

## 4. A FÍSICA<sup>1</sup>

Neste capítulo apresentaremos alguns aspectos sobre a essência do que conhecemos como física. Para tal, traremos pontos de sua evolução histórica, de seu desenvolvimento enquanto ciência, de quem são seus atores, sujeitos e objetos, do seu papel e sua importância na sociedade contemporânea e de como o homem, enquanto ser humano-histórico, insere e está inserido numa realidade sócio-cultural cada vez mais preenchida por conceitos, teorias, modos de agir e de pensar relacionados com a estrutura dessa área da ciência. Trataremos então da física não apenas como uma ciência exclusiva, elitizada ou isolada, mas como cultura, e apresentaremos questões que, apesar de já bem debatidas sobre o ensino de física, geralmente aparecem distantes da discussão trabalhista: por que ensinar, para quem, o quê, quem ensina, como ensinar e como aprender.

Iniciaremos apresentando o que é a física enquanto ciência e cultura e seguiremos tratando dessa área da ciência (e da ciência como um todo) enquanto da análise epistemológica de Thomas Kuhn.

### 4.1. A física como ciência e cultura – parte 1

A ciência é uma atividade humana que vem sendo construída ao longo dos últimos milênios e que possui uma série de características bastante específicas, comparativamente às outras atividades humanas como a arte, a prática religiosa, a meditação e o esporte, tal qual a observação sistemática da natureza, de seus fenômenos, seus sujeitos e objetos, a análise e o estudo dessas observações, a categorização de aspectos comuns, diferentes e opostos envolvendo temas materiais e não materiais, a construção e a reconstrução da história; a previsão de fenômenos, processos e comportamentos naturais (humanos ou não) e culturais, entre outros. Para ISAACS e PITT (1976, p. 6), “no momento em que [o ser humano] começou a perceber que certos efeitos se seguiam sempre a uma determinada causa, nasceu o estudo sistemático da natureza, ao qual chamamos ciência.”

Da origem do pensamento reflexivo aos dias de hoje a ciência sofreu uma expansão enorme, especialmente no que diz respeito à parcela da população mundial envolvida diretamente com processos e resultados científicos, visto que

“qualquer sociedade atual, não importando quais sejam seus cultos religiosos ou sua

---

1 Primeira versão, provisória, do capítulo 4 da tese de doutoramento intitulada **Sobre o trabalho do professor de física de nível médio: realidade e necessidade**. Renato Marcon Pugliese, Fevereiro de 2015.

organização social e política, faz uso da eletricidade, de transportes automotivos, de vacinação, de radiocomunicação e de inúmeras outras técnicas, que são manifestações e instrumentos práticos da cultura científica e tecnológica” (MENEZES, 2005, p. 5).

No mesmo caminho, olhando para trás e avaliando o desenvolvimento da física no último século, sabemos que

“nunca a ciência foi tão importante, nunca os cientistas foram tão prestigiados, como a Física e os físicos após a Segunda Guerra Mundial. [...] As verbas dos governos para pesquisas em Física nuclear foram dadas generosamente em todos os países, a Física passou a ser assunto de segurança nacional e muitos físicos tornaram-se gerentes de grandes projetos de construção de aceleradores, de reatores ou de novas armas. [...] O cientista distraído, filósofo, ingênuo, meio trapalhão, cabelos desarrumados, foi sendo substituído pelo jovem executivo, cabelo escovado, eficiente e preciso. Além de ajudar a fazer armas de guerra, os físicos passaram a ser importantes também na grande indústria: as companhias multinacionais fundaram grandes laboratórios de pesquisas eletrônicas, óticas, radiativas, para aperfeiçoar a fabricação de aparelhos elétricos, computadores, telefones e aumentar os lucros. [...] O número de estudantes aumentou para o dobro, triplo, quádruplo... [...] Mas o milagre acabou. [...] A física voltou a ser uma atividade mais acadêmica, menos industrial, gerencial ou técnica.” (HAMBURGER, 1992, p. 7-8).

Pensando na maneira como fazemos ciência atualmente, como nos relacionamos com essa atividade e como, aparentemente, ela continuará sendo construída pelas próximas gerações, podemos afirmar que, dentre as centenas de grandes áreas de pesquisa existentes – física, biologia, educação, história, geologia..., e das infinitas sub-áreas – física dos hádrons, física matemática, física estatística, cosmologia, astrofísica, ensino de física..., há uma origem que parece ser comum ou, pelo menos, de maior importância: a filosofia grega.

Essa forma de olhar para o mundo, essa filosofia sistemática, tal qual a conhecemos, aparentemente surgiu com os gregos há alguns séculos antes da era cristã (ZANETIC, 2004; SCHENBERG, 2001) e permitiu que o homem abrisse, por vezes em pequenos grupos, espaço para compreender diversos fenômenos naturais, situações, processos e comportamentos que anteriormente não lhe era possível. Dessa abertura nasce, ainda antes da era cristã e de forma bem diferente do que temos hoje, a física.

Definir o que é a ciência não é tarefa fácil, mas podemos avaliar interpretações como a do renomado físico norte-americano Richard Feynman, de que “a matemática não é uma ciência de nosso ponto de vista, no sentido de que não é uma ciência *natural*. O teste de sua validade não é a experiência” (FEYNMAN, 2001, p. 89-90) e, além disso e com uso de um termo talvez exagerado, o autor afirma que também “o amor não é uma ciência” (idem). Pouco mais adiante, explica que “por sinal, a psicanálise não é uma ciência; na melhor hipótese, é um processo médico, e talvez se aproxime mais do curandeirismo”, já que “a psicanálise não foi verificada cuidadosamente pela experiência e não há como obter uma lista do número de casos em que funciona, o número de casos em que não funciona, etc.” (ibidem,

p. 109).

De acordo com o professor Menezes (2005, p. 14), “a palavra *física*, do grego *physiké*, tem origem em *physis*, expressão grega para natureza, no sentido de realidade natural sensível”. O termo em questão está relacionado à natureza material, corpórea, que pode ser sentida, e que seria o oposto à metafísica, ou seja, ao que não pode ser sentido.

Essas definições, ainda que simplórias, nos permitem perceber que o estudo da física está diretamente ligado à observação da natureza sensível ao homem, no espaço e no tempo, e à compreensão de como era ou do que houve com a natureza anterior, no caso do tempo, ou em outros locais, no caso do espaço, onde o homem não esteve; bem como permite prever o que será e como será a natureza posterior ao homem, no tempo, e em lugares ainda não imaginados, no espaço.

Essa observação, aliada ao registro, ao compartilhamento dos dados e das ideias e à análise sistemática utilizando recursos, ferramentas e conhecimentos desenvolvidos anteriormente e aos problemas a que se pretende compreender, forma o que chamamos de física. Seguindo o raciocínio de Menezes (*idem*),

“pode-se ver a física como um grande jogo de se identificar a totalidade onde só se veem fragmentos, de se procurar a permanência onde só se percebem transformações, e de se abranger o maior número de fenômenos com o menor número de princípios”.

Da filosofia grega a física incorporou o modo de pensar sobre observações, fenômenos, fatos e ideias; da matemática o raciocínio lógico-proporcional, hipotético-dedutivo, o cálculo diferencial e integral, a estatística; da história a capacidade de estudar o passado para se compreender o presente e prever (ou antever) o futuro; da política a forma como articular grupos de pesquisadores e ideias; e assim por diante. Ainda assim provavelmente a gênese dessa ciência está na astronomia, pois certamente “é mais antiga do que a física. Na verdade, deu origem à física ao revelar a bela simplicidade do movimento das estrelas e dos planetas, cuja compreensão foi o *início* da física.” (FEYNMAN, 2001, p. 104)

Nesse tortuoso caminho ao longo dos séculos, muitas teorias e conceitos físicos foram desenvolvidos (a física enquanto ciência), bem como muitas teorias e conceitos sobre como se faz física também o foram (a epistemologia e a filosofia da ciência) e, não por menos, muitas teorias e conceitos estão surgindo sobre ensinar e aprender física (o ensino de física enquanto ciência).

Pensando na física enquanto ciência, podemos dizer que a partir do período histórico conhecido como Renascimento, entre os séculos XIV e XVI, o modo de se observar a natureza se tornou mais sistemático, abusando de recursos da filosofia, da linguagem, da

astronomia e da matemática, o que permitiu que diversos pesquisadores compreendessem alguns fenômenos de uma maneira mais apurada do que anteriormente. Cabe citar Nicolau Copérnico com seus textos sobre as órbitas dos corpos celestes e a possibilidade de interpretação do movimento do céu a partir de um ou dois movimentos da própria Terra; Galileu Galilei com suas observações de astros com a luneta e a interpretação de dados como as luas de Júpiter, as manchas solares e as crateras na Lua, bem como a interpretação matemática da queda dos graves; Tycho Brahe com suas observações detalhadas sobre a posição dos astros na tentativa de justificar o geocentrismo; Johannes Kepler e sua interpretação dos dados, muitos deles coletados pelo Brahe, compreendendo o formato das órbitas dos corpos celestes numa perspectiva heliocêntrica; entre outros.

Para Hamburger (1992, p. 16),

“Galileu é considerado fundador da Física moderna, pois utilizou pela primeira vez a combinação de raciocínio teórico e observação experimental que caracteriza a Física até hoje, mas não chegou a formular uma teoria completa do movimento. Isso foi feito pelas gerações seguintes de filósofos naturais e astrônomos e culminou com o trabalho de Isaac Newton”.

Essa enxurrada de novas interpretações e conclusões durante o Renascimento formaram o que o físico e filósofo da ciência norte-americano Thomas Kuhn chama de Revolução Copernicana (1975).

Dessa revolução, com extremo cuidado de não deixar de falar do inglês Isaac Newton e seus trabalhos na área de gravitação e do movimento dos corpos, áreas do pensamento até então independentes, como a física dos graves (que estudava o movimento dos corpos na superfície do planeta) e a astronomia (que estudava o movimento dos corpos celestes) tornaram-se uma só, e a divisão concreta, que perdurou tantos séculos, entre Terra e céu, foi-se esvaindo e permitindo que olhássemos para fenômenos celestes e terrestres como sendo de *mesma* natureza, ou seja, sendo regidos por leis físicas comuns.

A física então, com esse caráter de buscar identidade na diversidade e permanência na fluidez, permite muitas vezes que agreguemos áreas do conhecimento até então distintas em uma única. O professor Menezes descreve essa dinâmica, a qual chama de “aventura do espírito”, como uma possível arquitetura da física, como segue na figura abaixo.

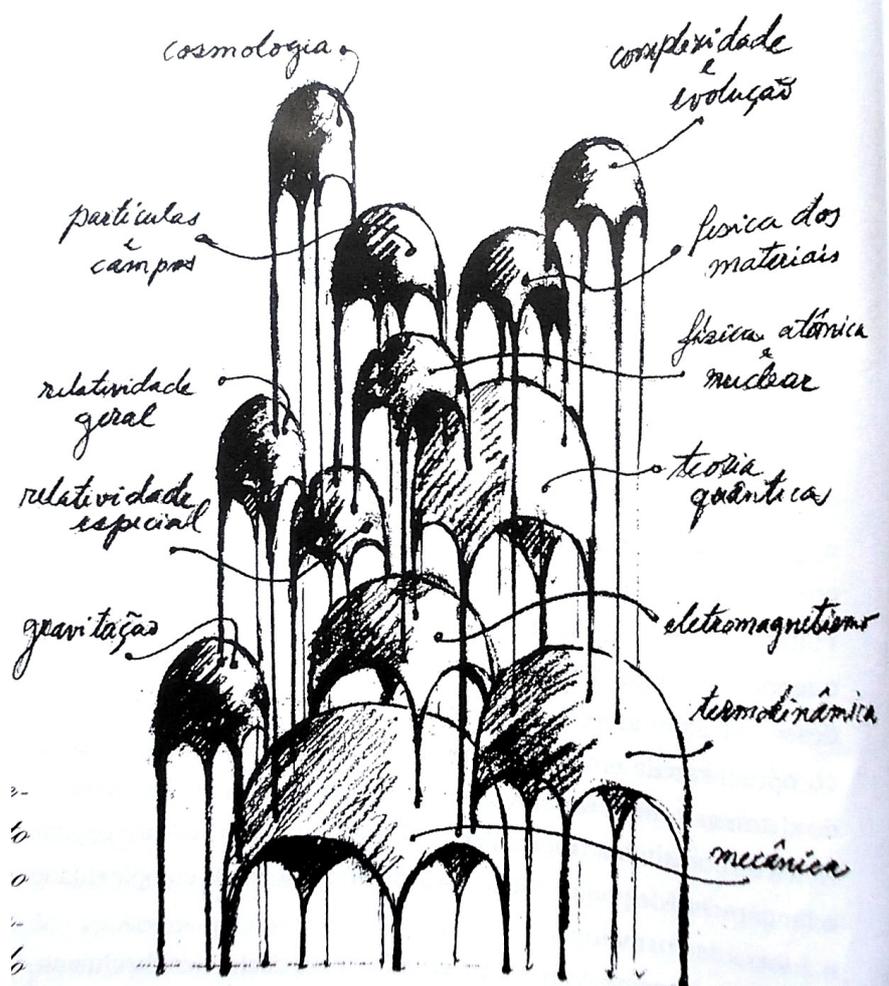


Figura 4.1 – Arquitetura da física (MENEZES, 2005, p. 32)

A figura simplifica o modo como as unificações das interpretações das leis da natureza vêm sendo construídas, partindo, na base, das teorias clássicas da mecânica, da gravitação e da termodinâmica (da antiguidade ao século XIX), seguindo pelo conhecimento do eletromagnetismo e da relatividade (entre os séculos XIX e XX) e alcançando patamares mais altos, com relação ao tempo e à complexidade dos conceitos, com a relatividade geral, a teoria quântica e a física atômica e nuclear (do início do século XX), e a física de partículas e de campos, a física dos materiais, a cosmologia, a complexidade e a evolução (da metade do século XX para cá).

Durante essa evolução (temporal), que definitivamente não possui caráter linear, como discutiremos adiante, o ser humano também evoluiu, todas as outras áreas da ciência também evoluíram e a física parece viver num paradoxo: internamente a física está extremamente mais complexa, utilizando recursos de outras áreas, como a matemática, a filosofia e a história, que também estão muito mais complexas e utilizando recursos da tecnologia, que também atingiu

patamares jamais imaginados há dois ou três séculos; por outro lado, a grande busca da física no último século é a unificação das leis e das interpretações, ou seja, busca-se a identidade e a unidade num mar cada vez mais complexo de teorias e leis.

Quem tem a oportunidade de explorar a história da física há de concordar com a afirmação do professor Schenberg (2001, p. 38), para quem

“a História da Ciência é mais fascinante que um romance policial. O mistério de um romance policial sempre se esclarece no fim, mas o da Ciência nunca se esclarece. Apesar dos avanços no conhecimento científico, os mistérios talvez se tornem cada vez maiores”,

e no mesmo sentido argumentam Einstein e Infeld (1980, p. 14), ao dizerem que

“o cientista que lê o livro da natureza deverá, caso se nos permita repetir a expressão batida, encontrar ele próprio a solução, pois não pode, como o fazem frequentemente os leitores impacientes das histórias [como os romances policiais], consultar o fim do livro”.

Por essa razão é interessante discutirmos algumas razões pelas quais os “mistérios talvez se tornem cada vez maiores”. Ou, voltando o olhar para a didática das ciências, é possível também perguntar por que não podemos ensinar física linearmente? Do básico ao complexo em cada tema? Para Feynman, isso ocorre pois “ainda não *conhecemos* todas as leis básicas: existe uma região em expansão de ignorância.” (2001, p. 36) e, além disso, “tudo que conhecemos é apenas algum tipo de aproximação, pois *sabemos que não conhecemos* todas as leis ainda”. (idem)

Deste contexto, no qual apresentamos uma percepção de que o homem conhece grande parte da história da física, conhece suas limitações e define novos conceitos e leis no decorrer do tempo, faz-se necessário o estudo de como tem sido feita a física, como são definidas suas leis e regras gerais, quem construiu e quem constrói esta ciência, ou seja, quais as “regras do jogo”. Este estudo, ora chamado de Filosofia da Ciência, ora de Epistemologia, teve alto desenvolvimento durante o século XX e tem como nomes cada vez mais populares a figura do francês Gaston Bachelard (1884 – 1962), dos austríacos Karl Popper (1902 – 1994) e Paul Feyerabend (1924 - 1994), do húngaro Imre Lakatos (1922 – 1974) e do norte-americano Thomas Kuhn (1922 – 1996). Além destes, diversos outros pensadores importantes buscaram debater o fazer ciência, como o inglês Francis Bacon (1561 – 1626) e o francês René Descartes (1596 – 1650).

Para o professor Zanetic,

"o debate tão atual em torno da "filosofia" das ciências naturais, envolvendo principalmente os nomes de Karl R. Popper e Thomas S. Kuhn, quando referido mais explicitamente à física, mas passando também por Imre Lakatos e Paul Feyerabend, como também por Gaston Bachelard, pouco citado mas importantíssimo neste contexto, coloca na berlinda o "que fazer" científico tanto como base de crítica ao trabalho do pesquisador contemporâneo - afinal, o que é ser cientista hoje? - quanto como possibilidade de se

repensar a física no contexto da totalidade da população" (1989, p. 62).

Apesar do fato de que a física é uma só, defini-la enquanto ciência não é tarefa fácil e tampouco unânime, e tentamos na seção anterior apresentar uma possível forma de enxergá-la. Contudo, parece-nos necessário discutir o *fazer física*, pois essa ação, ou esse conjunto de ações, é entendido de formas muito diferentes; por um lado porque a comunidade dos físicos pertence a um contexto espaço-temporal (político-sócio-cultural) muito bem definido e, por outro, porque cada físico possui uma *visão de mundo* muito peculiar. Isso indica que há um aspecto *coletivo* na construção da ciência envolvendo o local, a época, a instituição, a nação, a educação a qual o cientista em questão participa ou participou e há um aspecto *individual* que diz respeito aos desejos, à visão de mundo, às crenças e às condições psicológicas de cada um<sup>2</sup>.

Após o Renascimento a física passou por um período empirista que ganhou destaque e teve como principais articuladores o filósofo inglês Francis Bacon e o filósofo e matemático francês René Descartes. Sobre Bacon, o professor Zanetic tece o seguinte comentário:

“ele empreendeu uma tentativa de construir uma sistematização lógica do procedimento científico, chegando a um método científico. Sua proposta, apesar de passar por severas críticas e modificações, dominou o cenário científico até o final do século passado [XIX], no que se refere ao método de investigação da natureza” (2004, p. 19).

No método citado, mais conhecido como método indutivo ou método positivista, o cientista faz observações e experimentos, registra os dados sistematicamente, compartilha dados com outros cientistas, ordena as informações e formula hipóteses de causa e consequência, verifica as hipóteses observando fenômenos equivalentes aos dos experimentos e, em caso de confirmação das mesmas, chega-se a uma lei científica. A partir desta lei, outros experimentos e observações podem ser feitos e novas leis vão sendo construídas.

Esse método aproxima-se mais do senso comum do que da efetiva construção da

---

<sup>2</sup>O conceito de cultura utilizado por Nelson Werneck Sodré é útil para o nosso propósito: 'Cultura - Conjunto dos valores materiais e espirituais criados pela humanidade, no curso de sua história. A cultura é um fenômeno social que representa o nível alcançado pela sociedade em determinada etapa histórica: progresso, técnica, experiência de produção e de trabalho, instrução, educação, ciência, literatura, arte e instituições que lhes correspondem. Em um sentido mais restrito, compreende-se, sob o termo de cultura, o conjunto de formas da vida *espiritual da sociedade, que nascem e se desenvolvem à base do modo de produção dos bens materiais historicamente determinado. Assim, entende-se por cultura o nível de desenvolvimento alcançado pela sociedade na instrução, na ciência, na literatura, na arte, na filosofia, na moral, etc., e as instituições correspondentes. Entre os índices mais importantes no nível cultural, em determinada etapa histórica, é preciso notar o grau de utilização dos aperfeiçoamentos técnicos e dos desenvolvimentos científicos na produção social, o nível cultural e técnico dos produtores dos bens materiais, assim como o grau de difusão da instrução, da literatura e das artes entre a população\**.' (ZANETIC, 1989, p. 147)

\* Sodré, Nelson Werneck. **Síntese de história da cultura brasileira**. Ed. Civilização Brasileira, Rio de Janeiro, 4a. edição, 1976, p. 3-4.

ciência, devido às considerações implícitas no seu procedimento, como as de caráter *coletivo* e *individual* citadas há alguns parágrafos, como a ideia de que as observações são neutras, ou seja, de que o observador não interfere na observação, ou a de que a evolução será sempre linear, ou seja, as leis formuladas num tempo posterior serão acréscimos ou melhoramentos das leis formuladas num tempo anterior. Contudo, não podemos deixar de referenciar a importância que Bacon teve no desenvolvimento do pensamento da filosofia da ciência, em especial na formulação das novas interpretações, em geral no século XX, sobre aspectos epistemológicos, filosóficos e sociais.

Um dos primeiros grandes críticos do método indutivo foi o filósofo escocês David Hume (1711 – 1776). De acordo com Zanetic (2004, p. 23),

“em seu livro *Investigação sobre o conhecimento humano*, Hume rejeitava o princípio da indução, argumentando que não era possível demonstrar logicamente a sua validade a não ser utilizando a própria argumentação indutiva, o que seria produzir um círculo vicioso inadmissível.”

Ou seja,

"sinteticamente, os passos do método científico tradicional, que registram a tradição inaugurada por Bacon e que, com diferentes ênfases, esteve presente no cenário científico do século XVII ao século XX, podem ser assim resumidos:

- i. o cientista principia fazendo observações e experimentos que lhe forneçam informações controladas e precisas;
- ii. essas informações são registradas sistematicamente e eventualmente divulgadas;
- iii. outros cientistas trabalhando na mesma área acumulam mais dados;
- iv. com o acúmulo de dados é possível uma certa ordenação dessas informações, permitindo que o cientista formule hipóteses gerais por meio de enunciados ajustados aos fatos conhecidos;
- v. passa-se a seguir à fase de confirmação ou verificação dessas hipóteses, procurando-se novos experimentos que evidenciem suas afirmações;
- vi. se essa busca de confirmação é bem sucedida, o cientista chega a uma lei científica que passa a ser aplicada em casos semelhantes, buscando-se, dessa forma, ampliar seu campo de aplicação;
- vii. com esse alargamento de aplicação do conhecimento assim obtido, novas leis ligadas a fenômenos semelhantes vão permitir que se construa toda uma teoria.

A maioria dos livros didáticos, quando menciona explicitamente o que é o "Método Científico" (assim mesmo, com maiúsculas), acaba passando essa imagem de uma metodologia estabelecida segundo regras rígidas de procedimento." (ibidem, p. 63-64)

Contudo, como já comentado, especialmente sobre a visão baconiana, temos uma

análise muito mais indutiva e com característica do senso comum do que ocorre na prática científica histórica.

'A História da Ciência mostra assim que ideias aparentemente incorretas são posteriormente válidas e que haviam correspondido a intuições profundas. Vemos então que a evolução dos conceitos da Física é algo paradoxal e extremamente interessante porque não é processo retilíneo, mas um verdadeiro zigzag. Contudo, a ciência vai progredindo, cada vez descobrindo novas verdades. Mesmo quando se volta para uma idéia que já existia antes, não se volta *do mesmo modo com que ela havia sido formulada anteriormente*' (SCHENBERG apud ZANETIC, 1989, p. 114-115).

Desse modo, precisamos voltar nosso olhar à epistemologia a fim de compreender um pouco mais o que é a física.

"pode-se afirmar que, segundo a visão de Bachelard, as teorias físicas do presente de modo algum podem ficar limitadas a receber seu sentido e explicação a partir das teorias do passado. É, de novo, um processo dinâmico de duas mãos: uma que vem do passado ao presente, outra que vai do presente ao passado. A releitura de Newton realizada no século XIX não é igual à sua leitura no início do século XVIII. O contexto é outro, é outra a epistemologia. (...) Fica assim estabelecida uma crítica aos que entendem a história da ciência como uma sucessão progressiva em desenvolvimento, um mero acúmulo linear de fatos, descobertas, invenções, dando a impressão de uma sequência de herdeiros fiéis aos seus ancestrais". (ZANETIC, 1989, p. 114-115)

Dois nomes que, a nosso ver, melhor estruturaram formalmente o fazer científico durante o último século e que permitiram-nos perceber que a ciência não se desenvolve linearmente nem tampouco indutivamente são o Popper e o Kuhn. Contudo vale citar nesse quesito alguns aspectos de outros citados anteriormente.

Bachelard, por exemplo, conceitua a ideia de *perfil epistemológico*, o qual

“permite realizar a propósito de um conceito científico e de um sujeito particular, uma espécie de *decomposição espectral* que mostre o peso relativo que o sujeito atribui, em sua compreensão daquele conceito, a distintos compromissos epistemológicos. Bachelard organiza esse perfil em cinco categorias distintas, associadas a cinco distintas atitudes filosóficas, ordenadas em uma escala evolutiva que vai em direção a concepções cada vez mais abstratas, em que o racionalismo adquire proeminência cada vez maior: o ponto de partida é um “*realismo ingênuo*”, seguido pelo “*empirismo claro e positivista*”, pelo “*racionalismo clássico*”, associado à mecânica racional, pelo “*racionalismo completo*”, associado à teoria da relatividade e finalmente pelo “*racionalismo discursivo*”, associado à construção da mecânica quântica” (CROCHIK, 2013, p. 144).

Por outro lado,

"um autor que se distancia ainda mais da visão cumulativa do desenvolvimento do conhecimento científico e, ao mesmo tempo, critica as posições de Popper e Kuhn, é Paul Feyerabend. Já o título de seu livro mais conhecido oferece alguma pista quanto ao encaminhamento de sua análise, "Contra o método". O trabalho de Feyerabend estrutura-se segundo a diretriz por ele denominada de "anarquismo epistemológico". É um forte ataque à posição racionalista" (ZANETIC, 1989, p. 75).

Já Popper trabalha com a ideia de falseabilidade no estudo da prática científica.

"Para preservar o caráter racional da investigação científica, Popper exige que o sistema científico seja comprovado experimentalmente, só que ao invés de impor a verificação como o teste crucial, como se apresenta no método científico tradicional, ele introduz o "critério de falseabilidade". Desta forma, este passa a ser o novo critério de demarcação entre a ciência e a não-ciência. Ou seja, para Popper nosso conhecimento científico não teria evoluído se ao lado de casos verificadores não tivessem surgido, por acidente ou não, contra-exemplos como casos refutadores." (ibidem, p. 67)

E fazendo um quadro como o esquemático anterior em referência ao método tradicional de Bacon, a proposta de desenvolvimento científico de Popper pode ser assim resumida:

- i. existência de um problema a ser resolvido;
- ii. procura de soluções para o problema; elaboração de várias teorias tentativas; escolha de uma delas segundo o critério de aceitar a que apresentar maior grau de possibilidades de refutação;
- iii. dedução de consequências dessa teoria;
- iv. a teoria é submetida a teste, isto é, procura-se refutá-la buscando contra-exemplos significativos (critério de refutabilidade em ação); caso ocorra a refutação temos um novo problema a ser resolvido, isto é, propor teorias tentativas;
- v. escolha entre teorias rivais;
- vi. nova teoria.

Há mais uma condição imposta por Popper para completar esse quadro. Trata-se de preservar ao máximo o conjunto de dados observacionais acumulado ao longo das investigações científicas." (ibidem, p. 68)

No entanto, dentro do propósito de interpretarmos o fazer ciência como uma prática cultural, ou seja, que está alocada num contexto espaço-temporal específico e que segue evoluindo conjuntamente à evolução geral do ser humano-histórico, utilizaremos a análise kuhniana como foco principal.

#### **4.2. A epistemologia de Thomas Kuhn**

Na epistemologia de Kuhn, a ciência, enquanto atividade humana, pode ser vista como um apanhado de processos que são construídos ao longo do tempo no decorrer do desenvolvimento humano e que parece seguir uma série de movimentos mais ou menos possíveis de detectar na posteridade, ou seja, há uma sequência de acontecimentos que podem ser observados no estudo da história e da evolução dos fatos científicos, mas que são difíceis de se identificar no presente, com especial atenção aos momentos de revolução científica.

Para que possamos compreender uma das razões que levaram ao desenvolvimento desta forma de ver a ciência e sua evolução, podemos notar que as teorias científicas atualmente em voga surgiram após transformações, aperfeiçoamentos ou abandonos de outras ideias e teorias muito bem fundamentadas. O que significa que em outros tempos a humanidade (e a tão restrita comunidade científica) já conviveu, em plena concordância, com teorias que descreviam, anteviam ou previam situações e fenômenos naturais com tamanha precisão que perduraram muitas décadas, às vezes séculos e, menos comumente, milênios. Muitas dessas teorias/ideias hoje são tidas como mitos, e não como ciência.

“Quanto mais cuidadosamente [os historiadores da ciência] estudam, digamos, a dinâmica aristotélica, a química flogística ou a termodinâmica calórica, tanto mais certos tornam-se de que, como um todo, as concepções de natureza outrora correntes não eram menos científicas, nem menos o produto da idiosincrasia do que as atualmente em voga. Se essas crenças obsoletas devem ser chamadas de mitos, então os mitos podem ser produzidos pelos mesmos tipos de métodos e mantidos pelas mesmas razões que hoje conduzem ao conhecimento científico. Se, por outro lado, elas devem ser chamadas de ciências, então a ciência inclui conjuntos de crenças totalmente incompatíveis com as que hoje mantemos” (KUHN, 1975, p. 21)

A história mostra que o geocentrismo – concepção de organização do Universo com a Terra sendo seu centro -, além de ter sido aceito como verdade numa visão realista e concreta, de fácil observação cotidiana, foi um modelo vastamente fundamentado por teorias, por sistemas e por modelagens científicas (vide Aristóteles, Pitágoras, Ptolomeu, Platão, Tycho Brahe...) e também por sistemas e modelagens filosóficas, religiosas e metafísicas. Neste sentido, um modelo de visão de mundo como o geocentrismo foi pensado, fundamentado e aceito por pelo menos um milênio pela humanidade, enquanto paradigma dominante (ou único).

A ideia heliocentrista – a princípio tendo o Sol como centro do Universo -, que ganhou retomada e força após os trabalhos de Copérnico no século XVI e os estudos de seus “parceiros” Galileu Galilei, Isaac Newton, Johannes Kepler no século XVII e, não especificamente numa proposta heliocentrista, mas contra o geocentrismo, Giordano Bruno e René Descartes, a humanidade e a comunidade científica passaram por alguns séculos de certezas e incertezas com relação à “verdadeira” estrutura organizacional do Todo. Um outro paradigma estava sendo estruturado.

Atualmente ainda desenvolvemos modelos de Universo, compreendendo algumas coisas com certa profundidade – como o fato de que a concepção de movimento é relativa e, portanto, para uma análise físico-matemática (em especial para previsões de fenômenos) não importa se é o Sol que se movimenta ao redor da Terra ou vice-versa; como o fato de que nem

a Terra nem o Sol são o centro do Universo; como o fato de que não deve haver centro ou referencial absoluto; entre tantas outras certezas que temos – e outras com plena incerteza.

Desse modo, Kuhn procura organizar fases pelas quais a atividade e o desenvolvimento de teorias mais ou menos aceitas passam ao longo do tempo. A princípio, num determinado ramo do conhecimento que ainda não possui fundamentação ou organização amplamente aceita, há uma fase pré-paradigmática. Por exemplo, no campo do estudo da luz, ele afirma que

“nenhum período, entre a antiguidade remota e o fim do século XVII exibiu uma única concepção da natureza da luz que fosse geralmente aceita. [...] Cada uma das escolas retirava forças de sua relação com alguma metafísica determinada. [...] Por não ser obrigado a assumir um corpo qualquer de crenças comuns, cada autor de Óptica Física sentia-se forçado a construir novamente seu campo de estudos desde os fundamentos” (ibidem, p. 32-33).

Isto significa que cada cientista disposto a estudar e compreender os fenômenos relativos ao estudo da Óptica Física era levado a começar a pensar no assunto desde os fenômenos mais simples aos mais complexos possíveis, o que gerava diferentes teorias, interpretações e conclusões aleatórias, nem sempre consensuais. Esse período, pré-paradigmático, perdura até que alguma teoria ou algum apanhado de conceitos sejam aceitos e passam a fazer parte da maioria da comunidade que trabalha sobre o assunto em questão.

“A História sugere que a estrada para um consenso estável na pesquisa é extraordinariamente árdua. [...] Na ausência de um paradigma ou de algum candidato a paradigma, todos os fatos que possivelmente são pertinentes ao desenvolvimento de determinada ciência têm a probabilidade de parecerem igualmente relevantes.” (ibidem, p. 35)

Assim, a partir do instante em que determinado conceito é aceito amplamente ele se torna o paradigma vigente, ou seja, “no seu uso estabelecido, um paradigma é um modelo ou padrão aceitos” (ibidem, p. 43).

Deste momento em diante a comunidade científica passa a trabalhar no assunto aceitando os valores determinados pelo paradigma momentâneo, quase que sem questionamentos. Esse é o período chamado por Kuhn de “ciência normal”, “que significa a pesquisa firmemente baseada em uma ou mais realizações científicas passadas” (ibidem, p. 29) ou, complementando, uma “atividade na qual a maioria dos cientistas emprega inevitavelmente quase todo o seu tempo, baseada no pressuposto de que a comunidade científica sabe como é o mundo” (ibidem, p. 24)

“A ciência normal não tem como objetivo trazer à tona novas espécies de fenômenos; na verdade, aqueles que não se ajustam aos limites do paradigma frequentemente nem são vistos. Os cientistas também não estão constantemente procurando inventar novas teorias; frequentemente mostram-se intolerantes com aquelas inventadas por outros” (ibidem, p. 45)

É essa ciência que quase a totalidade de pesquisadores desenvolve durante sua vida acadêmica. O aprimoramento das técnicas e processos buscando expandir seu alcance, o abarcamento de fenômenos extras, antes estranhos e agora explicados pela teoria vigente e a realização de mais e mais experimentos práticos para resolver possíveis ambiguidades. A estes processos, focos da ciência normal, Kuhn (ibidem, p. 46-51) categoriza como a determinação do fato significativo, a harmonização dos fatos e a articulação da teoria.

É comum conversarmos com leigos ou iniciantes no estudo das ciências e percebermos um argumento bastante presente, e do senso comum, que é defender o caráter cumulativo da ciência, como se a evolução do conhecimento fosse uma acumulação cada vez maiores de saberes e certezas que só tendem a crescer. Essa é uma característica dos períodos de ciência normal, e não da ciência como um todo. Apesar disso, Kuhn observa que

“a ciência normal, atividade que consiste em solucionar quebra-cabeças [os quais possuem solução já esperada], é um empreendimento altamente cumulativo, extremamente bem sucedido no que toca ao seu objetivo, a ampliação contínua do alcance e da precisão do conhecimento científico. [...] Contudo, falta aqui um produto comum do empreendimento científico. A ciência normal não se propõe descobrir novidades no terreno dos fatos ou da teoria; quando é bem sucedida, não as encontra” (ibidem, p. 77).

O trabalho dos cientistas então os leva ao desenvolvimento da ciência de modo quase linear, até o ponto em que surgem anomalias não explicadas pelo paradigma atuante, ou a percepção de um fenômeno novo, que também não pode ser explicado, ou uma ideia nova que não condiz com o apanhado de conceitos e teorias envolvendo o padrão aceito. A partir de então, muitos trabalharão para explicar a anomalia ou o fenômeno novo partindo do paradigma vigente, o que pode levar à correções e adaptações que não alteram o global, ou podem gerar um período denominado por Kuhn de “crise”, onde outras teorias podem surgir e gerar uma nova forma de olhar o mundo, por vezes com a absoluta dissolução das teorias e conceitos amplamente aceitos e a criação de um novo paradigma dominante. “Em geral, o projeto cujo resultado não coincide com essa margem estreita de alternativas é considerado apenas uma pesquisa fracassada, fracasso que não se reflete sobre a natureza, mas sobre o

cientista” (ibidem, p. 58).

Contudo, poucos conseguem reconhecer que a anomalia necessita de outra interpretação da natureza:

“mesmo quando os instrumentos especializados existem, a novidade normalmente emerge apenas para aquele que, sabendo *com precisão* o que deveria esperar, é capaz de reconhecer que algo saiu errado. [...] Quanto maiores forem a precisão e o alcance de um paradigma, tanto mais sensível este será como indicador de anomalias e, conseqüentemente, de uma ocasião para a mudança de paradigma” (ibidem, p. 92).

A falta de solução dentro das regras do paradigma vigente pode levar o cientista à frustração. Isso pois o poder do conjunto de regras e conceitos presentes no paradigma dominante causa por vezes a impressão de que não há outra saída e, portanto, o cientista não conseguiu resolver o problema pois não tem capacidade para tal feito. É um problema dele. Uma deficiência dele.

“Uma comunidade científica, ao adquirir um paradigma, adquire igualmente um critério para a escolha de problemas que, enquanto o paradigma for aceito, poderemos considerar como dotados de uma solução possível. Numa larga medida, esses são os únicos problemas que a comunidade admitirá como científicos ou encorajará seus membros a resolver. [...] Uma das razões pelas quais a ciência normal parece progredir tão rapidamente é a de que seus praticantes concentram-se em problemas que somente a sua falta de engenho pode impedir de resolver” (ibidem, p. 60).

Estabelecida a crise numa área da ciência, seja pela não explicação de anomalias ou seja pelo surgimento de novas ideias conflitantes, torna-se então emergencial pensar e elaborar um novo paradigma. Essa fase “é geralmente precedida por um período de insegurança profissional pronunciada, pois exige a destruição em larga escala de paradigmas e grandes alterações nos problemas e técnicas da ciência normal” (ibidem, p. 95). Entretanto não é fácil para os cientistas renunciarem ao paradigma no qual foram formados e trabalharam por tanto tempo. A mudança é árdua e a aceitação ocorrerá, geralmente, ao longo das próximas gerações.

Do período de crise à aceitação de um novo paradigma ocorre o período de “revolução científica”. É neste período que diferentes ideias coexistirão e dialogarão na tentativa de substituição e/ou aprimoramento das teorias anteriores, que já não satisfazem a pesquisa. As revoluções científicas são “episódios extraordinários nos quais ocorre essa alteração de compromissos profissionais. As revoluções científicas são os complementos desintegradores da tradição a qual a atividade da ciência normal está ligada” (ibidem, p. 25).

Sobre a descoberta e o desenvolvimento de novos conceitos e teorias, o físico Richard Feynman afirma que

“é assim que ocorre na física. Por um longo tempo, teremos uma regra que funciona à perfeição de forma geral, ainda que não consigamos seguir os detalhes, até que em certo momento poderemos descobrir uma *nova regra*. Do ponto de vista da física básica, os fenômenos mais interessantes estão, sem dúvida, nos *novos lugares*, os lugares onde as regras não funcionam – não os lugares onde *funcionam*! É assim que descobrimos novas regras” (FEYNMAN, 2001, p. 64).

A transição, portanto, de um paradigma antigo para um novo é conflitante, pois não se trata de um processo cumulativo, e sim de alterações estéticas fundamentais, de base. Enquanto a ciência normal se faz pela articulação e aprimoramento de conceitos e técnicas, especialmente de aparelhos e instrumentos, o período de revolução científica gera problemas estruturais na forma como se vê o mundo, ou seja, torna-se necessário reconstruir generalizadamente as teorias vigentes, métodos e processos. Além disso,

“uma teoria científica, após ter atingido o *status* de paradigma, somente é considerada inválida quando existe uma alternativa disponível para substituí-la. [...] Decidir rejeitar um paradigma é sempre decidir simultaneamente aceitar outro e o juízo que conduz a essa decisão envolve a comparação de ambos os paradigmas com a natureza, *bem como* sua comparação mútua. [...] Rejeitar um paradigma sem simultaneamente substituí-lo por outro é rejeitar a própria ciência. Esse ato reflete, não no paradigma, mas no homem” (KUHN, 1975, p. 108 e 110).

No caso de um novo paradigma ser aceito, os cientistas irão adotar novos instrumentos e orientar seu trabalho em novas direções.

“E o que é ainda mais importante: durante as revoluções, os cientistas vêem coisas novas e diferentes quando, empregando instrumentos familiares, olham para os mesmos pontos já examinados anteriormente. [...] As mudanças de paradigma realmente levam os cientistas a ver o mundo definido por seus compromissos de pesquisa de uma maneira diferente” (ibidem, p. 145-146).

E talvez um dos fatos mais interessantes e, filosoficamente profundo, é o de que “após uma revolução, os cientistas trabalham em um mundo diferente” (ibidem, p. 171). Desse modo,

“qualquer nova interpretação da natureza, seja ela uma descoberta ou uma teoria, aparece inicialmente a mente de um ou mais indivíduos. São eles os primeiros a aprender a ver a ciência e o mundo de uma nova maneira. Sua habilidade para fazer essa transição é facilitada por duas circunstâncias estranhas à maioria dos membros de sua profissão. Invariavelmente, tiveram sua atenção concentrada sobre problemas que provocam crises. Além disso, são habitualmente tão

jovens ou tão novos na área em crise que a prática científica comprometeu-os menos profundamente que seus contemporâneos à concepção de mundo e às regras estabelecidas pelo velho paradigma.” (ibidem, p. 183-184)

A mudança não é, e nem poderia ser, apenas uma mudança de regras e conceitos da prática científica fechada nos laboratórios e centros acadêmicos espalhados pelo mundo ou por parte dele: a mudança é global, as transformações levam toda, ou grande parte, da humanidade a alterar sua concepção de mundo, de natureza, de vida. A questão é de ordem geral.

“Felizmente' existe ainda uma outra espécie de consideração que pode levar os cientistas à rejeição de um velho paradigma em favor de um novo. Refiro-me aos argumentos, raras vezes completamente explicitados, que apelam, no indivíduo, ao sentimento do que é apropriado ou estético — a nova teoria é 'mais clara', 'mais adequada' ou 'mais simples' que a anterior” (ibidem, p. 196).

Da porte de um novo paradigma bem estabelecido, tornamos a fazer ciência normal, ou seja, tornamos a aprimorar técnicas, processos, divulgações, explicações, instrumentos, a acumular saberes e desenvolver tecnologia baseados no conjunto de regras e teorias do novo paradigma. Resumindo, podemos dizer que o desenvolver da ciência no olhar kuhniano, concordando com o professor Zanetic (1989, p. 72-73), segue a seguinte estrutura:

- i. fase pré-paradigmática, onde há competição entre teorias candidatas a paradigma;
- ii. definição em favor de uma das teorias; esta fase caracteriza-se pela ocorrência da ciência normal através da procura de solução de quebra-cabeças;
- iii. articulação do paradigma na tentativa de aproximar novos fatos e as teorias;
- iv. ocorrência de anomalias ou descobertas não previstas pelo paradigma vigente;
- v. tais anomalias eventualmente geram uma crise na ciência normal; entram em cena fatores não necessariamente "científicos";
- vi. proposta de novas teorias e o comprometimento com uma delas por uma fração da comunidade científica; essa nova teoria é incomensurável com a visão de mundo fornecida pela teoria anterior; é a revolução científica entrando em cena;
- vii. a aceitação da nova teoria pela comunidade científica reinicia um novo ciclo de ciência normal.

Nesta seqüência apresentada por Kuhn, em que se destacam as fases normal e revolucionária, creio que não é falso observar uma "descoberta" do pensamento dialético quando a quantidade de problemas normais leva à eventual solução de um problema com um salto de qualidade significativo."

### 4.3. A física como ciência e cultura – parte 2

Partindo então da epistemologia sugerida por Thomas Kuhn, é possível percebermos que a atividade científica, dos primórdios aos dias atuais, não é formada por uma sequência linear ou pouco turbulenta de acumulação de saberes e conhecimentos. Em períodos por vezes longos, durando séculos, a humanidade e a comunidade científica consideram uma série de processos como sendo ditos “científicos”, ou algo assim, e que se tornam “mitos” quando vistos a partir do levantamento histórico.

A ideia do espaço vazio, do vácuo, do nada ou do espaço plenamente preenchido por matéria vem sendo discutida há milênios, ainda sem aceitação plena, sendo que ora é aceita a concepção de espaço preenchido enquanto espaço humano, diferenciando do espaço dito divino, ora o espaço vazio é tido como infinito, ora o nada é definido como limitador do Universo, entre várias outras concepções conflitantes. A essas concepções associamos as religiões, as artes, a filosofia, a metafísica e a vida cotidiana. A cultura, como parte fundamental da construção humana da realidade material, guia e é guiada pela ciência, num processo dialético onde o homem possui papel central.

Sobre cultura, Terry Eagleton afirma que

“etimologicamente falando, então, a expressão atualmente popular 'materialismo cultural' é quase tautológica. 'Cultura' denotava de início um processo completamente material, que foi depois metaforicamente transferido para questões do espírito. A palavra, assim, mapeia em seu desdobramento semântico a mudança histórica da própria humanidade da existência rural para a urbana, da criação de porcos a Picasso, do lavar o solo à divisão do átomo. No linguajar marxista, ela reúne em uma única noção tanto a base como a superestrutura” (EAGLETON, 2005, p. 10).

Sendo assim, a ciência e, especialmente neste trabalho, a física, vem sendo construída ao longo dos séculos não de forma isolada dentro dos laboratórios e centros acadêmicos, mas como parte de toda a construção de realidade material da humanidade, partilhando de visões de mundo, de contextos políticos, de articulações, combinações e colonizações que permitiram a aceitação de determinados conceitos e teorias (paradigma) num dado instante e de outras teorias em outros momentos. “O Estado encarna a cultura, a qual, por sua vez, corporifica nossa humanidade comum”, em outras palavras, “são os interesses políticos que, geralmente, governam os culturais, e ao fazer isso definem uma versão particular de humanidade” (ibidem, p. 17-18).

"Fica assim estabelecida a necessidade de complementar a visão internalista, essencialmente epistemológica, oferecida pelos historiadores da ciência, com a visão externalista, que pode ser encontrada nas mais variadas fontes que exploram os condicionantes sociais, econômicos, religiosos e culturais que marcam o espaço e o tempo da ciência" (ZANETIC, 1989, p. 166).

Portanto a interpretação do senso comum, ingênua e alienada, de que a ciência poderia ser neutra, no sentido político, filosófico, artístico e religioso, não condiz com a observação atenta da história da humanidade. Sua divulgação e propagação ocorrem quase que exclusivamente a partir de cursos de formação de cientistas e da produção e divulgação de materiais didáticos, ambos regulamentados pelo Estado, direcionados para públicos específicos e com fins geralmente bastantes estabelecidos.

"A maioria das pessoas consome ciência enquanto cultura mas, ao mesmo tempo, está alienada de sua presença real no cotidiano. E a forma e o conteúdo da ciência processada na escola reforçam essa condição de distanciamento entre a física escolar e a vida das pessoas, da ausência organizada da ciência na cultura popular" (ZANETIC, 1989, p. 146-147).

Assim sendo, as revoluções científicas, para não abriremos outros caminhos agora, ocorrem quase sempre de maneira invisível, ao menos aos contemporâneos da revolução, ou seja, têm seus efeitos e sua aceitação sentidas ao longo das próximas gerações. Kuhn argumenta sobre isso:

"creio que existem excelentes razões para que as revoluções sejam quase totalmente invisíveis. Grande parte da imagem que cientistas e leigos têm da atividade científica criadora provém de uma fonte autoritária que disfarça sistematicamente — em parte devido a razões funcionais importantes — a existência e o significado das revoluções científicas. [...] Quando falo de fonte de autoridade, penso sobretudo nos principais manuais científicos, juntamente com os textos de divulgação e obras filosóficas moldadas naqueles. [...] sendo os manuais veículos pedagógicos destinados a perpetuar a ciência normal, devem ser parcial ou totalmente reescritos toda vez que a linguagem, a estrutura dos problemas ou as normas da ciência normal se modifiquem. Em suma, precisam ser reescritos imediatamente após cada revolução científica e, uma vez reescritos, dissimulam inevitavelmente não só o papel desempenhado, mas também a própria existência das revoluções que os produziram" (KUHN, 1975, p. 173-175).

Fica cada vez mais claro que a física só pode existir enquanto cultura humana, definição que não parece estar presente no cotidiano escolar dos jovens e adultos brasileiros, pois

"quando se comenta sobre a cultura, de um modo geral, raramente a física comparece de imediato na argumentação, ou outra representante das ciências naturais dá o ar de sua graça. Cultura,

quando pensada "academicamente" ou com finalidades educacionais, é quase sempre evocação de alguma obra literária, alguma grande sinfonia ou uma pintura famosa; cultura erudita, enfim. Tal cultura traz à mente um quadro de Picasso, uma sinfonia de Beethoven, um livro de Dostoyevsky, enquanto que a cultura popular faz pensar em capoeira, num samba de Noel ou num tango de Gardel. Dificilmente, porém, cultura se liga ao teorema de Godel ou às equações de Maxwell" (ZANETIC, 1989, p. 145-146).

A noção de que a ciência não é cumulativa e de que é construída como parte do sistema político, dos padrões religiosos, das manifestações artísticas e do pensamento filosófico e metafísico necessita, como defesa nossa, ser cada vez mais trabalhada nas escolas de base. Apesar de o Brasil atualmente figurar no cenário mundial como uma das grandes economias do mundo capitalista, o incentivo à pesquisa científica e ao desenvolvimento tecnológico ainda é muito baixo. No próximo capítulo iremos discutir como se tem pensado o ensino de física nas escolas de base e na formação de físicos e professores de física no Brasil nas últimas décadas.

#### **4.4. Bibliografia (DESTE CAPÍTULO)**

CROCHIK, Leonardo. **Educação e Ciência como Arte: Aventuras docentes em busca de uma experiência estética do espaço e tempo físicos**. Tese de doutoramento. Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

EAGLETON, Terry. **A ideia de cultura**. São Paulo, Editora UNESP, 2005.

EINSTEIN, Albert e INFELD, Leopold. **A evolução da física**. Rio de Janeiro, Zahar Editores, 1980.

FEYNMAN, Richard P. **Física em seis lições**. Trad. De Ivo Korytowski. Ediouro, Rio de Janeiro, 2001.

HAMBURGER, Ernest W. **O que é física**. Editora Brasiliense, 6ª ed., São Paulo, 1992.

ISAACS, Alan e PITT, Valerie. **Física**. Trad. Maria P. B. De M. Charlier e René F. J. Charlier. Série Prisma. Edições Melhoramentos, São Paulo, 1976.

KUHN, Thomas S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo, Ed. Perspectiva, 1975.

MENEZES, Luis Carlos de. **A Matéria – uma aventura do espírito: fundamentos e fronteiras do conhecimento físico**. São Paulo, Editora Livraria da Física, 2005.

SCHENBERG, Mário. **Pensando a física**. São Paulo, Landy Editora, 2001.

ZANETIC, João. **Física também é cultura**. Tese de doutoramento. Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

ZANETIC, João. **FMT 405 – Evolução dos conceitos da física**. 1ª parte: Alguns tópicos de “filosofia” da ciência. Notas de aula – 1ºsem./2004. Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.