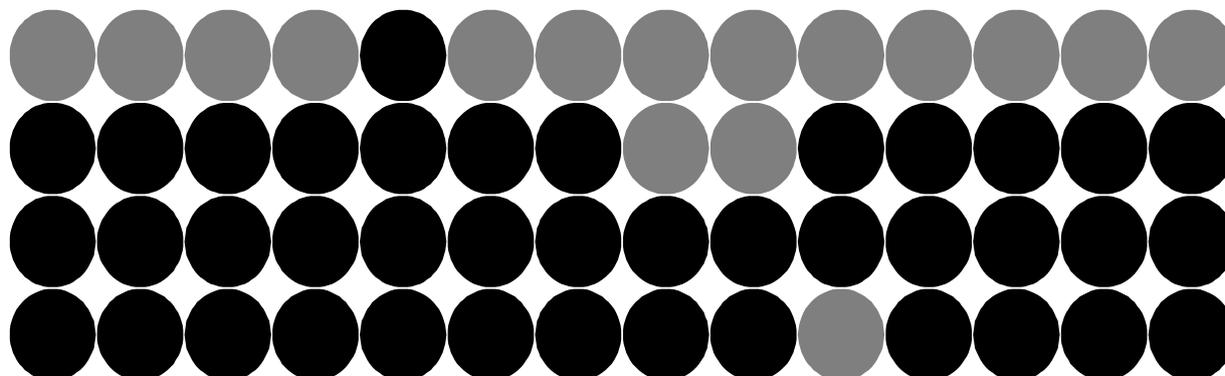


**História e Epistemologia da Ciência: alguns  
aprofundamentos e enriquecimentos que podem ser  
úteis a futuros professores de Física**

André Felipe Hoernig  
Neusa Teresinha Massoni



**Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física**

**Textos de Apoio ao Professor de Física, v. 29 n. 6, 2018.**  
**Instituto de Física – UFRGS**  
**Programa de Pós – Graduação em Ensino de Física**  
**Mestrado Profissional em Ensino de Física**

**Editores: Marco Antonio Moreira**  
**Eliane Angela Veit**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Setor Técnico da Biblioteca Professora Ruth de Souza Schneider**  
**Instituto de Física/UFRGS**

H694h Hoernig, André Felipe  
História e epistemologia da ciência: alguns  
aprofundamentos e enriquecimentos que podem ser úteis  
a futuros professores de física / André Felipe Hoernig,  
Neusa Teresinha Massoni – Porto Alegre: UFRGS, 2018.  
50 p.; il. (Textos de apoio ao professor de física /  
Marco Antonio Moreira e Eliane Angela Veit, ISSN  
2448-0606; v. 29, n. 6)

1. Formação de professores 2. Ensino de física 3.  
Epistemologia I. Hoernig, André Felipe II. Massoni, Neusa  
Teresinha III. Título IV. Série.

SUMÁRIO

<b>Introdução .....</b>	<b>5</b>
<b>Alguns aspectos do Positivismo.....</b>	<b>7</b>
<b>Esmiuçando Questões Epistemológicas .....</b>	<b>11</b>
<b><i>O que é Epistemologia e Ontologia? Com um esclarecimento de Ian Hacking</i>.....</b>	<b>11</b>
<b>Perfil Epistemológico <i>versus</i> Espectro Epistemológico: aplicações da visão de Bachelard ....</b>	<b>19</b>
<b><i>Modus Ponens e Modus Tollens: alguns esclarecimentos</i>.....</b>	<b>27</b>
<b>Esclarecendo aspectos dúbios da Epistemologia de Feyerabend.....</b>	<b>31</b>
<b>O que é Incomensurabilidade? .....</b>	<b>33</b>
<b>Conclusão .....</b>	<b>39</b>
<b>Referências .....</b>	<b>41</b>
<b>TEXTOS DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA .....</b>	<b>45</b>



## Introdução

O desenvolvimento de um estágio de docência na graduação é sempre um momento de refletir tanto as estratégias didáticas (quer aquelas adotadas pelo docente que está sendo tutoriado, quer aquelas que parecem naturais ao professor em formação), como também é uma oportunidade de aprofundar conceitos e entendimentos dos temas que estão sendo trabalhados na disciplina acompanhada.

Este trabalho resulta de uma reflexão nessa linha. Ao acompanhar a disciplina de História da Física e Epistemologia, oferecida como disciplina obrigatória no curso de Licenciatura em Física da UFRGS, buscou-se aprofundar o entendimento de certas noções epistemológicas que foram aparecendo, às vezes, como dúvidas recorrentes, e em outros momentos como uma necessidade de buscar novas fontes e até mesmo voltar às obras originais dos pensadores em estudo para capturar significados novos e mais abrangentes.

A dinâmica das aulas consistia de uma apresentação inicial da docente da visão epistemológica de cada pensador, leitura de textos de apoio dos principais epistemólogos do século XX e de artigos sobre casos históricos, discussão e construção de mapas conceituais em pequenos grupos e, por fim, apresentação ao grande grupo visando socializar, discutir, trocar impressões e melhorar a compreensão das ideias sobre a natureza e o processo da ciência; havia também seminários sobre períodos da história da Física e apresentação individual de microepisódios de ensino (aulas curtas de física em que algum aspecto da Epistemologia e História da Física tinham de ser agregados); estes visavam familiarizar os futuros professores para a inserção destes tópicos – História e Epistemologia da Física – em sala de aula da educação básica como forma de promover um ensino de física reflexivo. Nesse sentido eram utilizadas, ao máximo, atividades pautadas em metodologias ativas que possibilitassem a participação dos estudantes para um entendimento crítico do fazer científico.

É nesse panorama que este trabalho procura oferecer um enriquecimento de termos, conceitos e visões epistemológicas, alguns especialmente associados à Mecânica Quântica que foi tomada como tema a ser discutido na escola nos estudos da dissertação do primeiro autor. Desta maneira, pretende-se que possa ser útil tanto a professores de física quanto a estudantes da educação básica interessados nos temas.



## Alguns aspectos do Positivismo

Ao iniciar um curso de História da Física e Epistemologia, é comum começar com um diálogo acerca do entendimento dos estudantes acerca da natureza da ciência, o que acaba levando a discussões em algum momento, e a reflexões acerca do papel do Positivismo na Filosofia da Ciência, doutrina esta sobre a qual é preciso fazer algumas considerações que podem ser úteis na atividade docente. Primeiramente, buscamos esclarecer como a discussão é encaminhada à temática do positivismo. Em nossa experiência, as primeiras interlocuções evidenciaram uma característica que possivelmente seja comum a qualquer curso de História e Epistemologia, isto é, consistiu-se uma defesa da História e da Filosofia, com o respaldo de que “filosofar” é da natureza humana, pois conforme a máxima aristotélica, “se você deve filosofar, então você deve filosofar; se você não deve filosofar, então você deve filosofar; portanto, de qualquer forma, você deve filosofar...”.

Na sequência, é solicitado que os futuros professores falem brevemente o que entendem por ciência, em resposta à questão “O que é Ciência?”. No quadro transcrevemos todas as respostas dadas pela turma que acompanhamos em 2019/1, fazendo também uma distinção, na compreensão dos alunos, sobre como se faz ciência. Uma tabela com estes dados é apresentada a seguir:

O que é Ciência?	Como se faz ciência?
1. Não é algo neutro; 2. Construção Social; 3. Desenvolvedora de produtos; 4. Tarefa influenciada pela visão de mundo dos cientistas; 5. Algo que pode e deve ser contestado; 6. Descrição de Mundo; 7. Ferramenta para fazer observações e explicar.	1. De várias maneiras; 2. Não surge da observação pura;

Quadro 1: Concepções de Ciência dos Alunos.

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Observa-se deste quadro uma ligeira discordância com a visão indutivista ingênua sobre a natureza do conhecimento científico, moldada principalmente (provavelmente!) por discussões precursoras no curso de licenciatura sobre movimento CTS. Essa proposição pode sempre ser bem explorada por um professor ministrante do curso. Não obstante, disto é tomado um ponto de partida para a discussão sobre o Positivismo, em vista das concepções iniciais dos alunos e contrapontos à doutrina positiva.

Contudo, a análise do positivismo não pode ser feita de maneira superficial, pois possui uma série de nuances. Em primeiro lugar, é importante chamar a atenção para a defesa que a doutrina *positivista* faz de que o conhecimento Científico seria a única forma de conhecimento verdadeiro; essa ideia não surgiu com Comte, mas foi ele seu principal expoente, principalmente com a obra “*Apelo aos Conservadores*”, de 1855, onde ele menciona a Lei dos Três Estados, que seriam etapas pelas quais o ser humano passou/passa em seu desenvolvimento, a saber: “1. Estado Teológico; 2. Estado Metafísico e 3. Estado Positivo”.

Em *Os Pensadores - Comte* (1988) - encontra-se o *Curso de Filosofia Positiva* de Auguste Comte, publicado em 1830. Esse curso iniciou em sua própria casa e foi frequentado por alguns dos maiores nomes da época como, por exemplo, o fisiólogo Henri-Marie de Blainville (1777-1850) e o psicólogo Jean-Étienne Esquirol (1772-1840). Na sua “Primeira Lição” Comte expõe o objetivo e natureza da filosofia positiva. Acredita ele ter descoberto uma lei fundamental segundo a qual as concepções principais de nossos conhecimentos passam sucessivamente pelos três estados históricos (teológico, metafísico e científico ou positivo).

No estado teológico o espírito humano dirige suas investigações para a natureza íntima dos seres, as causas primeiras e finais de todos os efeitos e busca entender os fenômenos como sendo o resultado da ação de agentes sobrenaturais. Nesse estado o número de observações é reduzido e a imaginação desempenha um papel importante. No estado metafísico, que é uma modificação do primeiro, os agentes sobrenaturais são substituídos por forças abstratas, entidades inerentes aos diversos seres do mundo e capazes, por si, de engendrar todos os fenômenos observados. No estado positivo (científico) o espírito humano reconhece a impossibilidade de obter noções absolutas, renuncia a pretensão de conhecer as causas íntimas dos fenômenos para preocupar-se em descobrir, através da combinação da observação e do raciocínio, suas leis efetivas, suas relações invariáveis.

A filosofia positiva caracteriza-se pela subordinação da imaginação e da argumentação à observação e à experimentação. Com isso, Comte defendeu o empirismo puro, ou seja, a redução do conhecimento à apreensão de fatos e fenômenos isolados, mas não dispensou a razão.

Deve-se conceber o estudo da natureza, destinando-se a fornecer a verdadeira base racional da ação do homem sobre ela. O conhecimento das leis e fenômenos, cujo resultado constante é fazer com que sejam previstos por nós, evidentemente pode nos conduzir, de modo exclusivo, na vida ativa, a modificar um fenômeno por outro, tudo isso em nosso proveito. (...). Ciência, daí previdência; previdência, daí ação (Comte, 1988, p. 23).

Sendo assim, o Estado Positivo não se preocupa com os motivos das coisas, mas sim em como acontecem: o processo. Esta é possivelmente a maior herança do positivismo aos físicos, pois são recorrentes afirmações de que não faz sentido discutir aquilo que não podemos medir, tem-se aí uma vertente positivista. Além disso, buscando ressaltar uma aplicação ao ensino de ciências, tem que dos estudos de Filosofia na escola ou por conta própria, os alunos em geral já ouviram que a expressão “ordem e progresso” na bandeira nacional brasileira se remete a Comte. Mas por quê? Em resumo, uma máxima do positivismo esclarece por si só essa questão: “*O amor como princípio, a ordem como base, o progresso como objetivo*”, podendo ter algumas variações de acordo com a tradução. Esse lema foi o que inspirou a Bandeira Nacional do Brasil idealizada por Raimundo Teixeira Mendes e desenhada pelo artista Décio Villares. Além disso, a máxima positivista está na faixa da Igreja Positivista do Brasil, no Rio de Janeiro, conforme ilustrado na Figura 1.



Figura 1: O Templo Positivista no Rio de Janeiro. Os dizeres positivistas estão destacados no topo da Igreja.

Fonte: Acervo Igreja Positivista do Brasil.

A discussão em sala de aula acerca dos princípios básicos do positivismo, em especial do apelo à lógica no Estado Positivo, acaba levando, cedo ou tarde, à discussão dos processos lógicos de indução e dedução. Dessa forma, cabem aqui alguns comentários sobre o “problema da indução” discutido por Karl Popper, uma vez que ele argumenta que a lógica indutiva não garante conclusões verdadeiras ainda que as premissas sejam verdadeiras. Vale ressaltar um problema recorrente da época de Popper, final do século XIX, onde se acreditava que todos os cisnes eram brancos, pois nunca um cisne negro havia sido observado. Então, por indução chegou-se à conclusão de que todos os cisnes teriam de ser brancos. Essa lei geral foi posta por terra quando os ingleses, ao chegarem na Austrália, constataram a existência de cisnes negros. Com exemplos como esse se pode notar que a indução não pode ser a única forma de se fazer ciência, deve haver alguma outra maneira possível. Esta era uma grande questão que a epistemologia buscou resolver nas décadas iniciais do século XX, razão pela qual a disciplina discutiu as visões de vários eminentes epistemólogos desse século como mostra a Figura 2.

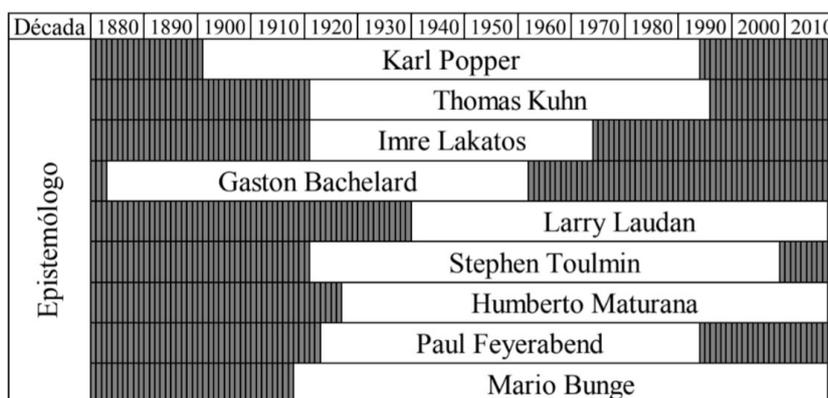


Figura 2: Uma linha do tempo dos Epistemólogos mais eminentes do séc. XX.

Fonte: adaptação de um trabalho apresentado por Luciano Slovinsky do PPG Ensino de Física da UFRGS (2018).

O livro intitulado *O que é Ciência afinal?* (Chalmers, 1993) é sempre uma boa dica para quem deseja se introduzir a esta temática da epistemologia e primeiros desafios enfrentados nesse campo de conhecimento, uma vez que o autor começa o livro mostrando que o “princípio de indução” não pode ser justificado meramente por um apelo à lógica, embora a indução pode ser/é muito utilizada na ciência, complementada pela dedução, que é um processo lógico complementar. Todavia, Freire-Maia (1990, p.39) esclarece que indução e dedução são processos lógicos distintos:

Indutivo - quando se aumenta o conteúdo fatural das proposições que possibilitam o argumento. Isto significa que, com a indução, obtemos uma conclusão que diz mais do que as proposições iniciais. A indução é ampliativa. Como tal, corre um risco.

Dedutivo - quando não se aumenta o conteúdo fatural das proposições básicas (premissas). Em outros termos: a dedução não é ampliativa; sua conclusão, pelo contrário, é compulsória (não comporta duas saídas) e, como tal, está contida inteira nas premissas. Se essas estiverem certas, a conclusão estará igualmente certa. O risco está em que uma das premissas seja falsa.

Em resumo, o argumento indutivo é integrador, leva de afirmações singulares à afirmações gerais, às leis (amplia). O argumento dedutivo é diferenciador, leva das leis gerais às explicações (restringe). Este é um ponto crucial na introdução de aulas de epistemologia e, sem o devido cuidado, os processos dedutivos e indutivos podem ser confundidos.

## **Esmiuçando Questões Epistemológicas**

Como já mencionado, ao acompanhar as aulas de uma disciplina de História da Física e Epistemologia, em algumas ocasiões nas atividades realizadas com os futuros professores, diversos conceitos relativos a algumas visões epistemológicas estudadas se mostraram confusos e às vezes mesmo depois das explicações e apresentações dos mapas conceituais, algumas dúvidas persistiam. Sendo assim, esta seção tem o intuito de trazer um breve esclarecimento sobre alguns desses temas/termos, a saber aqueles que recebem maior destaque e são fundamentais em uma disciplina de epistemologia que tem a pretensão de incitar os futuros docentes a levarem tais discussões à educação básica.

### ***O que é Epistemologia e Ontologia? Com um esclarecimento de Ian Hacking***

Parece muito pertinente, em uma disciplina de História e Epistemologia, começar entendendo o que significa o título da disciplina. Quanto à etimologia, *episteme* (do grego *epísteme*) significa ciência, ou verdade, e *logia* (do grego *logos*) significa estudo, ao passo que *onto* (do grego *ontos*) significa ente ou ser. Logo, a epistemologia significa o estudo da ciência, o estudo relativo ao conhecimento; já ontologia é relativa ao estudo das coisas em si, da natureza dos entes.

Quando falamos em “epistemologia da ciência”, nos referimos à natureza do conhecimento científico, como se faz ciência e como alcançamos os resultados científicos. A discussão acerca da existência ou não de um método científico, discussão esta que os filósofos da ciência fazem, é uma discussão puramente epistemológica. A epistemologia pode apresentar também uma vertente para a psicologia, pois podemos nos referir como sendo o estudo na natureza do conhecimento cognitivo. Por essa razão é que se fala em, por exemplo, Epistemologia Genética, que é um dos mais importantes livros de Piaget (1970), em que o autor se preocupa em como o ser humano aprende, adquire conhecimento<sup>1</sup>.

Essas duas vertentes – conhecimento científico e conhecimento cognitivo - podem se complementar, pois como salientam Gomes e Bellini (2009, p. 2), “saber como um cientista pensava a queda de corpos há dois mil anos atrás auxilia na interpretação dada por uma criança nos tempos modernos”, por outro lado, a compreensão de como a criança chegou ao raciocínio facilita a análise histórica do fenômeno. Podemos consoante à Pessoa Jr (2003) estender um pouco a questão da epistemologia versus ontologia para uma discussão sobre o realismo. O autor esclarece que podemos ser realistas ontológicos (realismo de entidades) ou realistas epistemológicos (realismo de propriedades):

O realismo ontológico é a tese que existe uma realidade lá fora que é independente de nossa mente (ou de qualquer mente), de nossa observação. A negação desta tese é chamada de idealismo [...]. O realismo epistemológico afirma que é possível conhecer esta realidade, ou seja, que nossa teoria científica também se aplica para a realidade não observada (Pessoa Jr, 2003, p. 99).

---

<sup>1</sup> A analogia nesta cadeira pode ser pertinente, porque Piaget é um autor estudado em disciplinas anteriores no curso de Licenciatura.

Assim, um realista ontológico afirma que existe uma realidade, uma verdade que independe de nós. Por exemplo, se perguntássemos a uma pessoa que se encaixa nesse perfil o que pensa sobre os elétrons, diria que ele possui um formato ou configuração real que independe da nossa observação; a verdade sobre os entes estaria apenas esperando ser descoberta. Talvez nunca seja descoberta, mas existe e é independente de nós. Para um realista epistemológico, no entanto, o “peso” de realidade é atribuído ao nosso conhecimento, o que é real é a teoria que construímos sobre dado ente que se chama elétron, esse ente pode existir da forma como o conhecemos ou não, pode ser completamente diferente, não importa. O realista epistemológico defende que o nosso conhecimento sobre os entes é que mantém o realismo. Vale ressaltar aqui a posição de Hacking (2010), que menciona que esse realismo é o mais importante para a ciência, pois é com base nas teorias disponíveis que podemos desenvolver a tecnologia, de forma que a realidade se mostra na concreta aplicação do nosso conhecimento, sendo pouco importante se os elétrons são nuvens, partículas ou ondas, ou tudo isso junto, o que importa são as aplicações que podemos fazer, ou nossas intervenções. Consequentemente, os argumentos de Hacking para o realismo científico são conduzidos em um nível de discussão diferente. Seu argumento, o argumento experimental para o realismo científico sobre entidades, “é baseado em ações, não apenas em falas e discussões” (REINER; PIERSON, 1995, p. 60). Consoante a isso, Hacking ecoa Kant ao dizer que

... a existência é um predicado meramente lógico que não acrescenta nada ao assunto. Acrescentar “e os fótons são reais”, depois que Einstein terminou [Nobel em 1921], é não acrescentar nada ao entendimento. Não é de forma alguma aumentar ou melhorar a explicação. (Hacking, 2010, p. 54).

Isso não significa que Hacking é um antirrealista, apenas afirma, neste caso, que falar que os fótons são reais ou não é pouco útil, uma vez que o problema do efeito fotoelétrico foi resolvido. Se antes da resolução desse problema afirmar que fótons são reais e se isso trouxesse contribuição para Einstein, então sim a discussão seria útil e pertinente. Porém, antes de esclarecermos o que Hacking é, busquemos entender então, do que se trata esse argumento sobre realismo de entidades, teorias e antirrealismo.

Em primeiro lugar, temos o realismo científico, que se aproxima do realismo ontológico, afirmando que entidades, processos e fenômenos realmente existem. Um realista científico nos dirá que nós estamos nos aproximando da verdade. Assim, claramente Popper pode ser citado como um realista científico. Agora, um antirrealista (podendo o ser para as entidades – ontologia - ou para as teorias -epistemologia) afirmará o oposto, que elétrons não existem, ao menos não da forma como o conhecemos, pois seria apenas uma construção de nosso intelecto. Mas evidentemente existem fenômenos elétricos, porém os elétrons são apenas ferramentas fictícias que criamos para entender o fenômeno. Pessoa Jr. (2003) destaca que o relativismo constitui uma forma de antirrealismo, e como exemplos de relativistas ele menciona Feyerabend e Kuhn:

O *relativismo* nega que existam verdades únicas a serem descobertas pela ciência (anarquismo epistemológico de P. Feyerabend), sendo tudo fruto de uma negociação no âmbito das comunidades científicas (T. Kuhn, nova sociologia da Ciência). Esta concepção está por trás da “verdade pragmática” que se opõe à verdade por correspondência (Pessoa Jr, 2003, p.103).

Vale ressaltar que esse posicionamento em relação à Feyerabend é muito decorrente do posicionamento do filósofo austríaco em *A Ciência em uma Sociedade Livre*, em que ele faz uma clara defesa do relativismo, afirmando que “o Relativismo é atacado muitas vezes não porque encontramos uma falha nele, mas porque temos medo dele. Os intelectuais o temem porque ele ameaça seu papel na sociedade, assim como o Iluminismo em uma época ameaçou a existência de padres e teólogos” (Feyerabend, 2011b, p. 99). Assim, Feyerabend defende o relativismo nessa obra e se posiciona concluindo que não existem, ou pelo menos não se deve classificar as teorias como verdadeiras ou falsas, para ele (Ibid., p. 101), “as tradições não são nem boas nem más - apenas são”. Todavia, o posicionamento do filósofo de forma tão clara em favor do relativismo apenas se observa nessa obra, nas demais, o posicionamento é mais sutil. Além disso, segundo Hoyninguen-Huene (2014), no seu primeiro trabalho importante, “*Explanation, Reduction and Empiricism*”, Feyerabend é um realista científico, ou seja, ele mudou sua concepção filosófica ao longo da vida, sendo pouco preciso afirmar que ele sempre tenha sido um relativista. Hoyninguen-Huene (2014) ainda defende que o antirrealismo de Feyerabend se enquadrava dentro de uma perspectiva antirrealista neokantiana, que é uma versão um pouco mais sofisticada do antirrealismo kantiano, também denominado *idealismo transcendental*, uma posição menos radical que “aceita a existência das coisas-em-si [...], mas considera que a ciência só tem acesso às coisas-para-nós, os ‘fenômenos’.” (Pessoa Jr, 2003, p. 101). A versão defendida por Feyerabend é aprimorada, neokantiana, porque avalia a influência do contexto histórico, “porque sustenta que os conceitos que medeiam a relação com a realidade não são estabelecidos de maneira irrevogável, mas são concebidos como variáveis históricas” (Hoyninguen-Huene, 2014, p. 91).

Por outro lado, se voltarmos a nossa atenção a Hacking (2010), vemos que ele destaca que é possível habitar um meio termo entre essas visões realistas e antirrealistas, no que ele chama de realismo/antirrealismo sobre teorias ou realismo/antirrealismo sobre entidades. No sentido em que alguém pode, por exemplo, acreditar na interação fraca, dizendo que ela é real tal como a conhecemos, porém não acreditar que existam tais bósons que seriam os responsáveis pelas interações, eles seriam apenas ferramentas que criamos para dar sentido ao fenômeno. Pensando assim, estaríamos no realismo de teorias, mas no antirrealismo de entidades e o inverso também seria possível, bem como outras combinações. Hacking traz um experimento que foi crucial para moldar sua visão de mundo, mudando sua percepção de realidade. Trata-se do experimento de Fairbank, que é um análogo do experimento de Millikan, porém para quarks, ou seja, buscava mostrar a carga fracionária dos quarks. A ideia de carga está contida na teoria dos quarks da estrutura das partículas subatômicas, que diz que as partículas conhecidas são feitas de subunidades que têm carga em quantidades de um terço e dois terços da carga do elétron. Um dos problemas é que nenhum quark individual foi visto como uma partícula livre. Na ausência de tal evidência direta, a descoberta de um terço de cargas em corpos maiores poderia ser uma evidência indireta de quarks, num experimento bastante ousado.

Segundo Watson (2004), o experimento de Fairbank realizado em 1977 na Universidade de Stanford usa pequenas bolas de nióbio, que se tornam eletricamente supercondutoras quando resfriadas até quase o zero absoluto e podem ser transformadas em uma espécie de ímã perpétuo,

levitando-os em vácuo com forças elétricas e magnéticas. Tais bolinhas quase sempre têm uma certa carga para começar, então o experimento consiste em bombardeá-las com elétrons e pósitrons até que o zero seja atingido. Se permanecer qualquer fração de carga que não possa ser neutralizada pela aplicação sucessiva de +1 e -1, ela pode ser medida pela força necessária para manter a bola em posição de equilíbrio contra a gravidade. A existência de carga fracionária, se continuar a resistir, pode ou não ser evidência de quarks. Seja o que for, é revolução suficiente em eletromagnetismo, portanto “para Fairbank e seus colegas [em Stanford], encontrar carga fracionária era a *raison d'être* do experimento” (WATSON, 2004, p. 231).

Foi com esse experimento que Hacking cunhou uma de suas mais importantes afirmações: “Daquele dia em diante eu tenho sido um realista científico. Tanto quanto eu entendo, se você pode pulverizá-los, então eles são reais” (Hacking, 2010, p. 23). Ele esclarece também que o que o convenceu do realismo não tem nada a ver com quarks. Foi o fato de que existem emissores padrão com os quais podemos pulverizar pósitrons e elétrons e é precisamente isso que fazemos com eles. “Entendemos os efeitos, entendemos as causas e as usamos para descobrir outra coisa” (Ibid., p. 24), assim, como ele se posiciona sobre um realismo de entidades, mas não como um realista de teorias; poderíamos afirmar que ele é um materialista, pois a realidade acaba se mostrando em nossa interação com os entes, no processo de *representar e intervir*. Com isso, ele distingue o realismo sobre entidades e o realismo sobre teorias. Além disso, ele traz uma visão completamente antirrealista de teorias, que é devido a Cartwright, na obra *How the Laws of Physics Lie* (1983). Segundo Hacking ela nega que as leis da física estabeleçam os fatos, defendendo que os modelos que desempenham um papel tão central na física aplicada não são representações literais de como as coisas são. Ela é uma antirrealista sobre teorias e uma realista sobre entidades, de forma que:

Cartwright enfatiza que em vários ramos da mecânica quântica o investigador usa regularmente uma bateria inteira de modelos do mesmo fenômeno. Ninguém pensa que uma delas é toda a verdade e pode ser mutuamente inconsistente. São ferramentas intelectuais que nos ajudam a entender os fenômenos e a construir fragmentos de tecnologia experimental. Eles nos permitem intervir nos processos e criar fenômenos novos e até agora inimagináveis. Mas o que é realmente “fazer as coisas acontecerem” não é o conjunto de leis ou leis verdadeiras. Não existem leis exatamente verdadeiras para fazer qualquer coisa acontecer. É o elétron e sua turma que está produzindo os efeitos. Os elétrons são reais, eles produzem os efeitos (Hacking, 2010, p. 38).

Assim, dadas as diferentes visões possíveis para realismo, Hacking se posiciona como um realista de entidades, porém não se mostra tão antirrealista de teorias como faz Cartwright. Ele é materialista no sentido de que o mundo material resiste às nossas interações com ele em todo o lugar. Aprendemos em parte através de muitos equipamentos inatos, mas, desde a mais tenra experiência, aprendemos como nos adaptar ao ambiente material em que nos encontramos. E uma das maneiras pelas quais nos adaptamos é mudando materialmente, outra é formando concepções do ambiente. Ele não quer dizer uma realidade bruta, mas uma realidade resistente, para a qual nos adaptamos. Ou seja, o nosso mundo é a nossa interação, é em primeiro lugar nossas interações com outras pessoas. Hacking, de certa forma, buscará dizer que nossa realidade é construída por nossa interação após uma representação e nesse sentido ele resgatará Bacon, pois foi com ele que o “método experimental” teria começado, que hoje olhamos de maneira um tanto pejorativa. Hacking

nos incentiva a olharmos com outros olhos, reconhecendo o trabalho de Bacon e enfatizando que experiência e a razão devem caminhar lado a lado. Além do mais, como Francis Bacon é nosso primeiro filósofo das ciências indutivas, esperaríamos que ele diga muito sobre observações. Mas Hacking nos alerta que na verdade, ele não se utiliza deste termo, mas usa sempre “instâncias prerrogativas”. Em 1620 ele listou vinte e sete tipos diferentes destes. Incluídos estão o que agora chamamos de experimentos cruciais, que ele chamou de instâncias cruciais (Ibid., p. 168), nos quais Popper teria encontrado inspiração. O desenvolvimento da ciência, de nosso entendimento sobre realidade, não mais se dá só na razão ou só na empiria, mas num processo cíclico e contínuo, de representar e intervir.

Por fim, dado este esclarecimento quanto à epistemologia e à ontologia, vale destacar o posicionamento quanto aos “realismos”, de outro personagem importante no campo da educação, Jean Piaget, que se aproxima da visão de Hacking (2010), defendendo certo materialismo. Piaget, como bem sabemos, é um representante do construtivismo (e do cognitivismo). Vale ressaltar que não é possível tomar construtivismo como sendo um sinônimo de cognitivismo, embora Piaget tenha adotado ambas as posturas, pois elas possuem diferenças fundamentais. O cognitivismo é uma abordagem teórica para o entendimento da mente e dos processos cognitivos. O cognitivismo, começando com a Gestalt e encontrando grande apelo na teoria de Piaget, foi uma resposta ao comportamentalismo clássico. O construtivismo, por sua vez, é uma abordagem que defende o papel ativo do sujeito na criação e modificação de seu objeto de estudo/conhecimento. O termo foi muito utilizado por Piaget em sua obra, porém tem sua origem no trabalho de Kant, o filósofo das três críticas (crítica da razão pura, crítica da razão prática e crítica da faculdade do juízo). Kant foi um dos primeiros a se debruçar sobre o problema da aquisição do conhecimento e qual seria a relação entre sujeito e objeto, elaborando a concepção de que o conhecimento não é a reprodução passiva de um objeto pelo sujeito, mas a construção ativa do objeto do meio pelo sujeito. Piaget retoma essa ideia, a colocando como um ponto crucial de seu trabalho e ligando esse enfoque construtivista à cognição humana (MOREIRA, 1999).

Uma vez entendido que Piaget segue o percurso iniciado por Kant, que é tido como o precursor do construtivismo, entende-se, conforme menciona Heidemann (2015), que para o construtivismo o conhecimento sensível não revela a realidade tal como é, mas sim como nós a percebemos. Assim, nessa perspectiva não há sentido em se falar da realidade que não seja dependente da cognição, pois ambas estão conectadas. Porém, por causa dessa importância dada à cognição por construtivistas como Piaget e como o próprio Kant, muitas críticas são levantadas contra estes pensadores, uma vez que é defendido que realismo e construtivismo são inconciliáveis. Uma dessas críticas é tecida por Pietrocola (1999), que defende o uso de teorias do ensino e da epistemologia que venham a minimizar excessos contidos em teses construtivistas e realistas, que, segundo ele, não valorizam um entendimento de realidade associada ao mundo físico o que enfraquece o conhecimento dito científico. O autor alerta sobre a existência de uma dicotomia entre realismo e construtivismo, pois:

...admitir a possibilidade de acesso a um determinado nível de realidade relacionada ao mundo em que vivemos, implicaria em negar que tenhamos de construir este acesso por nossa própria ação. E de forma inversa, admitir que estejamos condenados a interpretar de forma ativa (a partir de referentes individuais ou coletivos) toda informação oriunda do mundo físico, implicaria em negar a existência de possíveis níveis de realidade associados ao mesmo (Pietrocola, 1999, p. 215).

Dessa forma, para ele, a maioria dos autores construtivistas ignora essa suposta incompatibilidade em suas teses, o que mostra uma limitação das mesmas. Mas note-se que é uma suposta incompatibilidade, pois principalmente Maturana (2001) nos mostra diferentes objetividades, que se relacionam com a realidade, ou nossa visão dela. A realidade entendida por Pietrocola aqui poderia ser encarada como a objetividade que Maturana chama de “a seco”, “sem parênteses”, ao passo que a objetividade tratada pela maioria dos construtivistas seria a “objetividade entre parênteses”. Não excluem a existência de uma verdade objetiva, porém é o nosso entendimento que se constrói na auto-poiese. A crítica de que construtivismo e realismo são incompatíveis é razoável, mas talvez possamos tornar o construtivismo imune a tais críticas quando pensamos na objetividade em termos de Maturana (2001). O próprio Pietrocola terá certa consciência disso, sem evocar Maturana, pois afirma que “esta contradição entre realismo e construtivismo é na verdade aparente e sustentável apenas quando relacionada a um realismo derivado do modelo empiricista radical” (Pietrocola, 1999, p. 216), porém ele alerta que algum resquício dessa incompatibilidade ainda resta.

Ressaltaríamos que tal crítica não necessariamente reflete a situação de todo pesquisador que utiliza uma linha de pensamento construtivista. Afirmar que um pesquisador que utiliza Kuhn (1998) ou semelhante, como Fleck (2010), ou ainda outras vertentes como Feyerabend (2011b), se desconecta de uma realidade física é algo bastante radical, pois a visão que se tem de realidade dentro dessas epistemologias é diferente; não defendem a existência de uma realidade objetiva, mas admitem que podemos falar em verdades com “v” minúsculo, como mencionado por Hacking (2010), sem se referirem a uma verdade objetiva. Não se pode dizer que estão errados, pois o que entendem como realidade é, por exemplo, diferente da visão do filósofo argentino Mario Bunge, que entende que todo modelo científico tem um referente no mundo (o conhecimento parte de uma pergunta sobre a realidade). Além do mais, as teses construtivistas que temos hoje nos encaminham para uma visão mais próxima da de Maturana, como já mencionado.

Não obstante, é associada a essa limitação da visão de realidade uma escassez de conhecimento científico. Novamente, esta é uma crítica um tanto interessante, pois os que a formulam associam aos construtivistas um enfoque nos conceitos e não em problemas matemáticos, relacionando, assim, o Ensino de Física a uma visão semelhante à da Sociologia quando não se alinha à noção de método científico, como Bunge (1974) defende (embora Bunge se refira a um “método” que não tem regras de ouro, senão plásticas, isto é, flexíveis). Se for assim, é uma crítica que não faz sentido, pois a preocupação com aprender certos tópicos, segundo Bachelard (1976), que defende o emprego de uma filosofia dialética, dá-se no sentido de trabalhar dois pontos de vista dicotômicos tal como a empiria e a razão. Pensar cientificamente para Bachelard é colocar-se a meio caminho entre teoria e prática, é conhecer simultaneamente uma lei natural como fenômeno e como número. O peso que o professor dará ao conceito ou ao número é algo de sua total escolha,

dependendo do conteúdo ou até mesmo de sua disposição. Mesmo que um professor utilize a modelagem (que é um processo de construção, humana – de modelos científicos e pedagógicos), nada impede que ele dê um foco muito maior à aprendizagem de conceitos. Utilizar a modelagem não será um sinônimo de qualidade. Mais básico, como dirá Maturana (2001), é ter uma emoção fundamental, uma paixão por explicar. Desta forma, destacamos por fim, que o realismo é compatível com uma visão construtivista, sendo evidente que:

é plausível que um indivíduo entenda que o conhecimento é construído por meio da ação do sujeito no mundo cuja realidade é objetiva, ou seja, independente da mente de quem o manipula. Tal postura pode ser detectada inclusive nas ideias de Piaget. O processo de acomodação, por exemplo, ocorre na medida em que as expectativas e explicações dos esquemas são contrastadas com eventos reais (Heidemann, 2015, p. 65).



### Perfil Epistemológico versus Espectro Epistemológico: aplicações da visão de Bachelard

É comum ao discutir a Epistemologia de Bachelard (1976) persistirem dúvidas quanto às ferramentas relacionadas à visão epistemológica que Bachelard introduz. Sendo assim, esta seção busca trazer maiores detalhes sobre tais ferramentas.

Pode-se dizer que a questão mais importante na filosofia de Bachelard são as ferramentas epistemológicas fornecidas por ele, que permite a quem analisa uma questão filosófica desdobrar as diversas tonalidades, as diversas vozes por trás de qualquer questão, o que fará com que possamos verificar as noções científicas de uma pessoa para qualquer conceito dado (no âmbito da ciência). Tratam-se do *espectro epistemológico* e do *perfil epistemológico*. Em síntese, o espectro epistemológico refere-se à ciência; segundo Orozco Cruz (1996, p. 29), se refere “às características do trabalho de produção do conhecimento científico”. Por outro lado, o perfil epistemológico se refere a uma pessoa, ou grupo de pessoas, sobre as quais queremos analisar o posicionamento filosófico frente a algum conceito específico. Sendo assim, esmiuçamos um pouco mais o espectro e o perfil epistemológicos, começando pelo espectro epistemológico proposto por Bachelard, que, conforme ilustrado na Figura 3, pode incorporar as seguintes visões filosóficas na ciência:



Figura 3: Esquema usado por Moreira (Moreira; Massoni, 2011) para representar o conceito de espectro epistemológico.

Entendemos em Bachelard que o melhor para a ciência é situar-se na faixa intermediária desse espectro, mas algumas oscilações podem sempre acontecer, como mencionamos na seção anterior. Bachelard defende, então, que a ciência deve situar-se na zona do *racionalismo aplicado*, pois busca a aplicar-se a todo momento, não se baseando sempre em dados e informações que se podem obter da natureza como nas filosofias da parte inferior do espectro, nem se desvincilia de uma correspondência e aplicação na realidade, que é características das filosofias mais superiores. O racionalismo aplicado “anda junto” com o *materialismo técnico* por essa necessidade de aplicação, e tal necessidade gera uma materialização, que se representa na epistemologia de Bachelard como a

*fenomenotécnica* (isto é, o fenômeno controlado, aquele que o cientista faz “aparecer” através das técnicas, no laboratório, é mais rico do que no seu estado natural).

Já o *perfil epistemológico* se refere não à atividade científica, mas ao posicionamento de uma pessoa, um cientista ou um estudante, enfim, pessoas que compartilham, aproximadamente, o mesmo espírito científico frente a um dado conceito. Se tomarmos qualquer conceito, entende-se que primeiramente (digamos que quando ainda somos crianças) teremos um entendimento das coisas com base naquilo que olhamos, seria um realismo ingênuo, depois passamos para a fase de tocar/vivenciar as coisas, e nossa realidade será construída sobre aquilo que podemos tocar, fazer medições com nossas próprias mãos, para depois elaborar conceitos, este é o empirismo claro e positivista. Com o tempo, quando entramos no colégio, geralmente no Ensino Médio (mas não só), passamos a entender que existem leis que buscam descrever a natureza; a partir daí, e das fórmulas (algo abstrato), é que procuramos entender o mundo e transformar o abstrato em algo real. Estaremos aí na fase de racionalismo clássico da mecânica racional. Pode-se chegar a um ponto em que há um distanciamento do abstrato e do real, no sentido em que formamos a nossa realidade com base naquilo que pensamos, sem necessariamente buscar aplicar em experimentos cotidianos, mas sempre relacionado com nossa vida cotidiana, é como se fizéssemos experimentos mentais apenas, essa é a fase do racionalismo completo. Por fim, menos comum e menos visível, podemos estender esse racionalismo, no sentido em que ainda estamos apenas baseando a nossa realidade naquilo que pensamos, mas agora sem nenhuma preocupação em relacionar com a realidade, esse pensamento é comum para aqueles que cursam ciências exatas, por exemplo, constituindo a zona do ultra racionalismo. Bachelard ilustra essas visões através do perfil epistemológico, que é o símbolo da filosofia dispersa, conforme Figura 4.



Figura 4: representação das diferentes filosofias presentes no perfil epistemológico de Bachelard sobre o conceito de “massa”.

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Para o entendimento dessas questões, Bachelard se concentra sobre o conceito científico de massa. Para ele, durante as fases da vida de qualquer pessoa, o entendimento do que é massa vai se modificando com o passar dos anos. Bachelard escreve que, quando crianças, somos tentados a

pensar que uma maçã maior é sempre mais pesada, mas alerta que nos decepcionaremos ao ver que algumas dessas maçãs podem na verdade, serem maçãs ocas, pelo fato de algum inseto tê-la comido por dentro. Estamos aí na zona do realismo ingênuo e essa decepção nos fará ir para a fase, a do empirismo, em que agora somos levados a pesar as maçãs, em que atribuiremos a noção de massa ao número que aparece na balança, não mais a uma noção visual. Seguindo nesse espectro, a próxima noção de massa é para Bachelard a mais comum, a qual aprendemos no começo do Ensino Médio quando estudamos as leis de Newton; nesse contexto, nossa noção de massa se forma racionalmente, não primeiramente nos sentidos, mas busca em um segundo momento na empiria sua confirmação. Segundo Bachelard, essa noção de massa reside no racionalismo clássico da mecânica racional, já que:

A noção de massa define-se num corpo de noções e já não apenas como um elemento primitivo de uma experiência imediata e direta. Com Newton a massa será definida como o quociente da força pela aceleração. Força, aceleração, massa, estabelecem-se correlativamente numa relação claramente racional dado que esta relação é perfeitamente analisada pelas leis racionais da aritmética (Bachelard, 1976, p. 37).

Para Bachelard essa visão é a mais destacada, mas isso não significa que para uma mesma pessoa, as outras visões não possam estar presentes, poderão estar em menor escala. No sentido de que ainda pode, devido às limitações dos nossos sentidos, associar intuitivamente uma massa maior a uma maçã maior (é difícil comer maçãs depois de estudar Bachelard), mas provavelmente quando perguntado sobre o que é massa uma pessoa dirá que é quantidade de matéria ou o quociente da força pela aceleração. Além disso, um olhar mais atento sobre a relação entre massa e aceleração pode nos levar à próxima faixa deste espectro de filosofias. Quando estudamos a relatividade, entendemos que a massa de um objeto é relativa ao seu deslocamento, logo, "a massa não se comporta da mesma maneira relativamente à aceleração tangencial e relativamente à aceleração normal" (BACHELARD, 1976, p. 42). Segundo Jackson (1999), em um dos exercícios (11.5) da terceira edição, foi possível durante a disciplina de Teoria Eletromagnética, verificar essa mudança de forma clara nas expressões para  $a$ , a aceleração, já que antes tal mudança se mostrava apenas como conceitual (e ressaltamos aqui a importância de um entendimento não apenas conceitual, mas também como número, como propõe Bachelard, da equação, numa filosofia dialética).

Destacamos a que a sequência de equações que aqui apresentamos não têm o objetivo de sugerir que o professor as desenvolva em suas aulas na Educação Básica (não faria sentido!), senão a de tentar aclarar o raciocínio e a visão bachelardiana de que a massa de um objeto muda conforme seu movimento acelerado, seja essa aceleração perpendicular ou paralela ao sentido do movimento de uma partícula que se move com grandes velocidades, comparáveis com a velocidade da luz, uma vez que:

$$\mathbf{a}_{\parallel} = \frac{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{3/2}}{\left(1 + \frac{v \cdot \mathbf{u}'}{c^2}\right)^3} \mathbf{a}'_{\parallel} \quad \text{Eq. 3.1}$$

$$\mathbf{a}_{\perp} = \frac{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}{\left(1 + \frac{v \cdot \mathbf{u}'}{c^2}\right)^3} \left(\mathbf{a}'_{\perp} + \frac{v}{c^2} \times (\mathbf{a}' \times \mathbf{u}')\right). \quad \text{Eq. 3.2}$$

Fonte: Jackson (1999).

Nas equações 3.1 e 3.2  $\mathbf{a}_{\parallel}$  e  $\mathbf{a}_{\perp}$  são, respectivamente, aceleração perpendicular e paralela. Note-se como há uma mudança significativa entre as expressões, e como se retoma as expressões originais para velocidades muito baixas em comparação à velocidade da luz,  $c$ . Com esse entendimento, estaremos na próxima noção filosófica de massa, que é o racionalismo completo. Aqui o número de funções internas da nossa noção de massa se multiplica. O racionalismo “se multiplica, se pluraliza” (BACHELARD, 1976, p. 43). Mas ainda pode se pluralizar mais, quando estendemos ainda mais a relatividade. Isso foi feito por Dirac, que incluiu efeitos relativísticos na equação de propagação. A primeira pergunta que Bachelard nos faz é: propagação *de quê?* *Propagação de parênteses*, “sendo a forma de propagação que definirá aquilo que se propaga” (Ibidem, p. 46)<sup>2</sup>. Assim, para Bachelard a mecânica de Dirac é desrealizada, pois se dematerealiza, não procurando, em um primeiro momento, nenhuma relação com nosso mundo físico material, nenhuma relação inicial com a empiria, por isso que se define esse estado como ultraracionalismo, o quinto nível de nossa filosofia dispersa.

A motivação de Dirac é algo que vale a pena ser explorado, uma vez que o físico inglês buscava resolver o problema de densidade de probabilidade negativa que as equações de onda davam até então; ele buscava encontrar uma densidade de probabilidade como sendo definida positiva, e de quebra, junto, veio toda a questão da energia e da massa, que é o foco da discussão em Bachelard (1976). A equação que dominava até então era a de Klein-Gordon, relacionada à equação de Schrödinger, com a interpretação de Weiskopft-Pauli, na forma da equação 3.3:

$$\left(\square + \frac{m^2 c^2}{\hbar^2}\right) \psi = 0 \quad \text{Eq. 3.3}$$

---

<sup>2</sup> Vale ressaltar a relação com os parenteses de Poisson, que desenvolvem papel central nas equações de hamiltoniano, que governa a evolução de um sistema dinâmico. Sendo que temos que obedecer às relações canônicas dos parênteses de Poisson.

Uma possível solução de Klein-Gordon é uma onda plana na forma  $\psi(\mathbf{r}, t) \sim e^{-i(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r})}$ , com a derivada temporal sobre a energia e a derivada da posição sobre o momentum ( $E = \hbar\omega$ ,  $\mathbf{p} = \hbar\mathbf{k}$ ), de forma que teremos  $(\hbar\omega)^2 = (\hbar c\mathbf{k})^2 + m^2 c^4$ , ou simplesmente  $\hbar\omega = \pm\sqrt{(\hbar c\mathbf{k})^2 + m^2 c^4}$ . Isso por si só já é algo relevante, mas o problema que realmente chamou a atenção de Dirac num primeiro momento é o que vem a seguir, quanto à densidade de probabilidade. Vamos, com Klein-Gordon e semelhante ao que fazíamos na equação de Schrödinger, procurar uma expressão para essa densidade:

$$\left(\nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2}\right) \psi = \frac{m^2 c^2}{\hbar} \psi \quad \cdot \psi^* \quad \text{Eq. 3.4}$$

$$\left(\nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2}\right) \psi^* = \frac{m^2 c^2}{\hbar} \psi^* \quad \cdot \psi \quad \text{Eq. 3.5}$$

Depois de fazer essa multiplicação é preciso subtrair uma da outra, como segue:

$$\begin{aligned} \therefore \psi^* \left(\nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2}\right) \psi - \psi \left(\nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2}\right) \psi^* &= 0 \\ \therefore \frac{1}{c^2} \left(\psi^* \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} - \psi \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial t^2}\right) &= (\psi^* \nabla^2 \psi - \psi \nabla^2 \psi^*) \\ \therefore \frac{\partial}{\partial t} \left[ -\frac{\hbar}{2mi c^2} \left(\psi^* \frac{\partial \psi}{\partial t} - \psi \frac{\partial \psi^*}{\partial t}\right) \right] &= -\frac{\hbar}{2mi} \nabla \cdot (\psi^* \nabla \psi - \psi \nabla \psi^*) \end{aligned}$$

Agora, lembremos que a equação da continuidade tem a forma  $\frac{\partial}{\partial t} \rho(\mathbf{r}, t) = -\nabla \cdot \mathbf{J}(\mathbf{r}, t)$ , então podemos relacionar que:

$$\rho(\mathbf{r}, t) = \frac{i\hbar}{2mc^2} \left(\psi^* \frac{\partial \psi}{\partial t} - \psi \frac{\partial \psi^*}{\partial t}\right)$$

e também,

$$\mathbf{J}(\mathbf{r}, t) = \frac{\hbar}{2mi} \nabla \cdot (\psi^* \nabla \psi - \psi \nabla \psi^*)$$

Se voltarmos a supor  $\psi$  como sendo uma onda plana, a densidade de probabilidade acaba assumindo a forma simples  $\rho(\mathbf{r}, t) = \frac{\hbar\omega}{mc^2}$ , e o problema reside em  $\hbar\omega$ , como já vimos anteriormente, possuir valores negativos e positivos. Todos os níveis anteriores da nossa filosofia dispersa fariam o que nós habitualmente fazemos ao aplicar o teorema de Pitágoras para o triângulo retângulo, desconsideramos a parte negativa da solução, dizendo que isso não faz nenhum sentido por não ter correspondência com nada real. Uma noção de energia negativa (que leva a uma densidade de

probabilidade negativa) e conseqüentemente também uma noção de massa negativa, se  $E = mc^2$ , é algo absurdo nas filosofias precedentes, mas para o ultraracionalismo não é. Graças a isso, Dirac se debruçou sobre o problema da densidade de probabilidade negativa.

O primeiro passo seria retirar a derivada segunda. Devemos ter algo na forma  $i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = H\psi$ . Também temos que  $E = \sqrt{\mathbf{p}^2 c^2 + m^2 c^4}$ , o que evidentemente não é linear, porém Dirac queria algo linear, portanto supôs ser algo na forma:

$$H = c\boldsymbol{\alpha} \cdot \mathbf{p} + \beta mc^2$$

Com  $\alpha$  e  $\beta$  sendo fatores a determinar. Desta forma teremos  $i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = c(\boldsymbol{\alpha} \cdot \mathbf{p} + \beta mc)\psi$ . Essa relação fica um pouco mais evidente quando relacionamos que  $H|\psi\rangle = E|\psi\rangle$  e também  $H^2|\psi\rangle = E^2|\psi\rangle$ , ou seja, Dirac procurava recuperar a forma da energia, de forma que  $E^2 = \mathbf{p}^2 c^2 + m^2 c^4$  fosse respeitado obrigatoriamente. O procedimento agora é análogo ao que fizemos para Klein-Gordon, mas com um cuidado especial por usarmos uma notação diferente:

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = H\psi = (-i\hbar c\boldsymbol{\alpha} \cdot \nabla + \beta mc^2)\psi \quad \cdot \psi^\dagger \quad \text{Eq. 3.6}$$

$$-i\hbar \frac{\partial \psi^\dagger}{\partial t} = \psi^\dagger (i\hbar c\boldsymbol{\alpha} \cdot \nabla + \beta mc^2) \quad \cdot \psi \quad \text{Eq. 3.7}$$

Tal como feito em 3.4 e 3.5, depois da multiplicação por  $\psi^\dagger$  e  $\psi$ , é preciso subtrair uma da outra, como segue:

$$i\psi^\dagger \frac{\partial \psi}{\partial t} + i \frac{\partial \psi^\dagger}{\partial t} \psi = -ic(\psi^\dagger \boldsymbol{\alpha} \cdot \nabla \psi + (\nabla \psi^\dagger) \cdot \boldsymbol{\alpha} \psi)$$

$$\therefore i \frac{\partial \psi}{\partial t} (\psi^\dagger \psi) = -i \vec{\nabla} \cdot (\psi^\dagger c \vec{\alpha} \psi)$$

$$\therefore \frac{\partial \psi}{\partial t} (\psi^\dagger \psi) = \vec{\nabla} \cdot (\psi^\dagger c \vec{\alpha} \psi)$$

Lembrando que a equação da continuidade tem a forma  $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{J} = 0$  e também temos a equação da continuidade na forma explicitamente covariante,  $\partial_\mu j^\mu = 0$ , com  $j^\mu = (c\rho, \mathbf{J})$ , dado que  $\partial_0 = \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t}$ . Com isso:

$$\rho = \psi^\dagger \psi \quad \text{Eq. 3.8}$$

$$\mathbf{J} = \psi^\dagger c \vec{\alpha} \psi \quad \text{Eq. 3.9}$$

Por conseguinte,  $\rho \equiv j^0 = \psi^\dagger \psi = \sum_{i=1}^4 |\psi_i|^2$ . O somatório em quatro se dá porque, ao desenvolver em maior detalhe toda as expressões da mecânica de Dirac, vemos que as matrizes do hamiltoniano são  $4 \times 4$ ,  $\psi$  é  $4 \times 1$  e  $\psi^\dagger$  é  $1 \times 4$ , logo  $\psi^\dagger \psi$  dá algo  $1 \times 1$ , um escalar, como era de se esperar. Não obstante, Dirac obteve que esse escalar é um positivo definido. Mas ainda não abordamos com isso, a questão da massa e energia negativas, que era o foco em Bachelard (1976). Isso é uma sutileza interessante, o que preocupava Dirac era a densidade de probabilidade ser negativa, se o cálculo continuasse dando uma energia negativa e, por conseguinte, uma massa negativa, ele não se importaria. E foi o que aconteceu, a energia continuava sendo negativa. Nesse sentido, Bachelard (1976, p. 47) escreve:

O cálculo fornece-nos então esta noção juntamente com outras, com os momentos magnéticos e elétricos, com os spins. Mas eis a surpresa, eis a descoberta: No final do cálculo, a noção de massa é-nos fornecida estranhamente dialetizada. Nós tínhamos apenas necessidade de uma massa; o cálculo dá-nos duas, duas massas para um só objeto. A outra é uma massa negativa.

O próximo passo e, talvez, o mais surpreendente do ponto de vista conceitual foi a interpretação dada por Dirac para essa energia negativa. O que acontece é que não podemos desprezar esses autoestados, essa região de energia negativa. Esses estados todos estão relacionados a autovalores da equação de Dirac, com esses autovalores estando ligados a certos autoestados, que serão a base do espaço de Hilbert. Temos estados relacionados a autovalores negativos e estados relacionados a autovalores positivos, e todos esses estados formarão uma base. Não podemos desconsiderar os estados de energia negativa, fazer isso seria restringir absurdamente o espaço de Hilbert; estaríamos trabalhando apenas com um subespaço de Hilbert, o que traz sérios problemas. Com isso, Dirac entendeu que deveria adotar essa postura que Bachelard denomina ultraracionalista e defender a existência de entes com energia negativa, supondo que existem elétrons de energia negativa.

Podemos ilustrar essa situação da seguinte forma: Para um elétron com energia positiva a menor energia seria  $mc^2$  e a maior energia possível para um hipotético elétron de energia negativa seria  $-mc^2$  com um *gap* entre esses dois estados de  $\Delta E = 2mc^2$ . Mas eis aqui o grande ponto dessa análise, se há um estado de menor energia que diminuiria sem limites ( $-mc^2$ ;  $-2mc^2$ ;  $-3mc^2$ , e assim sucessivamente), era de se imaginar que os elétrons nos estados positivos caíssem para essa zona de energia negativa, sem limites, o que faria todo o nosso mundo material ser instável. Para tanto, Dirac utilizou o princípio de exclusão de Pauli, dizendo que todo esse estado de energia negativa estaria ocupado por um mar de elétrons de energia negativa e, portanto, de massa negativa<sup>3</sup>.

Sendo assim, o vácuo da teoria de Dirac é um mar de elétrons de energia negativa, sendo que eles não geram campo, mas convenhamos, esse é o menor dos problemas, pois se admitimos a presença de entes tão peculiares, admitir que não geram campo não seria nenhum problema. Mas podemos excitar esse vácuo, colocando energia, digamos de  $2mc^2$  para o elétron de energia negativa

<sup>3</sup> Por isso que se diz que a mecânica de Dirac só é válida para férmions, já que o princípio de exclusão não é válido para bósons.

mais alta, mais próximo do *gap*. Ele absorveria e pularia esse *gap*, o que nos deixaria com um buraco na região de energia negativa. O que Dirac afirmou foi que tal buraco está associado a um elétron de carga diferente. Esse processo pode ser ilustrado conforme a Figura 4.

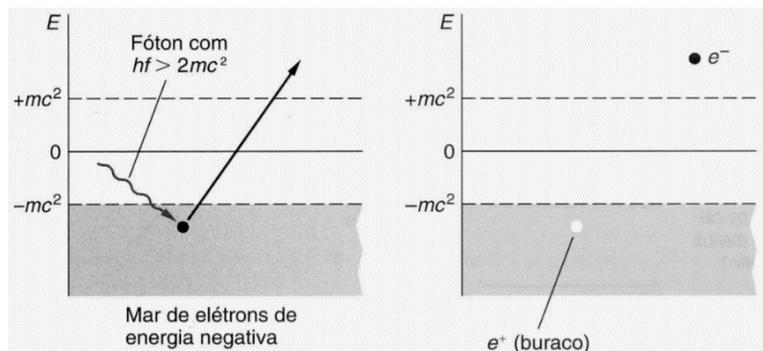


Figura 4: Representação para o mar de elétrons de energia negativa e o processo de excitação.

Fonte: Física Nuclear: do estudo dos núcleos atômicos aos materiais, disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/173802/mod\\_resource/content/1/Aula%206.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/173802/mod_resource/content/1/Aula%206.pdf)>.

Então, quando energizamos esse vácuo, surge um elétron (um buraco) com carga positiva, e isso é a antipartícula, buracos estão na verdade relacionados a pósitrons e o processo de energizar o vácuo nada mais é que a produção de pares, fenômeno bem conhecido da mecânica quântica.

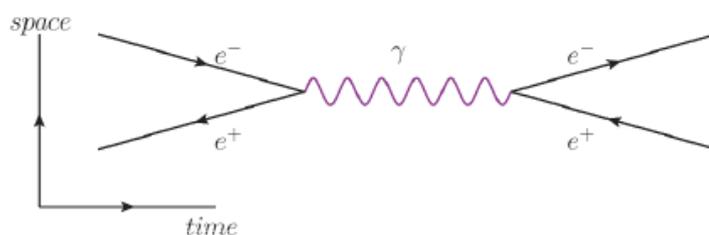


Figura 5: Representação da produção de pares, usando diagramas de Feynman.

Fonte: Fonte: Quantum Diaries, disponível em: <<https://www.quantumdiaries.org/tag/qed/>>.

Com isso, o ultraracionalismo partia de algo que não tinha nenhum compromisso com a realidade, ou seja, a mecânica de Dirac é, pois, *a priori* desrealizada, mas vemos como, “no fim do seu desenvolvimento ela procura a sua realização” (Ibid., p. 46), com essa realização sendo dada poucos anos após, “\om a descoberta experimental do pósitron por Blackett e Occhialini” (Ibid., p. 51). Com isso, Bachelard explicita a importância dessa forma de racionalismo, explicando que é nessa faixa que teremos as grandes descobertas da ciência dos nossos tempos:

Queríamos com efeito dar a impressão de que é nesta região do ultraracionalismo dialético que sonha o espírito científico. É aqui, e não algures, que nasce o sonho analógico, aquele que se aventura pensando, que pensa aventurando-se, que procura uma iluminação do pensamento através do pensamento, que encontra uma intuição súbita no além do pensamento instruído (Bachelard, 1976, p. 50).

Conclui-se assim esse detalhamento quanto à epistemologia de Bachelard, destacando um de seus grandes legados, que é a exortação ao desenvolvimento de um pensamento dialético, apaziguando empiria e razão. Hacking (2010) retoma essa visão ainda com mais intensidade, mas foi Bachelard quem nos alertou primeiro para isso. A filosofia da ciência tem necessidade de um desenvolvimento dialético, porque cada noção se esclarece de uma forma complementar segundo dois pontos de vista diferentes. Poderíamos dizer que Bachelard “é o Bohr” da filosofia da ciência, pois a complementariedade pode ser vista aqui como a necessidade de um pensamento dialético. Nesse sentido, poderíamos dar à Bachelard o mesmo brasão de armas concedido a Bohr por Frederico IX, rei da Dinamarca (Figura 6).

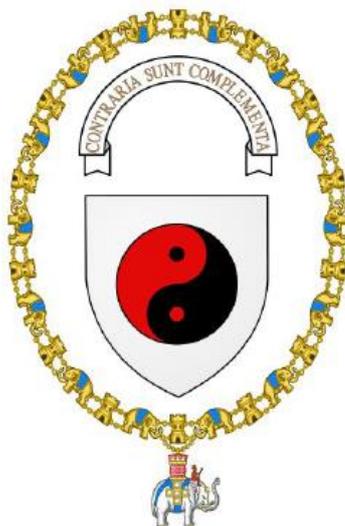


Figura 6: O brasão de armas de Bohr, refletindo a ideia da complementariedade.

Fonte: Reddit: Coat of arms of Niels Bohr, the famous physicist. Disponível em: [https://www.reddit.com/r/heraldry/comments/6x24j4/coat\\_of\\_arms\\_of\\_niels\\_bohr\\_the\\_famous\\_physicist/](https://www.reddit.com/r/heraldry/comments/6x24j4/coat_of_arms_of_niels_bohr_the_famous_physicist/).

### **Modus Ponens e Modus Tollens: alguns esclarecimentos**

Aqui se busca revisitar alguns conceitos relacionados à lógica dedutiva, que comumente são mencionados nas aulas sobre a Epistemologia de Karl Popper, mas que lá são tratados rapidamente, em decorrência de não ser um tema central em sua visão. Como é um assunto com sua relevância e que não é trivial, dedica-se uma seção a esse tópico.

Em primeiro lugar, *Modus Ponens* é um aspecto da lógica dedutiva (proposicional), sendo uma abreviação de *Modus Ponendo Ponens*, que do latim significa “maneira/modo de afirmar afirmando”. Se refere ao fato de afirmar o conseqüente (conclusão) por afirmar o antecedente (premissas), constituindo uma das bases da boa argumentação, uma vez que um argumento válido é basicamente um conjunto de premissas das quais se segue uma conclusão. A questão aqui é que as premissas podem ser afirmativas ou negativas. Analisemos o primeiro caso, com um exemplo de premissas afirmativas, em uma situação de uma partida de xadrez:

Se o seu rei está em xeque-mate, então você perdeu o jogo.  
O seu rei está em xeque-mate.  
 Portanto, você perdeu o jogo.

Essencialmente, isso é *modus ponens*, premissas verdadeiras levando a inferências verdadeiras, em um processo dedutivo. Se substituirmos as partes sublinhadas por P e Q, teremos uma notação usual que caracteriza esse processo dedutivo, como ilustrado na Tabela 1.

Se <u>P</u> , então <u>Q</u> . <u>P</u> . Portanto, <u>Q</u>	$P \rightarrow Q$ P $\therefore Q$
--	--

Tabela 2: Representação de *Modus Ponens*.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Além dessa representação é comum aparecer  $P \rightarrow Q; P \vdash Q$ , onde  $\vdash$  é um símbolo metalógico que significa que a conclusão obtida é uma consequência sintática de P e  $P \rightarrow Q$ , em um sistema lógico.

Existem combinações e relações possíveis analisadas de forma clara em Silveira (1996), porém aquilo que ainda nos interessa, em outra possível forma lógica de argumentação é o *Modus Tollens*. Significa do latim “modo que nega por negação”, ou “negação do consequente”, logo a grande diferença é a presença de premissas de negação que levam a uma conclusão falseada. Se usarmos novamente o caso de um jogo de xadrez:

Se o seu rei está em xeque-mate, então você perdeu o jogo.  
Você não perdeu o jogo.  
 Portanto, o seu rei não está em xeque-mate.

Nota-se que a primeira assertiva é idêntica à colocada para o *modus ponens*, mas aqui há negação na segunda premissa e com isso tem-se uma conclusão que vem a falsear a primeira premissa. Novamente, se substituirmos as partes sublinhadas por P e Q teremos a representação usual para *Modus Tollens*:

Se <u>P</u> , então <u>Q</u> . Não <u>Q</u> . Portanto, não <u>P</u> .	$P \rightarrow Q$ $\sim Q$ $\therefore \sim P$
--	--

Tabela 3: Representação de *Modus Tollens*.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Ao se refletir um pouco é fácil constatar que se utiliza esses modos de argumentação corriqueiramente no cotidiano, pois a argumentação faz parte da vida cotidiana de cada um. Portanto, é interessante ter em mente a nomenclatura correta dentro da lógica proposicional de processos que ocorrem mais naturalmente do que se imagina, e assim não estaremos inventando quimeras. Além do

mais, tendo atenção aos *modi operandi* de uma argumentação, cuidando sobretudo as premissas, diminui-se a chance de cairmos em falácias. Em resumo, uma falácia é um erro de raciocínio que resulta em um argumento inválido (praticamente uma mentira). Existem alguns tipos de falácias, mas os tipos mais comuns são usar uma premissa vaga ou ambígua, ou assumir como verdadeiro o que deve ser provado. Para se identificar falácias e mostrar sua ocorrência, pode ser útil seguir a ideia do *Modus Ponens* ou do *Modus Tollens*, construindo tabelas de verdade e montar uma linha crítica com a conclusão falsa.

Além de um entendimento um pouco mais claro a respeito de processos dedutivos, a discussão a respeito da argumentação pode nos trazer aplicações muito úteis, com respeito aos circuitos lógicos. É bem conhecida de todos nós a lógica booleana, então destaca-se aqui o trabalho de Claude Shannon (1916-2001), que é tido por muitos como aquele que estabeleceu os fundamentos da teoria da informação moderna, já fazendo as primeiras analogias da lógica dedutiva com dispositivos de chaveamento na sua dissertação de mestrado, *A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits*, em 1938. Já em 1948 ele refina um pouco mais suas ideias no livro *Mathematical Theory of Communication*, em que destaca que o desenvolvimento de vários métodos de modulação de sinal intensificou o interesse por uma teoria geral da comunicação. O objetivo de Shannon nesse trabalho residia em articular a teoria da comunicação com alguns fatores, em especial o efeito do ruído. Nesse sentido Shannon (1948, p.1) alerta que “o problema fundamental da comunicação é reproduzir em um ponto exatamente ou aproximadamente uma mensagem selecionada em outro ponto” (tradução nossa). Assim, Shannon utiliza algumas dessas ideias da argumentação na busca por trazer uma economia na propagação de sinal, com a diminuição de ruído, o que realmente se mostrou eficiente. A noção básica de *Modus Ponens* e *Modus Tollens* será recuperada quando, ao invés de um conjunto de sentenças para *P* e *Q*, estivermos tratando com configurações de um circuito elétrico e a conclusão como, por exemplo, ser se uma lâmpada acende ou não, como ilustrado na Figura 7.

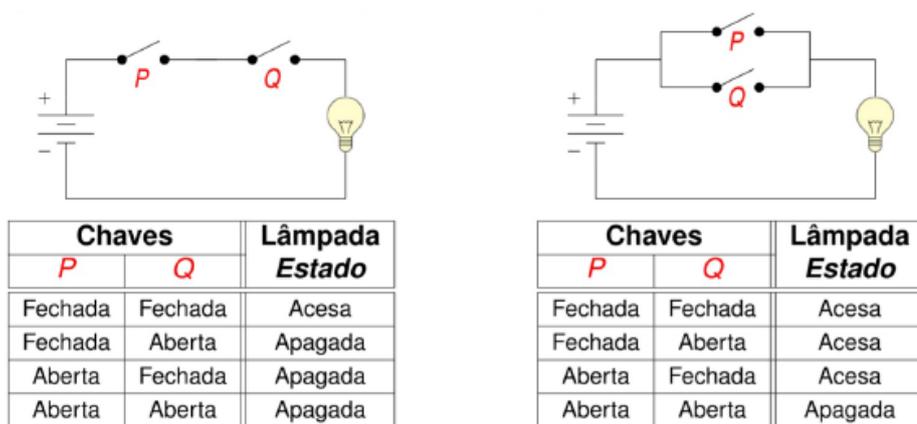


Figura 7: Um esquema que representa circuitos lógicos simples e possibilidades para *P* e *Q*.

Fonte: LOUREIRO (2018).

Destaca-se que, dado que temos duas configurações possíveis (aberto e fechado), foi natural para Shannon e colaboradores (SHANNON, 1948) utilizar uma base logarítmica para medida de

informação, em especial logarítmica na base dois, o que se relaciona com a ideia de dígitos binários, os bits. Aspectos como esse se tornam ainda mais interessantes quando começamos a entender um pouco da lógica dedutiva.

## Esclarecendo aspectos dúbios da Epistemologia de Feyerabend

Em geral, quando se utilizam na disciplina de História da Física e Epistemologia mapas conceituais como estratégia didática para compreensão das visões epistemológicas, durante as discussões e apresentações dos mapas sobre a epistemologia de Feyerabend, percebemos que apareceram algumas dúvidas e em certos momentos é possível notar que alguns conceitos não ficam claros. Começemos pelo mais essencial de todos, o princípio da *Contra-Indução*. A contra-indução é a regra principal que rege a metodologia pluralista baseada no *princípio de tudo vale* proposto por Feyerabend. Para ficar mais claro, podemos tomar um exemplo mencionado pelo próprio Feyerabend (2011c), pois além da utilidade para um melhor entendimento, Feyerabend defende que *tudo vale* é uma perspectiva histórica, isto é, apenas olhando para o passado, para o desenvolvimento da ciência até os nossos dias é que conseguiremos entender tal regra, porque olhar para a ciência apenas no presente é o que leva à tendência de acreditar que Feyerabend é um inimigo da ciência. Quando se estuda Lakatos, em geral, menciona-se o trabalho de Bohr, citando a importância da heurística positiva deste programa de pesquisa. Tal como Lakatos, Feyerabend também será um admirador do trabalho de Bohr, pois na visão deste epistemólogo, Bohr é um dos pesquisadores que utilizava uma metodologia pluralista, tentando tornar forte o argumento fraco, pois:

[...] ele jamais tentava esboçar um quadro acabado, mas percorria pacientemente todas as fases do desenvolvimento de um problema, partindo de algum aparente paradoxo e levando gradualmente a sua elucidação. De fato, jamais considerava resultados obtidos como qualquer outra coisa que não pontos de partida para novas pesquisas [...] (Feyerabend, 2011c, p.38).

Assim, podemos tentar entender a *contra-indução* ligada ao trabalho de Bohr relacionando com o racionalismo crítico, de forma que montamos uma tabela, como apresentado na sequência.

Racionalismo Crítico	Contra-Indução
1. Só aceitar hipóteses que se ajustem a teorias confirmadas ou corroboradas;	1. Introduzir hipóteses que conflitem com teorias confirmadas ou corroboradas;
2. Eliminar hipóteses que não se ajustem a fatos estabelecidos;	2. Introduzir hipóteses que não se ajustem a fatos bem estabelecidos.

Tabela 4: Os princípios da contra-indução, em oposição ao racionalismo crítico.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Dessa forma, Feyerabend critica Popper, pois tal como Bohr costumava fazer, haverá momentos em que introduzir hipóteses *ad hoc* é aconselhável, hipóteses estas que podem ter menos conteúdo empírico, mas poderão se mostrar como pontos de partida para novas pesquisas.

Um outro ponto que costuma causar desconforto para se entender é o que Feyerabend (2011c) chama de *princípio de autonomia*. *Autonomia de quê? Dos dados coletados? Mas os dados não seriam influenciados pelas teorias e, portanto, não neutros? São perguntas como essas que apareceram durante as discussões. Em primeiro lugar, destaca-se que o princípio de autonomia é sim*

referente aos dados, tanto que algumas vezes Feyerabend (2011c) se refere a ele como pressuposto da autonomia relativa dos dados. Ele não defende que esse princípio seja bom ou ruim, apenas que ele existe, é seguido pelos cientistas e não pode ser desconsiderado pela epistemologia. Trata-se de uma das muitas ferramentas que os cientistas utilizam na criação de teorias novas e pode ser comparado ao poder heurístico mencionado por Lakatos (1978). Sobre sua definição ele defende que:

Esse princípio não assevera que a descoberta e a descrição de fatos sejam independentes de todo teorizar. Assevera, contudo, que os fatos que fazem parte do conteúdo empírico de alguma teoria estão disponíveis, considerem-se ou não alternativas a essa teoria (Feyerabend, 2011c, p.52).

Ele assevera, então, que este pressuposto estará envolvido na maioria das situações que envolvam alguma confirmação ou teste. Mas ele ressalta (Ibid., p. 52) que “fatos e teorias estão muito mais intimamente ligados do que o admite o princípio de autonomia”. Pode haver situações, inclusive, em que alguns fatos obscuros a uma dada teoria só possam ser desvelados e entendidos com o surgimento de uma nova teoria, que pode surgir com base na contra-indução. Sendo assim, o autor ressalta novamente que os fatos estão intimamente ligados às teorias, porém eles têm a sua importância assegurada com o princípio de autonomia. Vale destacar que a discussão acerca deste princípio em sala de aula, acarreta em dados momentos comentários sobre a *condição de consistência*, que o filósofo menciona. É interessante destacar, que o *princípio de autonomia* é introduzido no capítulo três de seu livro intitulado *Contra o Método*, cujo título aborda a situação da condição de consistência nesta epistemologia (p. 49), com a qual terminamos essa seção inicial sobre Feyerabend:

A condição de consistência, que exige que hipóteses novas estejam de acordo com teorias aceitas é desarrazoada, pois preserva a teoria mais antiga e não a melhor. Hipóteses contradizendo teorias bem confirmadas proporcionam-nos evidência que não pode ser obtida de nenhuma outra maneira. A proliferação de teorias é benéfica para a ciência, ao passo que a uniformidade prejudica seu poder crítico. A uniformidade também ameaça o livre desenvolvimento do indivíduo.

Sendo assim, a condição de consistência refere-se às novas hipóteses dentro de um campo de pesquisa em relação a teorias já bem aceitas, sendo este um ponto que Feyerabend critica, afirmando que é uma condição desarrazoada, como já indicado. Por outro lado, o Princípio de Autonomia se refere aos dados somente, não a teorias ou hipóteses e é inegavelmente, para este filósofo, um fundamento da prática científica. A *condição de consistência* e o *princípio de autonomia* são conceitos distintos e importantes dentro desta epistemologia, mas que foram algumas vezes confundidos ao longo do curso, portanto é conveniente ao professor estar atento a este detalhe. Outro conceito importante que também suscitou dúvidas e discussões é o da incomensurabilidade, para o qual separamos a próxima seção.

## O que é Incomensurabilidade?

Em Epistemologia e História da Ciência, somos sempre introduzidos ao tema da incomensurabilidade ao estudarmos Kuhn, que utiliza o termo em seu livro *A Estrutura das Revoluções Científicas*, AERC, publicado originalmente em 1962, e também logo em seguida ao estudarmos Feyerabend, que utiliza o termo em sua obra mais conhecida, *Contra o Método*, de forma mais explícita no capítulo 16 (p. 214), porém ele utilizou o termo pela primeira vez em um artigo de 1962, "*Explanation, Reduction and Empiricism*", mesmo ano de publicação da obra de Kuhn. Sendo assim, afirmar que Kuhn introduziu por primeiro o termo é um erro cronológico. A reação deste à incomensurabilidade de Feyerabend é retratada por Kuhn, em um encontro que tiveram em 1995:

Acho que me lembro de uma conversa com Feyerabend. Ele estava em sua escrivaninha e eu estava em pé na porta de sua sala, que era bem próxima da minha. [...] Eu lhe disse algo sobre as minhas ideias, incluindo a palavra incomensurabilidade, e ele disse, "Oh, você também está usando essa palavra". [...] Estávamos falando a respeito de algo que era, em certo sentido, a mesma coisa (Kuhn, 2006, p.358-359).

Se Kuhn afirma que "em certo sentido" estavam tratando da mesma coisa, então é porque, evidentemente há muitas semelhanças, mas também devem haver diferenças. Fazer essa distinção ou até mesmo trazer uma definição de incomensurabilidade para Feyerabend foi um ponto de bastante dificuldade nas aulas de História e Epistemologia. Por essa razão se escreve esse breve texto introdutório a este tema específico.

Segundo Hoyninguen-Huene (2014), incomensurabilidade tem origem no latim em *incommensurabilis*, que é uma variante do vocábulo grego *asymetron*, termo utilizado muito pelos geômetras, sobretudo os pitagóricos, para "descrever a impossibilidade de medir a diagonal de um quadrado através de números racionais" (Ibid. p. 21). Kuhn e Feyerabend se apropriaram do termo no intuito de descrever a impossibilidade de uma unidade de medida para comparação de teorias "revolucionárias" ou mutuamente excludentes. Essa influência da geometria e incomparabilidade influenciará mais fortemente a visão de Feyerabend, ao passo que Kuhn se encaminha para uma vertente de incompatibilidade, utilizando essa etimologia mais próxima de um sentido metafórico, como afirma:

Aplicado ao vocabulário conceitual usado numa teoria científica e em seu entorno, o termo "incomensurabilidade" funciona metaforicamente. A expressão "nenhuma medida comum" passa a ser "nenhuma linguagem comum". A afirmação de que duas teorias são incomensuráveis é, assim, a afirmação de que não há uma linguagem, neutra ou não, que ambas as teorias, concebidas como conjunto de sentenças, possam ser traduzidas sem resíduos e perdas. A incomensurabilidade em sua forma metafórica não implica incomparabilidade [...]. (Kuhn, 2006, p.51).

De fato, em AERC, a tese da incomensurabilidade está claramente baseada na concepção de incompatibilidade, pois um paradigma novo, aceito após uma revolução científica, não pode ser relacionado com um paradigma antigo, tampouco é válido entender um paradigma como um caso limite do outro, como Popper (1982) entendia. Para Kuhn o paradigma novo é completamente incompatível com o antigo e dois pesquisadores adeptos de paradigmas diferentes não conseguirão

chegar a um entendimento. Na verdade, Kuhn (1998, p. 246) afirma que são “[...] forçados a um diálogo de surdos. Embora cada um deles possa ter esperança de converter o seu adversário à sua maneira de ver a ciência e a seus problemas, nenhum dos dois pode ter a esperança de demonstrar sua posição”. É necessária uma verdadeira conversão dos adeptos do antigo paradigma para o novo. Este ponto foi um início de discordância para Feyerabend, pois, uma vez defensor da ideia de pluralismo teórico, diversas teorias e ideias podem coexistir, e não faria sentido a predominância de um único paradigma no período de ciência normal. A mudança entre esses paradigmas poderia se dar por uma série de razões que não a “filosofia da conversão”, na verdade, ele esclarece, em *A Conquista da Abundância* (2006, p. 352), que, ao considerar o debate Einstein e Bohr, firmes adeptos de concepções diferentes dentro da Quântica, a filosofia da conversão simplesmente não faz sentido. A questão é, se a conversão não é uma possibilidade, como os cientistas mudam entre teorias? Dado que, para Moreira e Massoni (2011, p. 107), “na versão de Feyerabend, incomensurabilidade significa incomparabilidade”, como que poderemos comparar teorias? Na verdade, Feyerabend nos dirá que existe uma forma de comparação, mas ela é sutil e não pode se dar por maneiras racionais, tal qual os geômetras não podiam medir a diagonal de um quadrado através de números racionais. Ele afirma, em *A Ciência em uma Sociedade Livre* (2011, p. 85), que “comparação por conteúdo, ou verossimilitude, estava, é claro, fora de questão. Mas certamente havia outros métodos”. Assim, Feyerabend, tal como Kuhn, porém de maneira ainda mais clara, descarta a ideia de que teorias melhores são aquelas com maior verossimilhança. Esse não pode ser um critério de comparação, mas só seria possível a comparação por critérios subjetivos, como retomaremos em seguida.

Vale destacar que a verossimilhança foi um termo elaborado por Popper (1982) para destacar as teorias que se aproximariam mais de uma verdade objetiva e que poderiam ser comparadas até mesmo sem a presença de um experimento crucial, ideias em relação às quais Feyerabend será nitidamente contrário. Para um maior entendimento do que é verossimilhança, voltemos brevemente à Popper (1982), o qual afirmava que podemos comparar teorias mesmo antes que possam ser testadas e essa comparação é bem simples, mas com uma sutileza. Ele defende que naturalmente se prefere aquela teoria que nos diz mais sobre um dado fenômeno, isto é, que possui mais dados empíricos, mais conteúdo. Popper defende que, de fato fazemos essa escolha e não há nada de errado com isso, mas alerta que uma teoria mais informativa é também uma teoria logicamente menos provável. Um exemplo simples (Popper, 1982, p. 243), seria que temos uma afirmativa “a”: “Na sexta-feira vai chover”, e também temos “b”: “No sábado fará tempo bom.”, é evidente que “a” tem uma probabilidade de estar errada, “b” tem outra, e “ab” (“Na sexta-feira vai chover e no sábado fará tempo bom”) tem uma probabilidade ainda maior de estar errada, ou seja, quanto mais conteúdo, menor a probabilidade de acerto. Nesse sentido Popper afirma que “se o progresso do conhecimento significa que passamos a utilizar teorias de maior conteúdo, significa também que usamos teorias de menor probabilidade” (Ibid., p. 244). Tendo em vista que não há como escapar disso, pois na ciência visamos um conteúdo informativo elevado, Popper elabora um contraponto, que é a verossimilhança (*truthlikeness*, em inglês, dando a ideia de aproximação da verdade), no sentido de que uma teoria que se almeja buscar, que substituirá uma antiga, deverá ter uma probabilidade menor (mais

conteúdo) e uma verossimilhança maior (mais verdadeira, no sentido de mais correspondente com os fatos, conforme a visão tarskiana que Popper menciona). Tendo isso em mente, elabora-se um pequeno mapa conceitual, a seguir, que é feito para ilustrar os contrapontos verossimilhança e probabilidade, em relação ao termo em alemão “*Wahrheitsgehalt*”, que é uma reminiscência da expressão “há verdade no que afirmas”, da qual “conteúdo-verdade” pode ser considerado uma tradução (Popper, 1982, p. 259). O que forma a *Wahrheitsgehalt* de uma teoria são a probabilidade e verossimilhança, pontos importantes a se destacar na comparação de teorias, conforme ilustrado na Figura 8.

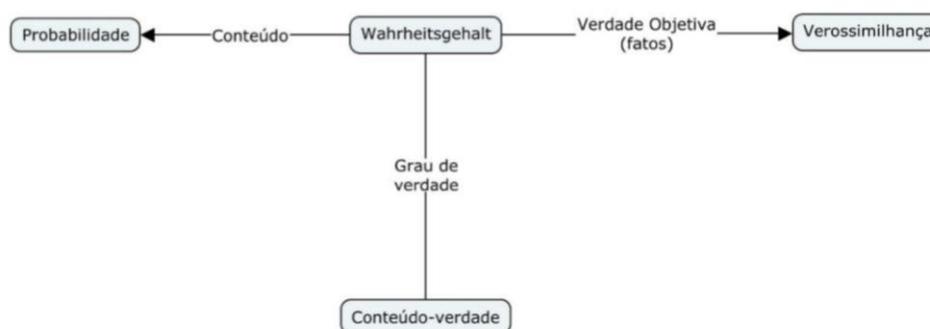


Figura 8: A composição da *Wahrheitsgehalt*, com destaque para a verossimilhança.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Assim, um critério de comparação pelo método hipotético-dedutivo ficou sendo a noção de conteúdo-verdade, como destacado. Kuhn e Feyerabend negam essa proposição ao tratar da incomensurabilidade, pois para eles não há medida comum para dizer qual teoria se aproximaria mais da verdade. Feyerabend vai além, dizendo que mesmo os fatos estão imbricados pelas teorias. Nesse sentido Hoyninguen-Huene (2014, p. 53) escreve que o filósofo austríaco, em sua tese de doutorado, chegou à “constatação de que as proposições de observação dependem da natureza dos objetos - algo que ocorre com uma alteração da teoria fundamental - também acarreta, segundo ele, uma troca de significados das respectivas sentenças observacionais”. Assim, Feyerabend entendia que os dados são obtidos e interpretados com base em uma teoria vigente e se mudamos a teoria por quaisquer razões, muda-se a interpretação dos dados e é como se os próprios dados mudassem, de forma que seria impossível definir a existência de dados neutros. Poderíamos dizer, assim, que, segundo Hacking (2010), Feyerabend se aproxima de realismo de teorias, se afastando do realismo de entidades, tão forte é esse realismo de teorias que Feyerabend (2011b, p. 88) afirma que “reconhecemos que nossas atividades epistêmicas podem ter uma influência decisiva até mesmo sobre a peça mais sólida do espaço cósmico - elas fazem que deuses desapareçam e os substituem por montes de átomos no espaço vazio”. Por essa razão que Moreira e Massoni (2011, p. 107) afirmam que para Feyerabend “os princípios constitutivos de uma teoria, em sua interpretação realista, podem ser violados ou ‘suspensos’ por outra teoria”. Portanto, é por essa razão que defendemos que o realismo anda junto com o princípio da incomensurabilidade em Feyerabend, pois para ele ao se mudar de teoria, muda-se nosso entendimento sobre realidade, e é como se as coisas

em si mudassem, pois o nosso mundo perceptual mudou. Kuhn (1998), por outro lado, já adota uma fala um pouco diferente e se encaminha para um realismo de entidades, ao mencionar dois grupos de cientistas em paradigmas diferentes ao estudarem uma mesma questão ou ente:

Ao fazer ciência em mundos diferentes, os dois grupos de cientistas veem coisas diferentes quando olham a partir do mesmo ponto e na mesma direção. Repetamos que isso não quer dizer que eles possam ver qualquer coisa a seu bel-prazer. Ambos estão olhando para o mundo e aquilo que veem não mudou. Mas, em algumas áreas eles veem coisas diferentes (Kuhn, 2006, p.51).

Tomemos alguns exemplos, que mostram que algumas teorias incomensuráveis para Kuhn não o são para Feyerabend. Um exemplo mais clássico, que concerne os modelos planetários de Ptolomeu e de Copérnico, é um exemplo básico para Kuhn de incomensurabilidade. O indicador seria a noção atribuída à "planeta". No sistema ptolomaico, o Sol, a Lua e outros astros são tidos como planetas por orbitarem a Terra, mas não são planetas para Copérnico. O oposto também vale, uma vez que a Terra não é um planeta para Ptolomeu e é para Copérnico. Isso seria uma incompatibilidade que representa a incomensurabilidade para Kuhn. Feyerabend (2011b) não concorda, mas enfatiza que "a mera diferença de conceitos não é suficiente pra tornar as teorias incomensuráveis, no meu sentido. A situação deve ser armada de tal maneira que as condições de formação de conceito em uma teoria proibam a formação dos conceitos básicos da outra". Ou seja, quanto ao domínio da incomensurabilidade, o conceito feyerabendiano é muito mais restrito. Indiretamente, isso também significa que teremos menos exemplos históricos, uma vez que o foco deste autor é relacionado aos conceitos de teorias fundamentais e suas implicações ontológicas. Se podemos formar o conceito "planeta" em uma teoria e também em uma outra que traz uma nova visão de mundo, então não se tratam de teorias incomensuráveis. Em *A Ciência em uma Sociedade Livre*, Feyerabend (2011b, p. 85) esclarece que os únicos exemplos que ele percebe que se encaixam nessa condição são: "a física clássica e a teoria quântica, a relatividade geral e a mecânica clássica, a física homérica agregada e a física de substância dos pré-socráticos".

Mas se pelo domínio, o termo é restrito na epistemologia feyerabendiana, a respeito da pervasividade, o conceito é mais extenso que o de Kuhn, uma vez que Feyerabend (2011c) e (2011b) defende que teorias incomensuráveis devem tê-las em *todos* os seus domínios e aspectos, já para Kuhn, teorias incomensuráveis podem ter alguns aspectos comparáveis, comensuráveis em certo sentido. A situação de Ptolomeu e Copérnico é um bom exemplo, pois para o filósofo americano são incomensuráveis pela mudança no significado do termo "planeta", mas, conforme Hoyninguen-Huene (2014, p. 61), "as predições de ambas quanto às posições planetárias no céu são plenamente comensuráveis e podem imediatamente ser comparadas com relação à precisão empírica". Logo, a incomensurabilidade kuhniana é local, no sentido de que se aplica a características específicas, não a todas as características e facetas de uma teoria. Feyerabend, por outro lado, até por sua relação já discutida quanto à observação, defenderá a tese de uma incomensurabilidade global, que afeta "todas as sentenças deriváveis das duas teorias" (Ibid., p. 61).

Assim, após a leitura das obras e com o que é aqui colocado, geralmente tem-se a impressão de que Kuhn e principalmente Feyerabend defendem que é impossível uma real e direta comparação teórica, o que é sempre uma frustração, porque ficamos com uma sensação de que estudamos a natureza do conhecimento e não somos capazes, ao menos com essas duas epistemologias, de reconhecer quando uma teoria é melhor. Por essa razão parece ser tão agradável e prático a alguns estudantes as epistemologias que respondem essa questão de maneira mais clara, como Popper (1982), Lakatos (1978) e até mesmo Laudan (2011), para este com uma teoria melhor sendo aquela que resolva mais problemas. Mas não podemos desistir de Feyerabend e Kuhn por isso, uma vez que eles são contrários a métodos específicos de comparação, o primeiro descartando a comparação direta e o segundo recusando a comparação ponto-a-ponto.

Vale ressaltar que para Kuhn, a comparação ponto-a-ponto é impossível pela razão de modificação de significados dos conceitos, porém uma comparação de teorias por seus méritos ainda é válida, e aqui vemos que Kuhn ainda tem um caráter racionalista, embora, pela filosofia das conversões sempre se tenha assumido que ele é defensor do irracionalismo. Na verdade, como Hacking (2010, p. 9) traz: “Kuhn achava que a ciência é irracional? Não exatamente. Isso não quer dizer que ele também tenha sido ‘racional’. Eu duvido que ele tenha muito interesse na questão”. De fato, ele não se posiciona em AERC quanto a esse ponto. Ele defende um viés irracional na conversão, mas defende uma racionalidade na comparação, pois para Kuhn “é racional escolher teorias com mais resultados porque elas atendem melhor aos objetivos científicos. Essa propriedade da seleção teórica torna todo o processo da ciência racional e progressivo” (Hoyninguen-Huene, 2014, p. 63).

Para Feyerabend essa comparação racional é inviável, uma vez que os dados são diferentemente interpretados como já mencionado. Assim, os critérios de comparação para ele são subjetivos, e podem sê-lo no sentido ordinário do termo, como valores estéticos, julgamentos de gosto, preconceitos metafísicos e até crenças religiosas. Em tom “brincalhão”, Feyerabend (2011c, p. 224) afirma que “claro, alguma espécie de comparação sempre é possível (por exemplo, uma teoria física pode soar mais melodiosa do que outra teoria física quando lida em voz alta com acompanhamento de violão)”.

Logo, para o austríaco, o processo científico como um todo não é guiado pela razão, embora a racionalidade esteja sempre presente (Feyerabend, 2011a). Em última instância, mesmo sem meios racionais na comparação, o avanço científico para ele continua progressivo, pois o progresso científico consiste no “aumento do conjunto de teorias incomensuráveis e perspectivas, cada qual forçando os outros a uma maior articulação” (Hoyninguen-Huene, 2014, p. 64). Mesmo em *Contra o Método*, ele não se mostra contrário à ideia de ciência progressiva, apenas defende que, se tudo vale, qualquer um pode interpretar progresso a sua maneira. Um empiricista, por exemplo, atribuirá progresso à quantidade de testes empíricos que concordam com os pressupostos básicos. Agora, para outros, o progresso pode significar unificação e harmonia, talvez mesmo às custas da adequação empírica. É assim que Einstein encarava a Teoria Geral da Relatividade. “E minha tese é a de que o anarquismo contribui para que se obtenha progresso em qualquer dos sentidos que se escolha atribuir ao termo” (Feyerabend, 2011c, p. 42).

Assim, um exemplo contundente é devido a Einstein, que estava imerso em um “paradigma”, globalmente incomensurável com o(s) paradigma(s) do século XX (com exceção, talvez da Termodinâmica), utilizando dos meios viáveis de comparação, segundo Feyerabend, no que se refere às teorias incomensuráveis. Por fim, ainda é interessante mencionar o que acontece quando se faz a transição entre teorias que são incomensuráveis. É comum encontrarmos afirmações de que, sob certas condições, a teoria da relatividade (especial) recai na relatividade galileana ou na mecânica newtoniana, com o que o filósofo austríaco não concorda, de maneira semelhante a Kuhn, pois Feyerabend (2011c, p. 220) afirma que o que temos são alguns fenômenos de transição, que podem receber um nome próprio, “como “pseudoimagens-residuais” - um análogo perceptivo muito interessante da transição, digamos da mecânica newtoniana à relatividade especial: a relatividade, também, não nos dá fatos newtonianos, mas análogos relativísticos de fatos newtonianos”. Uma situação seria o que notamos com a massa na mecânica newtoniana, que seria uma “pseudoimagem-residual” da mecânica relativística para baixas velocidades, mas não é o mesmo ente, se fossem, as duas teorias não seriam incomensuráveis, mas segundo Feyerabend, são.

Finalizamos assim, uma breve análise sobre o conceito de incomensurabilidade, que é mais cheio de sutilezas do que aparenta. Evidentemente este texto não esgota o tema, para mais informações a respeito é recomendada a leitura de “*Kuhn, Feyerabend e a Incomensurabilidade*”, de Hoyninguen-Huene (2014), o capítulo 16 de “*Contra o Método*” (2011), o capítulo sete de “*A Ciência em uma sociedade livre*” (2011) e também o quinto capítulo da primeira parte de “*Representar e Intervir*” (2012), de Ian Hacking.

## **Conclusão**

O Estágio Docente no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física permite aos pós-graduandos terem uma excelente oportunidade de docência, tratando de assuntos vistos ao longo da pós-graduação e permitindo a vivência como futuro docente e também em muitos contextos serve à coleta de dados e a um rico aprendizado como pesquisador na área de Pesquisa em Ensino.

O Estágio permitiu fazer um aprofundamento e uma imersão nas teorias da Epistemologia, em especial de Paul Feyerabend, referencial da dissertação, além de boas discussões a respeito da Física Quântica, tema principal da dissertação. Conclui-se esta etapa da formação destacando que mais do que ensinar ou aprender um conteúdo, a vivência, o contato com as pessoas, é sempre frutífera para alcançar e discutir os objetivos da educação e também dos possíveis usos da epistemologia.

Os diversos autores abordados foram apresentados e algumas dúvidas que suscitaram discussões permitiram a produção de texto que visa abordar algumas nuances da epistemologia que se mostraram confusas ou abstratas ao longo do curso. Assim, este tem o intuito de auxiliar tanto também professores como outros pesquisadores que queiram realizar o estágio ou que simplesmente se interessam pelo tema da História e Epistemologia.

Terminou-se o curso com o pensamento geral de que a epistemologia em muito pode acrescentar a uma aula de física, na formação de docentes realmente críticos e que possam fazer uma mudança no contexto onde estiverem inseridos.

Esperamos que educadores e futuros educadores possam se valer destas reflexões no sentido de que se alimenta a esperança de que promovam um ensino de física mais crítico e reflexivo.



## Referências

- Bachelard, G. (1976). **Filosofia do Novo Espírito Científico: a filosofia do não**. Lisboa: Editorial Presença, 2 ed..
- Bachelard, G. (1996). **A Formação do Espírito Científico**. Rio de Janeiro, Contraponto.
- Brandão, R. V.; Araujo, I. S. V. E. A. (2008). A modelagem científica de fenômenos físicos e o ensino de física. **Física na Escola**, 9 (1), p. 10-14.
- Bruner, J. (1977). **O Processo da Educação**. Lisboa: Edições 70.
- Bunge, M. A. (1974). **Teoria e Realidade**. São Paulo: Ed. Perspectiva, 1 ed.
- Certeau, M. de (1994). **A Invenção do Cotidiano: artes de fazer**. Petrópolis, RJ: Vozes.
- Chalmers, A. (1993). **O que é ciência afinal?** São Paulo: Brasiliense.
- Cindra, J. L. (1996). Anomalias e paradoxos da teoria newtoniana da gravitação. **Revista da SBHC**, (16), p. 53-60.
- Comte, A. (1988, publicado originalmente em 1830). **Os Pensadores**, tradução de José Arthur Giannotti e Miguel Lemos. São Paulo: Nova Cultural.
- Damasio, F. e Peduzzi, L. O. Q. (2015). O pior inimigo da ciência: Procurando esclarecer questões polêmicas da epistemologia de Paul Feyerabend na formação de professores. **Investigação em Ensino de Ciências**, 20(1), p. 97-126.
- Feyerabend, P. (2011a). **Adeus à Razão**. São Paulo: Editora Unesp.
- Feyerabend, P. (2011b). **A Ciência em uma sociedade livre**. São Paulo: Editora Unesp.
- Feyerabend, P. (2011c). **Contra o método**. São Paulo: Editora Unesp.
- Freire-Maia, N. (1990). **A Ciência por Dentro**. Editora Vozes.
- Gomes, L. C. e Bellini, L. M. (1995). Hacking's experimental realism: An untenable middle ground. York: **Journal of the Department of Philosophy**, (62), p. 60-69.
- Gomes, L. C. e Bellini, L. M. (2009). Uma revisão sobre os aspectos fundamentais da teoria de piaget: possíveis implicações para o ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 31(2).
- Hacking, I. (2010). **Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science**. Cambridge: Cambridge University Press.
- Heidemann, L. A. (2015). **Ressignação das atividades experimentais no ensino de física por meio do enfoque no processo de modelagem científica**.
- Hoyninguen-Huene, P. (2014). **Kuhn, Feyerabend e Incomensurabilidade**. São Leopoldo: Editora Unisinos.
- Jackson, J. D. (1999). **Classical Electrodynamics**. New York: John Wiley and Sons, 3 ed.
- Kuhn, T. (1998). **A Estrutura das Revoluções Científicas**. São Paulo: Perspectiva, 5 ed.
- Kuhn, T. (2006). **O caminho desde A estrutura: ensaios filosóficos, 1970-1993**, com uma entrevista autobiográfica. São Paulo: Editora Unesp.

Lakatos, I. (1978). **La Metodología de los Programas de Investigación Científica**. Madrid: Alianza Editorial, 1 ed.

Lakatos, I. (1983). **History of Science and its rational reconstructions**. In: Hacking, I. Hong-Kong: Oxford University.

Laudan, L. (2011). **O Progresso e seus Problemas**. São Paulo: Unesp.

Loureiro, A. A. F. **Fundamentos da Lógica Proposicional**, 2018. 86 slides. Apresentação de Slides Preparada para a disciplina Matemática Discreta, do curso de graduação em Ciência da Computação da UFMG. Disponível em: <<https://homepages.dcc.ufmg.br/~loureiro/md.html>>. Acesso em 14 de novembro.

Maturana, H. (2001). **Cognição, Ciência e Vida Cotidiana**. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 1 ed.

Moreira, M. A. (1999). **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: EDU, 1 ed.

Moreira, M. A.; Massoni, N. T. (2011). **Epistemologias do Século XX**. São Paulo: EPU.

Orozco Cruz, J. C. (1996). Gaston Bachelard y la historia comprometida. **Física y Cultura: Cuadernos sobre História y Enseñanza de las Ciencias**, (2, p.19-43.

Ostermann, F. (1996). A epistemologia de kuhn. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, 13(3), p. 184-196.

Ostermann, F. e Ricci, T. S. F. (2002). Relatividade restrita no ensino médio: Contração de lorentz-irtzgerald e aparência visual de objetos relativísticos em livros didáticos de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, 19(2), p.176-190.

Pessoa Jr, O. (2003). **Conceitos de Física Quântica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 1 ed.

Piaget, J. (1970). **Epistemologia Genética**. São Paulo: Martins Fontes, 3 ed.

Pietrocola, M. (1999). Construção e realidade: O realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Investigações em Ensino de Ciências**, 4(3), p. 213-227.

Popper, K. R. (1982). **Conjecturas e Refutações**. Brasília: Editora da UnB.

REINER, R.; PIERSON, R. **Hacking's Experimental Realism: An Untenable Middle Ground**. York: Department of Phylosophy, 62, p. 60-69, 1995.

Rogers, C. (1977). **Liberdade para Aprender**. Belo Horizonte: Interlivros, 4 ed.

Shannon, C. (1948). A mathematical theory of communication. **The Bell System Technical Journal**, 27, p. 379-423, 623-656.

Silva, T. T. (1999). **Documentos de Identidade: Uma Introdução iras Teorias de Currículo**. São Paulo: Autêntica.

Silveira, F. L. (1996). A filosofia da ciência de Karl Popper: O racionalismo crítico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, 13(3), p.197-218. Watson, A. (2004). **The Quantum Quark**. Cambridge University Press, 1 ed.

WATSON, A. **The Quantum Quark**. 1ª ed. Cambridge University Press, 2004.





## TEXTOS DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA

Disponíveis em: <http://www.if.ufrgs.br/ppgenfis/mostrairta.php>

- nº. 1 Um Programa de Atividades sobre de Física para a 8ª Série do 1º Grau  
Rolando Axt, Maria Helena Steffani e Vitor Hugo Guimarães, 1990.
- nº. 2 Radioatividade  
Magale Elisa Brückmann e Susana Gomes Fries, 1991.
- nº. 3 Mapas Conceituais no Ensino de Física  
Marco Antonio Moreira, 1992.
- nº. 4 Um Laboratório de Física para Ensino Médio  
Rolando Axt e Magale Elisa Brückmann, 1993.
- nº. 5 Física para Secundaristas – Fenômenos Mecânicos e Térmicos  
Rolando Axt e Virgínia Mello Alves, 1994.
- nº. 6 Física para Secundaristas – Eletromagnetismo e Óptica  
Rolando Axt e Virgínia Mello Alves, 1995.
- nº. 7 Diagramas V no Ensino de Física  
Marco Antonio Moreira, 1996.
- nº. 8 Supercondutividade – Uma proposta de inserção no Ensino Médio  
Fernanda Ostermann, Letície Mendonça Ferreira, Claudio de Holanda Cavalcanti, 1997.
- nº. 9 Energia, entropia e irreversibilidade  
Marco Antonio Moreira, 1998.
- nº. 10 Teorias construtivistas  
Marco Antonio Moreira e Fernanda Ostermann, 1999.
- nº. 11 Teoria da relatividade especial  
Trieste Freire Ricci, 2000.
- nº. 12 Partículas elementares e interações fundamentais  
Fernanda Ostermann, 2001.
- nº. 13 Introdução à Mecânica Quântica. Notas de curso  
Ileana Maria Greca e Victoria Elnecave Herscovitz, 2002.
- nº. 14 Uma introdução conceitual à Mecânica Quântica para professores do ensino médio  
Trieste Freire Ricci e Fernanda Ostermann, 2003.
- nº. 15 O quarto estado da matéria  
Luiz Fernando Ziebell, 2004.
- v. 16, n. 1 Atividades experimentais de Física para crianças de 7 a 10 anos de idade  
Carlos Schroeder, 2005.
- v. 16, n. 2 O microcomputador como instrumento de medida no laboratório didático de Física  
Lucia Forgiarini da Silva e Eliane Angela Veit, 2005.
- v. 16, n. 3 Epistemologias do Século XX  
Neusa Teresinha Massoni, 2005.

- v.16, n. 4 Atividades de Ciências para a 8a série do Ensino Fundamental: Astronomia, luz e cores  
Alberto Antonio Mees, Cláudia Teresinha Jraige de Andrade e Maria Helena Steffani, 2005.
- v. 16, n. 5 Relatividade: a passagem do enfoque galileano para a visão de Einstein  
Jeferson Fernando Wolff e Paulo Machado Mors, 2005.
- v. 16, n. 6 Trabalhos trimestrais: pequenos projetos de pesquisa no ensino de Física  
Luiz André Mützenberg, 2005.
- v. 17, n. 1 Circuitos elétricos: novas e velhas tecnologias como facilitadoras de uma aprendizagem significativa no nível médio  
Maria Beatriz dos Santos Almeida Moraes e Rejane Maria Ribeiro-Teixeira, 2006.
- v. 17, n. 2 A estratégia dos projetos didáticos no ensino de física na educação de jovens e adultos (EJA)  
Karen Espindola e Marco Antonio Moreira, 2006.
- v. 17, n. 3 Introdução ao conceito de energia  
Alessandro Bucussi, 2006.
- v. 17, n. 4 Roteiros para atividades experimentais de Física para crianças de seis anos de idade  
Rita Margarete Grala, 2006.
- v. 17, n. 5 Inserção de Mecânica Quântica no Ensino Médio: uma proposta para professores  
Márcia Cândida Montano Webber e Trieste Freire Ricci, 2006.
- v. 17, n. 6 Unidades didáticas para a formação de docentes das séries iniciais do ensino fundamental  
Marcelo Araújo Machado e Fernanda Ostermann, 2006.
- v. 18, n. 1 A Física na audição humana  
Laura Rita Rui, 2007.
- v. 18, n. 2 Concepções alternativas em Óptica  
Voltaire de Oliveira Almeida, Carolina Abs da Cruz e Paulo Azevedo Soave, 2007.
- v. 18, n. 3 A inserção de tópicos de Astronomia no estudo da Mecânica em uma abordagem epistemológica  
Érico Kemper, 2007.
- v. 18, n. 4 O Sistema Solar – Um Programa de Astronomia para o Ensino Médio  
Andréia Pessi Uhr, 2007.
- v. 18, n. 5 Material de apoio didático para o primeiro contato formal com Física; Fluidos  
Felipe Damasio e Maria Helena Steffani, 2007.
- v. 18, n. 6 Utilizando um forno de microondas e um disco rígido de um computador como laboratório de Física  
Ivo Mai, Naira Maria Balzaretto e João Edgar Schmidt, 2007.
- v. 19, n. 1 Ensino de Física Térmica na escola de nível médio: aquisição automática de dados como elemento motivador de discussões conceituais  
Denise Borges Sias e Rejane Maria Ribeiro-Teixeira, 2008.
- v. 19, n. 2 Uma introdução ao processo da medição no Ensino Médio  
César Augusto Steffens, Eliane Angela Veit e Fernando Lang da Silveira, 2008.
- v. 19, n. 3 Um curso introdutório à Astronomia para a formação inicial de professores de Ensino

Fundamental, em nível médio  
Sônia Elisa Marchi Gonzatti, Trieste Freire Ricci e Maria de Fátima Oliveira Saraiva, 2008.

- v. 19, n. 4 Sugestões ao professor de Física para abordar tópicos de Mecânica Quântica no Ensino Médio  
Sabrina Soares, Iramaia Cabral de Paulo e Marco Antonio Moreira, 2008.
- v. 19, n. 5 Física Térmica: uma abordagem histórica e experimental  
Juleana Boeira Michelena e Paulo Machado Mors, 2008.
- v. 19, n. 6 Uma alternativa para o ensino da Dinâmica no Ensino Médio a partir da resolução qualitativa de problemas  
Carla Simone Facchinello e Marco Antonio Moreira, 2008.
- v. 20, n. 1 Uma visão histórica da Filosofia da Ciência com ênfase na Física  
Eduardo Alcides Peter e Paulo Machado Mors, 2009.
- v. 20, n. 2 Relatividade de Einstein em uma abordagem histórico-fenomenológica  
Felipe Damasio e Trieste Freire Ricci, 2009.
- v. 20, n. 3 Mecânica dos fluidos: uma abordagem histórica  
Luciano Dernadin de Oliveira e Paulo Machado Mors, 2009.
- v. 20, n. 4 Física no Ensino Fundamental: atividades lúdicas e jogos computadorizados  
Zilk M. Herzog e Maria Helena Steffani, 2009.
- v. 20, n. 5 Física Térmica  
Nelson R. L. Marques e Ives Solano Araujo, 2009.
- v. 20, n. 6 Breve introdução à Física e ao Eletromagnetismo  
Marco Antonio Moreira, 2009.
- v. 21, n. 1 Atividades experimentais de Física à luz da epistemologia de Laudan: ondas mecânicas no ensino médio  
Lizandra Botton Marion Morini, Eliane Angela Veit, Fernando Lang da Silveira, 2010.
- v. 21, n. 2 Aplicações do Eletromagnetismo, Óptica, Ondas, da Física Moderna e Contemporânea na Medicina (1ª Parte)  
Mara Fernanda Parisoto e José Túlio Moro, 2010.
- v. 21, n. 3 Aplicações do Eletromagnetismo, Óptica, Ondas, da Física Moderna e Contemporânea na Medicina (2ª Parte)  
Mara Fernanda Parisoto e José Túlio Moro, 2010.
- v. 21, n. 4 O movimento circular uniforme: uma proposta contextualizada para a Educação de Jovens e Adultos (EJA)  
Wilson Leandro Krummenauer, Sayonara Salvador Cabral da Costa e Fernando Lang da Silveira, 2010.
- v. 21, n. 5 Energia: situações para a sala de aula  
Marcia Frank de Rodrigues, Flávia Maria Teixeira dos Santos e Fernando Lang da Silveira, 2010.
- v. 21, n. 6 Introdução à modelagem científica  
Rafael Vasques Brandão, Ives Solano Araujo e Eliane Angela Veit, 2010.
- v. 22, n. 1 Breve introdução à Lei de Gauss para a eletricidade e à Lei de Ampere-Maxwell

Ives Solano Araujo e Marco Antonio Moreira, 2011.

- v. 22, n. 2 O conceito de simetria na Física e no Ensino de Física  
Marco Antonio Moreira e Aires Vinícius Correia da Silveira
- v. 22, n. 4 Visões epistemológicas contemporâneas: uma introdução  
Marco Antonio Moreira e Neusa Teresinha Massoni, 2011.
- v. 22, n. 5 Introdução à Física das Radiações  
Rogério Fachel de Medeiros e Flávia Maria Teixeira dos Santos, 2011.
- v. 22, n. 6 O átomo grego ao Modelo Padrão: os indivisíveis de hoje  
Lisiane Araujo Pinheiro, Sayonara Salvador Cabral da Costa e Marco Antonio Moreira, 2011.
- v. 23, n. 1 Situações-problema como motivação para o estudo de Física no 9o ano  
Terrimar I. Pasqualetto, Rejane M. Ribeiro-Teixeira e Marco Antonio Moreira, 2012.
- v. 23, n. 2 Unidades de Ensino Potencialmente Significativas UEPS  
Marco Antonio Moreira, 2012.
- v. 23, n. 3 Universo, Terra e Vida: aprendizagem por investigação  
Roberta Lima Moretti, Maria de Fátima Oliveira Saraiva e Eliane Angela Veit, 2012.
- v. 23, n. 4 Ensinando Física através do radioamadorismo  
Gentil César Bruscato e Paulo Machado Mors, 2012.
- v. 23, n. 5 Física na cozinha  
Lairane Rekovvsky, 2012.
- v. 23, n. 6 Inserção de conteúdos de Física Quântica no Ensino Médio através de uma unidade de ensino potencialmente significativa  
Adriane Griebeler e Marco Antonio Moreira, 2013.
- v. 24, n. 1 Ensinando Física Térmica com um refrigerador  
Rodrigo Pogliá e Maria Helena Steffani, 2013.
- v. 24, n. 2 Einstein e a Teoria da Relatividade Especial: uma abordagem histórica e introdutória  
Melina Silva de Lima, 2013.
- v. 24, n. 3 A Física dos equipamentos utilizados em eletrotermofototerapia  
Alexandre Novicki, 2013.
- v. 24, n. 4 O uso de mapas e esquemas conceituais em sala de aula  
Angela Denise Eich Müller e Marco Antonio Moreira, 2013.
- v. 24, n. 5 Evolução temporal em Mecânica Quântica: conceitos fundamentais envolvidos  
Glauco Cohen F. Pantoja e Victoria Elnecave Herscovitz, 2013.
- v. 24, n. 6 Aprendizagem significativa em mapas conceituais  
Marco Antonio Moreira, 2013.
- v. 25, n. 1 Introdução ao uso de tecnologias no Ensino de Física experimental dirigida a licenciandos de Física  
Leandro Paludo, Eliane Angela Veit e Fernando Lang da Silveira, 2014.
- v. 25, n. 2 Uma proposta para a introdução dos plasmas no estudo dos estados físicos da matéria

- no Ensino Médio  
Luis Galileu G. Tonelli, 2014.
- v. 25, n. 3 Abordagem de conceitos de Termodinâmica no Ensino Médio por meio de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas  
Marcos Pradella e Marco Antonio Moreira, 2014.
- v. 25, n.4 Arduino para físicos: uma ferramenta prática para a aquisição de dados automáticos  
Rafael Frank de Rodrigues e Silvio Luiz Souza Cunha, 2014.
- v. 25, n.5 Ensino de conceitos básicos de eletricidade através da análise do consumo de energia elétrica na escola  
Adroaldo Carpes de Lara, Ives Solano Araujo e Fernando Lang da Silveira, 2014.
- v. 25, n.6 Pequenos projetos de Física no ensino não formal  
Camilla Lima dos Reis e Maria Helena Steffani, 2014.
- v. 26, n.1 Ensino de Eletricidade para a Educação de Jovens e Adultos  
Rodrigo Lapuente de Almeida e Sílvio Luiz de Souza Cunha, 2015.
- v. 26, n.2 Textos e atividades sobre oscilações e ondas, modelos atômicos, propriedades da luz, luz e cores, radiações ionizantes e suas aplicações médicas  
José Fernando Cánovas de Moura, Rejane Maria Ribeiro-Teixeira e Fernando Lang da Silveira, 2015.
- v. 26, n.3 Ensino de Óptica na escola de nível médio: utilizando a plataforma Arduino como ferramenta para aquisição de dados, controle e automação de experimentos no laboratório didático  
Elio Molisani Ferreira Santos, Rejane Maria Ribeiro-Teixeira e Marisa Almeida Cavalcante, 2015.
- v. 26, n.4 Proposta didática para desenvolver o tema supercondutividade no Ensino Médio  
Flavio Festa, Neusa Teresinha Massoni e Paulo Pureur Neto, 2015.
- v. 26, n.5 Oficina de Astronomia  
Marina Paim Gonçalves e Maria Helena Steffani, 2015
- v. 26, n.6 Interfaces entre teorias de aprendizagem e ensino de Ciências/Física  
Marco Antonio Moreira e Neusa Teresinha Massoni, 2015.
- v. 27, n. 1 Proposta didática para apresentar conceitos do movimento de queda dos corpos no Ensino Fundamental através de um aporte histórico e epistemológico  
Jênifer Andrade de Matos e Neusa Teresinha Massoni, 2016.
- v. 27, n. 2 Proposta didática para o ensino de calorimetria com ênfase no desenvolvimento da habilidade de leitura e interpretação de gráficos  
Gabriel Schabbach Schneider, Fernando Lang da Silveira e Eliane Angela Veit, 2016.
- v. 27, n. 3 Uma proposta de trabalho orientada por projetos de pesquisa para introduzir temas de Física no 9º ano do Ensino Fundamental  
Jeferson Barp e Neusa Teresinha Massoni, 2016.
- v. 27, n. 4 Aplicação do Método Peer Instruction na abordagem das Leis de Newton no Ensino Médio  
Jader Bernardes, Ives Solano Araujo e Eliane Angela Veit, 2016
- v. 27, n. 5 Uma sequência didática sobre ondas com os métodos Instrução pelos Colegas (Peer Instruction) e Ensino sob Medida (Just-in-time Teaching)  
Madge Bianchi dos Santos, Ives Solano Araujo e Eliane Angela Veit, 2016.

- v. 27, n. 6 Uma proposta para introduzir a Teoria da Relatividade Restrita no ensino médio: abordagem histórico epistemológica e conceitual  
Eduardo Ismael, Fuchs, Dimiter Hadjimichef e Neusa Teresinha Massoni.
- v. 28, n. 1 Gravitação Universal em atividades práticas: uma abordagem histórica e cultural, das órbitas dos planetas à ficção científica  
Eliaana Fernandes Borragini, Daniela Borges Pavani e Paulo Lima Junior, 2017.
- v. 28, n. 2 O Bóson de Higgs na mídia, na Física e no Ensino da Física  
Marco Antonio Moreira, 2017.
- v. 28, n. 3 Visões epistemológicas (ou sociológicas) recentes da ciência: uma introdução  
Neusa Teresinha Massoni e Marco Antonio Moreira, 2017.
- v. 28, n. 4 Um jogo de perguntas e respostas como forma de motivar alunos do Ensino Médio ao estudo da Física: o tópico de Mecânica  
Fabrizio Belli Riatto, Neusa Teresinha Massoni e A. Alves, 2017.
- v. 28, n. 5 Proposta de projeto extracurricular: uma intervenção desescolarizada na escola  
Ismael de Lima, Paulo Lima Jr. e Rafael Pezzi, 2017.
- v. 28, n. 6 O experimento da borracha quântica: uso de analogias para o entendimento do quântico pelo clássico  
Luciano Slovinski e A. Alves-Brito, 2017.
- v. 29, n. 1 A física e os instrumentos musicais: construindo significados em uma aula de acústica  
Douglas Krüger da Silva e Alexsandro Pereira de Pereira, 2018.
- v. 29, n. 2 Uma abordagem do tema estruturante "Matéria e Radiação" na Educação Básica: a busca da criticidade na educação científica  
Ghisiane Spinelli Vargas Neusa Teresinha Massoni Cilaine Verônica Teixeira, 2018
- v. 29, n. 3 Sensoriamento Remoto (SR) como forma de contextualização e prática da Educação Ambiental na disciplina de Física  
Francineide Amorim Costa Santos Neusa Teresinha Massoni Claudio Rejane da Silva Dantas Alexandre Luis Junges, 2018
- v. 29, n.4 Uma proposta para motivar o aluno a aprender mecânica no ensino médio - abordagem com tecnologias de informação e comunicação  
Glaucio Salomão Ferreira Ribas Daniela Borges Pavani, 2018
- v. 29, n.5 Formação inicial e continuada de professores e alunos e alunos de Ensino Médio nos laboratórios de Física  
Camila Werle, Mara Fernanda Parisoto e Valdir Rosa, 2018