemplo: ela pode ser de ordem rotacional, se estivermos falando de alteração espacial, ou de ordem temporal. Neste sentido, uma lei é invariante mesmo se manter-se funcionando apesar de variações temporais ou espaciais.

Noether desenvolveu o seu primeiro teorema em 1918 inspirada nos resultados da teoria da relatividade de Einstein e chegou à conclusão que cada uma das ideias de conservação estão associadas a simetrias dentro de leis da física. Para Noether a *conservação de energia* está associada a uma simetria temporal.

Essa concepção é muito importante de pontuar pois a ideia de *conservação de energia* passou por períodos de crise, como cita Abraham Pais. Segundo Pais entre os períodos de 1898 e 1930 foram três crises. A primeira relacionada à descoberta da radioatividade, a segunda envolvendo a explicação do decaimento beta e por fim a estruturação e o desenvolvimento da Mecânica Quântica (cf. Pais, 1988, p. 105). O teorema de Noether fixa mais uma explicação do *princípio de conservação* como fundamento e explica como não somente esse princípio está intrínseca e matematicamente fundamentado em uma ideia de simetria em leis científicas, mas também como outros princípios de conservação da física estão.

A ideia de um *princípio de conservação de energia* parece, portanto, fruto de diversos programas e se consolidou como um princípio aceito metodologicamente em *programas de pesquisa* da termodinâmica. Sua fundamentação foi tão eficaz para descrever aspectos da natureza que se tornaram pontos protegidos de refutação e conseqüentemente ganhou um *status* ontológico como algo existente para aqueles que são de programas com o *princípio de conservação* enquanto núcleo duro.

A filosofia de Imre Lakatos

A filosofia de Imre Lakatos situa-se nas discussões da década de 1960, quando o mundo filosófico já conhecia o racionalismo crítico de Popper, como também acabara de conhecer a proposta de Thomas Kuhn. Podemos recordar rapidamente sobre a filosofia da ciência de Popper, onde a falseabilidade é colocada como um critério de demarcação do que é científico: uma teoria deve ter a possibilidade de ser posta à prova e, se necessário, falseada. Sendo falseada, opta-se por outra teoria que também passará pelo crivo da falseabilidade. Uma teoria que passa no critério de falseabilidade é corroborada. A corroboração tem um peso semântico diferente de verificação – sendo este último um outro critério presente no Círculo de Viena em torno da década de 1930.

O critério de verificabilidade foi proposto pelo chamado Círculo de Viena e definiria o que seria científico e o que não seria – algo de ordem da ciência deveria ser verificável, ou seja, estar de acordo com a experiência (*cf.* Hahn et al, 1929, p. 12). Se não estiver de acordo com a experiência careceria de sentido e não seria científico. O Círculo de Viena foi um grupo de filósofos e cientistas que discutiram sobre assuntos sobre filosofia da ciência, metafísica e se inspiraram em filósofos como Hume, Poicaré etc. O Positivismo Lógico foi uma corrente filosófica desenvolvida inicialmente no Círculo de Viena e tinha a pressuposição sobre a verificação; criando assim um critério demarcador para o que seria considerado como algo científico. Os adeptos do Círculo de Viena rejeitaram metafísicas, sob a alegação que não tinham sentido real.

O verificacionismo foi criticado por Popper, que sugeriu uma nova forma de demarcação científica, que é o critério de falseabilidade. Para se falar do critério popperiano é importante lembrar sobre a indução e o problema relacionado a ela: a indução é uma forma de raciocínio cujas conclusões estão embasadas em elementos particulares (*cf.* Popper, 2013, p. 27), sendo conhecida desde a antiguidade. Para Popper a fundamentação da ciência neste tipo de raciocínio era particularmente problemática, pois esbarra em um problema que ele mesmo chama de

problema da indução (cf. Popper, 2013, p. 27). Tal problema versa sobre as justificações por base de uma lógica indutiva – onde a indução não é suficiente para garantir o conhecimento, pois a justificação de um conhecimento por base na indução levaria a uma “regressão infinita se apelarmos para a experiência com o propósito de justificar *qualquer* conclusão concernente a instâncias não observadas” (Popper, 2013, p. 339). Este problema se funda no fato que uma observação não apoiaria causalmente um efeito, que foi estabelecido por Hume.

Hume definiu em seu “*Tratado sobre a natureza humana*” que é por hábito que fazemos essa suposição da causa e efeito (cf. Hume, 2009, pp. 180-187). Este hábito é de ordem indutiva, se assim for a indução não garante a passagem de causa para efeito, sendo o hábito um elemento psicológico que nos impulsiona a compreender um efeito como se fosse de uma certa causa. Sabendo dos problemas existentes com a indução Popper sugere que o critério da verificabilidade do Positivismo Lógico é insuficiente e propõe o seu critério de falseabilidade, que usaria uma implicação dedutiva, ao invés de fundamentar-se em um princípio indutivo com tais falhas.

A lógica da pesquisa em Popper utiliza a lógica dedutiva como critério de demarcação, de forma que é aplicada uma implicação em *modus tollens*. As implicações, como deve-se lembrar, podem ser em *modus ponens* e *modus tollens*: sendo o *modus ponens* algo como “Se P então Q, há P, então ocorre Q” e no *modus tollens* aplica-se um formato negativo “Se P então Q, não há Q, então não ocorre P”. Podemos reescrever o *modus tollens* da seguinte forma “Se a teoria ‘T’ então há previsão ‘P’, não ocorre a previsão ‘P’; logo não ‘T’”. A utilização do *modus tollens* permite o uso de uma lógica aplicada ao método científico, de forma que o antigo problema da indução é evitado.

Dentre várias críticas e desdobramentos argumentativos, uma das dúvidas que pairava na teoria de Popper era a questão sobre a história da ciência, a qual muitas vezes não estava de acordo com o que se propunha numa lógica da ciência popperiana; em outras palavras a sua filosofia poderia ser acusada de não apontar adequadamente como a ciência era, mas sim como ela deveria ser – o critério de Popper foi considerado

por autores, como é o caso de Lakatos, como restritivo e não abarcando boa parte da história da ciência. Popper, obviamente, rebateu as críticas a respeito, mas tais críticas pavimentaram outras formas de pensar a ciência e sua prática.

A proposta de Thomas Kuhn, presente inicialmente em seu livro “*A Estrutura das Revoluções Científicas*”, lançado em 1962, trouxe ao debate um foco que Carlos Moulines, filósofo da ciência, chama de fase historicista^{II} da filosofia da ciência, ocorrida na década de 1960 (cf. Moulines, 2020, p. 128). Essa fase historicista não tira o fato que já tenham ocorrido outros filósofos que tenham trabalhado a história da ciência, como cita Moulines em sua análise sobre a obra de Bachelard (cf. outlines, 2020, p. 49), no entanto marcou uma nova forma de abordar o debate nos círculos de filosofia daquela década. Em sua filosofia, Kuhn carrega consigo alguns conceitos interessantes como a ideia de *paradigma*, que funciona como uma grande matriz disciplinar; a *ciência normal* como um empreendimento que conserva seu modo de operar (paradigma) e ver o mundo pesquisado – funcionando como uma grande empreitada de solução de problemas; o conceito de *anomalia* que demarca os problemas não solucionados pelo modo de operar vigente de uma ciência; e o conceito de *ciência extraordinária* que está associado a um período de *revolução* científica, onde ocorre a alteração de um *paradigma* por outro.

Kuhn também enfrentou críticos, sendo uma das críticas levantadas a questão do seu múltiplo uso e significado do termo *paradigma*. Tal termo demonstrou inicialmente várias possibilidades de uso, que depois foi explicado por Kuhn como pertencente a dois critérios mais básicos: correspondendo a uma matriz disciplinar e a uma questão da produção de modelos científicos.

Na análise historiográfica que resultou neste artigo foi utilizada a filosofia de Imre Lakatos. Lakatos concordou em alguns pontos tanto com

II Este é um termo utilizado por Carlos U. Moulines para descrever uma fase do desenvolvimento da filosofia da ciência no século XX em seu livro “O desenvolvimento moderno da filosofia da ciência (1890–2000)” e não deve ser confundido com o termo também empregado para descrever a corrente filosófica alemã do século XIX.

Kuhn quanto com Popper – levantando críticas a ambos e construindo outra forma de analisar a ciência; em sua proposta procurou manter o pressuposto que ela contém uma racionalidade: para ele a racionalidade está no processo científico e devemos fazer uma abordagem dentro da história da ciência, de maneira que possamos fazer uma *reconstrução racional* dos processos históricos. Ou seja, é possível que algumas escolhas que findam ou que se desgastam dentro da ciência tenham sido escolhas racionais.

Lakatos foi um dos críticos a Popper e afirmava que a filosofia popperiana não era corroborada pela história da ciência. Desta forma, Lakatos acaba desenvolvendo uma linha argumentativa em que ele mostra uma análise de outras teorias da ciência sob a luz da história reconstruída. Acaba por fazer uma meta análise sobre a filosofia da ciência, onde, pelo critério popperiano, a teoria de Popper seria invalidada^{III}.

Para Lakatos, a proposta metodológica de Popper explica o funcionamento de uma heurística^{IV} universal da ciência, no qual a própria ciência se comportaria como um único e grande programa. Seria possível supor sempre o aumento do conteúdo empírico das teorias em relação as anteriores (cf. Lakatos, 1979, p. 162). Lakatos considerava o critério de falseabilidade de Popper como uma filosofia que resultaria em reconstruções falhas (cf. Lakatos, 1998, p. 51), mas reconhece que houve um progresso em Popper frente a outras metodologias anteriores.

A temática de *reconstrução racional* é importante dentro da filosofia lakatosiana porque entende que há uma grande *história externa* que pode ser recontável por análises teóricas e historiográficas e deve ser conduzida sob uma análise filosófica, de modo que manifeste o que ele chama ser uma *história interna* – que é interna à prática científica e de seus desenvolvimentos. A *história externa* é vista por Lakatos como algo se-

III Esta meta análise está presente, por exemplo, em seu livro “*História da Ciência e suas reconstruções racionais*” (cf. Lakatos, 1998, pp. 45-61).

IV Termo muito utilizado por Lakatos. Há uma definição mais ampla que está relacionada com o processo de descoberta, de pesquisa, mas também pode ser entendida como um termo técnico da filosofia lakatosiana que define duas formas de descoberta – a heurística positiva e a negativa; que estão explicadas no corpo do artigo.

cundário, sendo primária a *história interna*. Em outras palavras a *história interna* é decorrente da aplicação de análises filosóficas e historiográficas. Dependendo da metodologia de análise da prática científica, pode ocorrer, segundo Lakatos, a necessidade de recorrer mais ou menos a outras histórias externas (cf. Lakatos, 1998, p. 21); sendo assim uma metodologia mais eficaz consegue explicar o desenvolvimento da ciência com menos recorrência a *histórias externas*. A história da ciência para ele depende da filosofia da ciência como esta também depende da história da ciência.

Em alguma medida isso pode parecer um círculo vicioso, ou um processo falacioso como uma *petição de princípio*. No entanto, Lakatos provavelmente tinha em mente que esse processo ocorria de forma *dialética* – para sermos mais fiéis a ele, a palavra *heurística* deve ser empregada; que é a palavra por ele utilizada para explicação dessa dialética. Descreve, portanto que a *reconstrução racional* deve ser feita e depois relacionada com a história da ciência de forma que se possa fazer uma análise da reconstrução. Essa análise da reconstrução pode apontar se ela falha com a historicidade, como também pode demonstrar se a história falha nos critérios de racionalidade. Este processo de dependência da história da ciência para a reconstrução racional, bem como da reconstrução conduzida pela história da ciência podemos apontar como uma dialética.

Diz Lakatos:

Ao redigir o estudo de um caso histórico deve-se, creio eu, adotar o seguinte procedimento: (1) faz-se uma reconstrução racional; (2) tenta-se cotejar essa reconstrução racional com a história real e criticar tanto a reconstrução racional por falta de historicidade quanto a história real por falta de racionalidade. Dessa maneira, todo estudo histórico deve ser precedido de um estudo heurístico (Lakatos, 1979, p. 169).

Pode-se entender a filosofia da ciência de Lakatos como uma síntese entre o pensamento de Popper e o de Kuhn, como defendeu Paul Feyer-

rabend – filósofo da ciência que correspondeu com Lakatos e também levantou críticas à sua filosofia.

Lakatos compreendia que uma filosofia da ciência não podia ser um ditame para a prática científica, neste sentido uma posição até parecida com a de Feyerabend: no entanto, ele não estava disposto abrir mão do conceito de racionalidade. Neste sentido, desenvolveu um argumento em que compreendia que a racionalidade científica não era instantânea, e sim posterior. O processo de descoberta científica não tinha como obter uma justificação imediata e instantânea. O processo de verificar a racionalidade é posterior e é histórico para Lakatos. Por isso ele chama de *racionalidade não instantânea*. A *reconstrução racional* ocorre, portanto, sempre de forma posterior, de forma histórica – com análises históricas – e não de forma imediata, porque a racionalidade não é instantânea.

Esta forma de pensar está de acordo com a forma que Lakatos compreendia a dinâmica científica: a unidade do desenvolvimento científico não eram teorias como acreditava Popper. A unidade científica, para ele, é um *programa de pesquisa científico*, que se desenvolve em uma racionalidade histórica. O *programa de pesquisa* é basicamente uma série de teorias que estão atreladas a um modelo metodológico.

Um *programa de pesquisa* funciona como um conjunto ordenador para a produção de teorias e como a pesquisa deve ocorrer; como um amplo modelo metodológico. *Programas de pesquisa* podem ser concorrentes e não significa que uma surge apenas quando a outra deixa de existir – isso é uma diferença bem interessante se compararmos com o pensamento de Thomas Kuhn, em que um *paradigma* surge quando outro colapsa (obviamente passando pelo processo de revolução).

Os *programas de pesquisa* podem concorrer entre si e podem ter uma gama diversa de dinâmicas – pode um se enxertar em outro; como também pode um programa crescer e outro diminuir de acordo com a capacidade preditiva e capacidade teórica. Um programa pode ser extinto e outro pode nascer em decorrência. Enfim, diversas possibilidades. Lakatos diz que “De fato, alguns dos mais importantes programas de pesquisa da história da ciência se enxertavam-se em programas mais

antigos com os quais eram francamente incompatíveis” (Lakatos, 1979, p. 174). Sobre esta possibilidade de um programa enxertar-se em outro, Lakatos afirma que o programa da Mecânica Quântica foi um destes casos, mas obteve um nível maduro com o passar do tempo (Lakatos, 1979, pp. 174-175).

Sobre o programa da Mecânica Quântica podemos rapidamente descrever que uma das questões que causou seu início foi o estudo da radiação do corpo negro. Corpo negro pode ser explicado como um corpo que, em teoria, absorveria toda a radiação térmica que fosse exposta a ele e que emitiria uma radiação específica. O problema reside no fato que, ao se tentar explicar a radiação emitida usando as teorias vigentes da época chegava-se a alguns paradoxos, como no caso da emissão em ultravioleta. Em 1900, Max Planck introduziu a noção de *quantum*, que possibilitou o entendimento do problema do corpo negro de forma mais satisfatória. Ainda sobre o Programa de Pesquisa da Mecânica Quântica pode-se afirmar que não foi desenvolvido apenas por Planck: Niels Bohr também esteve envolvido profundamente no desenvolvimento do programa da Mecânica Quântica – o seu modelo atômico foi fundamentado nos *quanta* de Planck. Outros cientistas, como o próprio Pauli, também contribuíram na construção deste programa; em alguns casos com divergências sobre a interpretação e a estruturação teórica entre os físicos que contribuíram.

Além da noção de pacotes de energia como um fundamento para a Mecânica Quântica, a introdução da noção de incertezas ocorridas no mundo subatômico – ao menos em relação a uma noção mais clássica do que seria uma certeza – serviu como fundamentação. O princípio de incerteza de Heisenberg, de 1927, explicita que a determinação de uma informação, como a velocidade de uma partícula, implica na incerteza de sua velocidade.

O princípio de complementaridade, de 1928, também faz alusão ao caráter fundamental de uma incerteza. Foi desenvolvido por Niels Bohr e diz sobre o estado das partículas subatômicas, cujas características de, ora se comportar como onda, ora como partícula, são complementares e não contraditórias. A luz pode ser descrita como onda a depender do

experimento, como ocorre no caso da experiência da dupla fenda: com tal experiência, pode-se pressupor, *grosso modo*, a luz transmitida em ondas; se for aplicada um feixe de elétrons, também é possível ver uma refração dos elétrons, comportamento que seria similar a propagação por ondas. Ora a luz pode se comportar como partícula (como é o caso do efeito fotoelétrico, explicado por Einstein em 1905, onde é possível compreender a luz como composta por partículas, ou pequenos pacotes de energia chamados de *fótons*), ora como onda.

Além da possibilidade de programas se desenvolverem em concorrência com outros, ou se enxertando etc. há outras formas compreender suas dinâmicas. Lakatos trabalhou os conceitos de *programas progressivos* e *programas degenerativos*. Estes conceitos são aplicados ao analisar historicamente (portanto, de forma posterior) o desenvolvimento dos programas. *Programas progressivos* podem ser em dois tipos; *teoricamente progressivos* e os *empiricamente progressivos* (cf. Lakatos, 1979, p. 144). São *teoricamente progressivos* se, observando a série teórica, nas novas teorias houver uma previsão de fato novo e serão *empiricamente progressivas* se dentre essas novas previsões (de um programa já *teoricamente progressivo*) houver *corroboração*, levando a uma constatação de descoberta factual.

Lakatos afirma “É *teoricamente progressivo* se cada modificação conduzir a novas e inesperadas predições, e é *empiricamente progressivo* se pelo menos algumas destas novas predições forem corroboradas” (Lakatos, 1998, p. 91). Um programa efetivamente progressivo atende a estes dois critérios (cf. Lakatos, 1998, p. 144) e ela pode ser considerada científica se atingir pelo menos o *status* de *teoricamente progressiva* (cf. Lakatos, 1998, p. 144). Em contrapartida um programa em processo *degenerativo* é aquele que não alcança a característica de *progressiva*, inclusive fazendo uso de “manobras *ad hoc*” (Lakatos, 1998, p. 91): *ad hoc* são alterações performadas após os conteúdos teóricos serem falseados e não conseguirem dar conta de explicar fenômenos, conseqüentemente não trazendo conteúdo empírico, com a finalidade de deixar uma teoria ainda em uso – exemplo disso foram os epiciclos na teoria ptolomaica. É importante citar que essa dinâmica entre programas que são progressivos ou que estão degenerativos podem terminar na

suplantação de um programa degenerativo que alcançou um ponto em que não tem como retornar, por outro que está em pleno progresso (cf. Lakatos, 1998, p. 33).

Os *programas de pesquisa científica* possuem algumas características que são um *núcleo duro*, um *cinturão protetor* e *heurísticas* (que são formas metodológicas de como proceder uma pesquisa). O *núcleo duro* de um programa de pesquisa é justamente um conjunto de pressupostos, asserções que não vão ser falseados, portanto não se dirige o *modus tollens* ao *núcleo duro* (cf. Lakatos, 1979, p. 163). Desta forma podemos definir o *núcleo duro* como uma série de pressupostos que são decididos como elementos norteadores do processo científico dentro do programa. Podem ser valores, leis etc. Neste sentido, o programa quântico é caracterizado por um *núcleo duro* cujas asserções são compostas pela noção de transferência de energia por meio dos *quanta*, associada a concepções probabilísticas. Depois da concepção do princípio da incerteza, em 1927, podemos suspeitar que este passou a ser também a ser um candidato da composição do *núcleo duro* do Programa Quântico pós-1927. Lakatos afirma:

Todos os programas de pesquisa científica podem ser caracterizados pelo “núcleo”. A heurística negativa do programa nos proíbe dirigir o *modus tollens* para esse “núcleo”. Ao invés disso, precisamos utilizar nosso engenho para articular ou mesmo inventar “hipóteses auxiliares”, que formam um *cinto de proteção* em torno do núcleo, e precisamos redirecionar o *modus tollens* para elas. É esse cinto de proteção de hipóteses auxiliares que tem de suportar o impacto dos testes e ir se ajustando e reajusando, ou mesmo ser completamente substituído, para defender o núcleo assim fortalecido [sic] (Lakatos, 1979, p. 163).

Outro componente dos *programas de pesquisa* são as *hipóteses auxiliares* que atuam no chamado *cinturão protetor* – que orbitam esse núcleo duro. Elas podem ser alteradas conforme houver necessidade das *heurísticas* que também habitam esse cinturão. Lakatos estipula duas *heurísticas* – uma positiva (que deve orientar a construção de novas teorias

e hipóteses com a função de superar os problemas e anomalias: a *heurística positiva*, portanto, sugere a linha a ser investigada) e uma *heurística negativa* (que é capaz de especificar um *núcleo duro* ou ainda onde e quais hipóteses podem ser alteradas para manter o funcionamento do programa; ou seja, quais caminhos deve-se evitar).

A estrutura como Lakatos dispõe a sua filosofia permite entender que há racionalidade até mesmo em momentos de *dogmatismo* dentro da ciência, quando há ocorrência da *tenacidade* que é, em outras palavras, manter-se fiel a um programa, mesmo quando se encontra diversas anomalias. Para Lakatos é “perfeitamente racional participar de um jogo arriscado: o que é irracional é iludirmo-nos sobre o risco” (Lakatos, 1998, p. 39). O processo de *tenacidade* inclusive pode ser racional porque pode acontecer de um programa que aparentemente estava degenerativo, se tornar progressivo e voltar a ter novos conteúdos preditivos com sucesso. É justamente a existência de casos com *tenacidade* que fez Lakatos dirigir críticas a um *falseacionismo*^V mais simplificado. Lakatos acreditava que o critério de Popper era de um tipo mais ingênuo e que deixava de compreender a racionalidade de ações que seriam racionais, numa análise posterior. No entanto, Lakatos ainda via valor num meta critério falseacionista como possibilidade de análise do conteúdo empírico de um programa. Por este motivo ele também chamava a sua “*Metodologia de Programas de Pesquisa*” de “*falseacionismo metodológico sofisticado*” (cf. Lakatos, 1979, p. 141).

A história do neutrino

De volta ao neutrino, a proposta de sua existência, como anteriormente falamos, estava envolvida na manutenção do *princípio de conservação de energia* que tem funcionado muito bem desde seu surgimento na termo-

V Neste artigo por vezes segue a nomenclatura empregada por Lakatos durante o texto de seu *Falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica*, presente no livro *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*.

dinâmica. No entanto, a radiação *beta* era uma anomalia que não parecia concordar com a existência deste princípio. Ou o princípio falha em algum sentido, precisando ser revisitado, ou há a existência da emissão de outra partícula além do elétron para que a energia cinética de todo sistema seja compreendida como conservada. Este dilema de “ou existe uma partícula, ou revisitamos o princípio” virou uma controvérsia científica entre Pauli e Bohr: justamente porque Bohr já investigava uma nova possibilidade de compreender o *princípio de conservação de energia* em uma maneira estatística.

A proposta que Pauli apresentou não foi totalmente vista como uma solução definitiva por ele mesmo, como nos aponta Abraham Pais em *Inward Bound: Of Matter and Forces in the Physical World* (1988) e também como uma medida “desesperada”, como consta em sua carta para uma conferência de Físicos Nucleares (cf. Pauli *apud* Pais, 1988, p. 315)^{VI}. Embora essa desconfiança na existência de sua partícula, Lakatos elogiou como uma atitude com “méritos metodológicos” (Lakatos, 1979, p. 209), ou seja, dentro de uma análise de *programas de pesquisa* pode-se entender essa proposta como algo com méritos e plenamente racional.

Pauli parecia encarar que o *princípio de conservação de energia* era algo real e apesar da necessidade funcional de propor uma partícula para manter a matemática do fenômeno, ele parecia compreender a necessidade de continuar com um *princípio* funcionando de forma inabalada: neste aspecto, em nossa pesquisa, adotamos que o *princípio de conservação de energia* pode ser um candidato forte a compor o *núcleo duro* do *programa de pesquisa* que Pauli participava. Corrobora essa visão o fato que Pauli se questionava de sua proposta: ou seja, questionar se a partícula realmente existia era de uma importância ímpar para garantir também a existência do *princípio de conservação de energia*.

VI “Caros senhores e senhoras radioativos, encontrei uma saída desesperada em relação às estatísticas “erradas” dos núcleos N- e Li-6, assim como ao espectro β contínuo, a fim de salvar a “lei da alternância” das estatísticas e da lei da energia. [...] Admito que minha saída talvez não pareça muito provável, a priori, visto que, provavelmente os neutrons já teriam sido encontrados há muito tempo, se eles existirem [...]” (Pauli *apud* Pais, 1988, p. 315, traduções nossas).

A descoberta do neutrino envolve uma história interessante e os desdobramentos das pesquisas sobre esta partícula também são igualmente fascinantes. Como já dissemos a partícula foi proposta como uma forma de garantir a continuidade do *princípio de conservação de energia* com o fenômeno da emissão de radiação *beta*. Lembramos que além da radiação beta, existem a radiação *alfa* – que é a emissão de um núcleo de hélio inteiro com seus dois prótons e dois nêutrons a partir de outro núcleo maior e mais instável; e a *gama*, que é uma radiação eletromagnética a partir de um núcleo instável. A *beta*, por sua vez também está relacionada a um núcleo instável, mas é um elétron, ou um pósitron emitido – o pósitron é uma antipartícula do elétron, sendo antipartículas definidas como partículas que mantêm algumas características similares da partícula em questão e outras contrárias (o pósitron possui *spin* e *massa* iguais do elétron, porém *carga* diferente).

A descoberta da emissão da radiação beta ocorreu por volta de 1914 e desde então foram efetuadas muitas propostas e experimentações que tentaram explicar sua natureza. Em 1930 Pauli propôs a existência de uma partícula que, quase sem massa e sem carga elétrica conseguiria manter as equações do *princípio de conservação de energia*.

A partir de 1933 o físico italiano Enrico Fermi nomeou a partícula de *neutrino* pois até então ainda era chamada de *nêutron*. Nome que poderia confundir o leitor com o *nêutron* que conhecemos hoje; no entanto o *nêutron* que conhecemos atualmente foi descoberto apenas em 1932 e trata-se de outra partícula. Fermi também efetuou alguns cálculos que confirmavam a proposta do neutrino dentro de transformações do núcleo atômico com emissão *beta*: quanto mais próxima a zero for a massa do neutrino, mais os cálculos ficavam de acordo com o fenômeno. Em 1933 Fermi também trabalhou no conceito de *força fraca* sendo esta força a responsável por radiações atômicas. Para lembrar, são quatro forças que a física estipula: a forte que mantém o núcleo; a gravitacional; a eletromagnética; e a fraca. Em 1936 Bohr já admitia a possibilidade do neutrino, mas antes deste período viveu momentos de controvérsia onde acreditava que seria possível ter que rever o conceito de *conservação da energia*; por exemplo, no período em que Pauli pro-

pôs uma nova partícula para explicar a radiação *beta*, Bohr trabalhava em uma revisão do *princípio de conservação de energia*. Em 1936, mesmo com Bohr já admitindo a possibilidade do neutrino, Paul Dirac ainda criticava a proposta porque era uma partícula considerada inobservável.

Em 1956 através de um experimento de Reines e Cowan os neutrinos foram finalmente “observados” através de uma captura muito interessante. O projeto tinha o curioso nome de *Poltergeist*, e tinha em mente capturar a partícula “fantasma”. Já se conhecia a força fraca e sabia-se que ela estava relacionada com a emissão dos neutrinos, além de outras emissões nucleares. Portanto apesar da neutralidade de carga elétrica e da falta de massa dessa partícula, ela, em tese, poderia ser observada se conseguisse interagir através da força fraca. O físico Bruno Pontecorvo em 1946 havia imaginado uma forma de capturar neutrinos através dessa fraca interação com a matéria: um grande tanque com isótopo de Cloro-37 poderia detectar quando houvesse uma ou outra interação transformando esse isótopo em Argônio-37. O experimento de Reines e Cowan não usou cloro, mas sim cloreto de cádmio, mas o princípio era o mesmo. Através dessa fraca interação, quando ela ocorresse, um súbito clarão seria produzido. Para isso era necessário ter uma emissão controlada e massiva de neutrinos de um lado e um tanque contendo o cloreto de cádmio de outro. Fizeram isto no reator de Savannah River Site, no estado de Carolina do Sul nos Estados Unidos: ao acionar o reator era possível observar no tanque um ou outro clarão que ocorria e deveria ser observado por fotorreceptores. A luminosidade ocorre quando um ou outro neutrino *consegue* interagir criando outra partícula, como é o caso do surgimento de elétrons durante o processo de interação. Durante o experimento muitos neutrinos passam direto sem interação, mas quando ocorre uma dessas interações o clarão surge por conta do efeito Cherenkov: que é quando uma partícula carregada percorre um meio com velocidade superior à da luz – é como uma pequena onda de choque (lembramos que a velocidade da luz em meios físicos é menor que a velocidade no vácuo).

A história da pesquisa científica sobre os neutrinos também tem discussões sobre a velocidade da partícula – como foi o caso ocorrido durante a detecção de neutrinos a partir de uma supernova que explodiu em

1987. Neste caso os neutrinos foram detectados antes da própria luz da explosão da supernova; o que estava mais relacionado com o fato de haver prováveis nuvens de poeira que bloquearam a luz por um tempo, enquanto os neutrinos puderam correr praticamente livres sem interagir com as coisas. Outro questionamento ocorreu em 2007 no Fermilab nos Estados Unidos quando houve uma detecção de velocidade que parecia estar mais veloz que a luz – o que seria um problema pois estaria contra o limite da velocidade da luz presente nas teorias da relatividade. Apesar do alarde, em 2012 fizeram um aperfeiçoamento no equipamento, resultando em dados mais precisos de forma que a velocidade do neutrino era menor que a da luz, como se prevê.

Em 2011, no CERN, houve uma detecção de neutrinos mais velozes que a luz. Os resultados geraram artigos, relatórios e uma série de propostas que conjecturaram a possibilidade de neutrinos serem mais rápidos que a luz. Estas propostas foram se multiplicando, ao mesmo tempo que outros cientistas viam os dados com completa desconfiança. Este caso pode ser explicado lakatosianamente como ocorrências com presenças de anomalias que suscitaram aplicações de *heurísticas* para a defesa de elementos não falseáveis como é o caso do pressuposto sobre a velocidade da luz. Apesar de toda esta movimentação, o laboratório de pesquisa de partículas admitiu tempos depois que houve um erro em sua medição, o que resultou na demissão do porta-voz do experimento. A história do neutrino também é marcada pela descoberta dos neutrinos solares: o Sol emite por segundo bilhões de neutrinos que passam por nós muitas vezes quase sem nenhuma interação. Estes neutrinos podem mudar de tipo; um fenômeno conhecido como oscilação dos neutrinos solares. São três tipos de neutrinos solares e eles permutam entre os tipos enquanto se propagam. Outra coisa nesta história que é interessante citar é o fato dos detectores de neutrinos que foram aperfeiçoados; hoje em dia temos o funcionamento do Super Kamiokande no Japão, mas outros estão em construção, como o da Sibéria no Lago Baikal, ou como o ANTARES, dentre outros que já existiram: todos eles são baseados no fato que se precisa ter o trânsito de muitos neutrinos para um ou outro interagir e com isso ter uma leve detecção.

As posições epistemológicas de alguns envolvidos

Em nossa pesquisa ainda analisamos as visões possivelmente realistas de Pauli, que compreendia o *princípio* como algo real e tinha preocupações com a sua proposta de partícula; era preocupante a ele que a partícula proposta pudesse ser detectável e que não passasse como uma artificialidade teórica. Analisamos também a visão de Bohr que no período de sua controvérsia pareceu desenvolver uma visão mais pragmática do *princípio* a ponto de sugerir uma versão estatística. Neste aspecto é possível delimitar no contexto da proposta do neutrino (bem como na controvérsia assumida entre a existência, ou não, de tal partícula) como os pares científicos encararam a proposta teórica do neutrino e do *princípio de conservação de energia*.

O debate entre realismo e antirrealismo científico versa sobre como as teorias, postulados científicos etc. são considerados – se reais ou não. Para um realista científico as teorias ou as entidades inobserváveis (como é caso do neutrino) podem ser reais. Existe uma gama de realismos científicos, que podem ser, por exemplo, desde um realismo de entidades – como ocorre com Ian Hacking – até mesmo a um realismo mais radical. Da mesma forma existem diversos tipos de antirrealismos.

Para Hacking o realismo possui três características^{VII} (cf. Hacking, 1996, pp. 46-47), sendo uma destas características um elemento ontológico, ou seja refere-se quanto a existência ou não de teorias, postulados ou ainda partículas; tornando-as verdadeiras ou falsas. O elemento causal refere-se a argumentação realista que afirma *se as teorias são verdadeiras então os termos teóricos apontam elementos causadores de fenômenos*. Já a característica epistemológica se refere às justificações que podemos ter em teorias ou nas entidades.

O realismo de entidades presente em Hacking postula que as entidades inobserváveis como no caso do nêutron, do elétron, são elementos que representam a realidade e se aproximam dela. Postula que é com

VII O esquema é originalmente de W. Newton-Smith (cf. Hacking, 1996, p. 46), mas endossa em seu argumento.

as representações que podemos construir nossa realidade e que a constatação da realidade dessas entidades se dá no passo em que podemos intervir nas mesmas. Segundo esse filósofo as intervenções que fazemos serve de fundamento para assegurar a realidade de tais representações, que são as entidades inobserváveis.

Em contrapartida a realismo teórico, em parte de suas vertentes, estabelece que a teorias são reais, mesmo que por verossimilhança – ou seja por algum tipo de aproximação. Esse tipo de realismo está preocupado com a veracidade, ou possibilidade de testes, de uma teoria para que seja demonstrada que ela possui alguma razão em descrever nossa realidade.

O antirrealismo também é um campo muito vasto, podendo compreender por exemplo o instrumentalismo que alega serem as teorias científicas como construções que possuem alguma utilidade e que não necessariamente descrevem um elemento ontológico ou que representem uma causalidade de fato entre as coisas. Para essa corrente é possível apontar que a as teorias são elementos com certa eficiência explicativa e que por vezes estão associadas entre si, convencionadas. A chave para a compreensão aqui não é se há um elemento ontológico que a teoria representa, mas na possibilidade de explicar, de forma eficiente, sendo assim apenas um instrumento.

Há diversos argumentos tanto para os sabores antirrealistas, quanto para os realistas que tentam demonstrar falhas em um ou outro modo de interpretar as ciências; como é o caso do Argumento do Milagre de Hilary Putman que *grosso modo* estabelece que compreender o sucesso de diversas explicações científicas devem apontar um nível de realidade, pois do contrário deveríamos adotar a possibilidade de milagres para entender o sucesso das diversas explicações científicas. O debate filosófico entre realismo e antirrealismo é amplo e por muitas vezes pode não ser importante para muitos físicos que estiverem a produzir a sua ciência. No entanto, é interessante analisar as posições (que chamamos em nossa pesquisa de *posições epistêmicas*) que estavam envolvidas durante a prática científica. Neste sentido, verificar se os cientistas ‘a’ e ‘b’ se comportaram ou exprimiram uma noção de natureza (e de sua prática

científica) como algo real ou como algo pragmático, pode apontar como alguns pressupostos constroem seu *programa de pesquisa*. Salienta-se que a definição de tais posições ajuda a compreender como a prática científica em determinados *Programas de Pesquisa* acontecem e como estes *programas* estão estruturados. Lembramos que um *Programa de Pesquisa* pode conter *núcleo duro* que são asserções em que não se dirige a refutação – e que pode conter diversos pressupostos, como é o caso do *princípio de conservação de energia*. Em alguns casos pode existir um elemento candidato a *núcleo duro* como em outros esse mesmo elemento teórico pode ser uma teoria mais auxiliar – podendo ser alterada. Os valores das posições epistêmicas podem eventualmente fazer parte da estrutura destes *programas* de forma que interferem na produção de tal prática científica.

A solução de Pauli para o problema da emissão beta foi pragmático no sentido que resolveu o problema matemático envolvido para manter o funcionamento do *princípio de conservação de energia*, no entanto isso não significa que a sua proposta seja de fato pragmática. A proposta para salvar o princípio se deu para não apenas manter a *aparência*, mas também porque havia a possibilidade de ser uma escolha metodológica para manter o *status* de realidade para o *princípio de conservação de energia*. É possível contra-argumentar, apontando um possível Pauli que agiria por um mero pragmatismo em sua escolha, mas outro ponto pode ajudar na compreensão de seu posicionamento epistêmico: Pauli tinha dúvidas se sua proposta de neutrino tinha sido acertada – para ele, a apresentação de uma partícula que em sua época acreditava-se não ser detectável, era motivo para sua suspeita se essa era uma forma adequada de produzir sua física; assim parece nos apontar um Pauli preocupado com a realidade da entidade ali postulada. Sendo um realista, para sua proposta de neutrino, é possível que a motivação da sua “salvação” ao *princípio de conservação de energia* não haveria de ser apenas por uma proposta pragmática, mas também por possivelmente entender que o *princípio* é um fenômeno real na natureza – embora não possamos apontar como uma entidade, mas sim como um fenômeno.

Bohr, por outro lado, estava envolvido num novo *programa de pesquisa*, e aceitava a proposta de rever o *princípio de conservação de energia*

de modo que este deveria ter um comportamento mais estatístico. Por este motivo supunha que poderia desenvolver uma noção de *conservação* mais adequada à Mecânica Quântica. Bohr participou de controvérsias científicas com Pauli sobre a manutenção da visão tradicional do *princípio de conservação de energia*, como também esteve em controvérsia sobre a interpretação da Mecânica Quântica com Albert Einstein (e ainda com outros cientistas). Em Einstein, pode-se notar nuances de algum nível de realismo; enquanto em Bohr, às vezes parece transitar entre posições pragmáticas.

Essa transição de Bohr é complexa, porque de fato por vezes defendeu posições em que o *princípio* deveria ser revisto porque não *funcionava* a contento com a abordagem empregada em sua Mecânica, ou as vezes parecia estar buscando uma nova ontologia do *princípio* de forma que isso poderia ser uma ação categorizada como a de um realista. É importante lembrar que Bohr acreditava na limitação da linguagem para descrever o mundo quântico; e que a matemática pode ajudar no processo de formalização e entendimento dos fenômenos.

Por causa desta complexidade, Edward Mackinnon afirma que ele não era necessariamente um antirrealista (como poderia ser a consideração no caso de categorizarmos um filósofo antirrealista e não um físico), mas sim estava contra uma determinada ontologia (1994, p. 290). Mackinnon ainda arremata dizendo que mesmo assim (sendo oposto a uma determinada ontologia) sua postura pode ser “categorizada como antirrealista” (1994, p. 290). Essa postura com nuances antirrealistas pode ser percebida em sua forma de encarar a noção do *princípio da complementaridade*, que é um pressuposto que diz sobre o estado da natureza de radiação ser complementar entre um estado de onda e um corpuscular; não sendo necessariamente uma oposição entre onda e partícula. Isso demonstra uma nova ontologia de se encarar fenômenos que podem se apresentar das duas formas. O *princípio da complementaridade* é uma anti-ontologia em relação à uma ontologia clássica e, portanto, poderia ser levantada por um posicionamento que compreende como a natureza *deve ser* de fato – portanto um posicionamento epistemológico realista seria possível dentro desta proposta, mas contra uma específica ontologia. No entanto em seu ensaio “Luz e Vida”, que foi

um discurso em um congresso, descreve que a noção de complementaridade “**serve para simbolizar** a limitação fundamental, encontrada na física atômica, da existência objetiva de fenômenos independentes dos meios de sua observação” (BOHR, 1995, p. 10) [grifos nossos]. Neste trecho é necessário destacar que embora por um lado parece supor que Bohr está descrevendo a realidade de algo para além da possibilidade de observação, é enunciado que o *princípio de complementaridade* tem um caráter útil para além da limitação em estabelecer o elemento ontológico que está ali. Por um lado essa posição de Bohr reafirma a argumentação de Mackinnon, que ele seria contra uma certa ontologia, mas também deixa passível a uma interpretação em que aplica o *princípio da complementaridade* por uma utilidade, diante da limitação teórica.

Considerações finais

Com isso, durante nossa pesquisa de mestrado, concluímos que a proposta do neutrino tem relação profunda com o *princípio de conservação de energia* sendo este possivelmente parte do *núcleo duro* do Programa de Pesquisa em que Pauli estava associado, como também no Programa de Pesquisa da termodinâmica; embora durante o desenvolvimento deste princípio nem sempre foi posto como um *núcleo duro*, pois também foi produto teórico de outros programas de pesquisa que convergiram em sua proposta.

Dentro desta perspectiva lakatosiana é racional a proposta do neutrino como partícula, mesmo em um contexto onde inicialmente não era possível detectá-lo; tanto como também possui racionalidade no desacordo performado entre Niels Bohr e Wolfgang Pauli. A proposta do neutrino permanece racional, o que seria inconcebível dentro de concepções embasadas num critério de falseabilidade mais rigoroso, ou dogmático. Essa racionalidade é descrita dentro da Metodologia de Programas de Pesquisa Científica de Lakatos, como uma forma de trabalho científico pautado em Programas que estruturam modelos científicos. Desta maneira, concluímos que a utilização da Metodologia de Programas

de Pesquisa Científica consegue explicar racionalmente tais decisões de manutenção ou abandono de determinados princípios com base em pressupostos mantidos dos programas e através de uma análise de reconstrução racional.

Destacamos como Leibniz foi precursor da ideia de um *princípio de conservação* e como o debate com os cartesianos foi produtivo neste sentido. Produtiva também foi a prolífica produção científica do século XIX que sistematizou o conceito do *princípio de conservação*. Destacamos ainda como visões realistas e pragmáticas podem ter perpassado a utilização do conceito, como foi o caso de Pauli e Bohr.

Por fim, a descrição deste processo histórico com a filosofia lakatosiana também permite concluir que os conceitos de *racionalidade não instantânea* e da *reconstrução racional* podem ser empregados para o estudo da filosofia da ciência presente na história do neutrino do *princípio de conservação de energia*; demonstrando, assim, que a filosofia lakatosiana pode servir de instrumental para proceder análises sobre a prática científica.

REFERÊNCIAS

- BARRA, E. A metafísica cartesiana das causas do movimento: mecanicismo e ação divina. *Scientiae Studia*, v. 1, n. 1, pp. 299-322, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-31662003000300003>.
- BASSALO, J. M. F. O cenário da Física antes de 1900. In: SHEL-LARD, R. Fótons. CARUSO, F. et al. *Partículas Elementares: 100 anos de descoberta*. Manaus: EDUAM, 2005, pp. 1-42.
- BASSALO, J. M. F. Nascimentos da Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 20, n. 1, março, 1998. Disponível em: <https://www.sbfisica.org.br/rbef/indice.php?vol=20&num=1>. Acesso em: 19 set. 2023.
- BILENKY, S. *Introduction to the physics of massive and mixed neutrinos*. Vancouver: Springer, 2018.
- BOHR, N. *Física atômica e conhecimento humano – ensaios 1932-1957*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1995.
- BRITO, A. ‘Flogisto’, ‘Calórico’, & ‘Éter’. *Ciência e Tecnologia dos materiais*, v. 20, n. 3/4, p. 51-63, 2008. Disponível em: https://scielo.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0870-83122008000200008. Acesso em: 19 set. 2023.
- BYERS, N. Contributions of Emmy Noether to Particle Physics. *ArXiv.org*, v. 2, 1994. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.hep-th/9411110>.
- CARNOT, S. *Reflections on the Motive Power of Heat*. New York: John Wiley & Sons, 1897.
- CARUSO, F. et al. *Partículas Elementares: 100 anos de descoberta*. Manaus: EDUAM, 2005.
- COPI, I. *Introdução à lógica*. São Paulo: Editora Mestre Jou, 1981.
- DAVIS JR, R. Nobel lecture: A half-century with solar neutrinos. *Reviews of Modern Physics*, v. 75, n. 3, p. 985-994, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.75.985>.
- DESCARTES, R. *Princípios da Filosofia*. Lisboa: Edições 70, 1997.
- ELKANA, Y. *The Discovery of the Conservation of Energy*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1975.

- FEYERABEND, P. Consolando o especialista. In: LAKATOS, I; MUSGRAVE, A. (org). *A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento*. São Paulo: Editora Cultrix, 1979, pp. 245-281.
- FEYERABEND, P. *Contra o método*. Rio de Janeiro: Livraria Francisco Alves Editora, 1985.
- GUZZO, M.; NATALE A. Introduzindo os neutrinos. In: SELLARD, R. Fótons. CARUSO, F. et al. *Partículas Elementares: 100 anos de descoberta*. Manaus: EDUAM, 2005, pp. 193-208.
- HACKING, I. *Representar e Intervenir*. Ciudad Universitaria: Universidad Nacional Autónoma de México, 1996.
- HAHN, H et al. A concepção científica do mundo – O Círculo de Viena. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, v. 10, n. 1, p. 5-10, 1986. Disponível em: <https://www.cle.unicamp.br/eprints/index.php/cadernos/article/view/1220>. Acesso em: 19 set. 2023.
- HARMAN, P. *Energy, Force, and Matter – the conceptual development of nineteenth-century physics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.
- HUME, D. *Tratado da natureza humana*. São Paulo: Editora UNESP, 2000.
- ILTIS, C. Leibniz and Vis Viva controversy. *Isis*, v. 62, n. 1, p. 21-35, 1971. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/228997>. Acesso em: 19 set. 2023.
- JENSEN, C. et al. *Controversy and Consensus: Nuclear Beta Decay 1911-1934*. Berlim: Springer Basel AG, 2000.
- KUHN, T. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Editora Perspectiva, 1998.
- KUHN, T. *A estrutura das revoluções científicas*. 9ª ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 2006.
- KUHN, T. Reflexões sobre meus críticos. In: LAKATOS, I; MUSGRAVE, A. (org). *A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento*. São Paulo: Editora Cultrix, 1979, pp. 285-342.
- KUHN, T. Notas sobre Lakatos. In: LAKATOS, I. *Historia de la Ciencia y sus reconstrucciones racionales*. Madrid: Tecnos, 1987, pp. 81-95.
- KUHN, T. *A tensão essencial*. São Paulo. Editora Unesp, 2011.
- LAKATOS, I; MUSGRAVE, A. (org). *A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento*. São Paulo: Editora Cultrix, 1979.

- LAKATOS, I. Falseamento e a Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica. In: LAKATOS, I. e MUSGRAVE, A. (org.). *Crítica e Desenvolvimento da Ciência*. São Paulo: Editora Cultrix, 1979, pp. 109-237.
- LAKATOS, I. *História da Ciência e suas reconstruções racionais*. Lisboa: Edições 70, 1998.
- LAKATOS, I. *Historia de la Ciencia y sus reconstrucciones racionales*. Madrid: Tecnos, 1987.
- LEIBNIZ, G.W. *Escritos de dinâmica*. Madri: Editorial Technos S.A., 1991.
- LEIBNIZ, G.W. *Escritos filosóficos*. Buenos Aires: Editorial Charcas, 1982.
- LEIBNIZ, G.W. *Philosophical Essays*. Indianapolis e Cambridge: Hackett Publishing Company, 1989.
- MACKINNON, E. Bohr and the realism debates. In: Faye, J., Folse, H.J. (eds). *Niels Bohr and contemporary philosophy*, Boston Studies in the Philosophy of Science, v. 153, p. 279-302, Springer, 1994. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-015-8106-6_13.
- MOREIRA, Marco Antonio. O conceito de simetria na Física. *Revista do Professor de Física*, v. 3, n. 2, p. 1-8, 2019. DOI: <https://doi.org/10.26512/rpf.v3i2.26849>.
- MOULINES, Carlos Ulisses. *O desenvolvimento moderno da filosofia da ciência (1890-2000)*. São Paulo: Associação Filosófica Scientiæ Studia, 2020.
- NOETHER, E. Invariant Variation Problems. *ArXiv.org*, p. 1-14, 2005. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.physics/0503066>.
- PAIS, A. *Inward Bound: Of Matter and Forces in the Physical World*. Oxford: Oxford University Press, 1988.
- PAIS, A. *Niels Bohr's Times – in Physics, Philosophy, and Polity*. Oxford: Claredon Press, 1991.
- PAIS, A. *Sútil é o senhor – a ciência e a vida de Albert Einstein*. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1995.
- PAULI, W. (Org). *Niels Bohr and the development of physics*. Londres: Pergamon Press, 1955.
- PAULI, W. *Lectures on physics – thermodynamics and the kinect theory of gases*. Massachusetts: MIT Press, 1973, vol. 03.

- POPPER, K. *A lógica da pesquisa científica*. São Paulo: Editora Cultrix, 2013.
- PONCZEK, R. A Polêmica entre Leibniz e os cartesianos: MV ou MV²?. *Caderno Brasileiro do Ensino de Física*, v. 17, n. 3, p. 336-347, 2000. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6765>. Acesso em: 19 set. 2023.
- SHELLARD, R. Fótons. CARUSO, F. et al. *Partículas Elementares: 100 anos de descoberta*. Manaus: EDUAM, 2005.
- SILVA, B. M. *O argumento do milagre em prol do realismo científico*. Porto Alegre: UFRGS, 2016.
- SMITH, G. The vis viva dispute: A controversy at the dawn of dynamics. *Physics Today*, v. 59, n. 10, p. 31-36, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.2387086>.
- WILLIAMS, W. *Nuclear and Particle Physics*. Oxford: Oxford University Press, 2008.

Recebido em 31 de janeiro de 2024
Aprovado em 24 de abril de 2024
Publicado em 26 de novembro de 2024