CEFET/RJ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

BOHR E O PRINCÍPIO DA COMPLEMENTARIDADE: SUBSÍDIOS PARA MATERIAIS EDUCACIONAIS NUMA ABORDAGEM HISTÓRICA

Weiller Vilela Rodrigues

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Orientadora:

Andreia Guerra de Moraes

Rio de Janeiro

Abril de 2016

BOHR E O PRINCÍPIO DA COMPLEMENTARIDADE: SUBSÍDIOS PARA MATERIAIS EDUCACIONAIS NUMA ABORDAGEM HISTÓRICA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências, Tecnologia e Educação do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Weiller Vilela Rodrigues

Aprovada por:

Presidente, Prof.ª Andreia Guerra de Moraes (orientadora)

Prof.º Marco Antônio Barbosa Braga

Prof.ª Marília Paixão Linhares (UENF)

Rio de Janeiro

Abril de 2016

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

R696 Rodrigues, Weiller Vilela
Bohr e o princípio da complementaridade : subsídios para materiais educacionais numa abordagem histórica / Weiller Vilela Rodrigues.—2016.
ix, 53f. : il. ; enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2016.
Bibliografia : f. 50-53
Orientadora : Andreia Guerra de Moraes

1. Ciência – História. 2. Ciência – Filosofia. 3. Ciência – Estudo e ensino. 4. Princípio da complementaridade (Física). 5. Bohr, Niels Henrik David, 1885-1962. I. Moraes, Andreia Guerra de (Orient.). II. Título.

CDD 501

Dedico este trabalho à minha família que nunca mediu esforços para que eu conseguisse chegar até aqui. A meus velhos amigos que sempre demonstraram acreditar em meu potencial e aos meus novos amigos que encontrei no Grupo de Pesquisa, nos quais serviram de inspiração para concluir essa incrível jornada.

AGRADECIMENTOS

Sou muito grato a todos aqueles que, direta ou indiretamente, foram os responsáveis por terem me dado a oportunidade de cursar esse Mestrado.

Desde a esfera micro, que envolve o forte e decisivo incentivo e a imprescindível ajuda de meus pais, meus irmão e familiares. Meus amigos de Juiz de Fora, que não só me indicaram o presente programa, mas que caminharam grande parte dessa jornada junto a mim. A meus amigos de Santos Dumont, São João del-Rei e Dores de Campos, que acompanharam o meu drama e sempre estiveram ao meu lado nos momentos mais nebulosos desta densa e difícil empreitada intelectual.

Expandindo um pouco mais essa esfera, gostaria também de agradecer à instituição CEFET/RJ e toda a sua grande equipe que a compõe, pela notável organização e competência. Indo um pouco mais além, não posso deixar de agradecer aos ocupantes de estâncias públicas, que gerem e direcionam os investimentos sociais, e assim, confiaram na educação e empreenderam na formação de muitos.

Voltando a uma esfera menor e mais próxima, sou extremamente grato a todos os professores do programa, nos quais tive a oportunidade de conhecer em suas disciplinas e que me marcaram pelos seus métodos e visões que muito me fizeram crescer, refletir e mudar, como o Prof. Marco Braga, o Prof. Álvaro Chrispino, a Prof.ª Sheila Cristina. Mostraram-me não só outros pontos de vista sobre a Ciência, mas foram também fundamentais para fortalecer em minha pessoa, uma atitude muito mais crítica, questionadora e flexível diante o mundo. Atitude esta que acredito ser absolutamente necessária para a segura formação intelectual que confio.

E por fim, Andreia Guerra de Moraes, minha orientadora, por toda a atenção, paciência e serenidade que foram indispensáveis para minha progressão até esse momento. Grande professora que lidera e ensina e é exemplo no grupo de pesquisa que tive o imenso prazer de participar e encontrar novos amigos.

RESUMO

BOHR E O PRINCÍPIO DA COMPLEMENTARIDADE: SUBSÍDIOS PARA MATERIAIS EDUCACIONAIS NUMA ABORDAGEM HISTÓRICA

Weiller Vilela Rodrigues

Orientadora:

Andreia Guerra de Moraes

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programada de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

A proposta do presente estudo é criar subsídios para construir caminhos educacionais (no campo formal e não formal) para problematizações de visões ingênuas sobre a Ciência e sobre a construção do conhecimento científico. Entendemos haver vários caminhos para se chegar a este objetivo, entretanto, a maneira com a qual optamos é alicerçar o estudo no campo da História e Filosofia da Ciência. Dessa forma, foi realizado um recorte que contemplou o período histórico correspondente ao início do século XX, especificamente, abrangendo as décadas de 1920 a 1940, com o propósito de englobar o intervalo chave que corresponde a construção e desenvolvimento do Princípio da Complementaridade de Niels Bohr. Partindo de análises sobre o contexto histórico, no qual estava inserido o cientista, buscamos cumprir o objetivo estabelecido, elencando elementos com vistas a subsidiar roteiros que desejem abordar a temática da Física Quântica, especialmente o Princípio da Complementariedade em mídias como: cinema, TV, quadrinhos, narrativas históricas, entre outras.

Palavras-chave:

História e Filosofia da Ciência; Física Moderna Contemporânea; Contexto Histórico; Princípio da Complementaridade; Bohr

Rio de Janeiro

Abril de 2016

ABSTRACT

BOHR AND THE COMPLEMENTARITY PRINCIPLE: SUBISIDIES FOR EDUCATIONAL MATERIAL IN A HISTORIC APPROACH

Weiller Vilela Rodrigues

Advisor:

Andreia Guerra de Moraes

Abstract of dissertation submitted to Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e educação at the Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master.

The purpose of the present study is to create subsidies to build educational ways (both in formal and informal fields) for problematizations of naive interpretations about Science and the construction of the scientific knowledge. We understand that there are various ways to reach this objective; however, we chose to base our study in the field of History and Philosophy of Science. Based on this, we picked out a period corresponding to the beginning of the XX century, more specifically the decades of 1920 and 1940, so that we could bring about the key interval corresponding to the construction and development of the Complementarity Principle of Niels Bohr. Starting with a study of the historic context in which the scientist was set in we attempted to carry out our pre-established objective, registering elements to subsidize screenplays that wish to approach the theme of Quantum Physics, especially the Complementarity Principle, in medias such as cinema, TV, comic books, historic narratives, among others.

Keywords:

History and Philosophy of Science; Contemporary Modern Physics; Historic Context; Complementarity Principle; Bohr

Rio de Janeiro

April, 2016

SUMÁRIO

	Introdução	**1**
I	**Contexto Sociocultural**	**14**
II	**Questões Filosóficas**	**26**
III	**Conceitos Científicos e o Princípio da Complementaridade**	**32**
IV	**Propostas de Aplicações Educacionais**	**39**
	Considerações Finais	**47**
	Referências Bibliográficas	**50**

Lista de Figuras

FIG. Introdução.1 Esquema de Raciocínio da Pesquisa sobre o Contexto Histórico de Bohr ...14
FIG. Considerações Finais.1 Esquema de Raciocínio da Pesquisa sobre o Contexto Histórico de Bohr.....47

INTRODUÇÃO

Toda minha vida escolar, até o ingresso no mestrado, foi marcada pela presença de um ensino com forte viés tecnicista, com uma visão majoritariamente positivista lógica. De fato, ao concluir minha graduação, no final de 2013, em Licenciatura em Física, essa postura positivista lógica e tecnicista se fazia muito presente em minhas falas e pensamentos. Hoje me vejo muito mais capacitado em discernir qual era a visão na qual eu possuía naquele instante, apesar de naquela época mesmo, não fazer muita distinção sobre qual perspectiva eu enxergava o mundo ao meu redor, por não conhecê-las. Isso se justifica pelo fato de sempre estar em contato, e ademais preferir, uma forma de ensino na qual não objetivava visões humanísticas, e, em contrapartida, priorizava o desenvolvimento do meu entendimento lógico e matemático da natureza. Entretanto, ainda que optando pelos tradicionais métodos das ciências exatas, me identificava com as problemáticas conceituais que envolviam os princípios físicos estudados.

Deste modo, ao ingressar no programa de pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação do CEFET-RJ, no qual esse trabalho é oriundo, fui submetido a um processo que foi determinante para a minha formação como cidadão e, especialmente, como professor. As disciplinas estudadas possuíam inteiramente uma abordagem humanística, com ênfase no aspecto histórico, filosófico e sociológico da ciência. De fato, enxergar as ciências sobre estas perspectivas tão diferentes das que estudara durante cerca de dezesseis anos de minha formação escolar e profissional foi decisivo para enxergar de modo mais crítico e problematizado o que se entende como conhecimento científico. Essa trajetória marcou profundamente a construção do estudo desenvolvido nessa dissertação.

Entender o mundo em que vivemos passa por conhecer a economia, as religiões, os costumes, os meios de comunicação, as artes, além de conhecer as ciências. As ciências constituem um corpo de conhecimento considerado capaz de oferecer respostas a problemas cruciais das mulheres e homens do século XXI. Apesar disso, podemos dizer que esta não é mais, nem menos importante que outros conhecimentos que emergem de grupos sociais. Da mesma forma, as ciências estão, como os outros conhecimentos, imersas na cultura onde se constroem. Dessa forma, em cada época e em cada localidade, elas apresentam suas idiossincrasias. Portanto, a intenção de definir de maneira generalizada o que são as ciências pode ser uma

atividade frustrante, assumindo as potencialidades de transformações e variações das sociedades.

Diante da impossibilidade de definições generalizantes e do papel de destaque das ciências hoje na sociedade, pode-se considerar que o importante não é definir o que são as ciências, mas sim conhecer as respostas por elas construídas aos problemas da sociedade. Afinal, como Niels Bohr afirmou em um discurso em 1938, no Congresso Internacional de Ciências Antropológicas e Etnológicas em Copenhague:

> *"Na verdade, a grande perspectiva dos estudos humanistas talvez consista em eles contribuírem, através de um crescente conhecimento da história e do desenvolvimento cultural, para a eliminação gradativa dos preconceitos, que é a meta comum de todas as ciências"* (BOHR, 1939, p. 39).

Bohr, em sua fala, sintetizou o que era, para ele, o objetivo das ciências. Essa fala pode nos levar a pensar que as respostas das ciências são mais importantes do que quaisquer outros aspectos delas, afinal, precisamos eliminar preconceitos para termos uma sociedade mais equilibrada. Porém, ao considerarmos que uma caracterização mais definitiva sobre as ciências é problemática, é preciso nos questionarmos: até que ponto assumir a ideia de que a meta da ciência é a de eliminar preconceitos um equívoco? Consideramos aqui, em suma, que é uma atitude ingênua, a tentativa de atribuir à ciência qualquer definição emblematicamente cabal. Afinal, considerar a ciência como uma busca incessante de como dado sistema funciona e negligenciar o fator humano desse empreendimento, negando que a ciência tem intrínsecas questões emocionais, econômicas e ideológicas, é desconsiderar toda uma complexidade que é natural de qualquer atividade social.

Ao trazer essas considerações para a temática central desse trabalho, o ensino das ciências, defendemos, como muitos pesquisadores da área, ser fundamental trazer para as aulas de ciências reflexões em torno ao conhecimento científico, de forma a destacar as possibilidades e limites de tal conhecimento (MOURA, et al., 2015; MATTHEWS, 2009; BRAGA; GUERRA; REIS, 2012). Dessa forma, entendemos ser fundamental mostrar uma visão minimamente abrangente sobre o que significou e o que significa esta ciência que se estuda, evidenciando características que estão muito além do cunho demasiado técnico e determinístico que possui na educação de hoje e nos quais carecem de um significado prático social.

A abordagem histórico-filosófica aparece na literatura da área de ensino de ciências (FORATO; MARTINS; PIETROCOLA, 2011, ALLCHIN, 2011, GUERRA; BRAGA; REIS, 2013; LEDERMAN, 2007) como um caminho para se trazer, ao ensino e a divulgação das ciências, discussões sobre a ciência e seu processo de construção. Fora isso, tal abordagem pode ser considerada como uma possibilidade mais cativante para a educação científica, principalmente, se pensarmos naqueles alunos que não se dão muito bem com um tratamento lógico e numérico o qual é tradicionalmente mais usado nas aulas de ciências. Porém, há também a parcela da população que, em contrapartida, se identifica e prefere uma visão de caráter mais técnico e sistêmico como o comumente trabalhado nas aulas das exatas.

Justificar o uso da abordagem histórico-filosófica apenas de maneira que seja uma ferramenta importante para atrair certo grupo que se identifica mais com literatura e humanas e menos com números, pode ser um equívoco, afinal, aquela parte que sempre se identificou com a matemática empregada e a lógica seguida, será, dessa vez, perdida. Se pensarmos em educação e divulgação científica e no uso da História da Ciência nesses espaços, precisamos ter em mente o objetivo que se pretende com o ensino ou divulgação de tal conhecimento. Assim, nesse trabalho entendemos ser a abordagem histórica fundamental, pois consideramos, como os autores destacados, que é fundamental construir na educação e divulgação científica espaços de reflexões sobre a ciência.

Tendo isso em mente, não se toma como premissa aqui, tornar o estudo mais prazeroso para uns ou outros. Outro ponto a ser considerado nesse trabalho é que nosso olhar educacional nos leva a privilegiar, em relação a abordagem histórica, uma vertente que aqui denominaremos de histórico-contextual, para o ensino e divulgação das ciências. Prima-se o uso dessa abordagem em relação a outros caminhos, pois enxerga-se nesta a possibilidade de criar espaços para discutir o quanto o contexto sociocultural de um local e de uma época está fortemente relacionado com o modo de agir e pensar daquelas pessoas. É o entrelaçamento entre as ideias e o comportamento de cada indivíduo que compões uma sociedade e, portanto, compõem as ciências. Por exemplo, fazer um estudo a partir de uma analise histórica sobre determinados momentos, ou seja, um recorte que flagre e evidencie esta ideia, é um meio que, acredita-se, ser bastante eficaz, em termos de instrução para a criação de um olhar crítico sobre o mundo, a partir das ciências e sobre as ciências (MATTHEWS, 2009; BRAGA; GUERRA; REIS, 2012).

Nesse caminho, lançaremos mão de uma abordagem histórico-contextual para o ensino e divulgação das ciências, defendendo que assim será possível cobrir

algumas competências que a maneira convencional deixa a desejar. Nosso interesse é trabalhar uma conotação mais humanística e social do conhecimento científico, de forma a proporcionar a quem estuda, a possibilidade de não só identificar como ocorreram e os processos de construção do conhecimento científico, mas também de proporcionar o entendimento de qual o papel da sociedade na construção deste conhecimento e qual o papel desse conhecimento na sociedade. Dessa forma, é possível trazer para mais perto a realidade das ciências, ou seja, elucidar etapas do processo científico que muitas vezes são omitidas no ensino, como características de validação, conferência, a publicação de trabalhos e seus trâmites, enfim, o modus operandi da comunidade científica.

Dessa forma, compartilhamos com Forato et al. (2011) que ao se trabalhar com história da ciência, tanto o pesquisador quanto o professor precisam ter clareza de seus objetivos, e a partir daí, se certificar se esta abordagem é realmente uma boa escolha para cumprir seus anseios para com o seu ensino. No caso desse trabalho, procuramos construir subsídios para um ensino de ciências que problematize visões ingênuas a respeito do processo de construção da ciência, indicados na literatura da área como algo recorrente na divulgação científica, nos livros didáticos e nos discursos proferidos em sala de aula (MARTINS, 2015, GIL PÉREZ et al., 2001; FERNÁNDEZ et al., 2002; LEDERMAN, 1992, 2007). Para se situar sobre algumas definições de quais seriam estas visões ingênuas e quais seriam consideradas mais adequadas, nos basearemos no trabalho de Gil Pérez (2001) e colaborares. A pesquisa desenvolvida por eles levou-os a identificar alguns aspectos recorrentes sobre a perspectiva de professores acerca do trabalho científico. Dentre estas temos:

I. A primeira e mais amplamente estudada, a concepção *Empírico Indutivista e Ateórica*, que remete o fato de considerar o trabalho científico como sendo neutro e puramente imparcial. Ou seja, em geral divulga-se que tanto na observação quanto na experimentação, não há ideias a priori que ditam e influenciam seus resultados. A pesquisa aqui descrita pressupõe que as questões que guiam a construção de experimentos emergem do meio sociocultural no qual partilham os atores da ciência e, portanto, os construtores desses experimentos (GIL PÉREZ et al. 2001).

II. Uma segunda visão considerada distorcida do trabalho científico diz respeito ao *caráter rígido (algorítmico, exato, infalível, etc)* associado principalmente ao “método científico” de investigação. Um conjunto de

etapas e procedimentos mecânicos e de cunho quantitativo que desconsidera nuances de dúvida, criatividade e tentativas. Uma interpretação ingênua, na qual tenta desqualificar a ciência como um trabalho genuinamente humano, desconsiderando as implicações que o mesmo envolve – o sentir, o pensar o fazer humano. E que por isso é um conhecimento construído num tempo e espaço específico, sendo impossível estabelecer uma estrutura fechada como caminho de construção do mesmo (GIL PÉREZ et al. 2001).

III. Em seguida, denominada de *visão aproblemática* ou *ahistórica*, está fortemente relacionada com a anterior e pode ser designada como *dogmática* e *fechada*. Refere-se à pratica comum de expor o conteúdo ou conhecimento já recortado sem mencionar os problemas ou as perguntas que o levaram à sua construção. É uma maneira superficial e omissa de se tratar o ensino de sua disciplina, pois um aspecto importante, que é como o conhecimento foi construído, não é abordado.

IV. Conhecida como *visão exclusivamente analítica*, esta está relacionada com um recorrente tratamento de se abordar os conteúdos de ciências, no qual são divididos os estudos em parcelas simplificadas e limitadas, havendo assim um grave problema relacionado a desinformações sobre como se relacionam os corpos do conhecimento, como foram e são organizados, unificados, separados, de modo que haja a abertura de possibilidades de críticas acerca destas divisões aparentemente impostas.

V. Um outro olhar considerado ingênuo e que é muito comumente obtido é o da *visão acumulativa de crescimento linear* do conhecimento cientifico. Esta, por sua vez, diz respeito a considerar que o seu processo de construção se comporta de maneira que se assemelha à simples adições de novas ideias e estas vão preenchendo e montando todo o corpo do conhecimento humano. Desta forma, não considera um caráter mais complexo desta construção, não aborda – e quando o faz, não dá a devida ênfase – as controvérsias históricas, algo presente no desenvolvimento das ciências (FIUZA, GUERRA, 2014; OLIVEIRA 2014; BRAGA, GUERRA, REIS, 2012). De modo a não estimular o levantamento de questões a respeito do que se tem como ciência hoje.

VI. A penúltima interpretação ingênua a ser assinalada é a *visão individualista elitista*, que considera o trabalho científico como sendo construído a partir da intercessão de gênios insuperáveis de suas épocas. Nos quais sem eles, os problemas jamais poderiam ter sido resolvidos, e não considerando o processo de construção científica como sendo um trabalho coletivo e humano que possui uma relação de mútua influência no seu meio sociocultural (GIL PERES, 2001; PAIXÃO, CACHAPUZ 2001). Coletivo, pois, não só se caracteriza pela colaboração de várias equipes e grupos, mas que também, nem mesmo entre estas há a necessidade de haver gênios ou ícones. E humano, pois nesse processo há fatalmente a presença de erros, os fatores criatividade e sensibilidade, que são tão comuns no nosso dia-a-dia, tanto quanto também são num laboratório e na vida de qualquer cientista.

VII. Finalizamos com a ingênua visão de que a ciência é *socialmente neutra*, ou seja, que o trabalho científico e todo o seu processo de construção do conhecimento são incólumes. Pensar as ciências e as tecnologias de modo que estas não exercem um papel de responsabilidade social é uma visão ingênua e irresponsável.

Portanto, tem-se aqui como um dos principais objetivos do trabalho, combater estas perspectivas, mas claro, não só dizendo que estas são ingênuas e parando por aí, mas tratar do assunto a partir do estudo de um episódio histórico. Ou seja, pretende-se com esse estudo, criar subsídios para pesquisas na área de criação de roteiros de ficção e não ficção, de cunho educacional e de divulgação que pressuponham ser fundamental construir caminhos para efetivar discussões sobre a ciência. Acreditamos que uma possibilidade para cumprir tal objetivo seja a partir de uma abordagem histórico-contextual. No caso específico dessa pesquisa pretende-se investigar se o estudo da vida e obra de cientistas que são reconhecidos como construtores de postulados e leis que marcaram o desenvolvimento da ciência, como Niels Bohr, pode ser um meio para subsidiar a construção de roteiros que tenham por pressuposto desconstruir as visões ingênuas anteriormente destacadas. Dessa forma, o presente estudo pretende criar subsídios capazes de responder à seguinte questão: que elementos da biografia de Niels Bohr podem subsidiar a construção de roteiros de ficção e não ficção que visam destacar que o contexto sociocultural em torno ao

cientista relaciona-se com ao seu modo de agir e pensar e, portanto, permeiam as obras e ações por ele construídas?

Antes de descrever os caminhos seguidos nessa pesquisa, será importante algumas considerações a respeito do ensino de ciências. Apesar de termos como um dos focos as visões distorcidas de ciência, reconhecemos que apontar, muitas vezes quais são os erros associados é muita das vezes mais fácil do que identificar quais seriam as interpretações consideradas efetivamente adequadas e, no caso desse trabalho, não é diferente. Várias são as discussões sobre o que pode ser tomado como *apropriado* quando há a tentativa de definir o que é ciência. Somado a estas, existe também o desafio de transpor esse conhecimento a um gênero educacional, ou seja, não só importa um estudo para definir um consenso sobre quais seriam as interpretações mais adequadas sobre o que são as ciências. É necessário empenhar-se, também, acerca de como seria a melhor maneira de expor o mesmo em determinadas situações.

Na área de ensino de ciências, os que se dedicam a estudar caminhos para levar à sala de aula questões sobre a ciência, defendem ser importante trabalhar na educação básica questões de Natureza da Ciência. Essa é uma questão bastante discutida nos dias de hoje. Uma das propostas de se trabalhar Natureza da Ciência é enfocar na chamada lista consensual, que aqui denominaremos de visão consensual (VC) (LEDERMAN, 1992, 2007; McCOMAS et al., 1998a, 1998b; OSBORNE et al., 2003; McCOMAS, 2008; ABD-EL-KHALICK, 2012a, 2012b; LEDERMAN; BARTOS; LEDERMAN, 2014). Diante de um apanhado de interpretações e formas distintas de enxergar o que é o processo científico, o seu papel na sociedade e até o que significa a ciência em si – alguns pesquisadores separaram e organizaram um conjunto de características da ciência, que defendem ser consensuais entre sociológicos, cientistas e historiadores, com o intuito de destacar o que consideram como os principais aspectos da ciência nos quais as visões profissionais convergem. Sabe-se que não existe a pretensão de afirmar de forma definitiva e com absoluta certeza qual seria a maneira estritamente correta de entender o que é ciência, afinal esta é uma discussão a nível filosófico, sociológico, histórico sem consenso. Porém é pertinente, segundo eles, diante de tantas interpretações ingênuas, que haja um comprometimento em discriminar alguns aspectos gerais com o intuito de pelo menos orientar aqueles que estão convencidos destas visões ingênuas (McCOMAS, 1998).

De alguns dos principais trabalhos realizados com o fim de tentar elucidar verdadeiros *princípios* acerca de o que é ciência podemos citar McComas e Olson (1998), McComas et al. (1998b) e McComas (2008), que caracterizam um formato

mais normativo, descritivo e direto de cunho educacional e acadêmico. Esses autores visaram abordar estes princípios de forma discriminada, nas quais dariam suporte para a elaboração de conteúdos que desejem tratar de questões sobre *Natureza da Ciência* (NdC)[1]. Essa lista de princípios (tenets em inglês), abordam temas como: Filosofia da Ciência; História da Ciência; Psicologia da Ciência; Sociologia da Ciência. Estes são abordados de maneira direta, ampla e gerais, particularidades facilitadoras para quem se inclina para um caráter mais pragmático de cartilha, portanto, um guia pronto e interessante para muitos que pretendem de maneira rápida e *efetiva*[2] informar sobre quais seriam algumas perspectivas mais adequadas para se encarar as ciências. Porém, devido mesmo a esta peculiaridade ampla e geral que caracteriza o que eles chamam de tenets, se acometidos a um exame mais profundo, estes ainda podem trazer problemas na sua interpretação e sendo assim, alvo de críticas para aqueles que não corroboram com a estratégia de combate às visões ingênuas sobre ciências pela via de uma VC, como Irzik e Nola (2011, 2014) e Allchin (2014).

A lista consensual apresentada por McComas (2008) ressalta como características da ciência os seguintes aspectos:

- O conhecimento científico, embora durável, ainda possui um caráter provisório;
- O conhecimento científico se baseia fortemente, mas não totalmente, na observação, evidencia experimental, argumentos racionais e ceticismo;
- Não existe uma única maneira de se fazer ciência (portanto não há nenhum método científico universal passo-a-passo);
- A ciência é uma tentativa de explicar os fenômenos naturais;
- Leis e teorias desempenham papeis diferentes na ciência, portanto, estudantes devem estar atentos que teorias não se tornam leis mesmo com evidências adicionais;
- Pessoas de todas as culturas contribuem para com a ciência;
- Novos conhecimentos devem ser comunicados de maneira clara e abertamente;
- O conhecimento científico requer apurados armazenamento de registros, revisão e replicabilidade;
- Observações são carregadas de teorias;
- Cientistas são criativos

[1] O termo Natureza da Ciência, largamente utilizado nas pesquisas em ensino, se refere à tentativa de encontrar uma definição sobre o que vem a ser a ciência em sua essência.

[2] O que não falta são discussões sobre tal efetividade destes tenets da VC.

- A história da ciência revela ambas características evolucionárias e revolucionárias;
- Ciência é uma parte das tradições sociais e culturais;
- Ciência e tecnologia causam impacto uma à outra;
- Ideias científicas são afetadas por seu ambiente social e histórico.

Essa lista pode vir a ser muito prática para fomentar discussões sobre ciência, porém, podemos encontrar muitos problemas associados a ela, se a mesma for encarada como sendo premissas definitivas a serem seguidas. A começar se a assumirmos como verdades absolutas, como um conjunto de bases fundamentais sobre o que tem que ser considerado ciência, desse modo, ela não foge de um caráter meramente dogmático.

Ao pontuarmos a lista consensual questões se colocam: a ciência sempre seguiu os preceitos apresentados na lista consensual? Existe e existiu o que ainda era considerado conhecimento científico legítimo, mas abordado, em suma, de outras maneiras? Se conhecimentos que foram legitimados como ciência não seguiram os preceitos da lista consensual, o que seriam estes então? Aparentemente estas perguntas não fazem sentido se pensamos que o termo Natureza da Ciência implica em uma essência pura e imutável para que abarque conceitos mínimos que caracterizariam as ciências em todos os seus momentos e lugares. Portanto a procura de estabelecer isto, se revela muito mais difícil e ousada do que parece, quiçá impossível, logo, esta busca é cabível de dúvidas de sua pertinência.

Não temos a intenção agora de mostrar quais e como os tenets da VC podem estar equivocados, pois, mesmo que não fossem, em suma, nos apoiamos no argumento de que: caso estes forem todos cabíveis para uma sustentável interpretação de como se caracteriza a ciência num geral, acreditamos que deste modo esta hipótese não seria nada mais do que uma abordagem que apenas convirja com o prisma cultural de nossa época e local, e que não podem ser tomados como uma compreensão definitiva que seria cabível em qualquer localização na história da humanidade. Dessa forma, nesse trabalho, não trabalharemos sob a vertente da Natureza da Ciência, uma vez que nossa preocupação central não será em caracterizar o que é ciência, ou quais são os parâmetros capazes de construir uma definição para ciência. Nosso foco estará no processo de construção da ciência, de forma a ilustrar a complexidade e os diferentes fatores relacionados ao processo de construção do conhecimento científico.

Como foi anteriormente destacado, o uso de uma abordagem histórica baseada em um aprofundamento do contexto de um determinado lugar e época, nos permitiria estudar aspectos específicos do modo de pensar e agir daquela sociedade. Ou seja, flagrar sob quais prismas aquela cultura enxergava suas questões, expectativas, condutas, etc., podendo nos dar subsídios suficientes para elaborar uma gama de projetos educacionais[3].

Tais propostas serão abordadas com maiores detalhes posteriormente, mas podemos adiantar que estas serão apenas algumas sugestões de como, a partir de um estudo do contexto sociocultural, tal qual o contido neste trabalho, poderá se extrair grande quantidade de informações consideradas importantes para a produção de roteiros para várias mídias diferentes. Portanto, um dos objetivos finais da pesquisa é fornecer de maneira fácil e direta, a partir da fonte de informações pertinentemente agrupadas, a possibilidade de criação de conteúdo informativo, no qual, a princípio, intenta-se que dê suporte criativo em veículos de difusão como: cinema; TV; teatro; quadrinhos; livros; internet, e que poderão ser do gênero ficção.

Como foi dito anteriormente, existe aqui a preocupação de elucidar outros aspectos sobre a ciência que são poucos explorados. Expor, principalmente, no caso desta pesquisa, como a construção de um novo conhecimento em dada época e local, está intimamente ligado com o contexto sociocultural deste espaço e tempo em específico. Os métodos de validação, os experimentos, as estratégias de investigação, o modo de como o conhecimento era difundido e registrado, entre outras ações relacionadas não podem necessariamente serem consideradas nem melhores e nem piores do que o de outros períodos da história, mas que é importante se ater apenas de que eram as condutas consideradas mais pertinentes para a sociedade do sítio e ínterim em questão.

O motivo deste anseio está voltado não só às questões de combate às visões ingênuas e simplistas sobre ciência em geral, mas especialmente lutar contra as recorrentes atitudes embasadas em um pensar tipicamente determinista, no qual em suma, tende a considerar a existência de padrões imutáveis e definitivos acerca de quaisquer fenômenos, sejam eles naturais ou até mesmo sociais. Afinal, este proceder de caráter decretório fornece caminhos para uma postura acrítica da população, assim, dificultando a adaptação às novas ideias e demandas que um meio social, com toda sua complexidade, que é inerente, necessita. Não é difícil crer que,

[3] No que se refere a propostas que estão além do ensino em sala de aula.

comportamentos desta qualidade, inevitavelmente incentivam a formação de uma sociedade pouco maleável e, portanto, majoritariamente intolerante.

Na construção desse trabalho, essas considerações foram conjugadas a reflexões em torno à questão educacional e, mais especificamente, ao trabalho com Física Moderna e Contemporânea (FMC). Quando o tema é abordado no ensino, por exemplo, este é a claramente deixado de lado, ou muitas vezes, no mínimo, não é tratado com a mesma dedicação e empenho como são outros tópicos. Ou seja, não é exagero afirmar que, basicamente, a física estudada nas escolas hoje, não passa do século XIX (MONTEIRO, NARDI, BASTOS FILHO, 2009; MONTEIRO e NARDI, 2007; OLIVEIRA et al. 2007; MACHADO e NARDI, 2003).

Em contrapartida, podemos encontrar este assunto em contextos midiáticos, como em filmes, séries, documentários entre outros. Citando alguns exemplos, encontramos filmes que foram sucesso de bilheteria como: “Interestelar” de 2014, dirigido por Christopher Nolan; a saga “De Volta par ao Futuro” de 1985, de Robert Zemeckis, são exemplos de roteiros, nos quais toda a trama está principalmente tomada por base em conceitos científicos relativos à FMC, mais especificamente, aos conceitos de tempo e espaço relativos, anunciados por Einstein no início do século XX. Podemos citar outros títulos populares, como o documentário “Particle Fever” de 2013, dirigido por Mark Levinson e “Homem-Formiga”, uma obra de Peyton Reed lançada em 2015, que tem sua origem do personagem principal vinda dos quadrinhos. Nestes últimos, as concepções científicas em que se apoiam são as da física atômica.

Portanto, convencido de que a temática da FMC é um mote diferenciadamente atrativo, comparado aos outros conteúdos, que esta ainda sofre de certa negligência no ensino de Física, e ainda somado o fato de que este tópico flagra o surgimento de um período no qual novas concepções de encarar a realidade e o comportamento da natureza afloravam naquela cultura, para responder a pergunta central dessa pesquisa, desenvolveremos uma pesquisa em torno ao sociocultural em que Niels Bohr trabalhou de forma mais a elucidar até que ponto o Princípio da Complementaridade foi um conceito que fatalmente emergiu daquele espaço e tempo, no qual viveu o cientista, ou seja, nada mais do que um constructo sociocultural. Entre outras palavras, é especialmente interessante utilizá-lo como âncora da pesquisa, devido ao fato de Niels Bohr ser considerado como o legítimo precursor desse princípio, e desse modo, estudar como era o seu entorno, sua cultura na qual estava imerso.

Considerando que a pesquisa desenvolvida encontra-se imersa na questão do ensino de ciências e, mais especificamente, na construção de caminhos a serem implementados para trazer à educação e divulgação científica discussões sobre a ciência, a estratégia utilizada para organizar as informações a serem expostas pela pesquisa parte do objetivo de facilitar a quem as busca com o intuito de conseguir elementos fundamentais para a elaboração de um roteiro de ficção que abranja a temática científica para divulgar o trabalho de Bohr numa perspectiva histórico-contextual. Como dito anteriormente, este roteiro servirá como guia para a produção de propostas educacionais veiculadas nos mais diversos veículos de exposição e divulgação, como TV, cinema, internet, revistas, livros, etc.

Para cumprirmos esse objetivo, dividiremos a dissertação em quatro capítulos:

- *Capítulo 1: Contexto Sociocultural*
- *Capítulo 2: Questões Filosóficas*
- *Capítulo 3: Conceitos Científicos e o Princípio da Complementaridade*
- *Capítulo 4: Propostas de Aplicações Educacionais*

A partir de uma pesquisa bibliográfica embasada na vida e no contexto que viveu Niels Bohr, por vias de fontes primárias e secundárias, o intuito é identificar e ressaltar os aspectos supracitados.

É tomado aqui, como *Contexto Sociocultural*, o título do capítulo 1 por buscarmos nesse capítulo destacar os assuntos que revelem especificamente os traços da sociedade em que Niels Bohr viveu. Dentro destes, virão a aparecer principalmente, aspectos que mostrem como era o contexto da sociedade cientifica o rodeava, entre seus costumes condutas. De fato, uma visão extremamente pertinente para situar o escritor que busca ter informações para a ambientação de onde irá se passar sua dramaturgia, por exemplo. Neste capítulo, também trabalharemos um pouco das relações interpessoais. Para quem possui alguma prática na escrita de narrativas (SCHIFFER, GUERRA, 2012), as relações interpessoais são consideradas fundamentais para se construir uma boa estrutura de roteiro, de forma ter em mente uma prévia de como se dará a relação entre os personagens. Na circunstância em questão, esta parte se dedica em expor como era no contexto de Bohr, o convívio não só da comunidade científica, abordando, também, todos os trâmites envolvidos nas investigações, experimentos, verificação, divulgação dos trabalhos. Um gancho importante aparece aqui, pois muito pode ser revelado de como pode se dar um processo de legitimação de um conhecimento. Os recorrentes conflitos e disparidades de opiniões que muito acontece na comunidade acadêmica e que o público leigo não

conhece. Fora isso, a discussão do contexto sociocultural pode revelar um fator importantíssimo das ciências da natureza, que são práticas inteiramente humanas e que possuem naturalmente toda a fragilidade que isto acarreta.

O capitulo 2, *Questões Filosóficas*, atribui a característica de elucidar necessariamente o pensar do cientista e de seu entorno. Neste caso, é especialmente interessante, pois em se tratando da FMC, muitas são as questões com que se depararam os cientistas da época com as novas respostas emanadas pelas pesquisas exaustivas do ramo da física atômica. Desde a possível descontinuidade da matéria até a existência de realidades assumidamente diferentes quando se olha um objeto por pontos de vistas distintos, evocando uma evidência de que é impossível desvincular completamente o observador de sua amostra observada. Outra questão que aqui se desvela é a pertinente às reviravoltas antideterministas como a possibilidade de aceitar as concepções probabilísticas associadas à matéria. Portanto, este é um item que poderá ser muito bem explorado numa história por ser responsável por tantas polêmicas que abalaram o modo de pensar de toda uma cultura de sua época.

O capítulo 3*, Conceitos Científicos e o Princípio da Complementaridade*, discute *conceitos científicos* envolvidos direta e indiretamente ao Princípio da Complementariedade importantes como, por exemplo, as novas noções e ferramentas matemáticas que vigoravam devido a necessidade de abstrair a nova e complexa realidade da mecânica quântica. Determinadas entidades estabelecidas com características nas quais desafiavam o senso comum e ainda hoje causam desconforto e suas relações com concepções fortemente definidas como as da mecânica clássica, indiscutivelmente dão suporte para interessantes discussões, fisgando um potencial público alvo que se vê atraído por uma abordagem mais técnica. E mostrar como o Princípio da Complementariedade foi explorado em sua totalidade. Como um dos objetivos do trabalho é mostrar como este princípio foi elaborado e como o mesmo é entendido, é natural que se dedique um item exclusivo para este.

O trabalho é finalizado com as *Propostas de Aplicações Educacionais*, onde não só haverá sugestões de como as questões podem ser trabalhadas em diversos veículos, mas também, é pertinente listar exemplos de como as mesmas já foram trabalhadas.

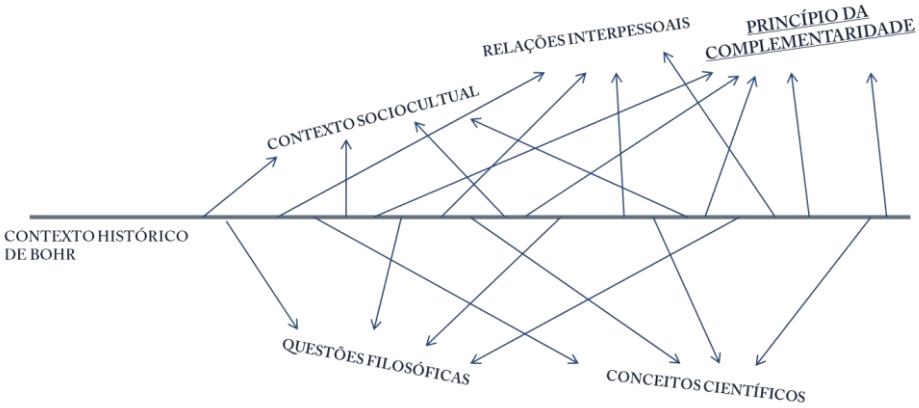


FIG. Esquema de Raciocínio da Pesquisa sobre o Contexto Histórico de Bohr

A imagem acima traduz, de certa maneira, a estrutura de raciocínio básico que foi conduzida a pesquisa. Portanto, fontes bibliográficas que falem a respeito do contexto em que vivia Niels Bohr formarão uma base teórica fundamental, e desta se espera extrair e expor os aspectos suficientes que se julga pertinentes para formar um alicerce útil para a produção de posteriores trabalhos educacionais.

Capítulo I – Contexto Sociocultural

O intento desta sessão, é destacar pontos relativos ao panorama sociocultural localizado em um determinado espaço e tempo importantes para contextualizar os trabalhos de Niels Bohr. O período abrangido corresponde a acontecimentos que permeiam as décadas de 1920 a 1940 e em locais onde se situava boa parte da atividade acadêmica dos cientistas daquela época, mais especificamente as participações nos principais congressos e conferências científicas da Europa e Estados Unidos – Bolonha e Como na Itália; Copenhague, Dinamarca; Nova York e Nova Jersey nos Estados Unidos –, bem como o contexto científico no qual se encontrava na Alemanha. Iremos expor alguns fatos e ocasiões nas quais deflagrem como era o ambiente em que a sociedade científica, que atuava na Europa ao redor de Niels Bohr, estava imersa. A partir dos destaques levantados e de trechos extraídos de textos do próprio cientista, iremos dissertar e inferir sobre como era vista a ciência naquela época, e, como esta também faz parte daquela cultura. Acreditamos que este levantamento possa servir como uma interessante ferramenta para inspirar e instruir aqueles que pretendem abordar o assunto em propostas educacionais diversas.

Estamos tratando aqui de uma época que corresponde ao início do século XX, período este que delata efeitos de um pós-guerra na Europa, fazendo com que as relações entre as nações envolvidas na Primeira Guerra estivessem abaladas. Isso refletiu, também, nas relações entre a comunidade científica internacional, fortalecendo o pressuposto de que a ciência não deve ingenuamente ser considerada como neutra e que esta, bem como, está plenamente susceptível a propósitos ideológicos. Essas considerações são reforçadas por falas dos cientistas, como a que destacamos a seguir, extraída de uma carta do Físico-químico Michael Pupin (1858 - 1935)[4] ao Físico Astrônomo George Hale (1868 - 1938)[5] em 1917:

> *"Ciência é a mais alta expressão de uma civilização. A Ciência Aliada é, portanto, radicalmente diferente da Ciência Teutônica [...] Vemos hoje mais claramente do que já víamos antes, que a ciência não pode ser dissociada dos vários humores e sentimentos do homem [...] Eu sinto que os homens da ciência são homens em primeiro lugar e cientistas depois disso"* (FORMAN, 1973 apud KRAGH, 1999 p. 143).

Esse trecho da carta traz algumas questões interessantes. Primeiro, como destacamos, aponta a questão da relação entre as comunidades científicas internacionais. Pupin destaca para Hale, naquele momento, um pouco da questão ideológica que os acompanha em seu trabalho. Assume na carta que a ciência praticada pelos aliados é radicalmente – palavras de Pupin – "*diferente da ciência teutônica*"[6]. Outro fator que podemos observar da mensagem é o fato do cientista assumir o caráter humano da ciência, expondo sua opinião de que o cientista está longe de ser uma pessoa livre de preconceitos e de emoções, fatores tais que destoam da ingênua impressão que se tem de que o trabalho científico é neutro e que é imune a falhas humanas.

Esse trecho da carta de Pupin traz outros aspectos relevantes a serem considerados. Quando o cientista afirma que "*ciência é a mais alta expressão de uma civilização*", podemos inferir que Pupin coloca a ciência em um patamar acima de

---

[4] Foi um cientista responsável por desenvolver inúmeros aparatos relacionados à telecomunicação de sua época. Mesmo sendo um cientista norte-americano, Pupin é de origem do antigo Império Austríaco, numa região que hoje corresponde à Sérvia.

[5] Hale era estadunidense e é bastante conhecido por seus feitos relacionados às suas observações sobre os padrões comportamentais do Sol. Destaque pelas suas observações que envolvia o estudo sobre manchas solares. Além de suas contribuições no desenvolvimento de telescópios na época.

[6] O termo teutônico é usado para referenciar a origens germânicas e norte e leste europeu.

todas as outras formas de expressão que emergem numa sociedade, como a arte e a religião, por exemplo. Caráter que podemos dizer se evidenciar nesse período, devido a uma herança positivista que estava fortemente arraigada naquele contexto. Herança esta que, se consolida nas ideias do positivismo lógico resultante do Círculo de Viena, iniciado no inicio do século XX, nas quais seus princípios evocam o extremo empirismo de que toda e qualquer teoria deve ser justificada pela experimentação e observação. Do contrário, as proposições não são consideradas relevantes, abdicando assim, qualquer viés metafísico, assim considerado, não-científico (CHALMERS, 1990; CHALMERS 1994).

Bohr, muitas vezes, enfrentou dificuldades em expor suas ideias, devidas essas concepções conservadoras que permeavam aquele contexto. Podemos começar por levantar um ocorrido com J. J. Thomson[7], como destaca Abdalla (2006) em seu livro biográfico sobre Niels Bohr. O episódio acontece um pouco depois de Bohr concluir seu doutorado, em 1911, no qual abordava o mesmo tema de sua pesquisa de mestrado "*Considerações sobre a aplicação da teoria dos elétrons na explicação das propriedades físicas dos metais*". Após a conclusão, o cientista continua seus estudos na Inglaterra, com o desejo de trabalhar com Thomson, e essa incursão foi também marcada por ideias que, por vezes, divergiam. Bohr não concordava com o modelo atômico de Thomson, amplamente conhecido como modelo do "pudim de ameixas", no qual não conseguia explicar resultados já observados experimentalmente, no caso, as linhas espectrais verificadas em elementos químicos. Sobre este episódio, a autora expõe em sua obra biográfica:

> *"Bohr insistia que não fazia mais sentido em tratar a energia dos elétrons com base na Física Clássica. Mas Thomson não gostava nada dessas ideias revolucionárias e chegou mesmo a fazer comentários desairosos e evitar encontros com o jovem dinamarquês"* (ABDALLA, 2006, p. 41).

Havia, portanto, nesse contexto, essa mescla de ideias divergentes, coexistindo aqueles com uma visão tal que credibilizava as perspectivas da Física Clássica e aqueles que abriam caminho para novas ideias que contrapunham às tradicionais, que, no caso de Bohr, viu um aliado em Rutherford[8]. Bohr acreditava na hipótese de modelo atômico de Rutherford, no qual consistia em assumir a existência

[7] Joseph John Thomson foi um físico britânico e seu reconhecimento mais marcante é o fato de ser atribuída a ele a descoberta do elétron.

[8] Ernest Rutherford foi um físico-químico neozelandês, mas que se naturalizou inglês. Seus trabalhos mais reconhecidos estão relacionados aos estudos sobre decaimento radioativo dos elementos, além de ter proposto o modelo atômico no qual se assemelhava com o sistema planetário, estabelecendo no centro do átomo um núcleo positivo.

de órbitas onde os elétrons percorriam, evolvendo um núcleo de cargas positivas. Destes estudos referentes à constituição da matéria, Bohr prosseguiu até a elaboração de seu próprio modelo atômico, que se alicerçava nas novas concepções que emergiam, e assim, levantava questionamentos sobre as corriqueiras perspectivas.

As questões filosóficas relativas ao positivismo faziam parte daquele contexto sociocultural. A questão do positivismo lógico, por exemplo, pode ser evidenciada em falas de Bohr, como, por exemplo, a da passagem em que o cientista, em um debate com Einstein sobre problemas epistemológicos que a física atômica poderia gerar, justifica o seu novo modo de enxergar a natureza. A partir de seus estudos atômicos, Bohr pareceu buscar justificar suas novas ideias relativas ao Princípio da Complementaridade de modo que também se apoiem aos vigentes princípios da física clássica:

> *"Na teoria quântica, a interação incontrolável dos objetos e dos instrumentos de medida força-nos a uma renúncia até mesmo nesse aspecto. Esse reconhecimento, ademais, de modo algum aponta para uma limitação do alcance da descrição quântica, e o sentido de toda a argumentação exposta na palestra feita em Como foi mostrar que o ponto de vista da complementaridade pode ser considerado como uma generalização racional do próprio ideal de causalidade"* (BOHR, 1949, p. 53).

Bohr, nessa passagem, lança mão do princípio da causalidade[9] como estando contida numa perspectiva mais ampla, a da complementaridade. Ao afirmar que esta é "*uma generalização racional do próprio ideal de causalidade*", vê-se que ele pretende expandir a simples ideia clássica de causa e efeito para o mundo atômico. Dessa forma, ele defendeu que na perspectiva quântica era possível generalizar o princípio, entendendo também haver uma relação de causa e efeito nas interações entre os objetos estudados e os instrumentos de medida, nos quais estão diretamente ligados ao comportamento das partículas nos experimentos.

Portanto, até que ponto então, perde-se a capacidade de investigar e verificar as idiossincrasias de dada partícula de modo que o investigador e todo aparato experimental não influencie diretamente em seu comportamento?

---

[9] Típico preceito clássico que envolve a perspectiva de causa e efeito. Ou seja, todo o comportamento da natureza precede de um efeito anterior e específico no qual, se conhecido em sua totalidade, obtém-se a capacidade de prever como este influenciará exatamente nos fenômenos seguintes.

Esta questão se enquadra perfeitamente diante uma clara perspectiva clássica de se enxergar a natureza. Como esta estava em voga, nos debates entre a comunidade científica atuante da época, podemos notar o incômodo causado pelas novas teorias que entravam em vigor. Ainda sobre as conversações entre Bohr e Einstein e colegas, elucidaremos mais esta questão:

> *"Nossas conversações sobre a atitude a tomar diante de uma situação inédita, com respeito à analise e à síntese, tocaram, naturalmente, em muitos aspectos do pensamento filosófico, mas, apesar de todas as divergências de abordagem e opinião, um espírito muito bem-humorado animou os debates. Einstein perguntou-nos em tom de troça se realmente acreditávamos que o bom Deus jogava dados ('... ob der liebe Gott würfelt), ao que retruquei apontando para a grande cautela, já recomendada pelos pensadores antigos, ao se conferirem atributos à Providência na linguagem cotidiana. Lembro-me também de que, no auge da discussão, Ehrenfest, com seu jeito afetuoso de implicar com os amigos, aludiu jocosamente à aparente semelhança entre a atitude de Einstein e a dos oponentes da teoria da relatividade; mas, no instante seguinte, ele acrescentou que não teria sossego enquanto não se chegasse a um acordo com Einstein"* (BOHR, 1949, p. 59).

Observamos nesse relato de Bohr um pouco de sua relação com Einstein e Ehrenfest, e claro, a relação destes com as novas visões trazidas pelo colega Bohr.

A famosa fala de Einstein em que diz "se Deus jogava dados", aparece, nessa passagem, num contexto de brincadeira para com o amigo. Porém, também, transparece seu ponto de relutância de aceitar a nova perspectiva trazida por Bohr, onde não se poderia ter aquela persistente noção de prever por completo o comportamento do objeto estudado sob nenhuma influência externa.

Importante destacarmos que nesse contexto, Einstein representa um personagem com notória influência sobre a sociedade cientifica. Isso é destacado quando Bohr relata a reação de seu colega Ehrenfest, ao dizer que viu na atitude de Einstein aquela dos que se opuseram à sua Teoria da Relatividade. Mas essa lembrança não o impediu de confessar que enquanto Einstein não aprovasse inteiramente a nova perspectiva da Complementaridade de Bohr, ele, Ehrenfest, não teria sossego. Além, é claro, de seus feitos relacionados aos estudos do Efeito

Fotoelétrico, que contribuiu substancialmente para o estabelecimento da física quântica, o colocavam num alto patamar de respeito e reconhecimento.

Nos anos 20, podemos afirmar que a comunidade física alemã se encontrava dividida em se tratando de questões científicas, políticas e ideológicas. Havia uma parcela que apoiava a política nazista como os cientistas Stark e Lenard[10] e alguns menos fervorosos como Wilhelm Wien e Otto Lummer[11]. Esses cientistas compartilhavam largamente as mesmas visões politicas incluindo chauvinismo, ultraconservadorismo e oposição à república de Weimar[12] (KRAGH, 1999). É interessante apontar, que, como destaca KRAGH (1999), esses físicos defendiam fortemente ideias do mecanicismo e eletromagnetismo clássicos, incluindo nestas, também noções como a da existência do éter, o determinismo, a causalidade e objetividade, mesmo que muitas dessas ideias tivessem sido colocadas em xeque em meados dos anos vinte. Entretanto, diante desse grupo de cientistas alemães, que não era minoritário, temos personagens como Einstein e Born[13] que não conjugavam dessas ideias. Einstein, nesse período, estava também trabalhando com estudos sobre a interpretação probabilística da Mecânica Quântica, e Born, ainda na década de 20, nos Estados Unidos em palestras ministradas no MIT, falava sobre a pioneira Mecânica Matricial que se desenvolvia na Alemanha. Ademais, a geração jovem como Heisenberg, Jordan e Pauli[14], possuíam uma postura totalmente apolítica. Heisenberg, nesse ínterim, conhecia Niels Bohr e possuía um sentimento afinco de desestruturar as bases da Física tradicional, tanto que desenvolvera a Mecânica Matricial e posteriormente o Princípio da Incerteza. Aliado a isto, Pauli fazendo uso dos resultados da Mecânica Matricial de Heisenberg, analisou o átomo de Hidrogênio e suas consequências ajudaram a verificar a veracidade dos estudos de Heisenberg.

---

10 Johannes Stark e Philipp Lenard foram físicos alemães que compunham o chamado movimento “Deutsche Physik”, no qual representava uma iniciativa antissemita visando principalmente se opor à física de Albert Einstein e Werner Heisemberg, no qual nem era judeu. (Reisman, 2006)

11 Wilhelm Wien e Otto Lummer foram também físicos alemães e desenvolveram trabalhos relativos ao estudo do Corpo Negro. Para a formulação da mecânica quântica, foram utilizados também como base os resultados encontrados a partir dos estudos de Wien sobre radiação do calor.

12 A república de Weimar vigorou entre os períodos correspondentes ao fim da Primeira Grande Guerra e o início do regime nazista. Caracterizava-se por um sistema de governo de democracia representativa semipresencial, onde o povo elegia seus líderes políticos e tinham como maior escalão, dividindo o poder, o presidente e um primeiro ministro, denotando um sistema de governo híbrido.

13 Max Born também era judeu, foi um físico e matemático alemão que foi fundamental para o desenvolvimento da mecânica quântica, porém, mesmo após suas contribuições, ele fora suspenso devido o regime antissemita que entrara em vigor.

14 Werner Heisemberg e Pascual Jordan foram responsáveis por estabelecer as bases da formulação matricial da mecânica quântica e o austríaco Wolfgang Pauli contribuiu largamente com as primeiras teorias sobre o spin do elétron.

O período em questão, o período entre Guerras, se revela extremamente útil para elucidar caráteres da ciência da época que muitas vezes não são devidamente destacados quando estamos focados na educação científica formal ou não formal.

Podemos então, a partir desta pequena análise do contexto histórico-cultural, levantar alguns fatores que correspondem a visões consideradas ingênuas sobre ciência destacadas por Gil Perez (2001), como: *Empírico Indutivista e Ateórica*; *Individualista Elitista*; e *Socialmente Neutra*. De maneira bastante resumida, lembrando que a *Indutivista e Ateórica* remete à recorrente perspectiva de imparcialidade da ciência e que esta é construída de forma neutra, sem prévias tendências que influenciam os resultados. Sobre esta questão, fica evidente o quanto esta maneira de enxergar a construção do conhecimento científico é ingênua, tomando por base o que foi elucidado, por exemplo, a respeito do quanto questões políticas e ideológicas faziam parte de todo o trâmite e das relações sobre o que era investigado e o que era considerado pela comunidade científica.

Podemos tomar como exemplo o importante fato que correspondia à visão com que a parcela da comunidade científica alemã que, defendia uma posição mais conservadora da época, enxergava o mundo. Como anteriormente dito, uma visão de mundo voltada para uma perspectiva baseada nos preceitos da Física Clássica, determinista. Ou seja, o grupo de cientistas mais radical e conservador na ciência, aparentemente fazia jus a uma coerência de ideias também mais conservadoras e antiquadas. Deste modo, na ciência, desde Planck[15] em 1899 com a descoberta da constante fundamental da mecânica quântica, na qual serviu de base para os cálculos e revelando também o caráter *discreto*[16] da energia. Nas artes, com Georges Seurat (1859 - 1891)[17], que fazia uso da técnica do pontilhismo em suas obras, na qual provoca aparentemente nas imagens, com formato contínuo em suas formas e linhas bem definidas, uma sensação de fluidez e realismo, mas, se observado com mais atenção, nota-se que esta aparente continuidade é quebrada quando se olha de perto,

[15] Max Planck foi inegavelmente fundamental para as bases da física quântica. A partir de seus estudos sobre a radiação eletromagnética que o mesmo conseguiu definir a constante fundamental da mecânica quântica, na qual mais tarde foi batizada em sua homenagem de constante de Planck.

[16] O termo discreto aqui corresponde ao caráter de descontinuidade. Medidas e variações discretas, nesse contexto, se refere que estas só podem ter suas mínimas alterações em quantidades bem definidas, em saltos, não podendo em quantidades intermediárias a estes valores mínimos definidos. Como medir a variação de altura de uma escada, a partir de seus degraus, esta medida irá alterar de maneira quantizada a cada degrau, diferentemente se fosse uma rampa, na qual praticamente a variação de sua altura se dá de maneira continua a media que avança sobre esta.

[17] Artista plástico que foi bastante reconhecido pelo uso da técnica do pontilhismo. Nesta técnica, são utilizados apenas pontos, sejam eles coloridos ou preto e branco. Destaque no caráter discreto da representação dos objetos e paisagens em geral. Não há o uso de linhas nem mesmo de colorações chapadas.

revelando que na verdade eram minúsculos pontos discretos que compunham a imagem (RODRIGUES; GUERRA; CRISTINA, 2015). No desenvolvimento tecnológico, podemos citar a invenção do cinematógrafo, patenteado em 1895, no qual consistia na simples ideia de imprimir uma série de fotogramas que, quando expostos os frames em sequência, é provocada a sensação de movimento fluido e contínuo.

Estes exemplos são coerentes com a ideia que corresponde ao significado base da Física Quântica, que em síntese condiz para uma nova perspectiva do mundo micro, como sendo discreto. Em suma, aparentemente estas concepções faziam parte daquele contexto histórico, portanto, estas poderiam emergir, mesmo sob diferentes leituras, das tantas e variadas manifestações de grupos sociais.

Obviamente, havia muitos outros laços e ideias que entrelaçavam aquele contexto, por exemplo, quando é revelado como era o tratamento da comunidade científica internacional perante a ciência teutônica, e mesmo dentro da comunidade dos físicos alemães, estando dividida pelas fortes diferenças ideológicas, há uma forte quebra nesta visão de neutralidade da ciência. Ou seja, havia muito mais por traz dos laboratórios e congressos internacionais do que olhares ingênuos esperam enxergar. Toda a trama que se envolvia naquele contexto dentro e fora do mundo científico, o pós Primeira Guerra e a tensão que por fim culminou no maior conflito da humanidade, evidenciam o quanto a ciência e o mundo considerado até então “fora dela” estavam fortemente entrelaçados.

Uma questão importante desse contexto em que Bohr trabalhou é o destaque para a prática científica como algo coletivo. As ponderações relatadas nas cartas trocadas entre os cientistas, de certa forma, revelam que o conhecimento ali construído estava sendo constantemente debatido entre os pares. Como é mostrado nas conversas de Bohr e outros cientistas, cada ator cercava e estava cercado por tantos outros que, ao mesmo tempo, concordavam e por sua vez discordavam das novas e velhas ideias que vigoravam. Essa questão relativa à ciência da época de Bohr pode ser ilustrada em um relato do próprio Niels Bohr, quando ele, em 1949, comenta a opinião de seu colega Einstein sobre a física quântica:

> *“Mas a atitude crítica de Einstein perante as opiniões sobre a teoria quântica, a que muitos físicos aderiram, logo foi levada ao conhecimento publico, através de um trabalho intitulado ‘Pode a descrição quântica da realidade física ser considerada completa?’, publicado em 1935 por Einstein, Podolsky e Rosen.*

> *A argumentação desse ensaio baseou-se num critério que os autores expressaram na seguinte frase: 'Se pudermos, sem perturbar um sistema de maneira alguma, prever com certeza (isto é, com a probabilidade igual a um) o valor de uma quantidade física, existirá um elemento de realidade física correspondente a essa quantidade física.' Através de uma exposição elegante das consequências do formalismo quântico no tocante à representação de um estado de um sistema composto de duas partes que estiveram em interação por um intervalo de tempo limitado, mostrou-se, a seguir, que diferentes quantidades, que não podem ser fixadas na representação de um dos sistemas parciais, podem ser previstas, ainda assim, por medidas realizadas no outro sistema parcial. De Acordo com seu critério, portanto, os autores concluíram que a mecânica quântica 'não fornece uma descrição completa da realidade física', e expressaram sua crença em que deveria ser possível elaborar uma descrição mais adequada dos fenômenos*" (BOHR, 1949, p. 72).

Neste relato, Bohr revela um pouco das discordâncias científicas em torno ao Princípio da Complementariedade, revelando, de certa forma, a importância de lidar com essas divergências. O aparente diálogo entre as ideias, muitas vezes aconteciam veiculados a publicações de trabalhos, como no caso citado, o conhecido paradoxo EPR, onde a sigla significa: Einstein, Podolsky[18] e Rosen[19]. Esse trabalho diz respeito a um conceito da mecânica quântica denominado *emaranhamento quântico*[20].

---

[18] Boris Podolski, apesar de ter sido de origem Russa, obteve sua cidadania americana. O cientista inicialmente se formou em Engenharia Elétrica e por fim, concluiu seu doutorado em Física Teórica. Trabalhou com Lev Landau, famoso físico russo, reconhecido por seus trabalhos em supercondutividade e pelo seu Nobel devido seu trabalho com Hélio líquido. Podolsky, assim como Landau, nasceram em famílias judaicas.

[19] Nathan Rosen foi um físico estadunidense nascido no Brooklyng em 1909, porém se naturalizou israelense. Além do paradoxo EPR, Rosen é conhecido também por sua teoria sobre Buracos de Minhoca, juntamente com Einstein, na qual também chamada de ponte de Rose – Einstein.

[20] O emaranhamento ou entrelaçamento quânticos abordam um fenômeno característico da estranheza deste mundo micro, no qual duas ou mais partículas emaranhadas entre si, quando alguma dessas recebem algum estímulo, as outras respondem ao dado estímulo instantaneamente. De certo modo, apesar de ser assumido a existência de mais de uma partícula, estas, de certo mondo, não são completamente distinguíveis e nem separáveis. Um princípio clássico que diz: "dois objetos não podem ocupar o mesmo lugar", neste caso, pode ocorrer então de, não só dois ou mais objetos poderem ocupar o mesmo espaço, mas, de certa forma, um objeto pode ocupar, num mesmo instante, dois ou mais lugares.

Vemos aqui um ataque direto às novas concepções que emergiam. É possível identificar o trabalho conjunto de três cientistas que demonstram publicamente sua oposição às ideias que surgiam na época. Ou seja, até mesmo Einstein, com todo o seu peso e representatividade na comunidade científica, aliava-se e trabalhava junto com colegas na formulação de seus estudos, mostrando nesse episódio que a idealização de que a ciência é Individualista elitista, mais uma vez é claramente ingênua.

Ainda sobre o contexto alemão, o país não só encarava dificuldades econômicas, mas também houve neste país uma evidente mudança no ambiente intelectual, resultando em conflitos ideológicos que pressionavam àqueles que sustentavam tradicionais valores à física costumeira. A física e as ciências usuais, em geral, estavam naquele contexto constantemente sendo acusadas por serem muito mecanicistas, inapropriadas e contrárias a valores humanos. Tais acusações já eram recorrentes, não só na Alemanha, mas também em outras partes, mas estas se tornaram mais frequentes e na república de Weimar, onde foram declaradas com mais afinco. Atitudes consideradas anticientíficas se popularizaram na filosofia, psicologia, sociologia e também na astrologia e na cabala, acarretando no florescimento de outras vertentes do misticismo. (KRAGH, 1999)

Logo, dizer que a ciência sempre obteve um único viés, no caso clássico, determinista e mecanicista, sem se importar com valores humanos e morais, ainda naquele período, onde estas características possuíam forte representatividade, revela-se também um erro. Afinal, vimos que existia uma pressão contra esse tipo de atitude tipicamente fria e extremamente racional da ciência.

No seguinte relato, Bohr destacou suas impressões a respeito destas atitudes que permeavam aquele contexto. O mesmo se refere às reações da comunidade perante a questão *objeto* e *observador* no Princípio da Complementaridade:

> *“Perante o problema da explicação, esse desenvolvimento nos obriga a adotar uma atitude que faz lembrar a antiga sabedoria, que afirma que, ao buscar a harmonia na vida, nunca se deve esquecer que, no drama da existência, nós mesmos somos, a um tempo, atores e espectadores.*
> *Enunciados como esse evocariam em muitas mentes, é claro, a impressão de um misticismo subjacente, estranho ao espirito da ciência; no citado Congresso de 1936, portanto, procurei desfazer tais mal-entendidos e explicar que a única questão em*

> *jogo era o esforço de esclarecer as condições, em cada campo do conhecimento, da analise e da síntese da experiência. Contudo, temo que, nesse aspecto eu tenha tido pouco sucesso em convencer meus ouvintes, para quem a dissidência entre os próprios físicos era, naturalmente, uma causa de ceticismo quanto a necessidade de chegar a tais extremos na renúncia às exigências costumeiras, no que concerne à explicação dos fenômenos naturais. Até por força de um novo debate com Einstein em Princeton, em 1937, onde não fomos além de uma divertida disputa sobre que partido Espinoza teria tomado, se tivesse vivido para testemunhar o desenvolvimento de nossa época [...]"* (BOHR, 1949, p. 77).

Nesse trecho, podemos perceber alguns fatores que denunciam as impressões de Bohr sobre as questões vigentes. Ele começou fazendo o uso de uma metáfora para defender seu ponto de vista de que nas experiências a nível atômico, o objeto a ser observado, no caso as partículas subatômicas, e o observador, que envolve o grupo responsável pela estratégia e uso dos instrumentos de medição, são indissociáveis, de modo que os resultados obtidos estão diretamente ligados às condições de todo o conjunto que observa, logo, se complementando. Ilustra isso ao dizer que entende que assim como na vida, não se consegue separar e nem distinguir completamente ações consideradas totalmente próprias de eventos, que aparentemente consideramos não termos contato algum. Porém, é expressa preocupação quando isso é dito, temendo que suas palavras sejam interpretadas de modo que conotem algo de natureza mística, ou, como em suas próprias palavras: "estranho ao espírito da ciência".

Essas palavras de Bohr remetem a um natural e persistente sentimento de implicação positivista lógico. Em alguns aspectos, esta característica pode soar relativamente incoerente, afinal suas ideias, naquele momento, inovadoras, iam muito de encontro aos princípios tradicionais (baseados num positivismo lógico), entretanto não podemos esquecer do contexto no qual o cientista estava imerso. Pois, mesmo que já estavam por imergir ideias que quebravam os paradigmas vigentes, ainda assim havia uma forte corrente que aderia aos princípios mais conservadores, que é claramente citada no mesmo relato, onde ele destacou a forte tendência dos seus colegas físicos ouvintes de discordar de quaisquer tentativas de explicar fenômenos naturais com base em preceitos não costumeiros.

Numa outra ocasião, Sommerfeld[21] também expressa sua preocupação com relação a estas visões consideradas não-científicas. Em 1927, ele diz:

> *"A crença em uma ordem mundial racional foi abalada pela forma de como a guerra e a paz foram ditadas, e consequentemente, houve uma busca para a salvação em uma ordem mundial irracional [...]*
>
> *Estamos, portanto, evidentemente confrontando, mais uma vez, com uma onda de irracionalidade e romantismo, como o que há cem anos foram distribuídas pela Europa, como uma reação contra o racionalismo do século XVIII, com sua tendência de trazer as soluções dos enigmas do universo de maneira demasiadamente fácil*" (KRAGH, 1999).

Portanto, podemos dizer que naquele período havia sim opiniões divididas acerca destas novas ideias que emergiam. De fato, todas as questões que abalassem os alicerces da física clássica tradicional, incomodavam àqueles mais conservadores. Por exemplo, tudo aquilo que envolvia uma nova maneira de encarar os dados e experimentos, indo de encontro às bases tradicionais de experimentação, onde se assume uma total crença de que não se admite interferência entre o observador e o objeto, a questão da tradicional causalidade, que se mostrou questionada diante as novas concepções e levaram a propostas nas quais colocaram o corrente determinismo positivista em dúvida.

Seria interessante ressaltar que, peculiaridades daquele contexto seriam elementos pertinentes para serem focados no momento de escrever uma história de ficção ou documentário que envolva o cenário abordado neste estudo. É muito provável que situações apareçam na qual denotem aspectos da ciência daquele período, e, portanto, passar uma visão ingênua, principalmente numa proposta educacional, deve ser a última das intenções.

Entraremos em mais detalhes na sessão *Propostas de Aplicações Educacionais*, na qual procuraremos expor algumas sugestões de como trabalhar o material com o fim de abraçar as mais diversas mídias e veículos do entretenimento que temos hoje.

---

[21] Arnold Sommerfeld foi um cientista alemão que recebeu 84 indicações ao prêmio Nobel. É reconhecido pelos seus estudos que envolvem as interações eletromagnéticas de partículas elementares. A Constante de Sommerfeld, fruto desses estudos foi desenvolvida pelo cientista em 1916.

Capítulo II – Questões Filosóficas

Acreditamos ser conveniente uma sessão exclusiva para tomar as questões filosóficas levantadas por Bohr e relacionadas ao contexto abordado. As considerações a respeito da relação sujeito e objeto, trazidas pela Física Quântica quebram com preceitos trabalhados no que denominamos Física Clássica, como aqueles relativos a ideias deterministas e mecanicistas.

Bohr expressou essa problemática de maneira exaustiva em seus relatos, como exemplo, destacamos um extrato de um discurso no Congresso de Física e Biologia em memória de Luigi Galvani, que aconteceu em Bolonha, em outubro de 1937:

> *"..., devemos reconhecer que a situação com que se depara a moderna teoria atômica é totalmente sem precedentes na história da ciência física. De fato, toda a estrutura conceitual da física clássica, levada a uma unificação e conclusão tão esplêndidas pelo trabalho de Einstein, assenta-se na suposição, bem adequada a nossa experiência cotidiana dos fenômenos físicos, de que é possível discriminar entre o comportamento dos objetos materiais e a pratica de sua observação. Para um paralelo com a lição da teoria atômica acerca da limitada aplicabilidade dessas idealizações costumeiras, devemos nos voltar, na verdade, para ramos bem diferentes da ciência, como a psicologia, ou até para o tipo de problemas epistemológicos com que já confrontavam pensadores como Buda e Lao Tsé, ao tentarem harmonizar nossas posições de espectadores e atores no grande drama da vida. Entretanto, o reconhecimento de uma analogia no caráter puramente lógico de problemas que se apresentam em campos tão largamente separados do interesse humano não implica, de modo algum, que se aceite na física atômica qualquer misticismo que seja alheio ao verdadeiro espírito da ciência. Ao contrário, dá-nos um incentivo para examinar se a solução dos paradoxos inesperados com que deparamos na aplicação de*

> *nossos conceitos mais simples aos fenômenos atômicos não nos ajudaria a estabelecer dificuldades conceituais em outros campos da experiência*" (BOHR, 1937, p.25).

A filosofia do Princípio da Complementaridade de Bohr abarca um conceito interessante que não condizia com o esperado de perspectivas mais costumeiras. No inicio do trecho de seu discurso, ele diz a respeito de uns dos conceitos da *complementaridade*, no qual se assume totalmente a questão da dependência envolvida entre os resultados obtidos pelo observador ao analisar o objeto e o próprio observador. Não há, na proposta Quântica, a perspectiva de um experimento no qual os objetos a serem estudados estarão em completo isolamento, ou pelo menos, que não sofra uma influência direta do sistema de observação.

Para análises da Física Clássica, a prática das observações era considerada totalmente separada do sujeito, ou melhor, do processo de interação com o objeto. Esse preceito, que está totalmente de acordo com os dados e previsões da Física Clássica, levou à crença de que esta separabilidade não era só totalmente possível, como obviamente, necessária. Afinal, diante da filosofia determinista, um experimento no qual o observador possui influência direta sobre os resultados e o influencia, é considerado errôneo, pois não se extrairia uma análise pura sobre o fenômeno natural estudado. Essa premissa tão forte na Física Clássica foi questionada por Bohr. Para ele, a nível atômico, esta expectativa não é possível existir. O ponto a que Bohr quer chegar em sua fala acima, ao que parece, é a viabilidade de haver certa relação entre a premissa da complementaridade da Física Atômica e outras praticáveis em campos como o da psicologia e com as filosofias orientais de pensadores como Buda e Lao Tsé.

Bohr afirmou que nesses outros campos é possível perceber uma ligação complementar entre o indivíduo quanto espectador e quanto ator. E em ramos como o da psicologia e nos problemas epistemológicos confrontados por Buda e Lao Tsé, na vida de um indivíduo, graças a uma complementaridade existente entre as atitudes cometidas por ele e as ações recebidas por ele no decorrer de sua experiência diária, é indistinguível uma separabilidade entre estas interações. Mas apesar dessas relações, é importante destacar que Bohr tem a precaução de separar suas análises de questões vinculadas ao misticismo. Podemos verificar isso no trecho em que diz "*o reconhecimento de uma analogia [...] não implica, de modo algum, que se aceite na física atômica qualquer misticismo que seja alheio ao verdadeiro espírito da ciência.*"

Ainda no discurso proferido em Bolonha, Bohr insistiu com a relação à multidisciplinaridade que estas novas concepções acabavam por exigir:

> *"Esta última observação leva-nos de volta ao campo da psicologia, no qual as dificuldades apresentadas pelos problemas de definição e observação nas investigações científicas foram claramente reconhecidas, muito antes de essas questões terem-se agudizado na ciência natural. Com efeito, na experiência psíquica, a impossibilidade de distinguir entre os fenômenos em si e sua percepção consciente requer, claramente, à renúncia a uma simples descrição causal nos moldes da física clássica, e a própria maneira de usar palavras como 'pensamentos' e 'sentimentos' para descrever essa experiência nos relembra, muito sugestivamente, a complementaridade encontrada na física atômica. Não entrarei em detalhes aqui. Quero apenas enfatizar que é justamente essa impossibilidade de distinguir com clareza o sujeito e o objeto, na introspecção, que proporciona o espaço necessário à manifestação da volição. No entanto, vincular mais diretamente o livre arbítrio à limitação da causalidade na física atômica, como muitas vezes se sugere, é totalmente alheio à tendência subjacente aos comentários feitos aqui sobre os problemas biológicos*" (BOHR, 1937, p.28)

Neste trecho, Bohr faz analogias relacionando as problemáticas tratadas na física atômica com algumas da psicologia, especificamente a dificuldade do indivíduo em separar e distinguir quando começa e quando termina o seu comportamento, fruto de fenômenos psíquicos, que envolve o seu pensar sobre os mesmos. Não fica clara, na psicologia, esta fronteira entre o ato – que se refere não apenas no fazer, mas também do sentir – e o pensar sobre este ato, implicando inclusive na dificuldade de se estabelecer a causalidade dos mesmos. Ou seja, uma análise psicológica não poderia determinar, se o ato causou o pensamento ou o inverso, como se pode esperar em princípios de causalidade, como na Física Clássica. A Física Atômica, como no caso da Psicologia, toma-se abster da separação sujeito e objeto e, com mesmo efeito, sobre uma causa prévia de determinado comportamento do objeto atômico a ser analisado.

Ademais, parece sugerir Bohr, que é exatamente o fato de não conseguirmos, na Física Atômica, separar totalmente o observador do objeto e, na psicologia, de não

conseguirmos distinguirmos o comportamento psíquico de sua percepção consciente pelo próprio indivíduo, que surge a possibilidade de *criação*. Isto é, num determinado instante e local, algo irrompe subitamente sem a necessidade de uma causa anterior, mas apenas uma causa que também é súbita e instantânea. Como se na mente do indivíduo, fosse assumido o surgimento de um pensamento ou vontade que não possui uma associação a qualquer raciocínio prévio. Como o próprio Bohr disse, assemelhando-se a um ato de volição[22], ou um legítimo livre arbítrio, que se complementa com o comportamento associado. Na experiência atômica, esta perspectiva se dá da forma como o tipo de análise a ser efetuada está subitamente ligada ao comportamento do objeto a ser estudado, de modo que antes da análise feita, absolutamente nada poderia ser dito sobre o comportamento do objeto.

Esta noção de uma realidade que se estabelece, ou se cria, subitamente e em resposta específica a determinado estímulo, vai muito de encontro a filosofias nas quais é assumida uma realidade prévia, a uma existência que já precedia a experiência do observador ou indivíduo. Assim como é previsto na filosofia realista e objetivista, na qual assumiria uma verdade prévia que se abdica da relação subjetiva entre o sujeito ou observador e o mundo a ser investigado (PESSOA JR. 2001).

No caso do estudo do comportamento de uma partícula quântica, assume-se dado comportamento identificado pelo experimento apenas no instante no qual a medição foi feita, e não cabe dizer, qual seria, portanto, o comportamento, com base em princípios clássicos causais, daquele objeto antes da medição, ou até mesmo no ínterim de duas medições subsequentes. Como Heisemberg, em 1958, expôs em um de seus trabalhos acerca da Interpretação Quântica de Copenhague:

> *"De um ponto de vista muito geral, não há maneira alguma de descrever o que acontece entre duas observações consecutivas. É, certamente, tentador dizer que o elétron deve ter estado em algum lugar, no intervalo de tempo entre essas duas observações, e que, portanto, o elétron deveria ter descrito algum tipo de trajetória ou órbita, mesmo que seja impossível saber qual. Esse seria um argumento razoável na física clássica. Na teoria quântica, porém, teria sido um abuso de linguagem que, como veremos depois, não pode ser justificado [...]. Se quisermos descrever o que ocorre em um*

[22] Aqui e expressão volição é tomada como um ato de decisão ou escolha que tende a uma pura deliberação, ou seja, sem a necessidade de uma linha de raciocínio previamente associada à dada conclusão da escolha.

> *evento atômico, deveremos compreender que o termo "ocorre" pode somente ser aplicado à observação, e não ao estado de coisas durante duas observações consecutivas"* (HEISENBERG, 1958, apud LEITE, SIMON, 2010).

Portanto, nem mesmo entre a ocasião de duas medidas sobre dada partícula é assumida uma realidade fundamental sobre o comportamento da mesma. Desse modo, a Teoria Quântica era constituída alicerçada numa filosofia que se opunha a uma realidade objetiva anterior à interação com o objeto. De modo que, eram observadas a possibilidade de entes com determinadas características se transformarem em outros com substancial diferença (LEITE, SIMON, 2010).

As partículas ou entes, tratados na Física Atômica, não assumem, para Heisenberg, mais um caráter material, mas a de serem representações geométricas matemáticas que respeitam uma intrincada lógica. Esta concepção idealista do mundo micro se evidenciou na Interpretação Quântica de Copenhague. Porém, há controvérsias até mesmo sobre qual era a posição dos fundadores desta interpretação, Heisenberg e Bohr. Como é apontado por BELLER (1996, p. 183, apud LEITE, SIMON, 2010) não só houve mudanças até mesmo nas concepções de Niels Bohr sobre o mundo quântico, mas também houve controvérsias entre as conclusões de vários pensadores, como: Popper, que considerava Bohr como sendo um subjetivista; Feyrerabend, já o destacava como objetivista; para Murdoch (1994), um realista e Feye (1994), um antirrealista.

Apesar de termos delimitado nossa análise ao período de 1920 a 1940, será importante para as considerações dessa sessão, destacar um trecho do discurso de Bohr proferido em outubro de 1955, na reunião da Real Academia Dinamarquesa de Ciências, em Copenhague:

> *"Em vista da influência da concepção mecanicista da natureza no pensamento filosófico, é compreensível que às vezes se tenha visto na noção da complementaridade uma referência ao observador subjetivo, incompatível com a objetividade da descrição científica.*
>
> *[...] Aqui, é claro, não podemos buscar uma explicação física no sentido costumeiro, mas tudo o que podemos pleitear de um novo campo de experiências é a eliminação de quaisquer contradições aparentes. Por maiores que sejam os contrastes*

> *exibidos pelos fenômenos atômicos em diferentes condições experimentais, esses fenômenos devem ser chamados de complementares, no sentido de que cada um deles é bem definido e de que, juntos, eles esgotam todo o conhecimento definível sobre os objetos em questão*" (BOHR, 1955, p. 114).

Ao se referir como explicação física costumeira, Bohr aludiu sobre as interpretações clássicas fortemente ainda vigentes em 1955. E as concepções filosóficas da Física Quântica, que necessitavam não só um nível complexo de abstração, mas, também, iam de encontro a filosofias metodológicas científicas tradicionais.

Outro aspecto idiossincrático desta teoria é a questão que envolve o ramo da estatística e probabilidade. Pois, como lidamos aqui numa perspectiva na qual se abdica de uma prévia realidade, uma maneira encontrada para dar significado físico a quaisquer tentativas de *prever*, de antemão, por exemplo, a posição de um elétron, é dada a partir de inferências estatísticas que permitem ter um posicionamento acerca de onde podemos encontrá-lo. Deste modo, a Física Quântica passa e ingressar para o campo da probabilidade, que envolve até mesmo a chance de ocorrer fenômenos considerados inconsistentes e impossíveis sob um olhar clássico, mas que, se matematicamente pode ser inferido, portanto este é considerado plausível.

A realidade que o mundo micro expressa, a partir da física atômica, se coloca de forma muito distinta daquelas destacadas pela Física Clássica. Efeitos conhecidos como, *Tunelamento*, por exemplo, que se respalda no caráter ondulatório da matéria, consiste basicamente no fato de partículas conseguirem transpor barreiras de potenciais, nas quais a partir de um tratamento clássico, isto seria impossível. *Entrelaçamento quântico*, ou *emaranhamento quântico*, diz respeito a uma quebra total no sentido de localidade das partículas, pois, neste fenômeno, um ou mais objetos, mesmo estando a longas distâncias, possuem entre si uma ligação extremamente estreita, na qual se houver o estímulo de algum destes objetos – importante dizer, que neste caso, é até mesmo inconsistente especificar os objetos – os outros emaranhados respondem a este estímulo de maneira instantânea, ou seja, de modo que realmente um mesmo objeto fosse capaz de ocupar dois ou vários lugares.

O conjunto de conceitos e princípios que compõe toda a filosofia da Complementaridade e da Mecânica Quântica sofreu de muita aversão e preconceitos se encaradas com uma mentalidade tipicamente consolidada em preceitos conservadores, clássicos e deterministas. Porém, de fato é fascinante imaginar que

estas perspectivas passaram no crivo daquela ciência tradicional, e prova disso está também na tecnologia que hoje possuímos que é resultado direto das pesquisas e estudos da Física Atômica. Portanto, se devidamente esclarecidos e bem explorados, os conceitos e divagações acerca da realidade do mundo micro e suas manifestações no mundo macro, podem servir de uma boa base para histórias que instiguem e motivem o público para uma visão mais crítica e contemplativa, principalmente menos fechada e puramente ceticista, sobre a ciência a o que esta pode vir a nos mostrar e surpreender. Logo, o assunto pode se revelar fértil e promissor, a um nível popular e comercial, restando apenas uma adequação à linguagem midiática a ser trabalhada.

Capítulo III – Conceitos Científicos e o Princípio da Complementaridade

Inevitavelmente nos dispomos à necessidade de propor uma sessão em que destaquemos de maneira mais detalhada o Princípio da Complementaridade de Bohr, e juntamente, outros conceitos científicos que compõe a Mecânica Quântica daquele período, tendo por pressuposto o propósito dessa pesquisa. Não entendemos ser necessário aprofundar estas questões a uma leitura técnica e matemática complexas, mas julgamos importante tentar fornecer para o leitor um suporte mínimo que nos permita responder a questão central dessa pesquisa.

Como a pesquisa encaminhada visa construir subsídios para responder a questão central dessa dissertação, utilizaremos das próprias palavras de Bohr para dissertar sobre o princípio da Complementariedade. No entanto, acabaremos por interpretar e transpor para uma linguagem mais leve e palpável aqueles conceitos pronunciados em seus discursos, que muitas vezes, se apresentam de forma confusa, devido à complexidade destes preceitos. Podemos, então, iniciar falando a respeito dos estudos de Max Planck, sobre a *Constante Fundamental de Planck*.

A partir de estudos que relacionavam a quantidade de energia irradiada por um corpo aquecido, entendia-se que esta variava de maneira ilimitada e principalmente de forma contínua, como previa a teoria clássica. Porém, naquele momento, teóricos e experimentais percebiam incoerências entre os resultados experimentais encontrados e as análises teóricas previstas. Planck foi um dos cientistas que se dedicou ao problema. Planck trabalhou sobre a questão, buscando construir uma análise matemática que desse conta dos resultados experimentais encontrados, concluiu que que, se considerasse que a energia trocada – absorvida e irradiada – pelos átomos da

superfície das paredes do corpo negro ocorria de maneira quantizada, ou seja, em quantidades ou pacotes mínimos bem definidos, era possível conciliar os resultados experimentais. Planck destacou que havia uma proporção fixa nestas medidas encontradas, e esta proporção regular seria uma constante, hoje denominada *Constante de Planck*.

Esta constante foi necessariamente vinculada a estudos sequentes que envolviam o caráter quantizado da matéria, da energia, do tempo, do espaço, enfim, o quantum de ação fundamental que alicerçou a Teoria Quântica.

Bohr ao desenvolver seu trabalho tem conhecimento da constante de Planck e a considera em suas investigações. O *Princípio da Complementaridade* de Bohr, por exemplo, traz a ideia do quantum para a análise atômica. Um dos preceitos fundamentais de seu princípio diz respeito da dualidade da natureza, se formos mais específicos, à dualidade onda-corpúsculo da matéria. Mas, como vimos nos capítulos anteriores, Bohr também estendia que os conceitos de dualidade/complementaridade não eram incongruentes com outras áreas, como a biologia e a psicologia:

> *"De fato, somos levados a conceber as regularidades biológicas propriamente ditas como representando leis da natureza complementares às que se adequam à explicação das propriedades dos corpos inanimados, numa analogia com a relação complementar que há entre as propriedades de estabilidade dos próprios átomos e um comportamento de suas partículas integrantes que permita uma descrição em termos de localização espaço-temporal. Nesse sentido, a existência da própria vida deve ser considerada, no tocante a sua definição e observação, um postulado fundamental da biologia, não susceptível de análise posterior, do mesmo modo que a existência do quantum de ação, juntamente com a atomicidade última da matéria, compõe a base elementar da física atômica"* (BOHR, 1937, p. 27).

Esse trecho do discurso proferido por Bohr no Congresso de Física e Biologia em memória de Luigi Galvani, em Bolonha, em outubro de 1937, expressa uma ideia simples, relativa a postulados existentes na Física Atômica e na Biologia. Na primeira metade do texto, Bohr aponta que são análogos dois aspectos complementares da natureza: o primeiro, que as leis existentes no caráter vivo, biológico da natureza, se complementam com as leis características que envolvem os corpos inanimados. O segundo aspecto, e análogo ao primeiro, destaca a relação complementar que existe entre as constantes absolutas que definem e estabilizam a estrutura atômica e o

comportamento mensurável de localização espaço-temporal de suas partículas integrantes.

Na segunda parte do texto, Bohr destaca que, assim como na Física Atômica, onde existem postulados irredutíveis, como a *Constante de Planck*, nas quais são propriedades da natureza que não demandam análise posterior, na Biologia, "*a existência da própria vida deve ser considerada, [...], um postulado fundamental da biologia*". Ou seja, Bohr defende que, nas ciências biológicas, também, cabe o conceito de complementaridade entre o comportamento do objeto de estudo e as propriedades irredutíveis inerentes a este objeto, como se, por definição, este se apresenta *vivo* ou não.

Ainda sobre definições, e com a intenção de reduzir ao máximo a possibilidade de confusões relativas a terminologias, pensamos ser importante inicialmente destacar e diferenciar os termos *corpúsculo* e *partícula*. O primeiro, quando dito neste contexto, irá se referir naturalmente a objetos microscópicos, mas num aspecto simples como se fossem apenas pequenos blocos concretos e simplórios. Analogamente a um grão de areia e suas características, mas podendo ser absurdamente menor. Não deve ser confundido com a segunda terminologia – partícula – que assume como semelhança apenas o fato de possuir a mesma ordem de grandeza, mas, em contrapartida, pode admitir propriedades específicas nas quais não caracterizam fundamentalmente um simples objeto material, pequeno e "palpável". Ou seja, o termo se refere apenas a entidades minúsculas fundamentais que compõe a estrutura física da natureza, e isso pode significar que a estas, serão atribuídas características puramente abstratas. Em resumo, corpúsculo remete a um objeto pequeno com características concretas, num sentido literalmente de tangibilidade, quando que partículas são tanto quanto pequenas, porém não necessariamente possuem esta característica tangível que possui um corpúsculo, seus atributos podem assumir idiossincrasias abstratas que nos ateremos posteriormente a falar sobre estes ainda nesta sessão. Portanto, todo corpúsculo é uma partícula, mas nem toda partícula é necessariamente um corpúsculo. Essa é uma questão fundamental a ser pontuada na educação e divulgação científica, como forma de compreender não apenas o significado científico do princípio da Complementariedade, como as questões filosóficas que se apresentam a partir desse Princípio.

O Princípio da Complementaridade, destaca que é possível, ao fazermos o estudo de uma partícula, observarmos características tanto ondulatórias quanto corpusculares, nas quais são mutuamente excludentes. Elas são excludentes, uma vez que de maneira alguma seria possível observar essas duas características simultaneamente. Dessas características corpusculares, podemos destacar o fato de, por exemplo, atribuir trajetórias à partícula, já sobre a questão dos aspectos

ondulatórios da mesma, conseguimos ressaltar atos como o de interferência desta partícula. Em seus debates com Einstein a respeito de eventuais problemas epistemológicos da Física Atômica, Bohr, em uma de suas conversações, se pronuncia:

> *"Este ponto é de grande importante lógica, uma vez que somente a circunstancia de o ser apresentada uma escolha entre traçar a trajetória de uma partícula ou observar os efeitos de interferência permite que escapemos da necessidade paradoxal de concluir que o comportamento de um elétron ou de um fóton deve depender da presença de uma fenda no diagrama através da qual se possa provar que ele não passa. Lidamos aqui com um típico exemplo de como os fenômenos complementares aparecem em arranjos experimentais mutuamente excludentes e ficamos diante da impossibilidade, na analise dos efeitos quânticos, de traçar qualquer distinção clara entre um comportamento independente dos objetos atômicos e sua interação com os instrumentos de medida que servem para definir as condições em que os fenômenos ocorrem*" (BOHR, 1949, p. 59).

Além do que, num discurso proferido em outubro de 1954, no contexto do Bicentenário da Universidade de Columbia, Nova York, Bohr afirmou que estas duas características preenchem o limite de informação nas quais podemos atribuir a uma partícula quântica:

> *"Uma característica notável da física atômica é a relação inédita entre fenômenos observados em condições experimentais que exijam conceitos elementares diferentes para sua descrição. De fato, por mais contrastantes que pareçam essas experiências, na tentativa de conceber um desenrolar dos processos atômicos em moldes clássicos, elas têm que ser consideradas complementares, no sentido de que representam conhecimentos igualmente essenciais sobre os sistemas atômicos e, juntas, esgotam esses conhecimentos. A noção de complementaridade não implica, de modo algum, um desvio de nossa postura de observadores imparciais da natureza, mas deve ser encarada como expressão lógica da*

> *situação no que tange à descrição objetiva nesse campo da experiência"* (BOHR, 1954, p. 94).

Neste aspecto, a Complementaridade, como foi mencionado anteriormente, também envolve um fator que até então era abordado de maneira muito diferente sob o olhar da Física Clássica, assim como tantos outros, mas especificamente a relação existente entre o que se refere como o conjunto observador e o comportamento do objeto atômico a ser observado. Quando nos referimos a conjunto observador, destacamos tudo aquilo que compõe os aparatos e instrumentos de medida, a maneira como são feitas as detecções e as medições, portanto, está incluído o indivíduo no qual é responsável pelo experimento.

Visto isso, o Princípio da Complementaridade diz que, se o arranjo experimental for elaborado corretamente de modo que extraia informações do caráter corpuscular da luz, por exemplo, as partículas luminosas irão se comportar de modo que exponha necessariamente apenas este aspecto. O contrário é verificado, ou seja, caso o observador queira fazer um estudo envolvendo as características ondulatória da luz, toda a montagem e estratégia de seu experimento terá que ser idealizada de modo que esta aparência complementar do fóton venha a se revelar.

Além do mais, existe ainda a questão da causalidade que é abordada na Complementaridade de Bohr. O princípio clássico da causalidade pode ser brevemente explicado da seguinte forma: se estabelecido que um dado fenômeno B acontece, devido ao fato de que o fenômeno A o ocasionou, então dizemos que A é a causa de B (PONCZEK, 2003). Entretanto, esta concepção clássica da causalidade não se mostrou mais suficientemente satisfatória às implicações que a Física Quântica trazia. Diante disso, esta problemática é referida nas próprias palavras de Bohr, ao rebater as criticas de Einstein, Podolsky e Rosen, descritas em seu artigo sobre seus constantes debates com Einstein:

> *"Tal argumentação, entretanto, dificilmente pareceria capaz de afetar a solidez da descrição quântica, que se baseia num formalismo matemático coerente, que abrange automaticamente qualquer processo de mensuração como o indicado. A aparente contradição apenas revela, de fato, uma insuficiência essencial do ponto de vista costumeiro da filosofia natural para fornecer uma explicação racional de fenômenos físicos do tipo pelo qual nos interessamos na mecânica quântica. Com efeito, a interação finita entre o objeto e os*

> *instrumentos de medida, condicionada pela própria existência do quantum de ação, acarreta – em virtude da impossibilidade da controlar a reação do objeto sobre os instrumentos de medida, para que estes cumpram sua finalidade – a necessidade de uma renúncia definitiva do ideal clássico de causalidade e de uma revisão radical de nossa atitude perante o problema da realidade física*" (BOHR, 1949, p. 73).

A causalidade aqui tratada então corresponde a uma perspectiva diferente, na qual envolve fundamentalmente os processos de medição e detecção dos instrumentos experimentais. De modo que, na construção do Princípio da Complementaridade, Bohr implica que nos processos, acontecendo sob a inevitável influência dos aparatos, os sistemas não estão isolados e, assim, ficando impossível conceber uma conservação de energia sobre os mesmos (MENESES, 2008). Afinal, a própria interação dos instrumentos, por mais sensíveis que possam ser, estes ainda são obviamente compostos também por átomos, portanto, os objetos em análise fatalmente estarão acometidos a interações mínimas que infalivelmente se comunicam na ordem do quantum de ação. E além do mais, somente no instante da interação, entre o instrumento e o objeto observado, que podemos afirmar algo sobre o último, tendo assim que abdicar das causas precedentes aos fenômenos detectados, e juntamente, aos comportamentos posteriores do objeto, ferindo assim a causalidade clássica. Nas palavras de Bohr:

> *"Na teoria quântica, a interação incontrolável dos objetos e dos instrumentos de medida força-nos a uma renuncia até mesmo nesse aspecto. Esse reconhecimento, ademais, de modo algum aponta para uma limitação do alcance da descrição quântica, e o sentido de toda a argumentação exposta na palestra feita em Como foi mostrar que o ponto de vista da complementaridade pode ser considerado como uma generalização racional do próprio ideal de causalidade*" (BOHR, 1949, p. 53).

Portanto, segundo o cientista, esta nova perspectiva de causalidade pode ser considerada como uma revelação mais refinada a respeito do comportamento da natureza. Ou seja, este exercício de abdicar ao antigo preceito natural de se conseguir prever com exatidão o comportamento dos objetos estudados.

Isso se estende, todavia, a tratamentos estatísticos associados, por exemplo, ao propósito de prever a localização de uma partícula elementar, como o elétron. Este, por sua vez, teria a ele associado uma *função de onda*, que significa uma leitura matemática probabilística na qual são incorporadas informações sobre a partícula, sendo assim é possível inferir qual seria o estado quântico[23] desta. Como a princípio, o significado físico concreto final que esta função de onda pode nos dar é apenas a probabilidade da partícula apresentar aquele determinado estado quântico, é necessária a detecção definitiva desta para a sua completa determinação. Quando, então, a partícula, é detectada, acontece o que é chamado na Física Quântica de *Colapso da Função de Onda*, que por sua vez, é quando a partícula é encontrada em um dos estados permitidos pela previsão estatística (MENESES, 2008).

Muitos fenômenos considerados impossíveis na previsão clássica, a nível quântico, mesmo sendo extremamente improváveis, podem ser estatisticamente possíveis e algumas vezes acontecem. Isto é, estados onde logicamente a partícula não deveria ser localizada, por exemplo, ocasionalmente ela pode ser encontrada lá. Como exemplo, podemos citar o caso de efeitos de tunelamento. A partícula consegue transpor barreiras que, na lógica clássica tradicional seria impossível, mas com a função de onda, esta possibilidade, apesar de ínfima, era permitida, e isso foi verificado nos experimentos que por vezes este fenômeno naturalmente acontece (MERTZBACHER, 2002).

Ainda sob o prisma do Principio da Complementaridade, o fato de ser possível detectar apenas certas características mutuamente excludentes do objeto – ou corpuscular ou ondulatório – por vez, não se consegue extrair, num mesmo instante, pares específicos de informações sobre este. Esse vem a ser o que é chamado de *Princípio da Incerteza de Heisenberg*, dentre o qual, o observador está compelido a escolher qual dado sobre aquele objeto ele terá que se abdicar. No caso, estes pares são: posição versus momento[24] e energia versus tempo.

Ou seja, se o observador espera extrair informação sobre a localização de sua partícula, que neste momento apresenta caráter corpuscular, quanto maior for o grau de exatidão desta informação, menor será sobre o seu momento, ou a velocidade desta. Isso acontece, pois, os aparatos de medição, por mais sensíveis que possam

[23] Estado quântico se refere às informações consideradas pertinentes sobre dada partícula quântica. Estas poderiam fornecer, por exemplo, noção sobre sua localização, velocidade, tempo, energia.

[24] Momento linear ou quantidade de movimento (m.v), que neste caso, como se espera ter conhecimento sobre a massa da partícula, logo podemos resumir o problema em identificar a velocidade da mesma.

ser, a nível atômico, não fogem à condição de estarem sobre a ondem de grandeza da Constante Fundamental de Planck. Assim, há uma inevitável perturbação no sistema que impede a plena obtenção de todas as informações pretendidas.

É importante ser entendido, por aqueles que possuem o interesse de trabalhar com propostas educacionais sobre este tema, o que consiste e envolve alguns aspectos fundamentais da Física Quântica e especialmente do Princípio da Complementaridade. Naturalmente, caso o mote da narrativa, por exemplo, seja especificar algum dos aspectos aqui supracitados, pensa-se ser necessário um aprofundamento maior e mais completo. Afinal, como foi dito anteriormente, o objetivo desta sessão foi tentar abranger um pouco a visão do leitor dobre o tema, lançando mão de um apanhado que acreditamos ser um mínimo instrutivo e principalmente inspirativo. Vale lembrar também, que a Física Quântica é um campo vasto e de mais de cem anos, portanto, tentamos pontuar apenas alguns conceitos que são polêmicos pela estranheza que acarreta. Assim sendo, estórias de ficção podem vir a ser inspiradas nesses conceitos, deixando a título do escritor o nível de veracidade no qual este entende ser mais interessante para seu roteiro, visto que estórias baseadas em fatos, ainda sim são apenas adaptações de uma realidade, e, portanto, não carece de um rigor cientifica tão apurado.

Recordamos que as implicações levantadas nesta pesquisa são focadas principalmente no combate à difusão das visões consideradas ingênuas sobre a construção do conhecimento científico, que, muitas vezes, estão presentes em narrativas ficcionais.

Capítulo IV – Propostas de Aplicações Educacionais

Para desenvolvermos esse capítulo, será necessário retomarmos a pergunta central dessa pesquisa: que elementos da biografia de Niels Bohr permitem explicitar, em materiais de divulgação científica e práticas educacionais, o quanto o contexto sociocultural em seu entorno está fortemente relacionado com ao seu modo de agir e pensar e, portanto, permeiam as obras e ações por ele construídas? Isto porque buscamos nesse momento extrair os elementos capazes de subsidiar a construção de um roteiro que possa ser desenvolvido em sequências didáticas ou possam ser

produzidos nas mais populares mídias[25] como: cinema; TV; web series; narrativas; quadrinhos; teatro. Acreditamos que o conteúdo a ser disposto possa muito bem servir para todas essas linguagens, claro, com as devidas adaptações, mas adiantamos que dentre estas, o foco será voltado principalmente para a linguagem audiovisual.

O que justifica essa escolha, poderia dizer ser o fato de que possuo alguma experiência nessa área. Perguntas que se deve evitar fazer para um realizador é: “Quando você começou?” ou “Quando foi seu primeiro filme?”. É difícil definir, pois, a maioria de nós realizadores já efetuava pequenos trabalhos que apenas não foram oficializados, mas era algum começo. E desde esse começo, que iniciou como uma brincadeira e se tornou um hobby, a coisa foi ficando séria até chegar ao ponto de obtermos obras que renderam prêmios, críticas, exibições a nível nacional e internacional e até mesmo fazer parte da programação de canais a cabo. Todas essas obras se caracterizando como ficção em curta e média metragem. Logo, fica clara a preferência e a coerência em aliar essa experiência como diretor e roteirista audiovisual com o ensino de ciências.

Contudo, mídias para além do audiovisual também podem ser de grande eficácia para transmitir propostas educacionais de cunho científico. Por exemplo, fazer o uso de Narrativas Históricas (SCHIFFER, GUERRA, 2012; KLASSEN 2009a; HADZIGEORGIOU et al 2001) no ambiente de sala de aula com o intuito de explorar problemáticas que cercam estas visões ingênuas sobre ciência. Existe também quem faça o uso de peças teatrais (MEDINA, BRAGA, 2010) com o intuito de abordar questões científicas e fomentar discussões sobre o que é a ciência e como esta foi construída. E assim como na ficção das telas e dos livros, podemos citar as histórias em quadrinhos e mangás, nos quais também possuem um público alvo de peso e que são capazes de transmitir significantemente mensagens e ideias com uma liberdade tal que, muitas vezes, apenas com a dinâmica das gravuras e quadros permitem uma flexibilidade e potencialidade para gerar um interessante impacto visual e dramático mesmo com baixo custo de produção[26].

Ademais, admitimos que uma sessão exclusiva e inteiramente voltada para com o propósito de dar uma orientação básica sobre a escrita destes roteiros, vem a ser indispensável para o fechamento deste empreendimento.

---

[25] Nos referenciamos como mídia todo o meio ou veículo de comunicação que possui a intensão e a capacidade de transmitir certa informação a um público alvo. É a difusão de dado assunto com o intuito de gerar, neste caso, uma oferta de entretenimento e/ou cunho informativo e educacional.

[26] Baixo custo se comparado a outros tipos de mídias visuais.

Recapitulando, um dos principais objetivos dessa parte do trabalho é destacar pontos que possam indicar ao leitor, ou futuro roteirista, subsídios suficientes para inspirá-lo a atacar questões referentes ao Princípio da Complementariedade e seu processo de construção num enfoque histórico-contextual, com vistas a trazer questões, mesmo que não explícitas, sobre a ciência. Dessa forma, focaremos principalmente na questão do contexto histórico relacionado, combatendo, especialmente, as visões consideradas ingênuas sobre ciência, que o público recorrentemente possui. Portanto, é fatal que aqueles que se interessam em trabalhar com propostas semelhantes possam estar inevitavelmente acometidos também a esses tipos de visões. Logo, pensamos ser fundamental existir, o quanto mais for necessário, materiais de apoio que possam dar esse suporte aos idealizadores de estórias e dramas que buscam explorar a temática da ciência.

Além do mais, o uso de abordagens educacionais veiculadas em mídias das mais populares pode servir de grande valia para a exposição de conteúdos de ciência de maneira bastante eficaz. Afinal, como (DUARTE, 2009, p.16) afirma: “ver filmes é uma prática social tão importante do ponto de vista da formação cultural e educacional das pessoas, quanto a leitura de obras literárias, filosóficas, sociológicas e tantas mais”.

Um exemplo muito pertinente que podemos começar citando, no qual não só nos tira qualquer dúvida sobre o alto nível de audiência e alcance que estas mídias são capazes, mas também de recorrentes visões ingênuas sobre ciência, o famoso seriado norte americano Jornada nas Estrelas (*Star Trek*), criado em 1966. Tal seriado consiste em uma ficção científica que aborda exploração espacial, sendo assim, muitos conceitos científicos estão envolvidos nessa trama. Mas, especificamente, existe nesta série um personagem chamado Dr. Spock, interpretado e eternizado pelo ator Leonard Nimoy, que é um alienígena integrante da tripulação da nave interestelar Enterprise, no qual assume o posto de *oficial científico*.

A situação que queremos destacar neste ponto é o fato deste personagem possuir um insistente estereótipo do cientista, como era visto naquela época. Ou seja, aqueles que conhecem um pouco a série podem reconhecer que tal personagem carrega a característica de ter uma personalidade totalmente livre de emoções afetivas e voltadas apenas para a lógica. Esta caracterização é capaz de reforçar a ingênua visão de ciência de *caráter rígido (algorítmico, exato, infalível)*, que motiva uma ideia de ciência não humanizada e não susceptível a erros, que se baseia totalmente à convencional lógica do método científico e desconsidera a inexorável ação de fatores humanos na prática científica. E isso revela como eram as visões que ainda persistiam

naquele contexto, como (GOMES-MALUF; SOUZA, 2008) dizem a respeito do que obras de ficção científica podem nos mostrar:

> *"Não há, na ficção científica, a profecia em si, mas esta se impregna de elementos da realidade e da produção da Ciência para se fazer ficcional e real perante a opinião pública. Além das profecias, as obras ficcionais podem ser consideradas como antevisões [...]*" (GOMES-MALUF; SOUZA, 2008, apud FERRARI, 2015).

Por um lado, o fato deste personagem não constituir um ser humano, e desse modo não possuir, naturalmente, características humanas, é o que permitiria então apresentar esses outros traços de personalidade absolutamente lógico-matemáticos. Podendo, assim ser, um reconhecimento dos roteiristas da série sobre as características humanas e, portanto, lançando mão da liberdade de criação que um roteiro de ficção permite, desenvolveram então uma personagem alienígena para que representasse a visão popular idealizada de ciência. Por mais que a princípio possa parecer justificável – que a ciência não pode ter *caráter rígido, puramente metodológico, algorítmico, infalível, exato*, se exercida por humanos, mas sim por um alienígena da ficção – esta idealização ainda recorre para outra visão simplista, a de que a ciência pode ser *socialmente neutra*, isto é, que esta não exerce uma responsabilidade social, o que é um erro, pois os resultados que a ciência busca e chega dependem de uma série de decisões nas quais implicam fatores morais e problemáticas sociais que envolvem a sociedade de dada época e local. Portanto, o julgo e a sensibilidade humanas são indispensáveis para uma ciência mais responsável, coerente e adequada a seu tempo e lugar. Logo, lançar mão de um alienígena que não possui emoções humanas e não identifica suas demandas como humanas, provavelmente não seria uma boa ideia para o posto de oficial científico.

Entretanto, o roteiro, no desenvolvimento deste personagem e da história, seguramente pode apresentar momentos em que estas visões sejam problematizadas, levantando críticas sobre as mesmas, chocando e "contrariando" as típicas visões do telespectador, colocando-o para pensar sobre estas questões. Não estraremos em detalhes sobre como estas foram especificamente trabalhadas na estória, e nem se foram essencialmente trabalhadas, visto não ser nosso propósito debater o exímio trabalho de Gene Roddenberry[27].

[27] Roteirista criador da série Jornada nas Estrelas (título divulgado no Brasil). O escritor trabalhava como policial na cidade de Los Angeles enquanto escrevia roteiros para TV e anteriormente era piloto de aviões comerciais, logo após

Como então aplicar de fato o conteúdo da pesquisa presente neste trabalho em propostas educacionais? Para responder a esta pergunta, entendemos ser necessário primeiramente situar o leitor sobre algumas ideias que envolvem a complexa prática a respeito da estrutura da produção de roteiros. E para isso, decidimos nos basear nas teorias do livro *Story*: *Substância, Estrutura, Estilo e os Princípios da Escrita de Roteiro*, de Robert McKee[28], escritor de roteiros como o da minissérie americana "*Bíblia Sagrada - Abraão*", de 1993, e no qual na sua obra supracitada discute famosas estórias já desenvolvidas, apontando elementos trabalhados e estruturas que funcionaram, e disso conduz sugestões sobre como desenvolver uma outra. Neste livro, diferentemente de muitos outros que possuem a mesma intenção, não há a pretensão de definir uma fórmula ou algoritmo infalível de se escrever roteiros. Na verdade, o autor explora várias formas em que estas estruturas podem ser desenvolvidas, lançando mão de exemplos de roteiros como os de: O Senhor dos Anéis, Friends, CSI, Seinfield, Arquivo X, O Resgate do Soldado Ryan, King Kong entre outros.

Na sessão denominada *Estrutura e Ambiente*, McKee inicia falando a respeito dos clichês, apontando o fato de que vivemos hoje em um período no qual, de certo modo, é muito mais difícil de se escrever estórias realmente inéditas do que, por exemplo, no período vitoriano, onde o consumo e o contato da população em geral com a ficção era substancialmente menor. Ou seja, estamos numa época em que o alto consumo de obras de ficções nas mais variadas mídias tornam difícil a criação de uma narrativa genuinamente original, que não recaia em clichês, isto é, em desfechos e estruturas nas quais o público já não tenha visto inúmeras vezes (MCKEE, 2006).

O autor aponta, ainda, que a principal causa de escritores de estórias recaírem em clichês está ligada a uma falha recorrente que é o fato de "*o roteirista não conhecer o mundo de sua estória"*. Portanto, isto está intimamente ligado a uma mínima pesquisa de como se dá o contexto que permeia aquele universo no qual se pretende trabalhar, que no nosso caso, o da Física Quântica, o contexto sociocultural que envolvia Niels Bohr, especificamente associado ao seu Princípio da Complementaridade. McKee, sobre este problema, complementa:

---

ter voado pela Força Aérea Americana durante a Segunda Grande Guerra. Podemos citar uma curiosidade sobre o seu funeral, no qual foi o primeiro ser humano a ter suas cinzas jogadas no espaço.

[28] Robert McKee é um famoso professor de escrita criativa e de estruturas roteiros, além de ter sido consultor de projetos de TV e Cinema para grandes estúdios de Hollywood. Destaca que o empreendimento na forma e na escrita são fundamentais para a realização cinematográfica.

> *“Tais escritores selecionam um ambiente e lançam um roteiro supondo ter pleno conhecimento de seu mundo ficcional, quando eles não têm. Quando eles procuram o material em sua mente, não aparece nada. Para o que eles recorrem? Filmes, programas de TV, romances e peças com ambientes similares. Do trabalho de outros escritores, eles copiam cenas que já vimos antes, parafraseiam diálogos que ouvimos antes, disfarçam personagens que já encontramos antes, e fingem que eles são seus. Eles requentam sobras literárias e servem-nos pratos de tédio pois, independente de seus talentos, falta-lhes um entendimento profundo do ambiente de sua estória e tudo o que ele contém. Conhecimento e visão do mundo de sua estória são fundamentais para alcançar originalidade e excelência”* (MCKEE, 2006, p. 75).

A necessidade de um estudo sobre o ambiente, o contexto do universo em questão é, portanto, imprescindível para a elaboração de personagens com real substância e verossimilhança, além, é claro, disto ser fundamental para conduzir uma estória, com conflitos e tramas que sejam coerentes e não absurdos, sem deixar cair em gratuidades e resoluções abruptas que podem tirar a imersão do público sobre sua obra.

Partindo disso, temos neste trabalho, portanto, já algum material capaz de conduzir o leitor nesta tarefa inicial de começar a absorver como era o contexto que envolvia a comunidade científica, principalmente o qual rodeava Niels Bohr, com suas grandes contribuições no desenvolvimento da Física Quântica, na elaboração do Princípio da Complementaridade. Na sessão *Contexto Sociocultural*, deste trabalho, já começamos por destacar elementos do contexto sociocultural, o período entre guerras, importantes para contextualizar o desenvolvimento do Princípio da Complementariedade. Logo, o roteiro a conduzir a estória pode ser introduzida ao fim do primeiro conflito na Europa, permitindo uma atmosfera extremamente densa e dramática, resultante da tristeza provocada da destruição, não só da paisagem local – que cinematograficamente, por exemplo, ajuda e muito no quesito estético – mas também na destruição das vidas e perspectivas da população em geral, revelando, portanto, uma oportunidade de se trabalhar estórias que se iniciem em práticas simples, como por exemplo: o recomeço de um cotidiano daqueles sobreviventes. Como queremos focar num tema científico desenvolvido por professores universitários daquele contexto, pode-se escolher como cenário, um professor e sua família que

recomeçam suas vidas, após o fim da primeira Guerra, mostrando da destruição à ascensão, que esses personagens se veem diante de mudanças de paradigmas próprios. Por exemplo, uma simples sequência que envolve o personagem em conseguir comida e abrigo pelos escombros de uma cidade. A progressão destas estórias pode tomar caminhos que se cruzam com os de cientistas, em Congressos, em uma cafeteria ou restaurante, proporcionando um encontro marcante na vida dos dois personagens, estabelecendo a resolução de conflitos destes, ou até mesmo a criação deste conflito.

Deste modo, como podemos observar na sessão mencionada, havia até mesmo para Einstein, um conflito interno relativo às novas concepções emergentes dos estudos Atômicos, e este é um gancho bastante oportuno de se trabalhar num roteiro. A riqueza que um personagem possui,para um roteiro, está diretamente ligada à sua profundidade, de forma a ser possível revelar algo além do que se vê de imediato. Disso, que é possível trabalhar um arco convincente e consistente, que seja capaz de exercer uma mudança interna na psique do personagem (MCKEE, 2006).

Este é um gancho muito útil na elaboração de uma boa estória, na qual envolve esta mudança de perspectiva das personagens principais. Ou seja, cada cientista ou não cientista da sua estória que venha a lidar com esta transição de uma visão tradicional da ciência e do cotidiano para uma visão nova, e juntamente, nós, como observadores ao acompanhar seus arcos dramáticos, flagremos como se deu a construção destes novos conhecimentos. De certo modo, o roteirista pode, portanto, opinar em dar ênfase aos conceitos e princípios científicos que foram modificados, ou então no drama em si das personagens, por exemplo, relutantes, em aceitar e se adaptarem a estas modificações. Nesse ponto as questões ressaltadas no capítulo *Conceitos Científicos e o Princípio da Complementaridade*, na qual fala sobre estes conceitos que envolvem a Mecânica Quântica, destaca de fato que muitas destas noções são complexas e necessitam de cálculos bastante sofisticados e que, de certo modo, não são aconselhados serem exploradas nas narrativas que se propõem ser desenvolvidas. Mas isso não significa que uma explicação destes complexos conceitos possa ser negligenciada.

Há formas de se traduzir e explicar ao público considerado leigo algumas ideias tidas como avançadas, sofisticadas e não usuais. Podemos citar como exemplo, os artifícios utilizados pelos roteiristas de *Interestelar* (2014, Direção de Christopher Nolan), no qual são abordados princípios de Física Moderna, especificamente conceitos de Relatividade. Para explicar em que consistia uma ponte de Einstein-Rosen, que seria uma dobra do espaço-tempo, um dos astronautas rapidamente pega

um lápis e uma folha de papel, demonstrando para o colega que a maneira mais fácil e rápida de ir de um ponto da folha a outro, não seria percorrendo uma linha entre esses pontos, mas dobrando esta folha até que um ponto toque no outro.

Esta é uma analogia bastante utilizada para abstrair de maneira simples este conceito. E aparentemente se demonstrou suficiente para que fosse possível ao público acompanhar e entender aquele momento da narrativa. E é interessante notar, que naquele instante do filme, ambas as personagens, que eram astronautas, já entendiam perfeitamente este conceito, então, aparentemente, não havia sentido que uma delas tecesse explicação alguma sobre isto para a outra. Mas é preciso estar atento que, essa explicação possui a finalidade de auxiliar o público, o que é indispensável para a identificação e imersão dos mesmos. Então é indispensável para o roteirista, possuir uma noção do conteúdo científico que integra sua estória.

Do mesmo modo, o que fica evidente em se tratando de assuntos como o da Física Quântica, é preciso que o escritor esteja também alinhado com a Filosofia envolvida nestas noções. Sendo assim, do capítulo *Questões Filosóficas*, pode-se extrair informações que o ajudarão no trabalho de construção do conflito interno das personagens. A própria questão que engloba a relação complementar entre o sujeito observador e o objeto observado, associado também às analogias e metáforas lançadas pelo próprio Bohr em que o cientista relaciona a Psicologia, a Biologia e até mesmo demandas epistemológicas levantadas por Buda e Lao Tsé, podem servir de inspiração e serem usadas diretamente no roteiro, de forma a evidenciar o entrelaçamento entre os pressupostos do Princípio da Complementariedade e o contexto sociocultural em que foi desenvolvida. Para aqueles que se interessam em abordar o tema da Complementaridade, por exemplo, levando sua obra para caminhos menos técnicos, mas que busquem levantar discussões introspectivas e reflexivas, sem serem anacrônicos, estas questões filosóficas abordadas se encaixam perfeitamente.

MacKee nos dá uma dica de o que podemos inserir neste contexto reflexivo e filosófico a ser trabalhado pelas personagens:

> *“De um instante à eternidade, do intracraniano ao intergaláctico, a estória da vida de toda e qualquer personagem oferece possibilidades enciclopédicas. A marca de um mestre é selecionar apenas alguns momentos, mas nos dar uma vida inteira.*

> *Começando no nível mais profundo, você pode ambientar sua estória dentro da cabeça de seu protagonista, e contar tudo o que ocorre dentro de seus pensamentos e sensações, acordado ou sonhando [...]"* (MCKEE, 2006, p. 43).

Portando, todo o conflito dramático que pode vir a se manifestar dentro da mente de sua personagem, para que passe credibilidade e substância à sua estória, depende desta abordagem que implica o contexto filosófico no qual a mesma está inserida. O desenvolvimento do arco da personagem, que pode envolver uma quebra de paradigma, ou o inverso, a personagem que possui uma visão coerente às novas concepções, mas é constantemente atacada por aquelas antigas e tradicionais formas de enxergar o mundo, são possibilidades que podem ser trabalhadas em sua escrita.

Considerações Finais

O conteúdo aqui explorado, portanto, fornece subsídios para a elaboração de estórias ficcionais com viés educacional que pretendem falar do Princípio da Complementaridade de Niels Bohr, evitando recair em visões consideradas ingênuas sobre a ciência?

Uma vez lançado mão de um estudo histórico-contextual sobre as características que margearam localmente e temporalmente o cientista, focando na elaboração do Princípio da Complementaridade, acreditamos, portanto, ser possível a concepção de trabalhos midiáticos que optem por esse assunto.

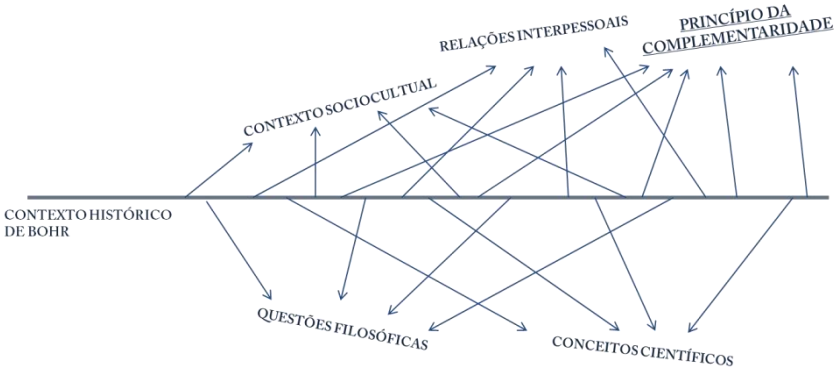


FIG. Esquema de Raciocínio da Pesquisa sobre o Contexto Histórico de Bohr

Pois, entendendo um mínimo inicial sobre como a comunidade científica se comportava, enxergava e se posicionava perante as novas e as antigas questões que

assolavam aquele universo, além de respaldar-se sobre qual era a filosofia que alicerçava aquela cultura, e como esses alicerces foram abalados com as novas concepções científicas que emergiam, o escritor possui substância suficiente para criar a atmosfera verossímil que sua estória necessita.

As concepções e conceitos científicos que, por força de serem considerados tão incomuns à lógica tradicional, e assim, provoca-nos uma dificuldade de entendê-los e estuda-los com maior facilidade, se comparados a outros conceitos da Física, foram apresentados de maneira menos técnica, buscando facilitar a sua compreensão para aqueles que não são necessariamente especialistas no assunto e que desejam abordar o tema em alguma narrativa.

E por fim, são apontadas as visões populares sobre a ciência e que são consideradas ingênuas, de modo que as mesmas não integrem esses roteiros, e assim, evitando que sejam equivocadamente transmitidas em veículos de alto alcance midiático, ou até mesmo em ambiente escolar. Possuímos o forte propósito de combater uma maior disseminação dessas visões, por isso confiamos na pertinência de apontar e insistir nesse ponto.

Que há uma infinidade de caminhos a serem tomados para guiar a sua estória, não resta dúvidas, mas o que há de mais importante e que deve permear quaisquer que forem as suas escolhas, insistimos, é a atenção sobre as consideradas visões ingênuas sobre a Ciência. Passagens em sua trama que possam denotar tais perspectivas podem passar despercebidas, afinal, como as referidas concepções são tão comuns à maioria das pessoas, o roteirista, deste modo, partilha da responsabilidade de evitar a difusão destas interpretações.

Logo, os grandes veículos de divulgação de informação e entretenimento, precisam estar cientes desta incumbência, e isto começa com a conscientização do núcleo criativo que é composto pelos escritores e roteiristas. Mas é importante relembrar que, o público alvo a qual se destina o conteúdo desta pesquisa não se resume a apenas estes roteiristas profissionais, e nem aos grandes intelectuais da educação, mas há o intuído de abranger também àqueles que querem simplesmente escrever uma estória que, por ventura, a temática da mesma permeia este universo científico da Física Quântica.

Além do mais, esperamos que o leitor no qual ainda não possuía estas noções de como as tradicionais histórias que mencionam a construção do conhecimento científico podem estar equivocadas, e que mesmo a própria ciência é digna de falhas humanas, por ser um empreendimento humano, termine esta leitura com uma visão

uma pouco mais crítica a respeito destas. Que ao assistir um filme, ou série ou ler um livro, note que as personagens que representam os cientistas, se retratados daquela maneira estereotipada, descabelados, de jaleco branco e, por vezes, aparentando comportamentos antissociais, representam uma visão antiquada e errônea.

Enxergar as obras de maneira mais apurada, não só se tratando em quesitos técnicos, como a estética ou a dramaturgia da mesma, mas também observar com a exigência de uma verossimilhança e autenticidade que muitas vezes se perde, devida a falta de informação sobre ou excesso de informações recorrentemente falsas quanto o assunto permeia tópicos sobre ciência. A visão crítica que desejamos ter sido criada naqueles que terminam de ler este trabalho não está voltada a uma habilidade perspicaz de ter um conhecimento científico técnico sobre a Física Quântica, nem a de se tornar um crítico profissional de obras cinematográficas, por exemplo. Mas pelo menos ter a sensibilidade de perceber que, quando o tema em jogo é a Ciência, esta reflete e revela traços do contexto daquela sociedade na qual é praticada, e assim, desconfie quando, em obras diferentes, onde relatam momentos distintos e lugares discrepantes umas das outras, quando a Ciência for retratada de maneiras muito semelhantes.

Referências Bibliográficas

ABDALA, M. C. Bohr: o Arquiteto do Átomo. Coord. Marcelo Gleiser. 2.ed., São Paulo: Odysseus Editora, 2006

ABD-EL-KHALICK, F. Examining the sources for our understandings about science: enduring conflations and critical issues in research on nature of science in science education. International Journal of Science Education, v. 34, n. 3, p. 353-374, 2012a.

ABD-EL-KHALICK, F. Nature of science in science education: toward a coherent framework for synergistic research and development. In: FRASER, B. J.; TOBIN, K; McROBBIE, C. (Eds.). Second international handbook of science education. The Netherlands: Springer, 2012b

ALLCHIN, D.; ANDERSEN, H. M.; NIELSEN, K. Complementary approaches to teaching Nature of Science: integrating student inquiry, historical cases, and contemporary cases in classroom practice. Science Education, v. 98, n. 3, p. 461-486, 2014

ALLCHIN, D. “Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science.” Science Education, v. 95, n. 3, p. 518-542, 2011

BOHR, Niels. Física Atômica e Conhecimento Humano: Ensaios 1932 – 1957. Tradução: Vieira Ribeiro. Contraponto, 1995

CHALMERS, A. A fabricação da ciência. São Paulo: UNESP, 1994.

CHALMERS, A. O que é ciência afinal?. São Paulo: Brasiliense, 1993.

DUARTE, R. Cinema & educação. 3ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2009

FERNÁNDEZ, I.; GIL–PÉREZ, D.; CARRASCOSA, J.; CACHAPUZ, J.; PRAIA, J. Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. Enseñanza de las Ciencias, Barcelona, v. 20, n. 3, p. 477–488, 2002.

FREIRE JR, O.; PESSOA JR, O.; BROMBERG, J. L. Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais. Campina Grande: EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, 2011

FERRARI, A. H. Ficção Científica, Ciência e Educação: audaciosamente indo onde ninguém jamais esteve. ZANCUL, M. C. S.; BADIA, D. D.; VIVEIRO, A. A. (org.), Cinema e educação: algumas leituras possíveis. São Paulo, SP. Cultura Acadêmica. 2015

FIUZA, L. GUERRA, A. Controvérsias históricas em torno a ideia de natureza: atividades com imagens. Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências, v. 16, n. 2, pp. 125-145, 2014.

FOLSE, H. J. The Philosophy of Niels Bohr: The Framework of Complementarity. North-Holland, Personal Library. 1985

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. “A. Historiografia e Natureza da Ciência na sala de aula”. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 28, p. 1, p. 27-59, 2011.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino da mecânica introdutória. Investigações em Ensino de Ciências,Porto Alegre, vol. 6, n.1, pp.29-56, 2001.

GIL PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. “Para uma Imagem Não Deformada do Trabalho Científico”. Ciência & Educação, v.7, n.2, p.125-153, 2001

GOMES-MALUF, M. C.; SOUSA, A. R. A ficção científica e o ensino de ciências: o imaginário como formador do real e do raciocínio. Ciência & Educação, Bauru, v. 14. 2008

GUERRA, A; BRAGA, M; REIS, J.C. “History and Philosophy of Science through Three Axes: A Case in Modern Physics”. Proceedings of 12th Biennal Conference International History, Philosophy, Science Teaching group, Pittsburgh, EUA, 2013.

GUERRA, A.; BRAGA, M. The Name of the Rose: A Path to Discuss the Birth of Modern Science. Dordrecht: Springer. 2012

IRZIK, G.; NOLA, R. A Family Resemblance Approach to the Nature of Science for Science Education. Science & Education, v. 20, n. 7-8, p. 591-607, 2011.

IRZIK, G.; NOLA, R. New directions for Nature of Science research. In: MATTHEWS, M. R. (Ed.). International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching. The Netherlands: Springer, p. 999-1021. 2014

JARDIM, W. T.; GUERRA, A. Ensinando Física Moderna e Contemporânea: Cosmologia em Videos e Imagens. XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física. Manaus, AM. 2011

KRAGH, H. Quantum Generations – a history of Physics in the twentieth century. Princeton: Princeton University Press, 1999.

KLASSEN, S. The construction and analysis of a Science story: a proposed Methodology. Science & Education, v. 18. 2009ª

LAUTESSE, P.; VALLS, A. V.; FERLIN, F.; HERAUD, J.; CHABOT, H. Teaching Quantum Physics in Uper Secondary School in France: ‘Quanton’ Versus ‘Wave-Particle’ Duality, Two Approaches of the Problem of Reference. Dordrecht: Springer. 2015

LEDERMAN, N. G.; BARTOS, S. A.; LEDERMAN, J. S. The development, use, and interpretation of Nature of Science assessments. In: MATTHEWS, M. R. (Ed.). International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching. The Netherlands: Springer, 2014

LEDERMAN, N. G. Nature of science: past, present and future. In: ABELL, S. K.; LEDERMAN, N.G. (Eds.). Handbook of research on science education. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2007

LEDERMAN, N. G. Student’s and teacher’s conceptions of the nature of science: a review of the research. Journal of Research in Science Teaching, v. 29, n. 4, p. 331-359, 1992.

LEITE, A.; SIMON, S. Werner Heisenberg e a Interpretação de Copenhague: a filosofia platônica e a consolidação da teoria quântica. scientiæ zudia, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 213-41, 2010

LINDLEY, D. Incertidumbre – Einstein, Heisenberg, Bohr y la lucha por la esencia de la ciência. Editorial Ariel, Barcelona, 2008.

LOBATO, T; GRECA, I. M. Análise da Inserção de Conteúdo de Teoria Quântica nos Currículos de Física do Ensino Médio. Ciência & Educação, v.11, n. 1, p. 119-132, 2015

LOBATO, T; MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; BASTOS FILHO, J. B. Dificuldades dos professores em introduzir a física moderna no ensino médio: a necessidade de superação da racionalidade técnica nos processos formativos. Ensino de ciências e

matemática, I: temas sobre a formação de professores [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009.

MACHADO, D. I.; NARDI, R. Avaliação do Ensino da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, IV. Atas... Bauru, 25 a 29 de nov. de 2003.

MARTINS, A. F. P. “Knowledge about Science in Science Education Research from the Perspective of Ludwik Fleck’s Epistemology“.Dordrecht: Springer. 2015

MARTINS, A. F. P. “Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em ‘temas’ e ‘questões’”. 2015

MATTHEWS, M. R. Science, Worldviews and Education: an introduction. Science & Education, v. 18, n. 6, 2009

McCOMAS, W. F., CLOUGH, M. P., & ALMAZROA, H. The role and character of the nature of science in science education. In W. F. McComas (Ed.), The nature of science in science education rationales and strategies (pp. 3–39). Dordrecht: Kluwer. 1998

McCOMAS, W. F. Seeking historical examples to illustrate key aspects of the Nature of Science Science & Education, 17, 249–263. 2008

McKEE, R. Story: substância, estrutura, estilo e os princípios da escrita de roteiros. trad. Chico Marés. Curitiba: Arte e Letra, 2006

MEDEIROS, A. Eric Rogers e o Ensino de Física Moderna. Física na Escola, v. 8, n. 1, 2007

MEDINA, M.; BRAGA, M. O TEATRO COMO FERRAMENTA DE APRENDIZAGEM DA FÍSICA E DE PROBLEMATIZAÇÃO DA NATUREZA DA CIÊNCIA. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 27, n. 2: p. 313-333, ago. 2010.

MENESES, R. D. B. A Complementaridade de N. Bohr: da mecânica quântica à filosofia. Eikasia. Revista de Filosofía, ano III. 2008

MERZBACHER, E. The Early History of Quantum Tunneling. American Institute of Physics. Physics Today. 2002

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; BASTOS FILHO, J. B. Dificuldades dos Professores em Introduzir a Física Moderna no Ensino Médio: A Necessidade de Superação da Racionalidade Técnica nos Processos Formativos. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 258 p., 2009

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R. Tendências das pesquisas sobre o ensino da Física Moderna e Contemporânea In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, VI. Atas. Florianópolis, 2007

MOURA, C. B.; AMARAL, P.; NETTO, M., SCHIFFER, H., MARQUES, M. A.; GUERRA. A. Propostas de utilização de História da Ciência em sala de aula: uma análise em periódicos nacionais. X Encontro Nacional de Pesquisa em Ciências. Águas de Lindóia, SP. 2015

NIELSEN, H. Against the Copenhagen interpretation of quantum mechanics – in defence of Marxcism. www.marxist.com, 2005

OLIVEIRA, F. F; Controvérsia histórica: uma possibilidade de problematização acerca de elementos de natureza da ciência no ensino médio. Dissertação de M.Sc., PPCTC/CEFET/RJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2014

ORTOLI, S; PHARABOD, J. “Introdução à Física Quântica”. 1986. Editora Dom Quixote. Lisboa

OSBORNE, J.; COLLINS, S.; RATCLIFFE, M.; MILLAR, R.; DUSCHL, R. What ‘‘Ideas-about-Science’’ should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. Journal of Research in Science Teaching, v. 40, n. 7, p. 692-720, 2003.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfi ca sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea” no ensino médio. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v.5, n.2, paginação eletrônica, 2000.

PAIXÃO, M. F.; CACHAPUZ, A. Formación epistemológica y cambio de ímagenes de ciencia impartidas en el aula. Revista de Educación en Ciencias / Journal of Science Education, v.2, n. 1, p. 33-38, 2001.

PESSOA JR., O. Conceitos de fisica quantica. Sao Paulo: Livraria da Física. v. 1. 2005

PESSOA JR, O. O Sujeito na Física Quantica. OLIVEIRA, E.C. (org.), Epistemologia, Lógica e Filosofia da Linguagem – Ensaios de Filosofia Contemporânea, UEFS, Feira de Santana, 2001

PIMENTEL, J. ¿QUÉ ES LA HISTORIA CULTURAL DE LA CIENCIA? Arbor Ciencia, Pensamiento y Cultura. 2010

PONCZEK, R. L.; A IDÉIA DE CAUSALIDADE NA FÍSICA CLÁSSICA. Cad.Bras.Ens.Fís., v.20, n.1: p.63-85, abr. 2003.

REISMAN, A. Turkey’s Modernization: Refugees from Nazism and Atatürk’s Vision. Washington DC. 2006

RODRIGUES, W. V.; GUERRA, A.; CRISTINA, S. Uma proposta de uso de Imagens como uma ferramenta alternativa para o Ensino de Física Quântica. X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Águas de Lindóia, SP. 2015

SCHIFFER, H. GUERRA, A. A utilização de narrativas históricas na construção do conceito de energia: um estudo de caso. 2012

ZANCUL, M. C. S.; BADIA, D. D.; VIVEIRO, A. A. (org.), Cinema e educação: algumas leituras possíveis. São Paulo, SP. Cultura Acadêmica. 2015